TUGAS AKHIR

STUDI POTENSI ENERGI GELOMBANG LAUT DI PANTAI SELATAN BANYUWANGI MENGGUNAKAN SUMBER DATA ERA5 (ECMWF) DAN PENGUKURAN LAPANGAN

MUHAMMAD YASYRIL MUMTAZ

NRP. 043 1 16 4000 0131

Dosen Pembimbing:

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

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

Departemen Teknik Kelautan

Fakultas Teknologi Kelautan

Institut Teknologi Sepuluh Nopember

Surabaya

2020

FINAL PROJECT

STUDY OF OCEAN WAVE ENERGY RESOURCES IN SOUTH BANYUWANGI SEA USING ERA5 (ECMWF) AND FIELD MEASUREMENT DATA

MUHAMMAD YASYRIL MUMTAZ
NRP. 043 1 16 4000 0131

Supervisors:
Prof. Ir. Mukhtasor, M.Eng., Ph.D.
Dr. Eng. Shade Rahmawati, S.T., M.T.

Department of Ocean Engineering
Faculty of Marine Technology
Sepuluh Nopember Institute of Technology
Surabaya
2020

LEMBAR PENGESAHAN

STUDI POTENSI ENERGI GELOMBANG LAUT DI PANTAI SELATAN BANYUWANGI MENGGUNAKAN SUMBER DATA ERA5 (ECMWF) DAN PENGUKURAN LAPANGAN

TUGAS AKHIR

Diajukan Untuk Memenuhi Salah Satu Syarat

Memperoleh Gelar Sarjana Teknik

pada Program Studi S-1 Departemen Teknik Kelautan

Fakultas Teknologi Kelautan

Institut Teknologi Sepuluh Nopember

Oleh:

MUHAMMAD YASYRIL MUMTAZ

NRP. 043 1 16 4000 0131

Disetujui oleh:

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

   .....

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

   .....

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

   .....

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

   .....

5. Dr.Eng. Kriyo Sambodho, S.T., M.Eng.. (Penguji 3)

   .....

Surabaya, Januari 2020

STUDI POTENSI ENERGI GELOMBANG LAUT DI PANTAI SELATAN BANYUWANGI MENGGUNAKAN SUMBER DATA ERA5 (ECMWF) DAN PENGUKURAN LAPANGAN

Nama	: Muhammad Yasyril Mumtaz
NRP	: 04311640000131
Dosen Pembimbing	: 1. Prof.Ir. Mukhtasor, M.Eng., Ph.D.
	2. Dr.Eng. Shade Rahmawati, S.T., M.T.

ABSTRAK

Indonesia memiliki potensi energi gelombang laut yang melimpah. Riset sebelumnya menyatakan potensi teoritis energi gelombang laut di Indonesia sampai dengan 141.472 MW. Meskipun demikian, perhitungan potensi energi gelombang tersebut masih dihitung secara global dengan banyak asumsi yang diterapkan. Oleh karenanya, perhitungan potensi energi masih perlu diteliti menyesuaikan dengan karakteristik perairan setempat, yang mana dalam tugas akhir ini lokasi kajian berada di Pantai Selatan Banyuwangi. Perhitungan potensi energi dilakukan di dekat pantai, sedang data ERA5 berada di lepas pantai, sehingga diperlukan model numerik untuk melakukan penjalaran gelombangnya. Berdasarkan luaran model numerik, pada Bulan Desember 2018 s.d. November 2019 didapatkan tinggi gelombang signifikan (Hs) di lokasi studi dengan rentang 0,4─1,8 m dengan rerata Hs sebesar 1 m dan periode puncak gelombang (Tp) memiliki rentang 5,1─18,2 s dengan rerata Tp sebesar 13,9 s. Luaran model numerik tersebut selanjutnya digunakan untuk menghitung potensi daya dan potensi energi gelombang laut. Berdasarkan hasil perhitungan, diperoleh potensi daya gelombang laut di Pantai Selatan Banyuwangi memiliki rentang 0,3─27,5 kW/m; rerata potensi daya sebesar 8,7 kW/m dengan total potensi energi gelombang laut di Pantai Selatan Banyuwangi dalam setahun mencapai 76,48 MWh/m

Kata kunci: energi gelombang laut, daya gelombang, Pantai Selatan Banyuwangi

STUDY OF OCEAN WAVE ENERGY RESOURCES IN SOUTH BANYUWANGI SEA USING ERA5 (ECMWF) AND FIELD MEASUREMENT DATA

Author	: Muhammad Yasyril Mumtaz
Student Identity Number	: 04311640000131
Supervisors	: 1. Prof.Ir. Mukhtasor, M.Eng., Ph.D.
	2. Dr.Eng. Shade Rahmawati, S.T., M.T.

ABSTRACT

Indonesia has a large of wave energy resources. The last research claimed 141,472 MW is potential for wave energy resources in Indonesia. Despite that, calculation of that research were still general, and many assumptions were applied. Therefore, this final project aims to calculate wave energy resources based on characteristics of the site, South Banyuwangi Sea. Because of the calculation of wave energy resources are located in nearshore and sources of data are located in offshore, wave propagation model is needed for this case. For these outputs, the significant wave height (Hs) at the site for a year is in a range of 0.4─1.8 m with average Hs at 1 m, and peak wave period (Tp) at the site for a year is in a range of 5,1─18,2 s with average Tp is 13,9 s. Those outputs are used to estimate wave power and wave energy in next. For the results, South Banyuwangi Sea has potential wave power in a range of 0.3 ─27.5 kW/m with mean power at 8.7 kW/m and has a potential wave energy in a year up to 76,48MWh/m

Keywords: ocean wave energy, wave power, South Java Sea

KATA PENGANTAR

Puji serta syukur kehadirat Allah SWT., Ilah segala makhluk, yang telah mengiringi hambanya dalam menyelesaikan Tugas Akhir yang berjudul "Studi Potensi Energi Gelombang Laut di Pantai Selatan Banyuwangi Menggunakan Sumber Data ERA5 (ECMWF) dan Pengukuran Lapangan". Tugas akhir ini merupakan prasyarat dalam menyelesaikan Program Studi Sarjana (S1) Teknik Kelautan, Fakultas Teknologi Kelautan, Institut Sepuluh Nopember.

Apabila dalam Tugas Akhir ini masih terdapat kesalahan dan kekurangan, penulis mohon maaf sebesar-besarnya dan siap untuk menerima masukan serta kritik dari para pembaca. Harapannya, Tugas Akhir ini agar dapat dimanfaatkan dan menjadi khazanah ilmu pengetahuan, terlebih dalam pengembangan energi gelombang laut di Indonesia.

Surabaya, Januari 2020

Muhammad Yasyril Mumtaz

UCAPAN TERIMAKASIH

Tentunya dalam penyelesaian Tugas Akhir ini, terdapat peran karib kerabat yang tidak mampu penulis balas kebaikannya satu persatu, maka dengan ucapan ini setidaknya sedikit pesan manis penulis sampaikan kepada setiap insan yang telah mendukung penulis hingga saat ini. Ungkapan terimakasih penulis berikan kepada:

1. Umi dan Abah, kedua orang tua terbaik, jasa mu abadi.
2. Kedua kakak tersayang, yang selalu mendampingi dan mendengarkan.
3. Prof. Ir. Mukhtasor, M.Eng., Ph.D. dan Dr.Eng. Shade Rahmawati, S.T., M.T., selaku dosen pembimbing yang senantiasa memberikan pembelajaran kepada penulis.
4. Instansi Pusat Riset Kelautan, Badan Riset Sumber Manusia, Kementrian Kelautan Perikanan.
5. Teman-teman Yasyril, yang saya sayangi, mudah-mudahan langkah kalian senantiasa diberkati.

DAFTAR ISI

HALAMAN JUDUL i
LEMBAR PENGESAHAN iii
ABSTRAK iv
KATA PENGANTAR vi
UCAPAN TERIMAKASIH vii
DAFTAR ISI viii
DAFTAR GAMBAR x
DAFTAR TABEL xi
BAB I PENDAHULUAN 1
1.1 Latar Belakang Masalah 1
1.2 Rumusan Masalah 2
1.3 Tujuan 2
1.4 Manfaat 3
1.5 Batasan Masalah 3
BAB II KAJIAN PUSTAKA 5
2.1 Tinjauan Pustaka 5
2.2 Landasan Teori 6
2.2.1 Gelombang Laut 6
2.2.2 Teori Gelombang Amplitudo Kecil 8
2.2.3 Gelombang Acak 10
2.2.4 Energi Gelombang 12
2.2.5 Daya Gelombang 14
2.2.6 Refraksi Gelombang 15
2.2.7 Gelombang Pecah 17
2.2.8 ECMWF (ERA5) 18
2.2.9 Pemodelan Gelombang 19
2.2.10 MIKE 21 SW 20
2.2.11 Pengukuran Gelombang Laut 21
2.2.12 Kategori Potensi Energi Laut 22
2.2.13 Teknologi Konversi Energi Gelombang Laut 23

2.2.14 Kelebihan dan Kekurangan Energi Gelombang Laut 28
BAB III METODOLOGI PENELITIAN..... 31
3.1 Diagram Alir 31
3.2 Penjelasan Diagram Alir 32
3.2.1 Studi Literatur 32
3.2.2 Pencarian Data Oseanografi 32
3.2.3 Pemodelan 36
3.2.4 Validasi Model 36
3.2.5 Simulasi Model Numerik 1 Tahun 37
3.2.6 Perhitungan Potensi Energi 37
BAB IV HASIL DAN PEMBAHASAN 38
4.1 Data Pengukuran Lapangan 39
4.2 Karakteristik Lokasi Studi..... 40
4.3 Pengaturan Model Numerik 43
4.4 Validasi Model Numerik..... 44
4.5 Simulasi Model Numerik 1 Tahun 48
4.6 Perhitungan Potensi Daya 51
4.7 Perhitungan Potensi Energi 53
BAB V KESIMPULAN DAN SARAN..... 56
5.1 Kesimpulan 57
5.2 Saran..... 57
DAFTAR PUSTAKA 59
LAMPIRAN..... 11
BIODATA PENULIS

DAFTAR GAMBAR

Gambar 1. 1 Potensi energi gelombang laut di Indonesia 2
Gambar 2. 1 Daerah validitas pemakaian sejumlah teori gelombang 7
Gambar 2. 2 Sket definisi gelombang 9
Gambar 2. 3 Frekuensi dan periode gelombang laut 11
Gambar 2. 4 Grafik elevasi muka air laut terhadap waktu 12
Gambar 2. 5 Penurunan energi gelombang 13
Gambar 2. 6 Hukum Snell untuk refraksi gelombang 16
Gambar 2. 7 Refraksi gelombang pada kontur lurus dan sejajar 17
Gambar 2. 8 Variabel model spektral gelombang generasi ketiga 20
Gambar 2. 9 Contoh komputasi *mesh* pada MIKE 21 21
Gambar 2. 10 *Acoustic Doppler Current Profiler* 22
Gambar 2. 11 Contoh teknologi berdasarkan prinsip kerja 24
Gambar 2. 12 Archimides Wave Swing 25
Gambar 2. 13 Wavegen Limpet 26
Gambar 2. 14 Prinsip kerja Wave Dragon 26
Gambar 2. 15 Wave Roller 28
Gambar 3. 1 Diagram alir penelitian 31
Gambar 3. 2 Titik pengukuran 32
Gambar 3. 3 Batimetri di wilayah kajian 33
Gambar 3. 4 Titik pengambilan data ERA5 dan pengukuran 34
Gambar 3. 5 Grafik tinggi gelombang signifikan ERA5 34
Gambar 3. 6 Grafik periode puncak gelombang ERA5 35
Gambar 3. 7 Grafik kecepatan angin (U_{10}) ERA5 35
Gambar 4. 1 Grafik Hs pengukuran 39
Gambar 4. 2 Grafik Tp pengukuran) 40
Gambar 4. 3 Batimetri wilayah kajian 41
Gambar 4. 4 *Mesh domain* 43
Gambar 4. 5 Grafik Hs model 44
Gambar 4. 6 Grafik Tp model 45
Gambar 4. 7 Grafik perbandingan Hs pengukuran *vs* Hs model 45

Gambar 4. 8 Grafik perbandingan Tp pengukuran *vs* Tp model..... 46
Gambar 4. 9 Grafik Hs-Tp pengukukuran vs model..... 47
Gambar 4. 10 Pias deformasi gelombang di lokasi kajian. 47
Gambar 4. 11 Grafik Hs selama setahun 49
Gambar 4. 12 Grafik Tp selama setahun..... 50
Gambar 4. 13 Perhitungan potensi daya di lokasi kajian 52
Gambar 4. 14 Perhitungan potensi daya di lokasi kajian per bulan 55

DAFTAR TABEL

Tabel 2. 1 Perbedaan ERA5 dan ERA-Interim Reanalysis..... 19
Tabel 2. 2 Kondisi operasi kedalaman Wave Roller..... 27
Tabel 3. 1 Kriteria MAPE 37
Tabel 4. 1 Fungsi d/L untuk pertambahan nilai d/L_0 43
Tabel 4. 2 Perbandingan Hs Pengukuran, Model, dan Manual..... 48
Tabel 4. 3 Rerata Hs dan Tp model selama 1 tahun..... 51
Tabel 4. 4 Matriks rerata daya di lokasi studi 52
Tabel 4. 5 Matriks durasi gelombang di lokasi studi 53
Tabel 4. 6 Matriks distribusi energi selama 1 tahun 54

BAB I
PENDAHULUAN

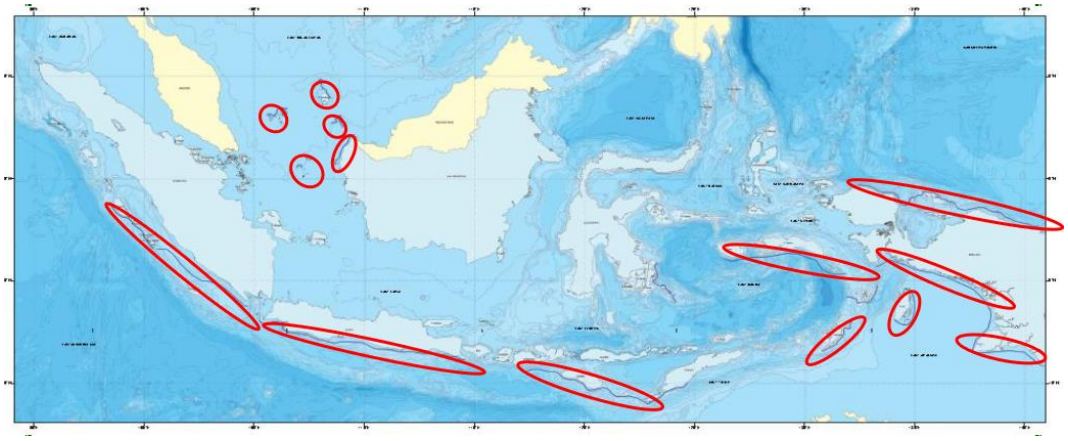
1.1 Latar Belakang Masalah

Indonesia memiliki beberapa potensi sumber daya energi fosil diantaranya minyak bumi, gas bumi dan batubara. Menurut BPPT (2016), pada tahun 2014 cadangan terbukti minyak bumi sebesar 3,6 miliar barel, gas bumi sebesar 100,3 TCF dan cadangan batubara sebesar 32,27 miliar ton. Bila diasumsikan tidak ada penemuan cadangan baru, berdasarkan rasio R/P (Reserve/Production) tahun 2014, maka minyak bumi akan habis dalam 12 tahun, gas bumi 37 tahun, dan batubara 70 tahun. Cadangan ini bahkan akan lebih cepat habis dari tahun yang disebut diatas karena kecenderungan produksi energi fosil yang terus meningkat.

Energi fosil telah menjadi penggerak pertumbuhan ekonomi Indonesia dimasa lalu dan saat ini. Di masa depan diharapkan tren pengembangan energi akan bergeser dari energi berbasis fosil menjadi energi baru terbarukan, sepanjang keekonomiannya memenuhi. Hal ini disebabkan karena energi fosil merupakan sumber daya yang tidak dapat diperbarui sehingga lambat laun akan habis, padahal Indonesia mempunyai sumber daya energi terbarukan yang signifikan. (BPPT, 2016)

Sejatinya, Indonesia adalah negara kepulauan yang diapit dengan dua samudera: samudera hinda dan pasifik. Hal tersebut menandakan angin yang berhembus di bibir pantai yang berhadapan langsung dengan samudera memiliki potensi untuk membangkitkan gelombang yang besar. Gelombang yang terjadi terus-menerus akibat hembusan angin yang terjadi terus-menerus merupakan sumber energi yang berpotensi untuk dieksploitasi (Mukhtasor, 2014).

Pada tahun 2014, Balitbang Energi dan Sumber Daya Mineral (ESDM) beserta Asosiasi Energi Laut Indonesia (ASELI) menyatakan bahwasannya Indonesia memiliki potensi teoritis, teknis, dan praktis energi gelombang laut secara berturut-turut ialah 141.472 MW, 7.985 MW, 1.995 MW. Biarpun demikian, potensi besar tersebut belum teroptimalkan dengan baik oleh negara.



Gambar 1. 1 Potensi energi gelombang laut di Indonesia
(KESDM & ASELI, 2014)

Sebagai tahap awal pengembangan Pembangkit Listrik Tenaga Gelombang Laut (PLTGL) diperlukan studi awal untuk menghitung potensi energi gelombang dalam skala lokal sesuai dengan karakteristik perairan di lokasi kajian. Pada tugas akhir ini, studi potensi energi gelombang laut dilakukan di Pantai Selatan Banyuwangi.

1.2 Rumusan Masalah

Berdasarkan latar belakang tersebut, dirumuskan dua permasalahan dalam tugas akhir ini adalah:

1. Berapa tinggi gelombang signifikan dan periode puncak gelombang di Pantai Selatan Banyuwangi?
2. Berapa besar potensi energi gelombang di Pantai Selatan Banyuwangi?

1.3 Tujuan

Selaras dengan rumusan masalah tugas akhir, tujuan dari tugas akhir ini dapat dinyatakan sebagai berikut:

1. Mengetahui tinggi gelombang signifikan dan periode puncak gelombang di Pantai Selatan Banyuwangi.
2. Mengetahui besar potensi energi gelombang laut di Pantai Selatan Banyuwangi.

1.4 Manfaat

Penulis berharap dengan adanya tugas akhir mengenai studi potensi energi gelombang laut di Pantai Selatan Banyuwangi dapat menunjang kebutuhan pengembangan energi gelombang laut baik secara global maupun lokal. Selain itu, tugas akhir ini merupakan bentuk sumbangsih pustaka dalam dunia akademis.

1.5 Batasan Masalah

Batasan masalah dalam penelitian ini adalah sebagai berikut:

1. Pemodelan dilakukan dengan perangkat lunak MIKE 21 secara dua dimensi
2. Pemodelan tidak memperhitungkan arus laut
3. Data yang digunakan untuk validasi yakni data pengukuran lapangan oleh ITSK (2019)
4. Perhitungan potensi energi gelombang laut dihitung pada tahap teoritis.

(Halaman ini sengaja dikosongkan)

BAB II
KAJIAN PUSTAKA

2.1 Tinjauan Pustaka

Berdasarkan perhitungan potensi yang dikeluarkan oleh Balitbang ESDM dan ASELI (2014), Indonesia memiliki potensi energi gelombang laut secara teoritis, teknis dan praktis berturut-turut yakni sebesar 141.472 MW, 7.985 MW, 1.995 MW.

Dalam proses perhitungannya digunakan asumsi-asumsi guna menyederhanakan pemetaan potensi energi laut di Indonesia, adapun asumsi-asumsi yang digunakan dalam melakukan perhitungan energi gelombang laut adalah:

Gelombang dibangkitkan dari data angin NOAA yang diambil dari Satelit Topex Poseidon. Asumsi yang diambil:

1. Kapasitas teknologi adalah 25% (diambil yang paling kecil dari semua teknologi yang tersedia)
2. Kapasitas yang diambil maksimum adalah 25% dari panjang pantai yang bisa dimanfaatkan.
3. Koefisien dalam perhitungan pembangkit energi diambil dari 0,49 dengan percepatan gravitasi 9,81 m/s^2 dan massa jenis air laut adalah 1.025 kg/m^3
4. Jarak antar alat diambil yang paling jauh yaitu 60 m, dengan lebar alat diasumsikan 35 m dan kapasitas teknologi 25%.

(Mukhtasor, 2014)

Sebagai hasilnya, Balitbang ESDM dan ASELI di tahun 2014 menyatakan wilayah yang memiliki potensi energi gelombang laut adalah: Aceh, Nias, Paian, Pariaman, Kepri, Pontianak, Sukabumi, Tanjung Bumi, Banyuwangi, Nusa Penida, Gili Trawangan, Makassar, Labuan Bajo, Kupang Selatan, Kendari, Bitung, Ambon, Halmahera, Raja Ampat, Sorong, Biak, dan Timika (Mukhtasor, 2014)

Penelitian terkait pemanfaatan energi gelombang laut juga telah dilakukan sebelumnya oleh Utami (2010), Dalam penelitiannya, Utami telah menghitung potensi pembangkit listrik tenaga gelombang laut dengan menggunakan sistem *Oscillating Water Column* (OWC) di tiga puluh wilayah kelautan di Indonesia.

Sebagai hasilnya, perairan selatan di Jawa Timur termasuk lokasi yang memiliki daya terbesar.

Selanjutnya, Setyawan (2018) telah melakukan penelitian lanjutan terkait perhitungan potensi energi gelombang laut di Indonesia. Dalam tesisnya yang berjudul "Identifikasi dan Pemetaan Lokasi Potensial Energi Gelombang Laut di Perairan Indonesia", Setyawan menjelaskan potensi energi gelombang laut yakni sebesar 717.000 MW yang dihitung sejak tahun 2012 s.d. 2016.

Setyawan (2018) menjelaskan, bahwasannya lokasi di perairan selatan Provinsi Jawa Timur termasuk lokasi yang dalam potensi terakses sesuai namun untuk tahap pengembangan masih perlu kajian ulang terkait harga jual listrik dan biaya pokok penyediaannya.

Oleh karena itu, berdasarkan riwayat-riwayat sebelumnya yang menyatakan perairan selatan Provinsi Jawa Timur, khususnya Banyuwangi memiliki potensi energi gelombang laut yang besar, Tugas Akhir ini bertujuan untuk melakukan studi lanjutan dalam menghitung potensi energi gelombang laut di Pantai Selatan Banyuwangi.

2.2 Landasan Teori

2.2.1 Gelombang Laut

Gelombang laut merupakan fenomena lautan yang berupa gerakan naik turunnya muka air laut dengan arah tegak lurus terhadap permukaan air tersebut (Mukhtasor, 2014).

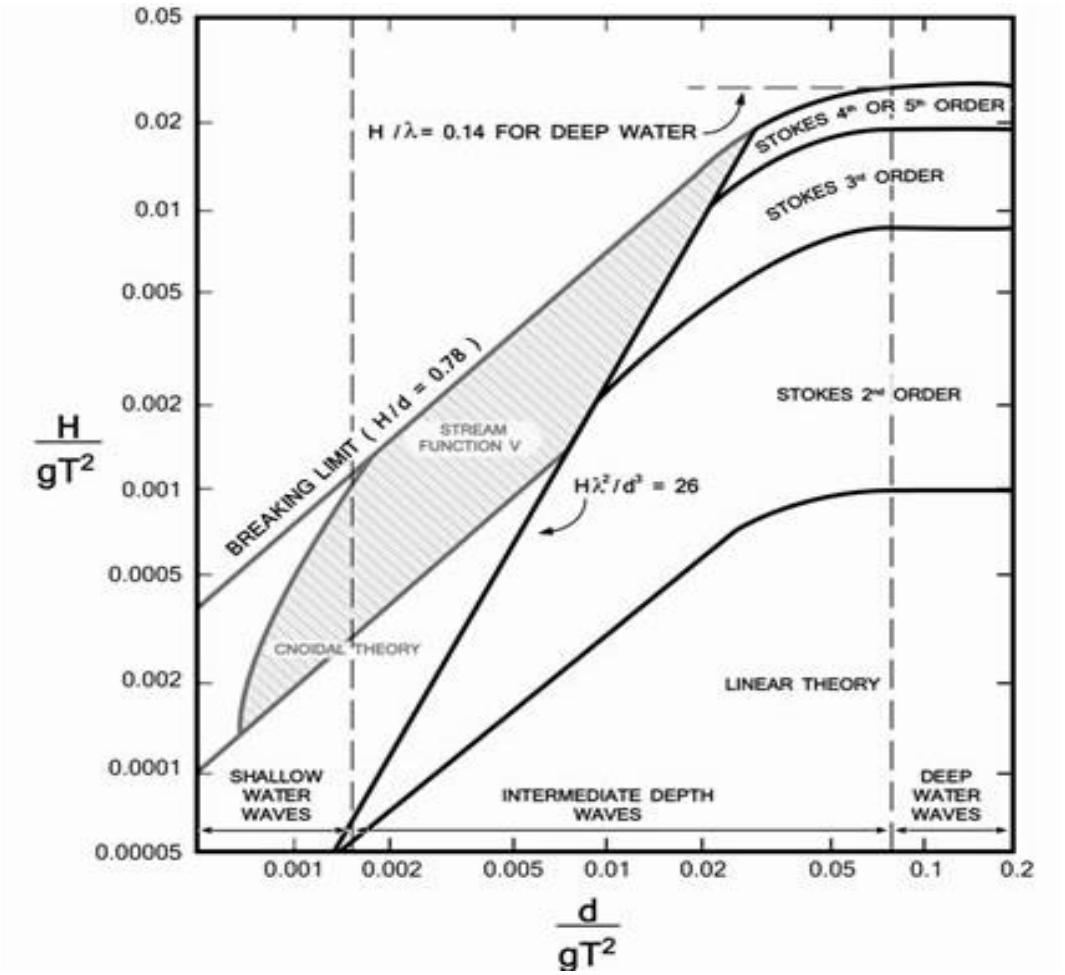
Gelombang di laut dapat dibedakan menjadi beberapa macam yang tergantung pada gaya pembangkitnya. Gelombang tersebut adalah gelombang angin yang dibangkitkan oleh tiupan angin di permukaan laut, gelombang pasang surut dibangkitkan oleh gaya tarik benda-benda langit terutama matahari dan bulan terhadap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

Selain itu, CERC (1984) mengklasifikasikan gelombang berdasarkan kedalaman relatifnya, klasifikasi berdasarkan kedalaman relatif nantinya diperuntukan untuk menyederhanakan persamaan-persmaan gelombang (Triatmodjo, 1999)

Klasifikasi tersebut terbagi menjadi tiga macam yaitu:

1. Gelombang di laut dangkal apabila $\frac{d}{L} \leq \frac{1}{20}$
2. Gelombang di laut transisi apabila $\frac{1}{20} < \frac{d}{L} < \frac{1}{2}$
3. Gelombang di laut dalam apabila $\frac{d}{L} \geq \frac{1}{2}$

Meskipun telah terdapat pengklasifikasian gelombang tersebut, gelombang di alam sangat kompleks untuk digambarkan Triatmodjo (1999). Oleh karenanya, terdapat beberapa teori dengan berbagai derajat kekompleksan dan ketelitian untuk menggambarkan gelombang di alam, diantaranya adalah teori Airy, Stokes, Gerstner, Mich, Knoidal dan tunggal. Akan tetapi, teori yang paling sederhana ialah teori gelombang amplitudo kecil yang dikemukakan oleh Airy pada tahun 1845.



Gambar 2. 1 Daerah validitas pemakaian sejumlah teori gelombang (Méhauté, 1976)

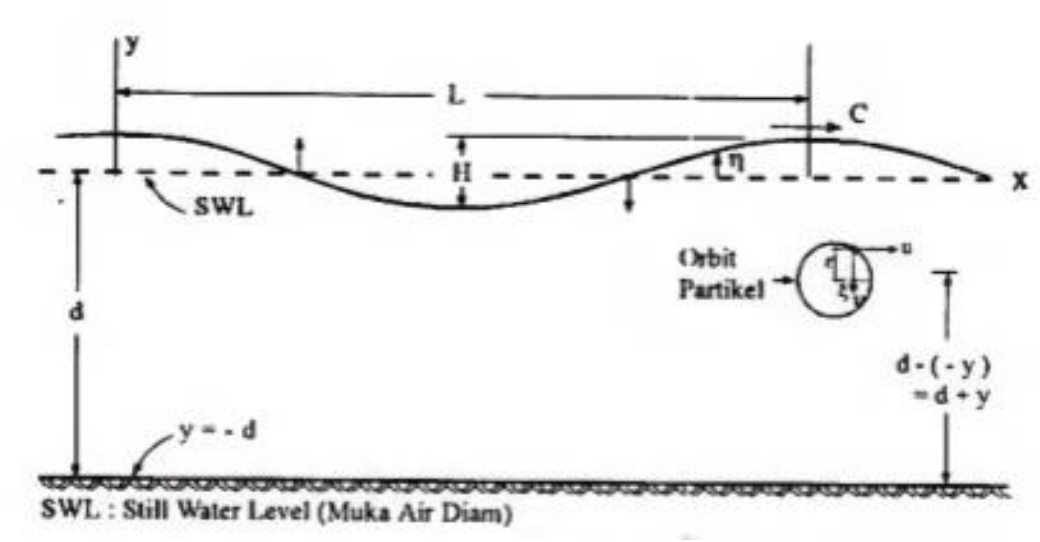
2.2.2 Teori Gelombang Amplitudo Kecil

Teori gelombang amplitudo kecil diturunkan berdasarkan persamaan Laplace untuk aliran tak berotasi (*irrotational flow*) dengan kondisi batas di permukaan air dan dasar laut. Kondisi batas tersebut diperoleh dengan melinierkan persamaan Bernoulli untuk aliran tak mantap. Sehingga persamaan tersebut memberikan potensial kecepatan periodik untuk aliran tak berotasi. Potensial kecepatan tersebut yang akan digunakan sebagai dasar pernurunan persamaan berbagai karakteristik gelombang seperi: fluktuasi muka air, kecepatan dan percepatan partikel, tekanan, kecepatan rambat gelombang, dan sebagainya. (Triatmodjo, 1999)

Terdapat beberapa asumsi yang dipakai dalam menurunkan persamaan gelombang yakni:

1. Zat cair adalah homogen dan tidak termampatkan, sehingga rapat massa adalah konstan.
2. Tegangan permukaan diabaikan.
3. Gaya coriolis diabaikan.
4. Tekanan pada permukaan air adalah seragam dan konstan.
5. Zat cair adalah ideal, sehingga berlaku aliran tak rotasi.
6. Dasar laut adalah horizontal, tetap dan impermeable sehingga kecepatan vertical di dasar adalah nol.
7. Amplitudo gelombang kecil terhadap panjang gelombang dan kedalaman air.
8. Gerak gelombang berbentuk silinder yang tegak lurus arah penjalaran gelombang sehingga gelombang adalah dua dimensi.

(Triatmodjo, 1999)



Gambar 2. 2 Sket definisi gelombang (Triatmodjo, 1999)

Notasi-notasi yang umum digunakan dalam mendefinisikan gelombang ialah sebagai berikut:

d	:	jarak antara muka air rerata (SWL) dan dasar laut
η (x,t)	:	fluktuasi muka air terhadap muka air diam
a	:	amplitudo gelombang
H	:	tinggi gelombang = 2a
L	:	panjang gelombang (jarak antara 2 puncak berurutan)
T	:	interval waktu yang diperlukan oleh partikel air untuk kembali pada kedudukan yang sama
C	:	kecepatan rambat gelombang = L/T
k	:	angka gelombang = 2π/L
σ	:	frekuensi gelombang = 2π/T

(Triatmodjo, 1999)

Adapun persamaan teori gelombang amplitudo kecil diturunkan dari persamaan kontinyitas untuk aliran tak rotasi (persamaan Laplace) yaitu:

$$\frac{\partial^2 \varphi}{\partial x^2} + \frac{\partial^2 \varphi}{\partial y^2} = 0 \qquad (2.1)$$

dengan:

$$u = \frac{\partial \varphi}{\partial x} \; ; v = \frac{\partial \varphi}{\partial y} \qquad (2.2)$$

dengan φ adalah potensial kecepan, u kecepatan partikel sumbu x, dan v kecepatan partikel sumbu y.

Seperti yang telah dinyatakan sebelumnya bahwa terdapat kondisi batas di dasar laut ($v = 0$) dan dipermukaan laut (y = 0), maka persamaan kecepatan potensial, yang mendasari sifat-sifat gelombang, dapat diturunkan menjadi:

$$\varphi = \frac{ag}{\sigma}\frac{\cosh k(d+y)}{\cosh kd}\sin(kx - \sigma t) \tag{2.3}$$

sehingga:

$$\eta = a\cos(kx - \sigma t) \tag{2.4}$$

$$\sigma^2 = gk\tanh(kd) \tag{2.5}$$

Mengingat $\sigma = kC$, maka persamaan 2.5 dapat diformulasikan menjadi:

$$C = \frac{gT}{2\pi}\tanh\frac{2\pi d}{L} \tag{2.6}$$

$$L = \frac{gT^2}{2\pi}\tanh\frac{2\pi d}{L} \tag{2.7}$$

Untuk perairan dalam, karena kd ≥ 1, sehingga tanh (kd) ≈ 1 maka persamaan 2.5 dan 2.7 dapat dirumuskan menjadi:

$$k_{\circ} = \frac{\sigma^2}{g} \tag{2.8}$$

$$L_{\circ} = \frac{gT^2}{2\pi} \tag{2.9}$$

dengan subskrip "o" memberi keterangan pada perairan dalam. Sedang pada perairan dangkal, besar kd ≤ 1, maka tanh (kd) ≈ kd. Oleh karena itu persamaan 2.6 dapat dirumuskan menjadi:

$$C = \sqrt{gd} \tag{2.10}$$

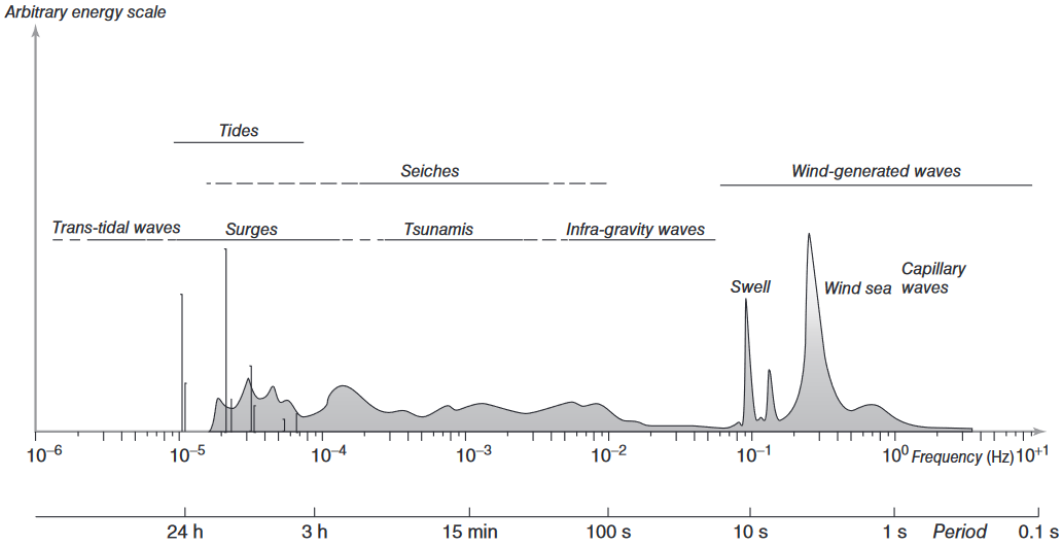
2.2.3 Gelombang Acak

Pada kenyataanya, gelombang yang terdapat di alam tidak bersifat reguler, melainkan bersifat acak. Gelombang tersebut umumnya adalah terbentuk dari aksi angin. Angin yang berhembus di atas permukaan laut dengan kecepatan relatif rendah mengakibatkan riak. Seiring dengan bertambahnya kecepatan angin, riak tersebut menjadi gelombang kecil, yang nantinya bersuperposisi dengan gelombang-gelombang lain sehingga menjadi gelombang besar. Peristiwa gelombang yang disebabkan faktor angin tersebut dinamakan sebagai gelombang angin atau *wind waves*. Akan tetapi, kecepatan angin yang tidak konstan, panjang serta lebar bentangan angin berhembus yang berubah-ubah, dan durasi angin

berhembus yang tidak tetap menjadikan gelombang yang terbentuk oleh angin di permukaan laut akan mempunyai sifat acak (Djatmiko, 2012).

Djatmiko (2012) juga menyatakan, selain mekanisme pembentukan gelombang yang disebabkan oleh angin, terdapat mekanisme lain yang membentuk gelombang di laut seperti gempa bumi di dasar laut, letusan gunung berapi di laut, jatuhnya meteor ke laut, gelombang yang ditimbulkan oleh adanya gaya gravitasi bulan dan matahari (pasang surut).

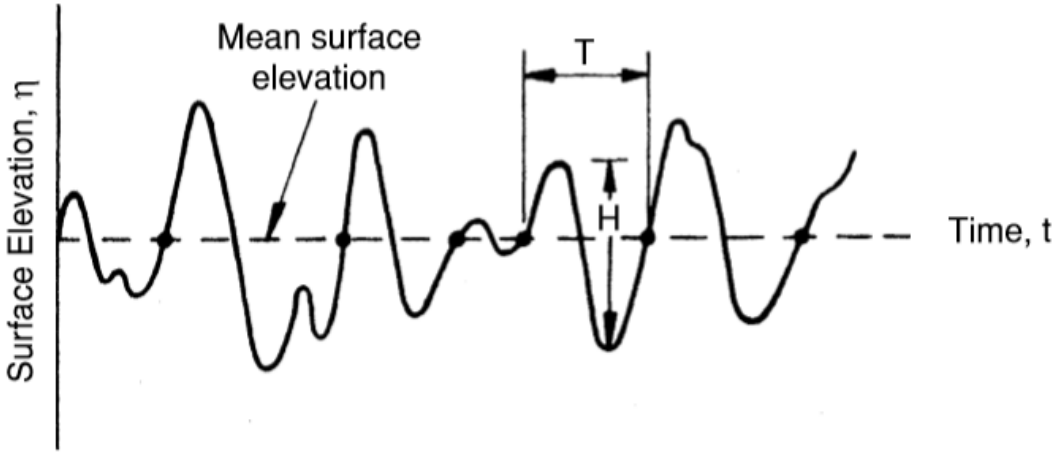
Gelombang yang berpropagasi selanjutnya bergerak dalam grup menjauhi tempat terbentuknya atau yang dikenal alun atau *swell*. Gelombang tersebut memiliki karakteristik periode 13 s.d. 24 detik dan panjang gelombang melebihi 260 m (Toffoli, 2017) bergerak menuju tempat yang sangat jauh. Saat bergerak di lautan lepas tanpa halangan dapat menjangkau ratusan, bahkan ribuan kilometer. (Djatmiko, 2012).



Gambar 2. 3 Frekuensi dan periode gelombang laut (Toffoli, 2017)

Oleh karenanya, untuk menganalisis karakteristik gelombang acak diperlukan pendekatan melalui metode statistika (Triatmodjo, 1999). Berdasarkan hasil pencatatan gelombang pengukuran, terdapat dua metode untuk menentukan gelombang yaitu *zero upcrossing method* dan *zero downcrossing method*. Langkah awal untuk melakukan metode tersebut ialah dengan menetapkan elevasi rerata dari permukaan air berdasarkan fluktuasi muka air pada waktu pencatatan. Muka air tersebut didefinisikan sebagai garis nol. Kemudian kurva gelombang ditelusuri dari awal sampai akhir.

Zero upcrossing method merupakan metode yang melakukan penelusuran dari awal hingga akhir spektrum gelombang, dan diberi penanda titik perpotongan antara kurva naik dan garis nol. Tiap-tiap titik perpotongan tersebut menandakan awal dan akhirnya satu gelombang. Metode *zero downcrossing* memiliki prosedur yang sama, hanya saja dihitung awal mula gelombang saat terdapat titik perpotongan antara kurva turun dan garis nol. (Pratikto, 2014)



Gambar 2. 4 Grafik elevasi muka air laut terhadap waktu (Sorensen, 2006)

Menurut Triatmodjo (1999),untuk keperluan perencanaan perlu dipilih tinggi dan periode gelombang yang merepresentasikan spektrum gelombang. Apabila tinggi gelombang dari suatu pencatatan diurutkan dari nilai tertinggi ke terendah, maupun sebaliknya, maka dapat ditentukan tinggi H_n yang merupakan rerata dari n persen gelombang tertinggi. Cara tersebut juga dapat diterapkan terhadap periode gelombang

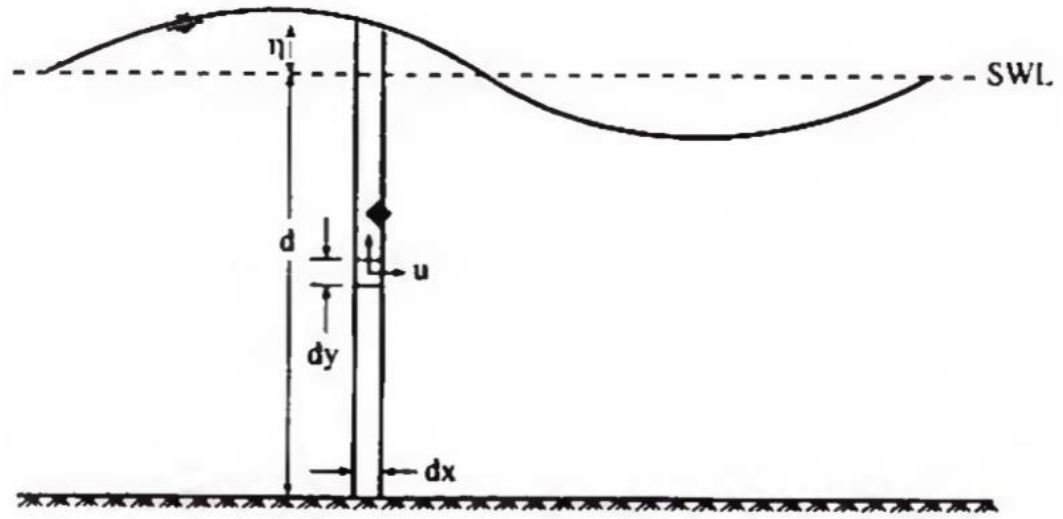
Beberapa bentuk H yang umum digunakan diantaranya:

H_{10}	:	Tinggi rerata dari 10 persen gelombang tertinggi
H_{33}, (Hs)	:	Tinggi rerata dari 33 persen gelombang tertinggi (gelombang signifikan)
H_{max}	:	Tinggi gelombang maksimum
$\bar{H}$, H_{100}	:	Tinggi rerata gelombang

2.2.4 Energi Gelombang

Total dari energi mekanik gelombang adalah penjumlahan dari energi kinetik dan potensial (Sorensen, 2006). Energi kinetik adalah energi yang disebabkan oleh kecepatan partikel air karena adanya gerak gelombang. Energi

potensial adalah energi yag dihasilkan oleh perpindahan muka air karena adanya gelombang (Triatmodjo, 1999).



Gambar 2. 5 Penurunan energi gelombang (Triatmodjo, 1999)

Persamaan total energi kinetik adalah:

$$Ek = \int_0^L \int_{-d}^0 \frac{1}{2}\rho\,(u^2 + v^2)\,dy\,dx \tag{2.11}$$

dengan mensubstitusikan persamaan (2.2) terhadap persamaan diatas dapat diturunkan menjadi:

$$Ek = \frac{\rho g H^2 L}{16} \tag{2.12}$$

Adapun energi potensial yang disebabkan oleh gerak gelombang merupakan pengurangan dari energi potensial gelombang dikurangi dengan energi potensial dari massa air diam, sehingga:

$$Ep = \int_0^L \rho g(d+\eta)\left(\frac{d+\eta}{2}\right)dx - \rho g L\left(\frac{d}{2}\right) \tag{2.13}$$

Dengan mensubstitusikan persamaan (2.4) terhadap persamaan diatas, dapat dirumuskan menjadi:

$$Ep = \frac{\rho g H^2 L}{16} \tag{2.14}$$

Sehingga total energi gelombang ialah:

$$E = Ek + Ep = \frac{\rho g H^2 L}{8} \tag{2.15}$$

2.2.5 Daya Gelombang

Daya gelombang, atau menurut Triatmodjo (1999) adalah tenaga gelombang, merupakan energi gelombang tiap satu satuan waktu yang menjalar dalam arah penjalaran gelombang. Tenaga dapat ditulis sebagai hasil kali dari gaya yang bekerja pada bidang vertikal yang tegak lurus penjalaran gelombang dengan kecepatan partikel melintasi bidang tersebut.

Menurut Pecher (2016), daya gelombang tiap satu komponen gelombang dinyatakan sebagai:

$$P_w(\omega) = \rho g S(\omega).C_g(\omega) \tag{2.16}$$

dengan suku pertama pada ruas kanan merupakan energi pada gelombang dan C_g merupakan kecepatan grup gelombang. Kecepatan grup gelombang bergantung terhadap frekuensi gelombang (ω) dan kedalaman (d) yang dinyatakan dalam persamaan sebagai berikut:

$$C_g(\omega) = \frac{1}{2}\frac{\omega}{k(\omega)}\left(1 + \frac{2k(\omega)d}{sinh2k(\omega)d}\right) \tag{2.17}$$

dengan mensubstitusikan persamaan 2.17 terhadap 2.16 rerata rapat daya gelombang dapat dinyatakan sebagai:

$$P_w = \int_0^\infty \rho g S(\omega)\frac{1}{2}\frac{\omega}{k(\omega)}\left(1 + \frac{2k(\omega)d}{sinh2k(\omega)d}\right) d\omega \tag{2.18}$$

Untuk menurunkan persamaan selanjutnya diperlukan pendefinsian awal, spektrum momen m_n, tinggi signifikan (H_s, H_{m0}), periode gelombang energi (T_e) dinyatakan sebagai:

$$m_n = \int_0^\infty S(\omega)\omega^n d\omega \tag{2.19}$$

$$H_s = 4\sqrt{m_0} \tag{2.20}$$

$$T_e = \frac{m_{-1}}{m_0} \tag{2.21}$$

Dalam Pecher (2016), terdapat korelasi antara periode puncak gelombang dengan periode gelombang energi, korelasi tersebut diberikan:

$$T_p = 1.12T_e \tag{2.22}$$

Selanjutnya, sebagai bentuk penyederhanaan Yong et al (2015) merumuskan persamaan empiris untuk menghitung rapat daya gelombang menjadi:

Untuk perairan dalam:

$$P_w = 0.5\, {H_s}^2\, T_e \tag{2.23}$$

Untuk perairan dangkal:

$$P_w = \frac{\rho g}{16} {H_s}^2 \sqrt{gd} \quad (2.24)$$

Untuk perairan transisi:

$$P_w = \bar{E} \left(\frac{gT_e}{2\pi} \tanh kd\right) \left[\frac{1}{2}\left(1 + \frac{2kd}{sinh2kd}\right)\right] \quad (2.25)$$

dengan:

$$\bar{E} = \text{densitas energi gelombang} = (1/16)\ \rho g {H_s}^2 \quad (\text{J/m}^2) \quad (2.26)$$

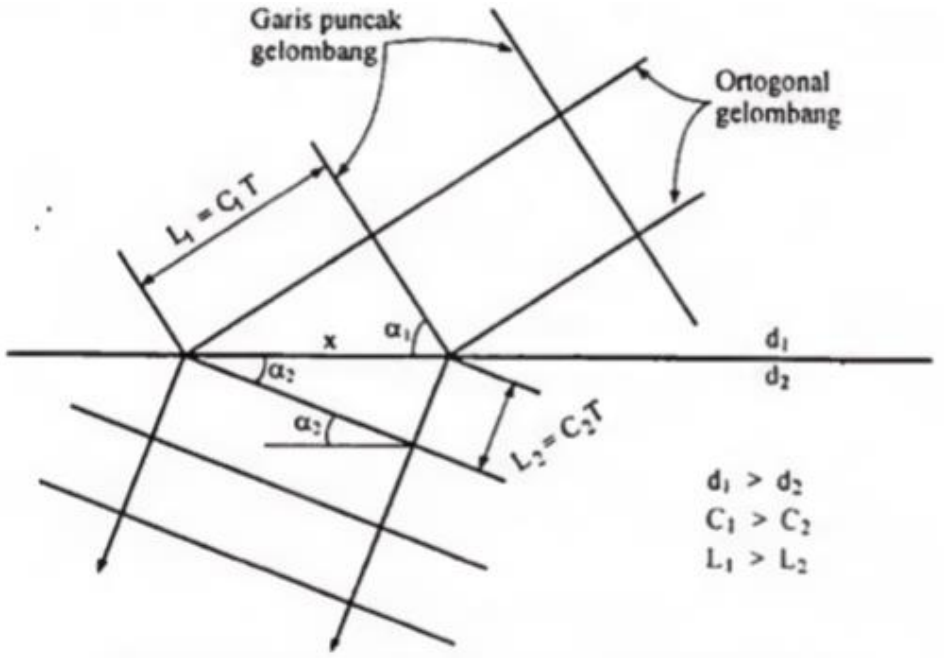
2.2.6 Refraksi Gelombang

Cepat rambat gelombang akan berkurang seiring perubahan kedalaman dari perairan dalam menuju dangkal. Variasi kecepatan gelombang yang terjadi di sepanjang puncak gelombang yang bergerak terhadap sudut kontur dasar laut menyebabkan gelombang yang di perairan lebih dalam akan bergerak lebih cepat dibandingkan dengan perairan dangkal. Peristiwa tersebut menyebabkan terjadinya penikungan arah perambatan gelombang atau ortogonal gelombang. Proses perubahan arah gerak puncak gelombang ini disebut sebagai refraksi (Pratikto, 2014)

Terdapat beberapa asumsi yang digunakan dalam studi refraksi menurut Triatmodjo (1999) diantaranya adalah:

1. Energi gelombang antara dua orthogonal adalah konstan.
2. Arah penjalaran gelombang tegak lurus pada puncak gelombang, yaitu dalam arah orthogonal gelombang.
3. Cepat rambat gelombang yang mempunyai periode tertentu di suatu tempat hanya tergantung pada kedalaman di tempat tersebut.
4. Perubahan topografi dasar adalah berangsur-angsur
5. Gelombang mempunyai puncak yang panjang, periode yang konstan, amplitudo kecil dan monokromatik
6. Pengaruh arus, angin dan refleksi daripantai dan perubahan topografi dasar laut diabaikan.

Menurut Triatmodjo (1999), proses refraksi gelombang adalah sama dengan refraksi cahaya. Oleh karena itu hukum Snell pada optik dapat digunakan dalam menyelesaikan permasalahan refraksi gelombang.



Gambar 2. 6 Hukum Snell untuk refraksi gelombang (Triatmodjo, 1999)

Pada Gambar 2.6, deretan gelombang menjalar dari laut yang lebih dalam (d1) menuju ke yang lebih dangkal (d2) dengan perubahan kedalaman mendadak dan dianggap tidak ada refleksi gelombang. Akibat dari perubahan kedalaman maka terjadi pengurangan cepat rambat dan panjang geombang dari C1, L1 menjadi C2, L2. Sesuai dengan Hukum Snell, berlaku:

$$\sin a_2 = \left(\frac{c2}{c1}\right) \sin a_1 \qquad (2.27)$$

dengan:

a_1 : Sudut antara garis puncak gelombang dengan kontur dasar dimana gelombang melintas

a_2 : Sudut yang sama diukur saat garis puncak gelombang melintasi kontur dasar berikutnya

C_1 : Kecepatan gelombang di kontur pertama

C_2 : Kecepatan gelombang di kontur selanjutnya

Sesuai dengan asumsi sebelumnya, bahwa energi gelombang antara dua ortogonal adalah konstan, maka tenaga gelombang yang terkandung pun dianggap konstan. Apabila jarak antara garis ortogonal adalah b maka tenaga gelombang di laut dalam dan di suatu titik di laut yang lebih dangkal adalah:

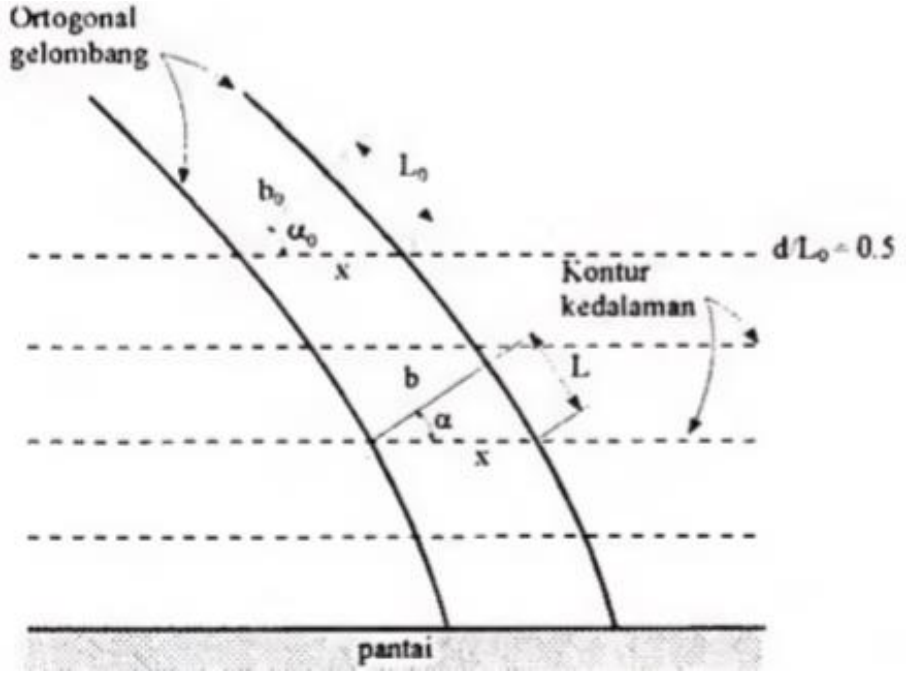
$$P = \frac{n_0 E_0 b_0}{T_0} = \frac{nEb}{T} \qquad (2.28)$$

Jika kita substitusikan dengan persamaan 2.15 maka diperoleh persamaan:

$$\frac{H}{H_0} = \sqrt{\frac{n_0 L_0}{nL}} \sqrt{\frac{b_0}{b}} \tag{2.29}$$

Suku pertama pada ruas kanan menyatakan pengaruh pendangkalan (K_s) sedang suku kedua merupakan pengarurh garis orthogonal konvergen atau divergen yang disebabkan oleh refraksi gelombang (K_r) sehingga dalam kata lain persamaan 2.29 dapat disederhanakan menjadi:

$$H = K_s K_r H_0 \tag{2.30}$$



Gambar 2. 7 Refraksi gelombang pada kontur lurus dan sejajar (Triatmodjo, 1999)

2.2.7 Gelombang Pecah

Gelombang yang menjalar dari perairan dalam menuju perairan dangkal mengalami perubahan bentuk yang disebabkan kedalaman laut. Pengaruh tersebut mulai terasa ketika kedalaman laut lebih kecil dari setengah kali panjang gelombang. Semakin mendekati pantai, puncak gelombang semakin tajam dan lembah gelombang semakin datar. Selanjutnya ketika tinggi gelombang berbanding panjangnya lebih kecil dari 0.142, gelombang tersebut mengalami ketidakstabilan dan gelombang pecah (Triatmodjo, 1999).

Apabila gelombang bergerak menuju laut dangkal, kemiringan batas tersebut tergantung pada kedalaman relatif ‘d/l’ dan kemiringan dasar laut ‘m’.

Ketika kemiringan gelombang mengalami batas maksimumnya, gelombang tersebut akhirnya tidak stabil dan pecah di kedalaman tertentu. Selanjutnya, tinggi gelombang pecah dinotasikan dengan H_b dan kedalaman gelombang pecah dinotasikan dengan d_b.

Weggel (1972), dalam CERC (1984) memberikan persamaan empiris yang mengorelasikan antara H_b/H'_0 dan d_b/H_b. Persamaan tersebut dituliskan sebagai berikut:

$$\frac{d_b}{H_b} = \frac{1}{b-(\frac{aH_b}{gT^2})} \tag{2.31}$$

Dengan a dan b merupakan fungsi dari kemiringan dasar laut

$$a = 43.75\,(1 - e^{-19m}) \tag{2.32}$$

$$b = \frac{1.56}{(1+e^{-19.5m})} \tag{2.33}$$

2.2.8 ECMWF (ERA5)

European Centre for Medium Range Weather Forecasts (ECMWF) merupakan lembaga yang telah mengembangkan selama 100 tahun meteorologi dinamik dan sinoptik, juga selama 50 tahun mengembangkan prediksi cuaca secara numerik (NWP) (Persson, 2001)

Dalam melakukan peramalan gelombang, ECMWF menggunakan WAM Model dalam peramalannya. WAM model mendeskripsikan perubahan spektrum gelombang disebabkan oleh adveksi, masukan angin, disipasi dan interaksi antar gelombang non linear. Spektrum gelombang tersebut menyatakan distribusi energi gelombang atas frekuensi dan arah, juga memberikan spesifikasi laut secara lengkap (Persson, 2001). WAM Model telah terbukti baik dan telah dipergunakan lebih dari 40 grup riset seluruh dunia untuk melakukan peramalan gelombang (Komen et al,1994).

ERA5 merupakan produk terbaru dari ECMWF yang akan menggantikan penggunaan ERA-I. ERA5 dan ERA-I sama-sama mencakup data global dengan resolusi spasial horizonal 80 km untuk ERA-I dan 31km untuk ERA5. (Wang et al, 2019) Untuk lebih lengkapnya, Hoffman et al (2019) menyajikan perbedaan ERA5 dan ERA-I dalam Tabel 2.1

Tabel 2. 1 Perbedaan ERA5 dan ERA-Interim Reanalysis (Hoffman et al, 2019)

	ERA5	ERA-Interim
Characteristics		
Implementation date	8 Mar 2016	12 Dec 2006
Horizontal resolution	T_L636 (~ 31 km)	T_L255 (~ 79 km)
Horizontal transform grid[a]	0.3° × 0.3°	0.75° × 0.75°
Vertical resolution	137 levels up to 0.01 hPa	60 levels up to 0.1 hPa
Temporal resolution	Hourly	6-hourly
IFS cycle[b]	41r2	31r2
Period covered	1950–now	1979–now
Reference	Hersbach and Dee (2016)	Dee et al. (2011)
Resource requirements		
CPU time (s)	3130	350
Main memory (MB)	5800	530
Disk storage (GB)	450	5.8

[a] These entries refer to the longitude × latitude grids on which we retrieved the data from ECMWF.
[b] For a detailed description of ECMWF's Integrated Forecast System (IFS) cycle characteristics see https://www.ecmwf.int/en/forecasts/documentation-and-support/changes-ecmwf-model (last access: 14 November 2018).

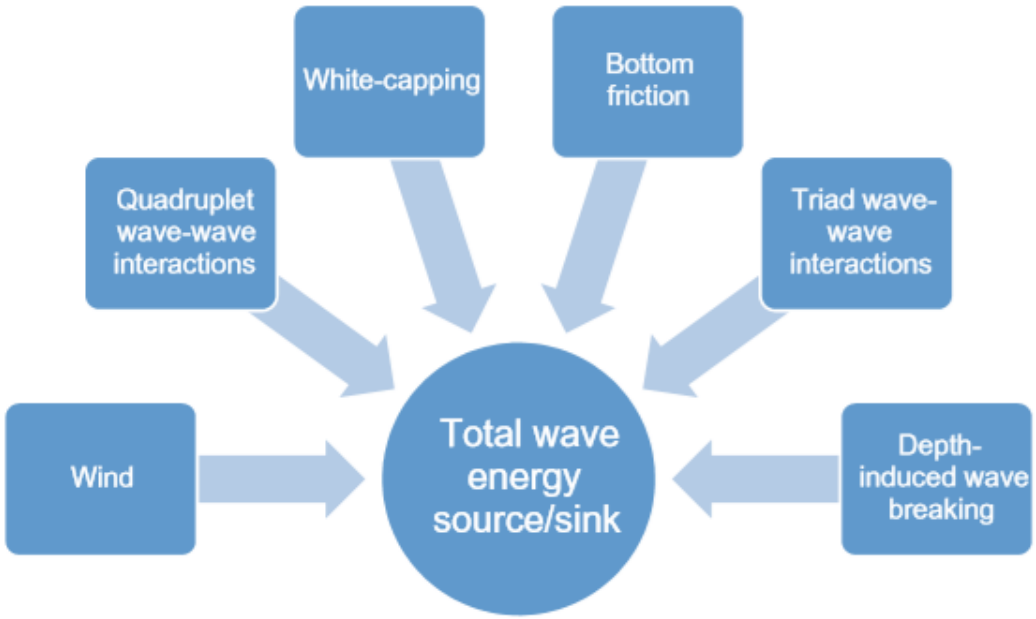
2.2.9 Pemodelan Gelombang

Pemodelan gelombang sangat diperlukan dalam menganalisis potensi energi gelombang di lokasi setempat. Pemodelan gelombang bertujuan untuk mengetahui lokasi dimana nantinya pembangkit listrik tenaga gelombang laut akan ditempatkan. Pemodelan gelombang juga dibutuhkan untuk mengetahui penjalaran gelombang dari sumber data yang dimiliki menuju lokasi kajian. Selain itu, untuk menganalisis potensi energi gelombang laut diperlukan data dalam kurun waktu jangka panjang yang mana sulit terakomodasi oleh pengukuran lapangan. (Pecher, 2016)

Pecher (2016) menyatakan, model spektral gelombang generasi ketiga seperti SWAN, TOMAWAC, dan MIKE21 SW lebih sesuai dalam proses penjalaran gelombang dari lokasi yang teramat jauh, lepas pantai, menuju lokasi potensial pembangkit listrik tenaga gelombang laut, dekat pantai. Persamaan keseimbangan yang digunakan oleh model spektral gelombang generasi ketiga yakni:

$$\frac{\delta}{\delta t}N + \nabla_x . \left[C_g + U\right]N + \frac{\delta C_\sigma N}{\delta \sigma} + \frac{\delta C_\theta N}{\delta \theta} = \frac{S_{tot}}{\sigma} \qquad (2.34)$$

Persamaan ruas kiri menyatakan total aksi gelombang yang terkandung, selain yang terdapat masukan *source/sinks* gelombang (ruas kanan). Aksi gelombang, dimana energi gelombang dibagi dengan frekuensi, digunakan sebab ia memperhatikan pengaruh arus sedang energi gelombang tidak. Bagaimanapun, tidak adanya pengaruh arus berpengaruh terhadap berkurangnya persamaan keseimbangan energi gelombang (Pecher, 2016).



Gambar 2. 8 Variabel yang digunakan dalam model spektral gelombang generasi ketiga (Pecher, 2016)

2.2.10 MIKE 21 SW

MIKE 21 Spectral Wave Model FM (MIKE 21 SW) merupakan generasi terbaru dari model spektral angin-gelombang berdasarkan *mesh* yang tidak terstruktur. Model tersebut mensimulasikan kenaikan, dekomposisi, dan transformasi angin yang menghasilkan gelombang di pinggir pantai maupun laut dalam. (DHI, 2017)

Terdapat dua formulasi yang dimuat oleh MIKE 21 SW yakni:

1. Formulasi parametrik yang dipisahkan berdasarkan arah
2. Formulasi spektral sepenuhnya

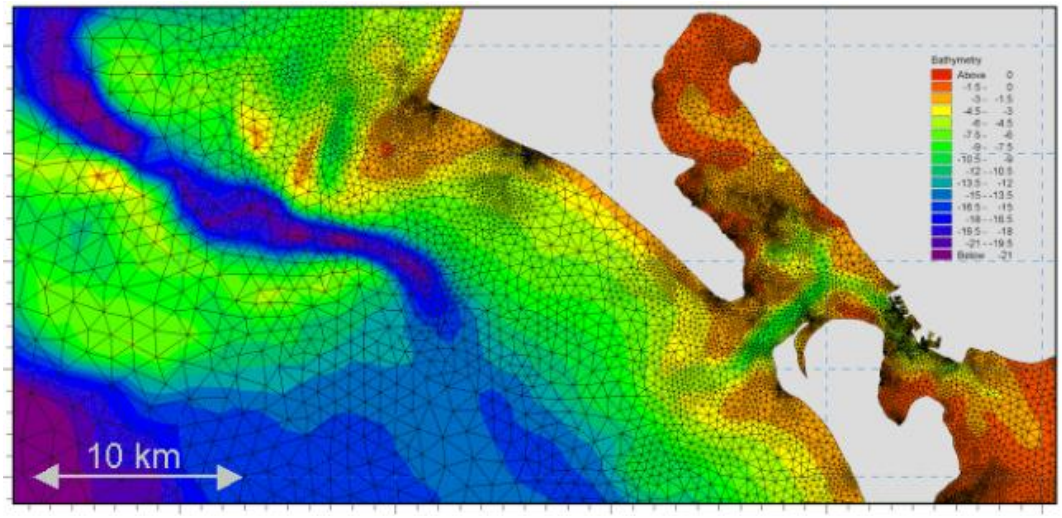
MIKE 21 SW juga memuat fenomena-fenomena fisis yang meliputi:

1. Kenaikan gelombang yang disebabkan oleh angin
2. Interaksi gelombang dan gelombang non-linear
3. Disipasi akibat *white-capping*

4. Disipasi akibat gesekan
5. Disipasi akibat gelombang pecah sebab pengaruh kedalaman.
6. Refraksi dan pendangkalan akibat variasi kedalaman
7. Interaksi gelombang dan arus
8. Efek terhadap waktu, yang bergantung kedalaman air, genangan, dan pengeringan.

MIKE 21 SW umum digunakan untuk memperkiraan keadaan gelombang baik di lepas pantai maupun area pantai. Pengaplikasian MIKE 21 SW umumnya diperuntukkan untuk struktur lepas pantai, struktur pantai, atau pelabuhan yang memerlukan estimasi beban gelombang demi menunjang keselamatan dan keekonomisan.

MIKE 21 SW juga dapat diaplikasikan untuk memprediksi gelombang simultan serta analisis dalam skala regional maupun lokal. Resolusi spasial dan temporal yang kasar biasanya dipergunakan untuk *mesh* bagian regional dan *mesh* resolusi tinggi yang menyesuaikan kedalaman di definisikan pada perairan dangkal. (DHI, 2017)



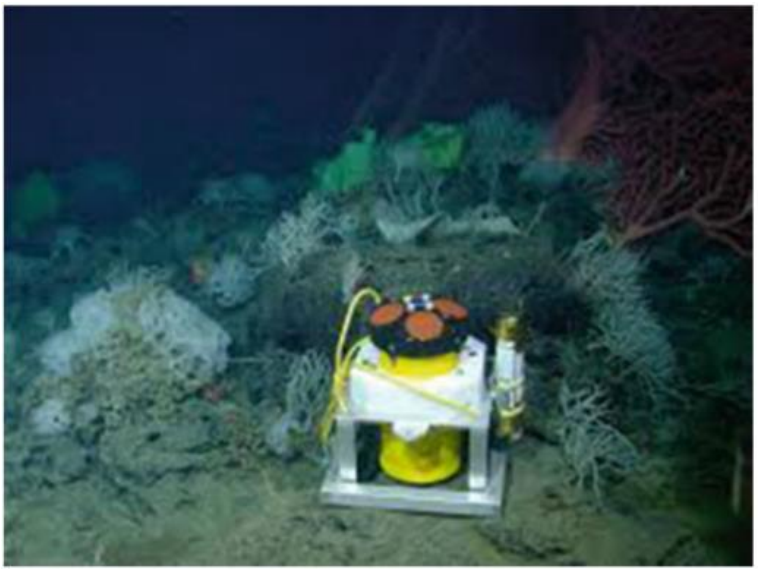
Gambar 2. 9 Contoh komputasi *mesh* pada MIKE 21 (DHI, 2017)

2.2.11 Pengukuran Gelombang Laut

Pengukuran gelombang laut sangat diperlukan untuk mengetahui sumber energi gelombang. Meskipun memungkinkan untuk memperkirakan gelombang pada beberapa lokasi dengan analisis dan pemodelan gelombang, pengukuran lapangan diperlukan dalam validasi model numerik (Pecher, 2016).

Salah satu alat yang digunakan untuk pengukuran dengan metode akustik menggunakan jenis ADCP (*Acoustic Doppler Current Profiler*) tertentu, yang mampu mengukur arus dan gelombang sekaligus. Metode akustik memiliki tingkat akurasi yang cukup tinggi dibandingkan metode visual secara langsung. Metode ini memanfaatkan gelombang suara untuk mendeteksi tinggi permukaan air pada saat tertentu, dan dilakukan dari waktu ke waktu, dan kemudian data tinggi gelombang yang tercatat atau terekam setiap kali pengukuran diolah dengan cara menggambarkannya dalam deretan waktu selama pengukuran (Mukhtasor, 2014)

Keuntungan lain dari penggunaan menggunakan alat ADCP ialah tersedianya informasi arus laut, meskipun demikian, kekurangan pada beberapa alat ini adalah penyimpanan data berada di atas kapal. Artinya kualitas data gelombang tidak dapat diketahui sampai dengan alat tersebut dinaikkan. (Pecher, 2016)



Gambar 2. 0 *Acoustic Doppler Current Profiler* (Pecher, 2016)

2.2.12 Kategori Potensi Energi Laut

Terdapat beberapa kategori yang disepakati oleh para ahli bidang energi laut di Indonesia dengan mengadopsi jenis kategori yang telah digunakan di Irlandia dalam Ocean Energy in Ireland: An Ocean Strategy for Ireland (Marine Institute and Sustainable Energy Ireland, 2005):

1. Potensi teoritis: Kandungan energi bruto dari sumber daya. Potensi teoritis ini dihasilkan dari pemodelan di wilayah laut yang berpotensi. Sehingga perhitungan potensi ini berdasarkan asumsi dan data-data lapangan.

2. Potensi teknis: Sumber daya teoritis yang dibatas oleh efisiensi dari alat teknologi yang tersedia. Potensi ini juga telah mempertimbangkan teknologi yang digunakan untuk survei seperti bathimetri (kedalaman laut). Teknologi yang tersedia pun juga termasuk "*proven design"*
3. Potensi praktis: Sumber daya teknis yang dibatasi oleh faktor fisik teknologi yang tidak kompatibel (cocok). Perhitungan potensi ini juga memperhatikan bagaimana kondisi dasar laut, jalur lalu lintas kapal, jaringan pipa dasar laut, dan jarak kabel transmisi.
4. Potensi terakses: Sumber daya praktis yang dibatasi oleh kendala kelembagaan dan regulasi (peraturan). Isu lingkungan, konservasi, tata ruang (terumbu karang, organisme laut, budaya, pariwisata) juga merupakan faktor yang dipertimbangkan.
5. Potensi operasional: Sumber daya terakses yang dibatasi oleh kelayakan ekonomi, seperti akses infrastruktur yang terdiri dari jalan, pelabuhan, jaringan grid listrik yang bisa dimanfaatkan masyarakat. Selain itu, sumber daya manusia pengelola juga harus tersedia.

2.2.13 Teknologi Konversi Energi Gelombang Laut

Gerakan gelombang laut dapat dikonversi menjadi energi mekanik dengan teknologi yang sesuai (Guney, 2015). Teknologi tersebut memanfaatkan karakteristik fisika berupa perpindahan energi dalam badan air laut yang berbentuk fenomena gelombang laut (Mukhtasor, 2014).

Selanjutnya, energi kinetik gelombang laut tersebut dikonversi dengan menyerap dan mengakumulasi energi gelombang laut agar dapat menghasilkan energi listrik dari generator. Energi yang dihasilkan dari gelombang laut biasanya dinyatakan dalam daya per satuan panjang (Mukhtasor, 2014).

Menurut Rodrigues (2015), saat ini terdapat 40 jenis mekanisme untuk mengeksploitasi gelombang laut. Rodrigues mengklasifikasi sistem konversi energi gelombang menjadi dua bagian:

1. Berdasarkan pada lokasi instalasi seperti pantai, dekat pantai dan lepas pantai.

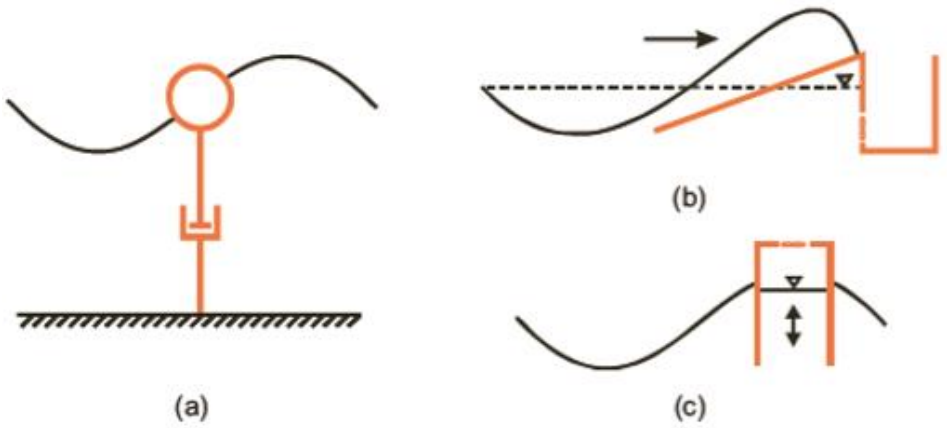
Menurut Mukhtasor (2014), pembangkit listrik tenaga gelombang laut yang berada di pantai memiliki keuntungan dalam perawatan dan terhindar dari kondisi

ekstrim (badai). Namun teknologi yang dibangun dipantai akan menghasilkan energi listrik yang relatif rendah.

Pembangkit listrik yang berada di dekat pantai seringkali terhubung dengan dasar laut sesuai dengan jenis alat energi gelombang yang berisolasi. Pembangkit ini akan menghasilkan energi yang relatif lebih besar dibandingkan yang dibangun di pantai.

Terakhir, fasilitas yang berada di lepas pantai umumnya berada di perairan dalam. Penempatan di lokasi ini dapat memanfaatkan potensi energi yang lebih besar. Akan tetapi, konstruksi dan perawatan alat jauh lebih sulit oleh karena tinggi gelombang yang lebih tinggi (Mukhtasor, 2014)

2. Berdasarkan prinsip kerja (mekanisme *power take-off)* seperti perangkat dengan mekanisme *overtopping*, *oscillating water columns*, dan *wave activated bodies.*



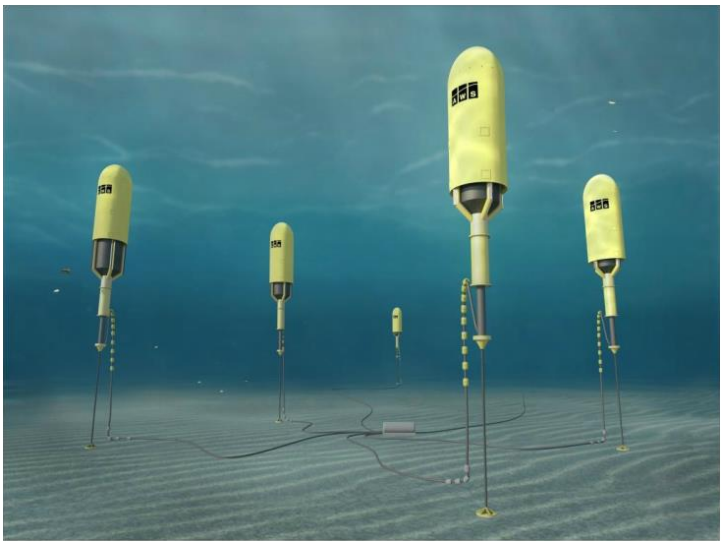
Gambar 2. 4 Contoh teknologi berdasarkan prinsip kerja. a) *wave activated bodies*, b) *overtopping devices*, c) *oscillating water columns.* (Guney, 2015)

Beberapa klasifikasi yang diberikan Mukhtasor (2014) berdasarkan cara pengoperasiannya adalah:

a. *Submerged pressure differential*

Alat *submerged pressure differential* adalah point absorber yang berada tenggelam di bawah laut yang menggunakan perbedaan tekanan di atas alat terdiri dari dua bagian: pondasi tetap pada dasar laut dan silinder terisi udara yang dapat bergerak naik-turun. Ketika puncak gelombang melewati alat tersebut, tekanan air di atas alat akan memampatkan udara di dalam silinder sehingga bagian atas silinder bergerak ke bawah. Ketika lembah gelombang lewat, tekanan air di atas alat akan

berkurang dan bagian atas silinder naik. Keuntungan dari alat ini adalah akibat tenggelam penuh di dasar laut, maka risiko tabrakan dengan benda yang mengapung menjadi sangat kecil dan mengurangi dampak visual. Sebab bagian dari alat ini melekat di dasar laut, maka alat ini biasanya terletak di dekat pantai (*near shore*). Salah satu contoh alat ini adalah Archimides Wave Swing yang ditunjukkan pada Gambar 2.12

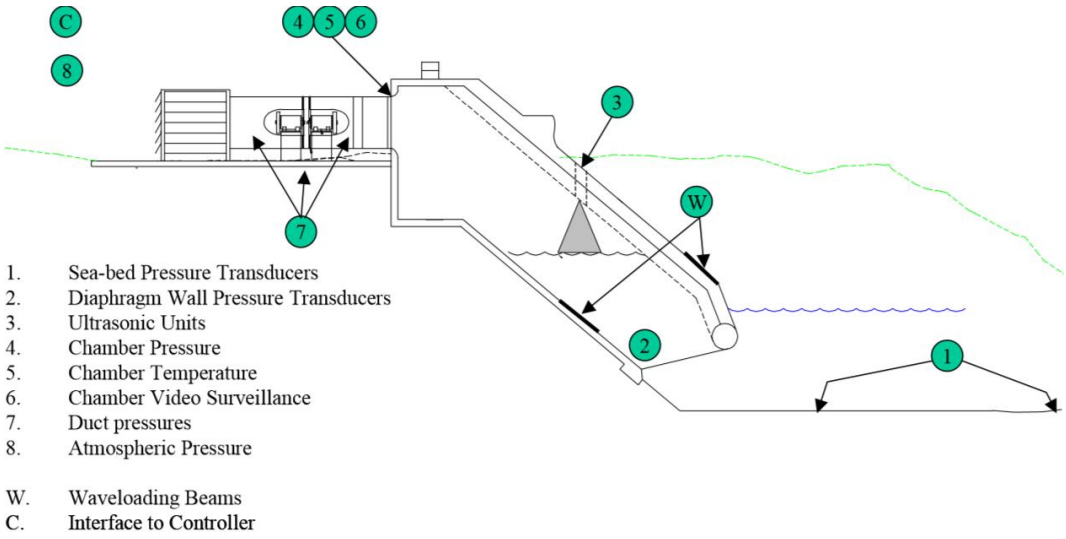


Gambar 2. 5 Archimides Wave Swing
(http://www.awsocean.com/archimedes-waveswing.html)

b. *Oscillating Water Column* (OWC)

Oscillating Water Column terdiri dari ruangan yang terbuka ke laut di bawah permukaan air. Ketika hempasan gelombang sampai ke alat tersebut, air masuk ke dalam ruangan dan menkan udara yang ada di ruangan. Udara tersebut akan lolos ke atmosfer melalui turbin. Ketika air gelombang mundur, udara akan tertarik melalui turbin juga. Turbin *Well* bertekanan rendah sering diaplikasikan pada alat ini karena turbin tersebut dapat berutar dalam arah yang sama terlepas dari arah alirannya, sehingga menghilangkan kebutuhan untuk mengarahkan kembali aliran udara. Salah satu keunggulan dari konsep OWC ini ialah sederhana dan awet.

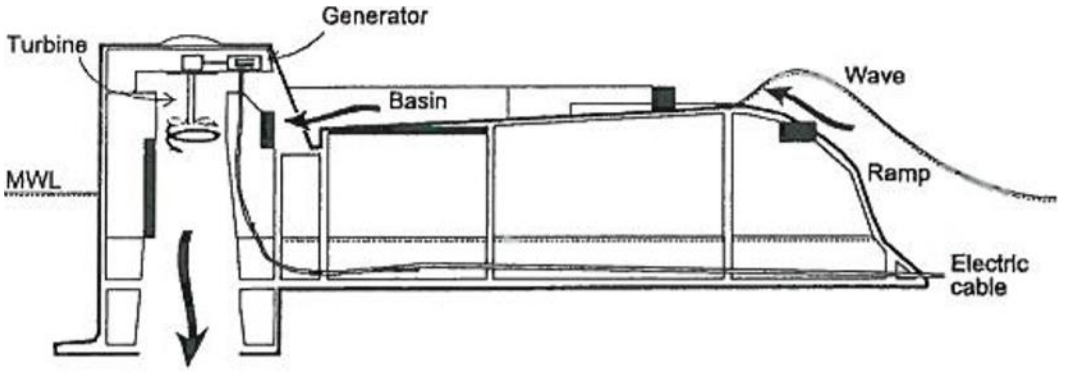
Wavegen Limpet merupakan teknologi yang telah dibangun di tepi pantai Pulau Islay, Skotlandia Barat, yang telah memproduksi listrik untuk kebutuhann jaringan listrik nasonal. Juga terdapat konsep OWC yang dipakai oleh Oceanlix, pengembang yang berasal dari Australia, yang ditempatkan di daerah dekat pantai.



Gambar 2. 6 Wavegen Limpet (Boake, 2002)

c. *Overtopping*

Alat konverter energi gelombang jenis *overtopping* memiliki dinding seperti bendungan atau waduk terisi oleh gelombang yang masuk, sehingga menyebabkan adanya kenaikan tekanan air akibat hempasan air laut. Energi dari air yang jatuh selanjutnya digunakan untuk memutar turbin hidro. Lalu air yang telah masuk dilepaskan kembali melalui turbin internal dan kemudian kembali ke laut. Alat ini dibangun khusus pada suatu platform yang mengambang dan terletak di lepas pantai. Alat ini menggunakan sepasang reflector berbentuk kurva yang besar yang berfungsi untuk mengumpulkan gelombang ke bagian tengah penerima. Contoh koverter jenis *overtopping* yang telah dibuat adalah Wave Dragon



Gambar 2. 7 Prinsip kerja Wave Dragon (Soerensen, 2000)

d. *Oscillating Wave Surge Converter*

Oscillating wave surge converter terdiri dari deflektor berengsel yang tegak lurus terhadap arah gelombang (sebuah terminator). Alat ini bergerak kembali

dengan memanfaatkan kecepatan partikel horizontal dari gelombang. Salah satu contoh teknologi yang menerapkan jenis ini adalah Aquamarine Power Oyster yang ditempatkan di dekat pantai, dimana bagian atas deflector berada di permukaan air laut dan engselnya berada di dasar laut. Tutup berengsel Oyster, yang hampir seluruhnya di bawah air, bergerak ke belakang dan depan ketika gelombang ada di dekat pantai. Gerakan tutup Oyster akan membuat dua piston hidrolik mendorong air bertekanan tinggi di daratan melalui pipa bawah laut untuk menggerakkan turbin hidro-listrik konvensional.

Contoh *oscillating wave surge converter* lainnya adalah Wave Roller. Wave Roller memiliki panel dengan dimensi 18 m x 10 m. Panel tersebut berfungsi untuk menyalurkan energi *surge* gelombang yang tertangkap pada panel menuju sistem hidrolik bertekanan tinggi. Fluida pada sistem hidrolik tersebut selanjutnya ditransmisikan menggunakan kabel dasar laut. Terdapat dua sumber mengenai kedalaman perairan tempat WaveRoller beroperasi seperti yang disampaikan oleh Havis (2019):

Tabel 2. 2 Kondisi operasi kedalaman Wave Roller (Havis, 2019)

Kedalaman	**Keterangan**	**Sumber**
8-20 meter	Kondisi panel tenggelam keseluruhan atau sebagian berada di atas permukaan laut	(Mäki et al., 2014)
10-15 meter	Kondisi panel tenggelam keseluruhan atau sebagian berada di atas permukaan laut	(AW-Energy, 2016)

Berdasarkan kedua operasi kedalaman tersebut Wave Roller dapat beroperasi pada kondisi panel tenggelam keseluruhan atau sebagian berada di permukaan. Hal ini mengindikasikan keungkinan adaptasi alat terhadap pasang surut. Dengan ukuran panel pada fase komersil 18 x 10 meter, satu alat Wave Roller memiliki kapasitas produksi energi 350 kW (AW-Energy, 2016; Havis, 2019)

Gambar 2. 8 Wave Roller (AW-Energy)

2.2.14 Kelebihan dan Kekurangan Energi Gelombang Laut

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

a. Kelebihan

1. Potensi energi gelombang laut yang sangat melimpah.
2. Energi gelombang laut merupakan energi yang ramah lingkungan. Energi gelombang tidak mengeluarkan zat berbahaya terhadap lingkungan dan dapat mengurangi emisi gas rumah kaca.
3. Energi gelombang laut termasuk kategori energi terbarukan
4. Gelombang laut selalu ada sepanjang hari sehingga produksi listrik dapat diprediksi, direncanakan dan diatur.
5. Biaya operasi rendah
6. Tidak ada dampak polusi di daerah sekitar apabila terjadi bencana alam, tidak seperti pembangkit listrik dari bahan bakar fosil (sebagai contohnya, kecelakaan tumpahan minyak yang mencemari daerah sekitar dan hal ini tidak akan terjadi pada energi gelombang laut)
7. Jeni salat teknologi energi gelombang laut bisa dipasang baik di permukaan laut maupun tenggelamn sehingga gangguan pemandangan secara estetika dapat diminimalisai.

8. Penangkapan energi gelombang laut oleh konverter mengakibatkan pengurangan benturan gelombang terhadap garis pantai, sehingga kerusakan dan erosi pantai dapat dikurangi.
9. Pembangkit listrik energi gelombang laut dapat dibangun dalam berbagai ukuran menyesuaikan kebutuhan dan biaya yang tersedia.
10. Energi gelombang laut lebih efisien dibanding dengan energi angin, karena densitas air yang lebih besar daripada angin.

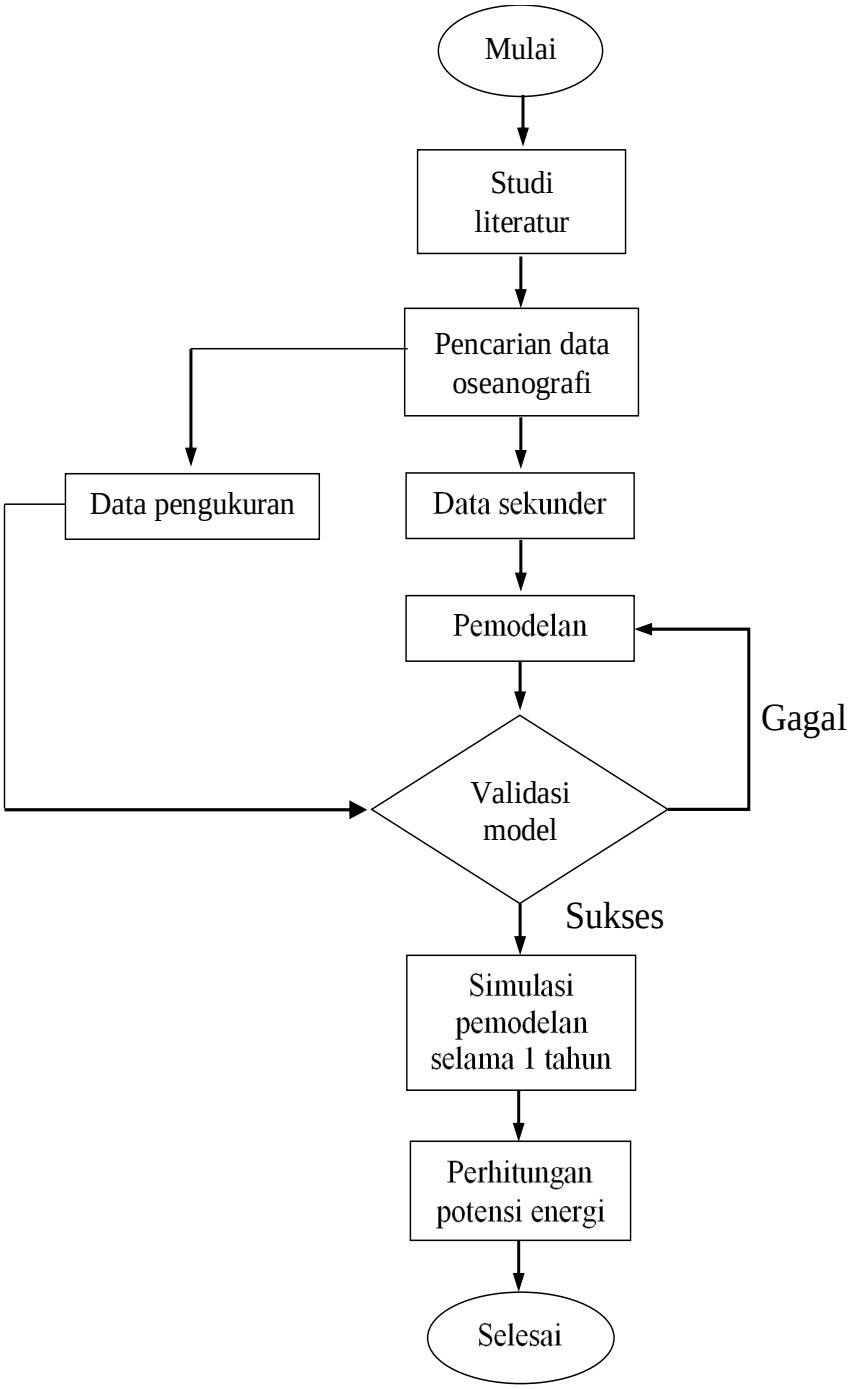
b. Kekurangan

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

(Halaman ini sengaja dikosongkan)

BAB III
METODOLOGI PENELITIAN

3.1 Diagram Alir



Gambar 3. 1 Diagram alir penelitian

3.2 Penjelasan Diagram Alir

Berdasarkan Gambar 3.1 proses pengerjaan tugas akhir dapat diurai sebagai berikut:

3.2.1 Studi Literatur

Pada tahap studi literatur penulis mencari referensi-referensi yang menunjang penelitian. Referensi tersebut diantaranya ialah tesis, jurnal ilmiah, buku rujukan, serta hal-hal lain yang menunjang kebutuhan penelitian.

3.2.2 Pencarian Data Oseanografi

Pencarian data oseanografi diperoleh dari data pengukuran lapangan dan data sekunder. Adapun perinciannya ialah sebagai berikut:

1. Data pengukuran lapangan

Data pengukuran lapangan diperoleh dari pengukuran yang dilakukan oleh ITSK (2019). Pengukuran tersebut dilakukan sejak 12 Maret 2019 (13.30 WIB) s.d. 16 Maret 2019 (23.50 WIB) dengan interval 10 menit menggunakan Sontek Agronaut-XR *Multi-Cell Doppler Current Profiler* 750 kHz yang diletakkan di koordinat 8.64114° LS, 114.05526° BT pada kedalaman 20 m.

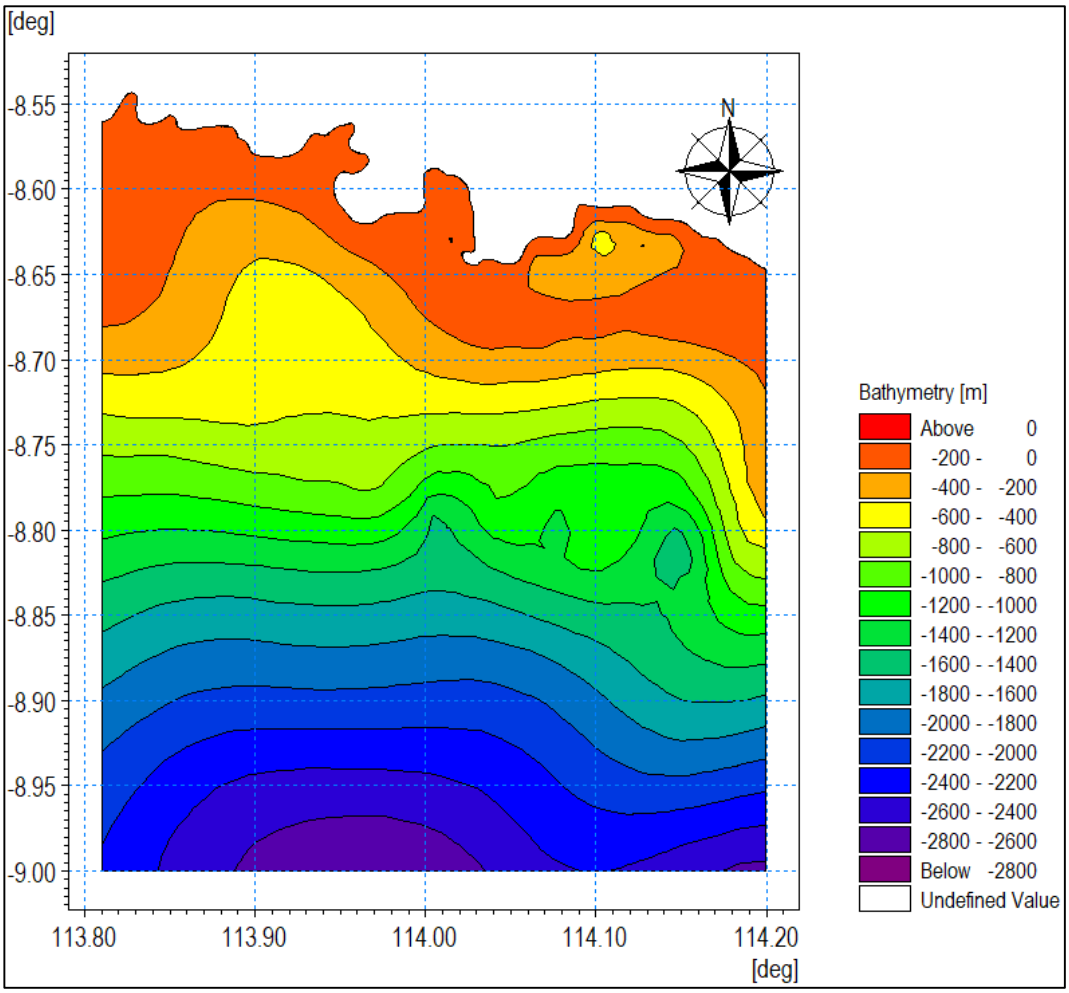
Gambar 3. 2 Titik pengukuran (Google Earth, 2019)

2. Data batimetri

Data batimetri diperoleh dari penyedia data *Global Multi-Resolution Topography* (GMRT) seluas 8.5°–9.5° LS, 113.8°–114.2° BT dengan resolusi 61.15 m x 61.15 m.

GMRT merupakan kumpulan multi resolusi dari data sonar *multibeam* yang telah diolah oleh peneliti dan berbagai institusi dunia. Data tersebut selanjutnya di

proses oleh tim MGDS dan kemudian di gabung menjadi data elevasi global. (Ryan et al, 2009)



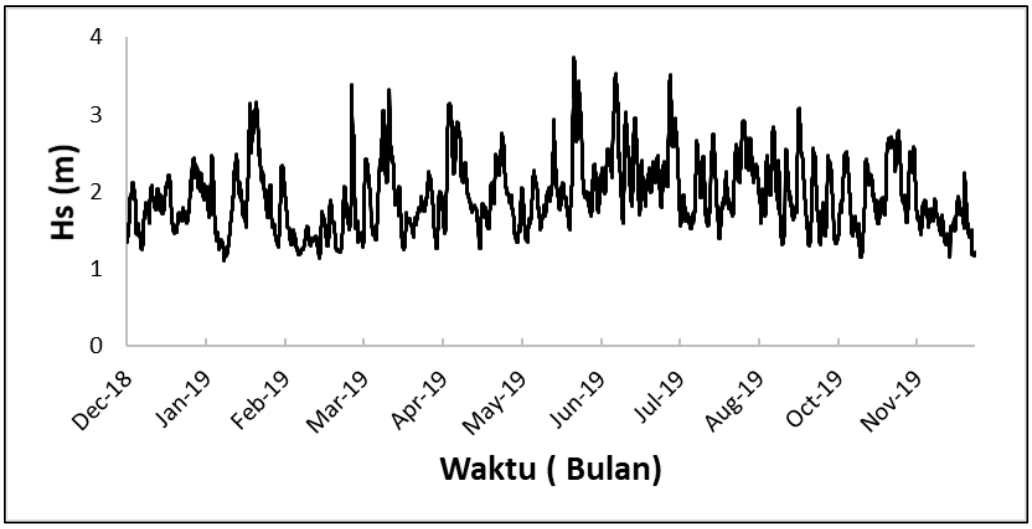
Gambar 3. 3 Batimetri di wilayah kajian (GMRT, 2019)

3. Data Gelombang

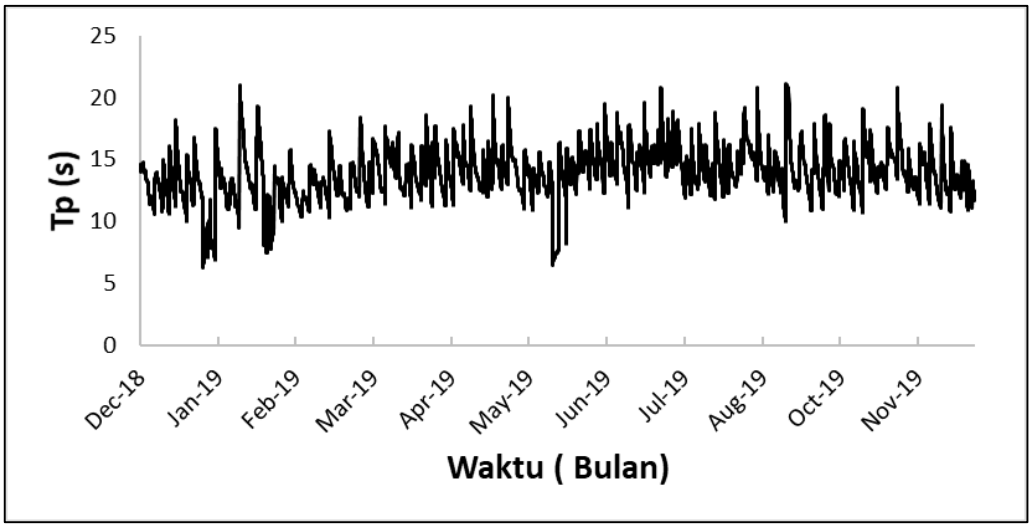
Data gelombang merupakan data yang sangat dibutuhkan dalam keberlangsungan pemodelan. Data gelombang yang dipakai dalam pemodelan adalah data gelombang ERA5 yang bersumber dari *European Centre for Medium Range Weather Forecasts* (ECMWF).

Gambar 3. 4 Titik pengambilan data ERA5 dan pengukuran (Google Earth, 2019)

Data ERA5 yang diunduh berada di lepas pantai pada koordinat 9.0° LS, 114° BT dengan komponen tinggi gelombang signifikan, periode puncak gelombang, dan rerata arah gelombang. Data ERA5 yang diunduh terhitung sejak Desember 2018 s.d. November 2019 dengan interval waktu 1 jam. Sebagai visualisasi, data ERA5 berupa komponen tinggi gelombang signifikan dan periode puncak gelombang disajikan dalam Gambar 3.5 dan 3.6.



Gambar 3. 5 Grafik tinggi gelombang signifikan Des 18─Nov 19, koordinat 9° LS, 114 °BT (ECMWF, 2019)

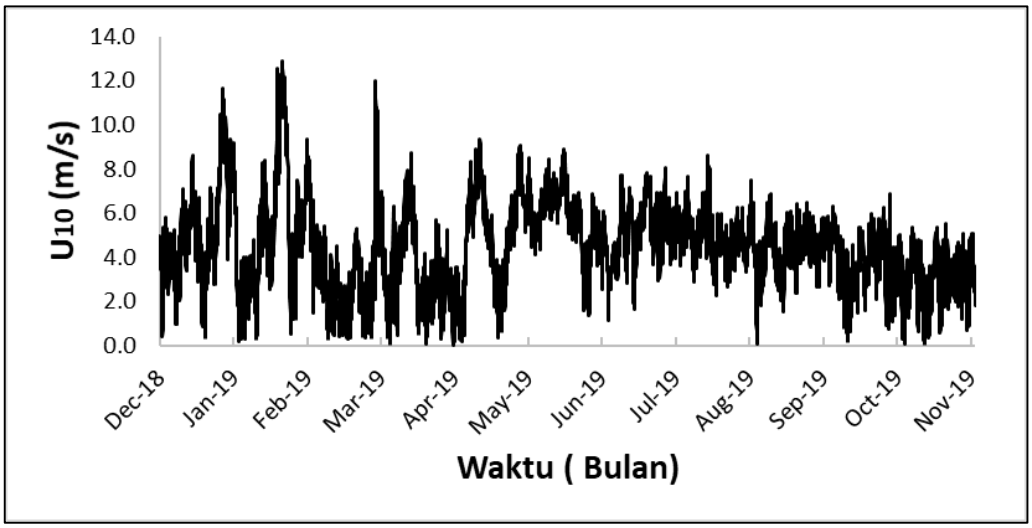


Gambar 3. 6 Grafik periode puncak gelombang Des 18─Nov 19, koordinat 9° LS, 114 °BT (ECMWF, 2019)

4. Data Angin

Data angin juga digunakan sebagai masukan pemodelan. Sama seperti data gelombang, data angin yang digunakan ialah data angin ERA5 di koordinat 9° LS, 114 °BT yang disediakan oleh ECMWF. Data yang digunakan terhitung sejak Desember 2018 s.d. November 2019 dengan interval 1 jam,

Komponen data angin yang diperoleh dari ERA5 yakni kecepatan angin sumbu x (*u velocity*) dan kecepatan angin sumbu y (*v velocity*) yang dihitung di ketinggian 10 m diatas rerata permukaan laut. Data tersebut kemudian diolah menjadi kecepatan angin dan arah angin sebagai masukan pemodelan.



Gambar 3. 7 Grafik kecepatan angin (U_{10}) Des 18─Nov 19 di koordinat 9° LS, 114 °BT (ECMWF, 2019)

3.2.3 Pemodelan

Tahap selanjutnya ialah melakukan pemodelan menggunakan perangkat lunak MIKE 21 SW secara dua dimensi. Pemodelan ini bertujuan untuk memodelkan penjalaran gelombang di daerah studi. Hal ini perlu dilakukan sebab data yang diperoleh dari data ERA5 ECMWF ialah data gelombang pada lepas pantai sedang data yang diperoleh secara pengukuran terdapat di dekat pantai.

Dengan memasukkan variabel-variabel yang bepengaruh dalam keberlangsungan pemodelan, pemodelan terlebih dahulu dilakukan dalam kurun waktu 5 hari sesuai dengan data pengukuran lapangan. Hal ini dimaksudkan demi memudahkan dalam mengevaluasi model numerik. Apabila model numerik telah dianggap mendekati dengan keadaan sesungguhnya, pemodelan dilanjutkan dengan interval yang lebih panjang yakni 1 tahun. Luaran dari pemodelan ini ialah tinggi gelombang signifikan, periode puncak gelombang, yang nantinya akan divalidasikan dengan data pengukuran.

3.2.4 Validasi Model

Setelah dilakukan pemodelan, selanjutnya ialah membandingkan luaran model numerik terhadap data pengukuran. Luaran yang dibandingkan ialah komponen tinggi gelombang signifikan dan periode puncak gelombang pada tanggal 12 Maret 2019 (13.30 WIB) s.d. 16 Maret 2019 (23.50 WIB). Pemodelan dilakukan secara iterasi demi menghasilkan luaran yang paling mendekati dengan kondisi lapangan.

Evaluasi model numerik dilakukan dengan perhitungan persentase rata-rata galat absolut atau *Mean Absolute Percentage Error* (MAPE). Perhitungan MAPE dituliskan sebagai berikut:

$$\text{MAPE} = \frac{1}{n}\sum\left(\frac{|h_0 - h_1|}{h_0}\right) x\ 100\% \qquad (3.1)$$

dengan h_o adalah datum pengukuran, h_1 adalah datum luaran model, dan n adalah jumlah datum.

Menurut Lewis (1982) dalam Moreno (2013), terdapat kritera MAPE yang merepresentasikan tingkat keakurasian pemodelan. Kriteria MAPE tersebut dicantumkan dalam Tabel 3.1 Apabila model numerik telah tergolong baik, pemodelan numerik dilanjutkan dengan *time step* 1 tahun terhitung Desember 2018 s.d. November 2019 dengan interval 1 jam.

Tabel 3. 1 Kriteria MAPE (Moreno, 2013)

MAPE	Interpretasi
<10%	Sangat Baik
10─20%	Baik
20─50%	Cukup
>50%	Buruk

3.2.5 Simulasi Model Numerik 1 Tahun

Tahap ini merupakan tahap lanjutan dari model numerik yang telah divalidasikan dengan data pengukuran. Dengan pengaturan dan titik yang sama, simulasi dilakukan terhitung Desember 2018 s.d. November 2019 dengan interval 1 jam. Serupa dengan sebelumnya, luaran yang diperoleh berupa tinggi gelombang signifikan dan periode puncak gelombang. Luaran tersebut yang kemudian akan digunakan untuk menghitung potensi daya dan energi di lokasi kajian.

3.2.6 Perhitungan Potensi Energi

Pada tahap ini, hasil model numerik sebelumnya digunakan untuk menghitung potensi daya dan energi di lokasi kajian selama satu tahun. Perhitungan potensi daya dan energi dilakukan pada kategori potensi teoritis dengan menggunakan persamaan dari Yong et al (2015) seperti yang telah disampaikan dalam bab sebelumnya. Tahapan ini merupakan tahapan terakhir sebelum membuat kesimpulan.

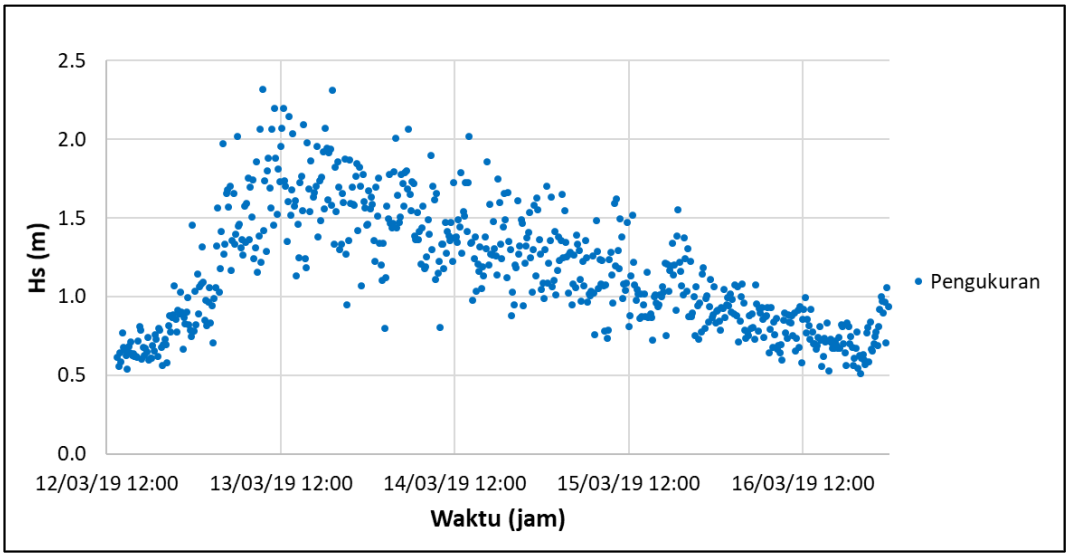
(Halaman ini sengaja dikosongkan)

BAB IV
HASIL DAN PEMBAHASAN

4.1 Data Pengukuran Lapangan

Data gelombang hasil pengukuran yang diperoleh dari ITSK (2019) meliputi tinggi gelombang signifikan dan periode puncak gelombang dengan interval 10 menit selama 5 hari sejak 12 Maret 2019 13.30 WIB s.d. 16 Maret 23.50 WIB.

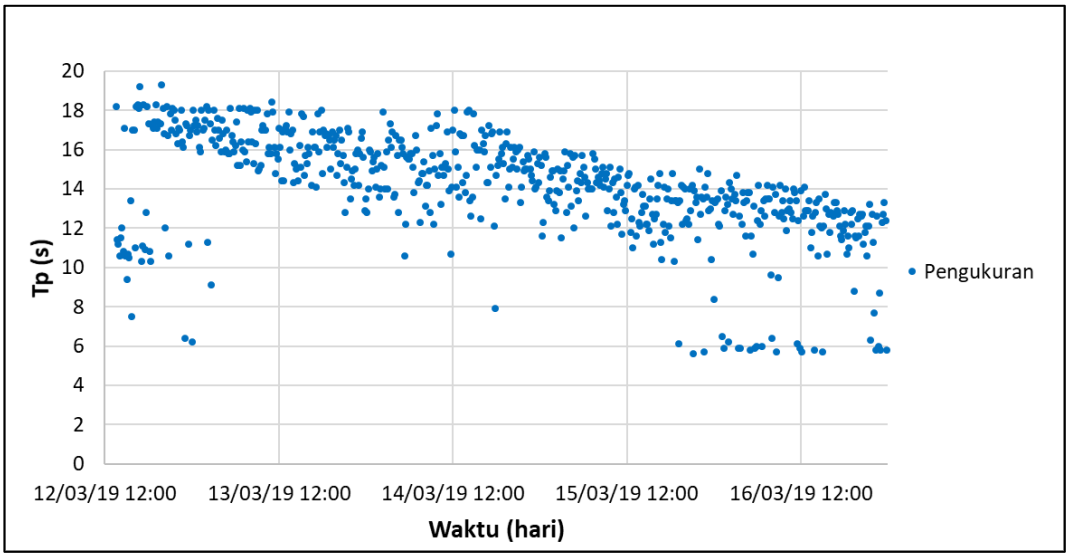
Dari hasil pengukuran tersebut didapatkan tinggi gelombang signifikan maksimum, minimum, dan rata-rata secara berturut-turut: 2,3 m, 0,5 m, dan 1,2 m. Sedangkan periode puncak gelombang di lokasi pengukuran secara berturut-turut didapatkan: 19,3 s, 5,6 s, dan 14,2 s. Data tersebut telah diolah dengan menghilangkan datum saat Hs = 1,8 m dan Tp = 22,4 s dengan menganggap besarnya nilai periode tersebut sebagai *outlier*



Gambar 4. 1 Grafik Hs pengukuran kedalaman 20 m (koordinat 8.64114° LS, 114.05526° BT)

Gambar 4.1. memvisualisasikan bahwasannya tinggi gelombang signifikan di lokasi pengukuran naik di hari pertama pengukuran dengan datum maksimum pada 13 Maret 2019 pukul 09.30 WIB. Pada hari-hari selanjutnya, tinggi gelombang signifikan cenderung mengalami penurunan dengan datum minimum pada 16 Maret 2019 pukul 20.00 WIB.

Sedangkan pada Gambar 4.2. terlihat bahwasannya periode puncak gelombang memiliki grafik yang konstan menurun secara landai dengan nilai datum maksimum pada 13 Maret 2019 pukul 16.20 WIB dan memiliki datum minimum pada 15 Maret 2019 pukul 21.10 WIB.



Gambar 4. 2 Grafik Tp pengukuran kedalaman 20 m
(koordinat 8.64114° LS, 114.05526° BT)

4.2 Karakteristik Lokasi Studi

Perairan Selatan Banyuwangi memiliki pantai yang berhadapan langsung dengan Samudera Hindia. Hal ini menjadikan karakteristik gelombang tersebut memiliki periode atau panjang gelombang yang besar dengan bentuk relatif beraturan. Bila mendekat ke pantai, pergerakan naik turunnya permukaan air akan teratur, atau yang disebut sebagai alun atau *swell* (Djatmiko, 2012). Pernyataan tersebut didukung dengan besar periode gelombang di lokasi perairan yang memiliki nilai diatas 13 s sesuai dengan ciri karakteristik gelombang *swell* (Toffoli, 2017)

Mengacu kepada kajian yang dikeluarkan Hernawan (2008), bahwasannya hasil interpretasi morfologi dari Shuttle Radar Topography Mission (SRTM) menunjukkan daerah murara Sungai Gonggo, Baru, Pergaul (yang mana masih dekat dengan titik pengukuran) termasuk pantai berpasir.

Panjang gelombang juga perlu dicari untuk dipergunakan dalam perhitungan-perhitungan selanjutnya. Panjang gelombang laut dalam di lokasi studi

diperoleh dengan menggunakan persamaan 2.9 dengan memasukkan periode gelombangnya. Persamaan panjang gelombang laut dalam diberikan:

$$L_{\circ} = \frac{gT^2}{2\pi}$$

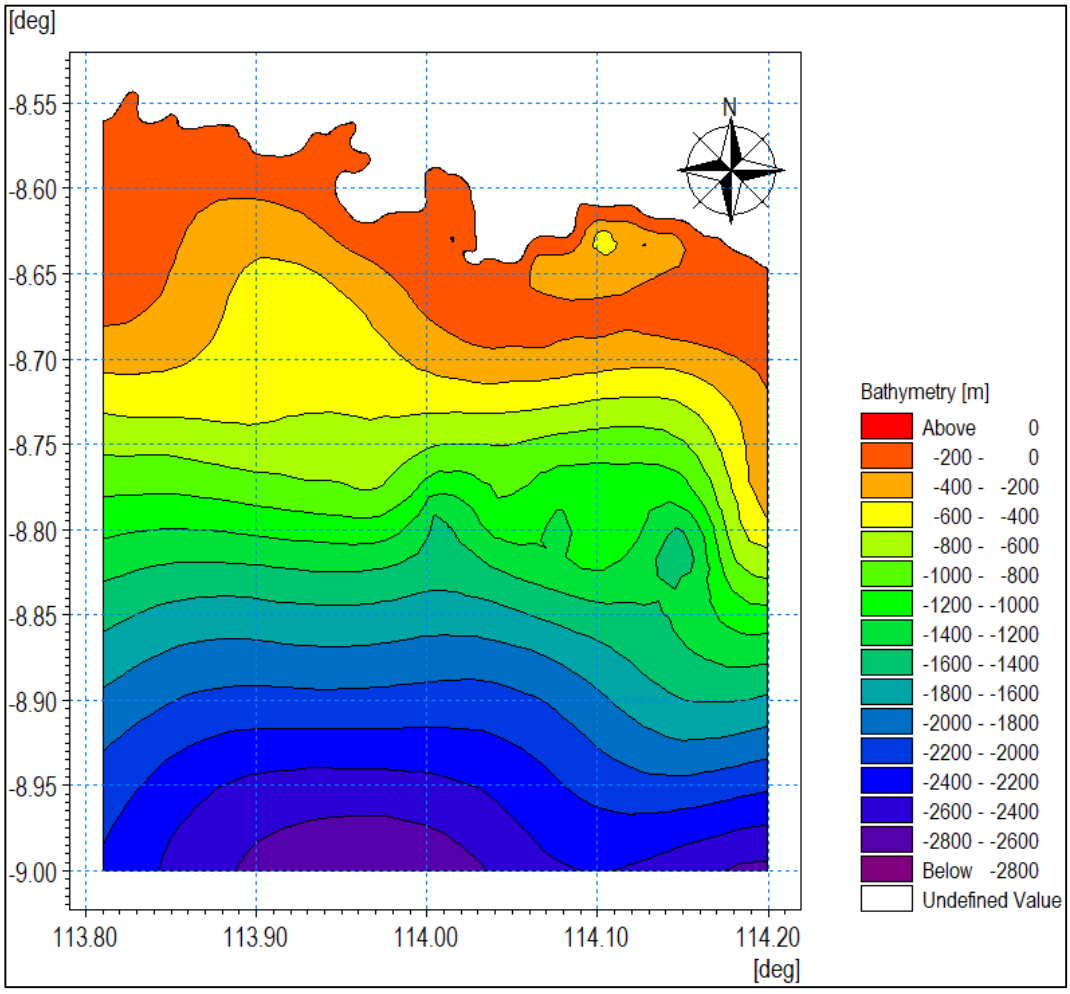
dengan memasukkan nilai g = 9,81 m/s^2 dan T = rerata periode gelombang =14,17 s diperoleh panjang gelombang laut dalam:

$$L_{\circ} = \frac{(9{,}81)(14{,}17)^2}{2\pi} = 313{,}5 \text{ m}$$

Oleh karena pengaruh kedalaman laut mulai terasa ketika d/L = 0,5 (Triatmodjo, 1999) perlu dihitung rasio kedalaman laut dengan panjang gelombangnya. Rasio tersebut diberikan:

$$\frac{d}{L_0} = 0{,}5$$

$$d = 0{,}5\ x\ (313{,}5) = 156{,}75 \text{ m}$$



Gambar 4. 3 Batimetri wilayah kajian (GMRT, 2019)

Sangat penting untuk mengetahui jenis perairan di titik pengukuran, hal ini berpengaruh pada persamaan mana yang nantinya akan dipergunakan. Jenis perairan dipengaruhi oleh kedalaman laut dan panjang gelombang CERC (1984). Oleh karenanya perlu dihitung panjang gelombang di lokasi perairan tersebut dengan menggunakan persamaan 2.7

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

dengan memasukkan nilai g = 9,81 m/s^2, T = $\overline{T_P}$ = 14,2 s, dan d = 20 m didapatkan:

$$L = \frac{(9{,}81)(14{,}2)^2}{2\pi}\tanh\frac{2\pi(20)}{L}$$

Oleh karena perhitungan panjang gelombang juga membutuhkan nilai L (pada ruas kanan), sehingga iterasi diperlukan untuk memeroleh nilai panjang gelombang. Berdasarkan hasil iterasi, diperoleh nilai L = 185.6 m

Dari hasil perhitungan panjang gelombang, selanjutnya dihitung perbandingan kedalaman laut dengan panjang gelombang untuk mengetahui jenis gelombang tersebut termasuk kategori gelombang dangkal, transisi atau dalam. Pada kasus ini nilai d/L diberikan:

$$\frac{d}{L} = \frac{20}{185} = 0{,}108$$

Nilai d/L 0.108, yang mana nilai tersebut diantara 0,05 s.d. 0,5, menunjukkan gelombang tersebut dikategorikan gelombang pada perairan transisi (CERC, 1984)

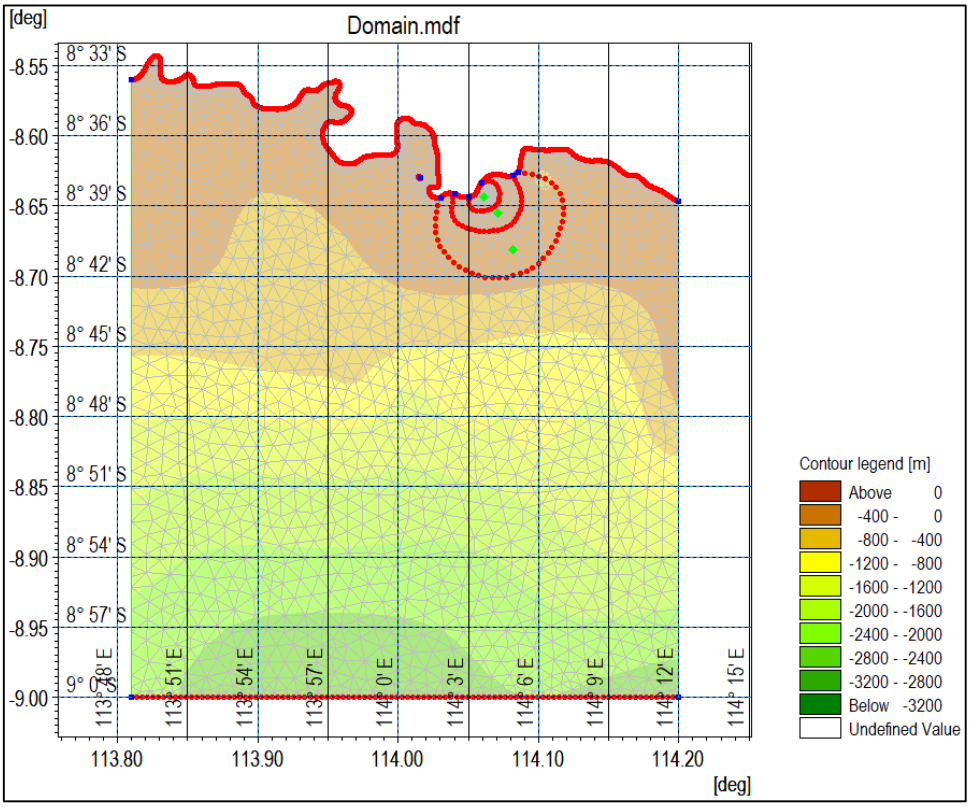
Selain menggunakan persamaan 2.7, perhitungan panjang gelombang dan jenis perairan juga dapat dicari menggunakan Tabel 4.1 yang diambil dari Triatmodjo (1999), berdasarkan tabel tersebut jika nilai d/L_0 = 20/313,5 ≈ 0,064 diperoleh nilai d/L = 0,10821 yang mana menunjukkan hasil yang sama bahwa perairan di lokasi studi termasuk pada perairan transisi

Tabel 4. 1 Fungsi d/L untuk pertambahan nilai d/L_0

$\frac{d}{L_0}$	$\frac{d}{L}$	$\frac{2\pi d}{L}$	tanh $2\pi d/L$	sinh $2\pi d/L$	cosh $2\pi d/L$	K_s	K	$\frac{4\pi d}{L}$	sinh $4\pi d/L$	cosh $4\pi d/L$	n
0.0600	0.10430	0.6554	0.5753	0.7033	1.2225	0.993	0.8180	1.3107	1.7196	1.989	0.8811
0.0610	0.10529	0.6615	0.5794	0.7109	1.2269	0.991	0.8151	1.3231	1.7443	2.011	0.8793
0.0620	0.10627	0.6677	0.5835	0.7184	1.2313	0.988	0.8121	1.3354	1.7692	2.032	0.8774
0.0630	0.10724	0.6738	0.5875	0.7260	1.2357	0.986	0.8092	1.3476	1.7942	2.054	0.8755
0.0640	0.10821	0.6799	0.5915	0.7335	1.2402	0.984	0.8063	1.3598	1.8194	2.076	0.8737

4.3 Pengaturan Model Numerik

Pemodelan penjalaran gelombang dilakukan dengan menggunakan perangkat lunak MIKE 21 Spectral Wave. Sebagai masukan awal, peta batimetri diunduh melalui GMRT dengan format .tiif, yang mana diekstrak terlebih dahulu dalam format .xyz. Setelah peta batimetri tersebut diekstrak, kemudian dibuat *mesh* dengan maksimum luasan mesh dari *layer* terluar menuju garis pantai secara berturut-turut (Gambar 4.9) adalah: $1x10^{-4}$, $1x10^{-4}$, $1x10^{-5}$, $1x10^{-6}$ (deg^2). Pembuatan luasan *mesh* yang berbeda-beda ini bertujuan untuk meningkatkan keakurasian di area dekat pantai.



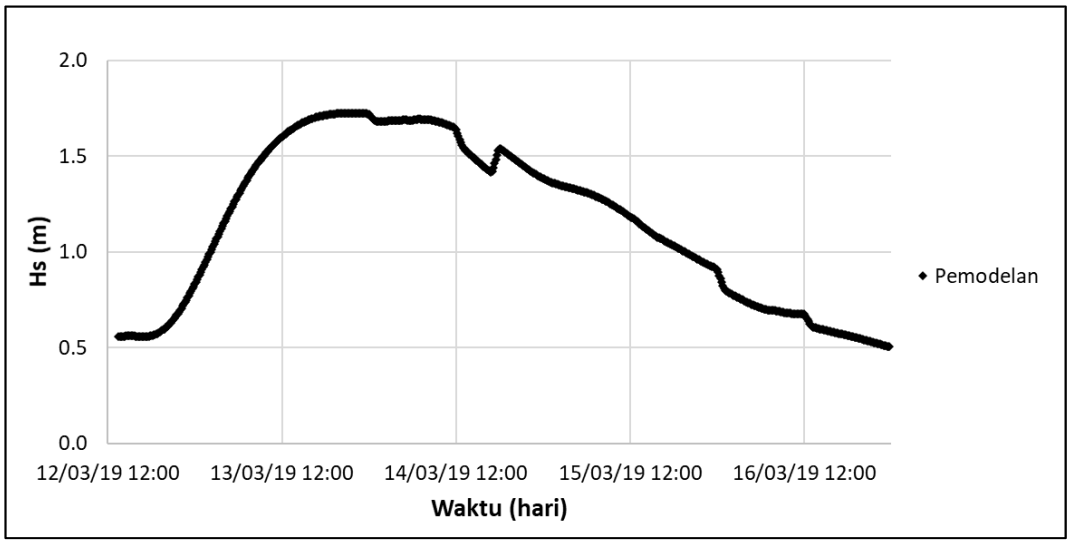
Gambar 4. 4 *Mesh domain*

Sebagai sampel untuk melakukan validasi, durasi yang menjadi luaran yakni disesuaikan dengan tanggal pengukuran dengan interval 10 menit dengan masukan berupa data angin dan data gelombang ERA5 ECMWF.

Berdasarkan pernyataan Hernawan (2008) menyatakan bahwa daerah muara Sungai Gonggo, Baru, Pergaul, yang mana masih berdekatan dengan lokasi studi, termasuk pantai berpasir, sehingga dalam pengaturan model numerik penulis menyesuaikan kekasaran permukaan dengan kondisi pantai berpasir. Untuk parameter lainnya, digunakan pengaturan model numerik sesuai yang disarankan oleh DHI (2017).

4.4 Validasi Model Numerik

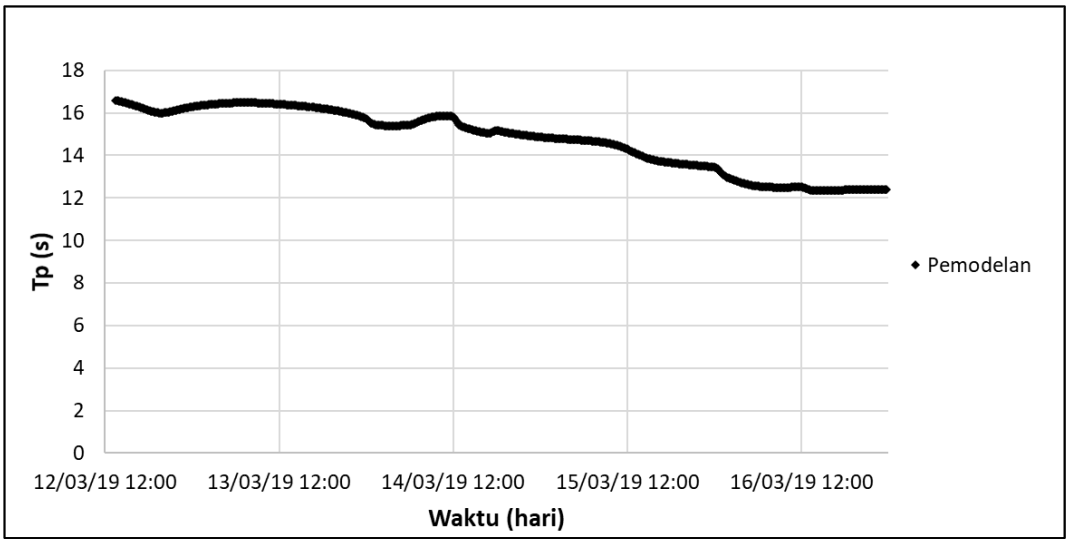
Validasi model numerik dilakukan dengan durasi 5 hari sejak 12 Maret 13.30 WIB s.d. 16 Maret 23.50 WIB dengan interval 10 menit menyesuaikan dengan data pengukuran yang dimiliki. Luaran model numerik yang diperoleh dari pemodelan menggunakan perangkat lunak MIKE 21 SW berupa tinggi gelombang signifikan dan periode puncak gelombang.



Gambar 4. 5 Grafik Hs model kedalaman 20 m
(koordinat 8.64114° LS, 114.05526° BT)

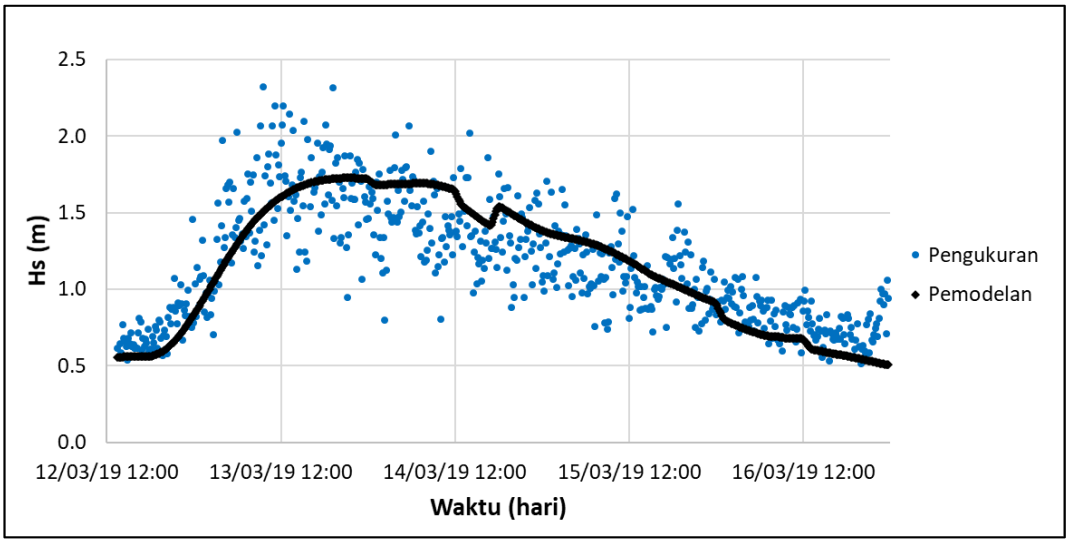
Luaran tinggi gelombang signifikan dan periode puncak gelombang pemodelan di koordinat yang sama dengan pengukuran lapangan ditunjukkan pada Gambar 4.5 dan Gambar 4.6. Berdasarkan hasil simulasi, didapatkan tinggi gelombang signifikan maksimum, minimum, dan rata-rata hasil pemodelan secara berturut-turut adalah: 1,8 m, 0,5 m, dan 1,2 m. Sedangkan nilai periode puncak

gelombang maksimum, minimum dan rata-rata secara berturut-turut adalah: 16,6 s, 12,4 s, dan 14,8 s.



Gambar 4. 6 Grafik Tp model kedalaman 20 m
(koordinat 8.64114° LS, 114.05526° BT)

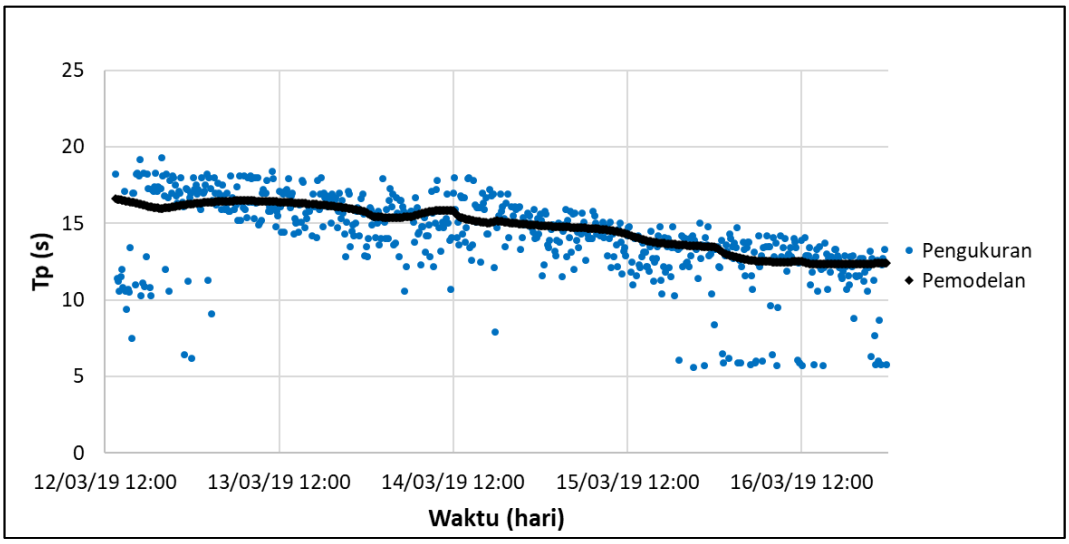
Kemudian, tinggi gelombang signifikan dan periode puncak gelombang yang diperoleh dari hasil simulasi tersebut divalidasikan dengan data pengukuran lapangan untuk mengetahui seberapa besar galat model numerik dengan data pengukuran.



Gambar 4. 7 Grafik perbandingan Hs pengukuran *vs* Hs model
(kedalaman 20 m, koordinat 8.64114° LS, 114.05526° BT)

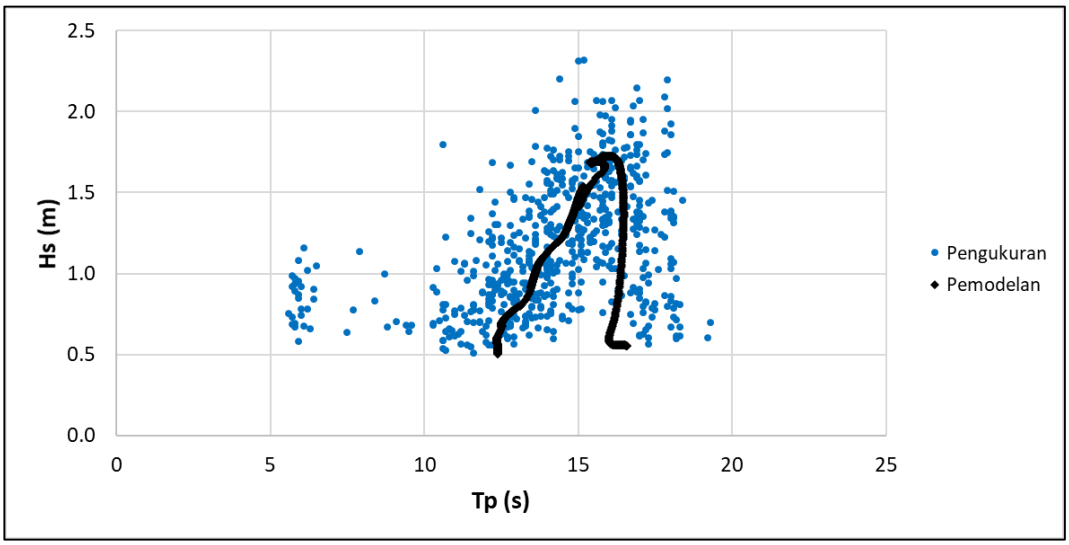
Gambar 4.7 adalah grafik perbandingan tinggi gelombang signifikan model dengan pengukuran. Gambar tersebut menginterpretasikan bahwasannya pola Hs

model numerik telah berkesesuaian dengan pola Hs pengukuran lapangan meski terdapat bias yang cukup besar dalam beberapa datum. Dengan menggunakan koreksi MAPE diperoleh nilai MAPE sebesar 17%, yang mana menurut kriteria Lewis (1982) dalam Moreno (2013), model numerik termasuk dalam kriteria baik. Periode puncak gelombang juga menginterpretasikan hasil yang baik dengan MAPE sebesar 13.7% Perbandingan antara Tp pemodelan dan pengukuran disertakan dalam Gambar 4.8.



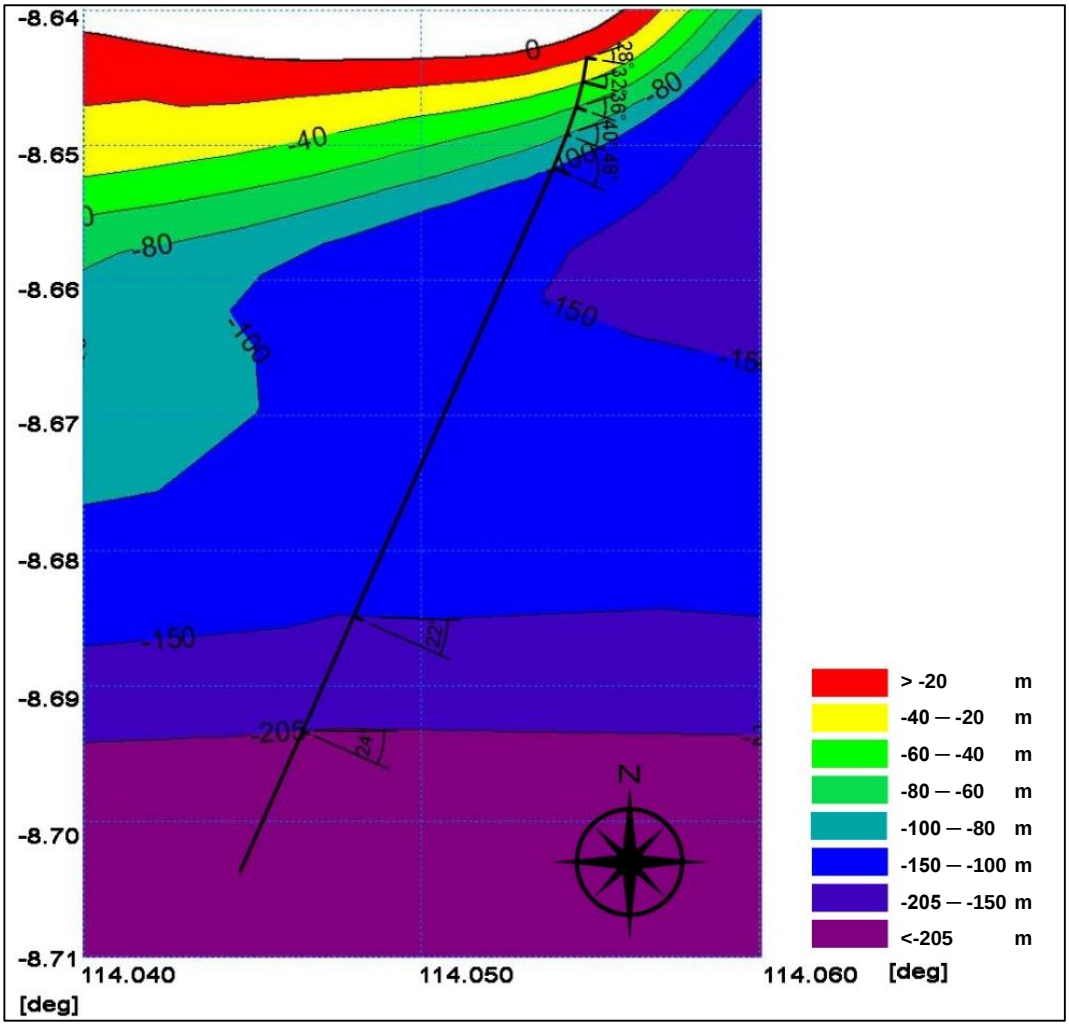
Gambar 4. 8 Grafik perbandingan Tp pengukuran *vs* Tp model (kedalaman 20 m, koordinat 8.64114° LS, 114.05526° BT)

Selanjutnya, demi memudahkan visualisasi tiap-tiap datum dari hasil pengukuran maupun luaran pemodelan dibuat dalam grafik Hs vs Tp seperti yang ditunjukkan dalam Gambar 4.9.



Gambar 4. 9 Grafik Hs-Tp pengukukuran vs model 12 Maret s.d. 16 Maret 2019 (kedalaman 20 m, koordinat 8.64114° LS, 114.05526° BT)

Validasi model numerik juga dilakukan dengan mengambil sampel data ERA5 dan menganalisis deformasi gelombang secara manual dengan prosedur yang telah dijelaskan dalam bab sebelumnya. Analisis secara manual dapat berfungsi sebagai pembanding apakah model numerik telah benar sesuai dengan kaidah yang berlaku.



Gambar 4. 10 Pias deformasi gelombang di lokasi kajian.

Gambar 4.10 merupakan gambar analisis deformasi secara manual dengan sampel pada 15 Maret 2019 pukul 03.00 WIB s.d 08.00 WIB. Sesuai dengan pernyataan Triatmodjo (1999) bahwa pengaruh kedalaman laut mulai terasa ketika d/L = 0,5, analisis deformasi dilakukan pada kedalaman 205, dimana d/L mendekati

0,5. Perhitungan lebih rinci terkait analisis deformasi gelombang disajikan dalam lampiran.

Setelah dilakukan analisis deformasi gelombang secara manual, selanjutnya adalah membandingkan luaran perhitungan tersebut dengan data pengukuran lapangan seperti yang disajikan dalam Tabel 4.2

Tabel 4. 2 Perbandingan Hs Pengukuran, Model Numerik, dan Manual.

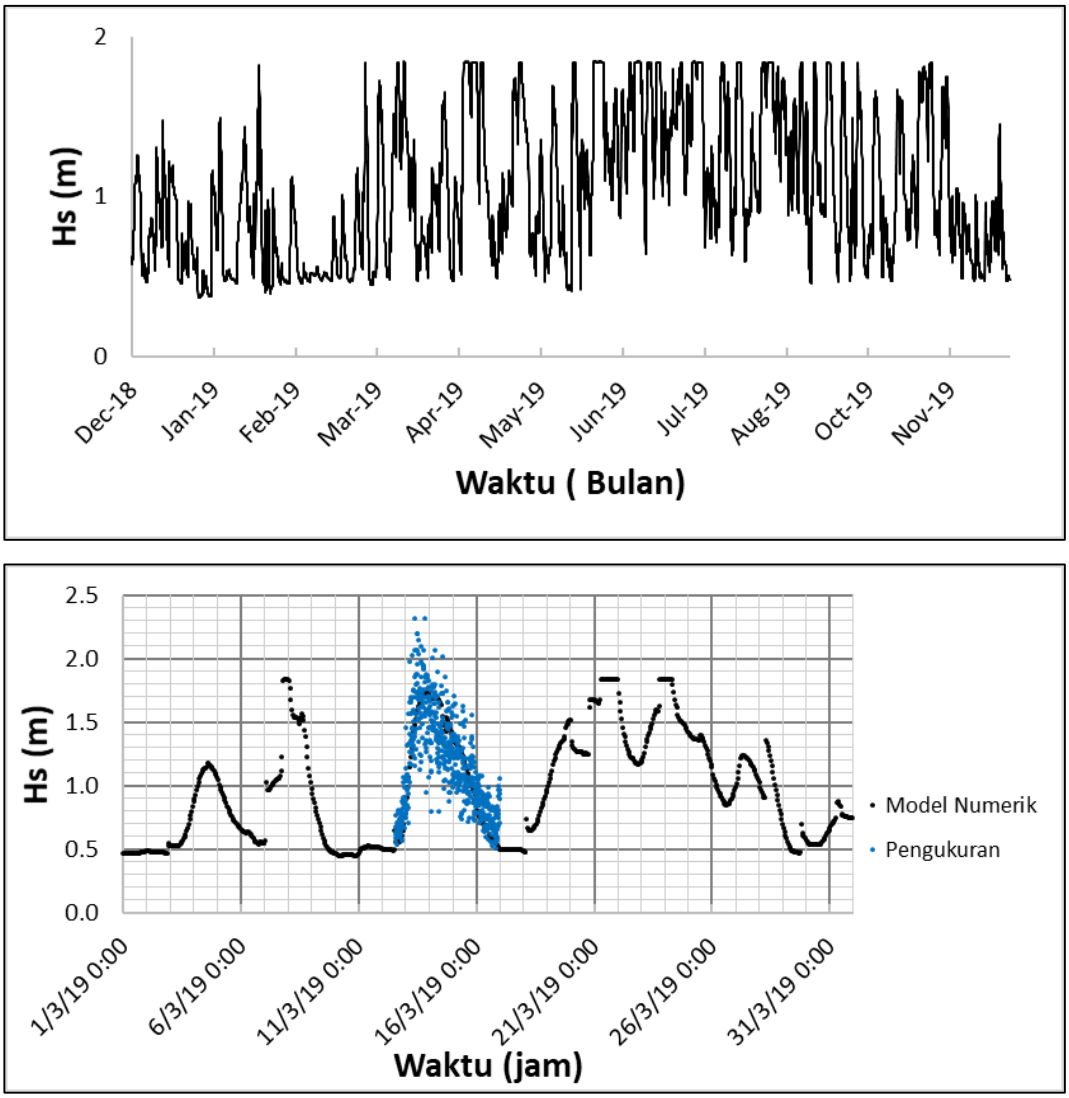
Waktu (WIB)	**Hs_0 (m) d = 205 m**	**Hs Pengukuran (m) d = 20 m**	**Hs Model (m) d = 20 m**	**Hs Manual (m) d = 20 m**
3/15/19 3:00	2.2	1.25	1.34	1.39
3/15/19 4:00	2.2	1.28	1.33	1.39
3/15/19 5:00	2.1	1.33	1.32	1.34
3/15/19 6:00	2.1	1.36	1.31	1.34
3/15/19 7:00	2.1	1.26	1.30	1.34
3/15/19 8:00	2.1	1.23	1.28	1.34

Dari hasil analisis deformasi gelombang secara manual menggunakan enam sampel data ERA5 dapat diperhatikan bahwa model numerik dengan analisis secara manual memiliki simpangan yang relatif kecil. Dengan menghitung koreksi MAPE diperoleh rata-rata MAPE antara Hs manual dengan Hs pengukuran sebesar 6% dan Hs manual dengan Hs model numerik diperoleh nilai 3%.

Oleh karenanya, berdasarkan model numerik yang telah tergolong dalam kriteria baik (Moreno, 2013), model numerik dilanjutkan dengan *time step* 1 tahun dengan pengaturan model numerik yang sama.

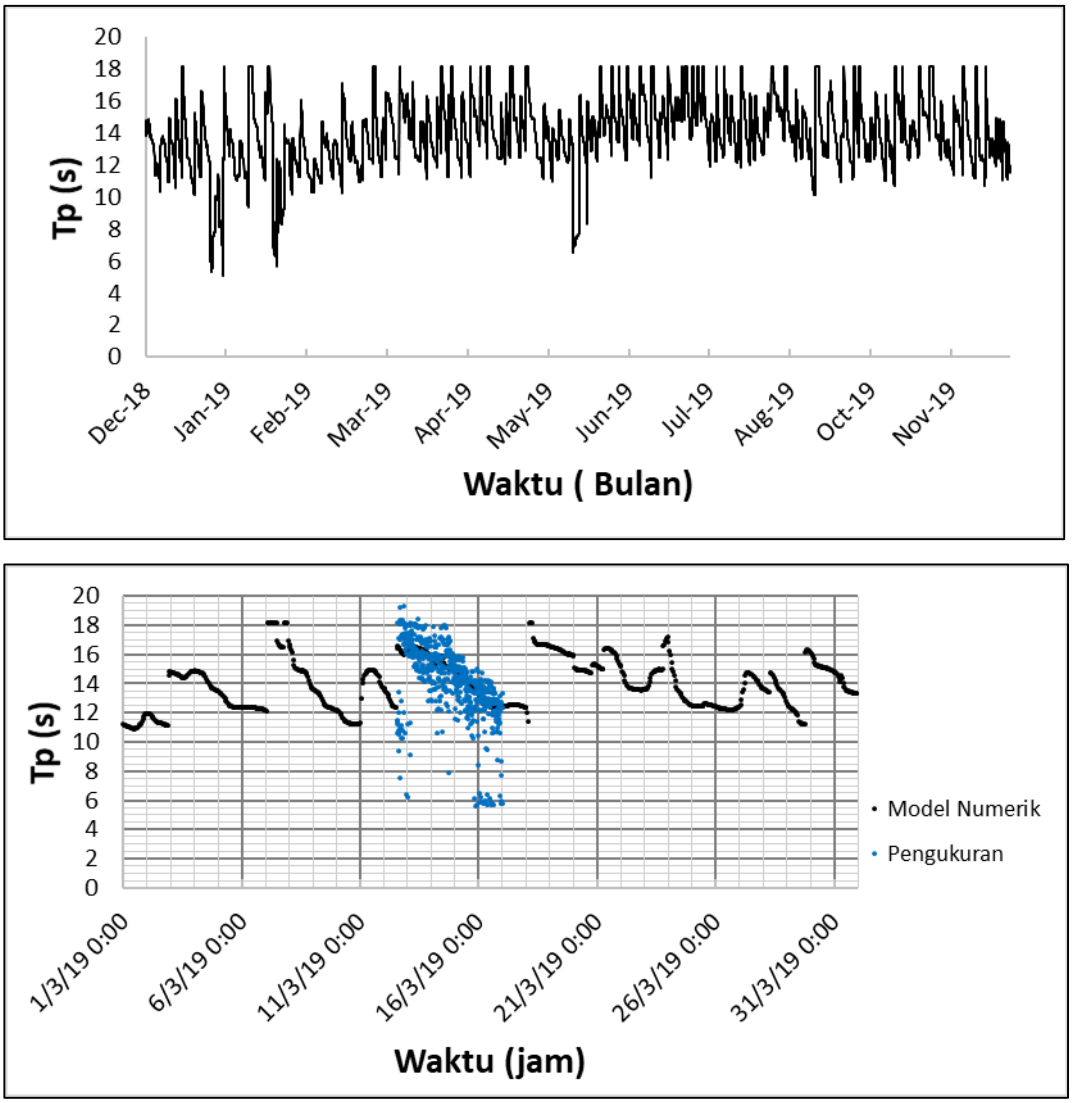
4.5 Simulasi Model Numerik 1 Tahun

Simulasi model numerik 1 tahun merupakan simulasi lanjutan yang dilakukan dalam *time step* 1 tahun terhitung sejak Desember 2018 s.d. November 2019 dengan interval waktu 1 jam berupa luaran komponen tinggi gelombang signifikan dan periode puncak gelombang. Simulasi ini bertujuan untuk melihat fluktuasi gelombang yang terjadi dalam kurun waktu satu tahun.



Gambar 4. 11 Grafik Hs kedalaman 20 m;
selama setahun (atas) & Bulan Maret (bawah)
(koordinat 8.64114° LS, 114.05526° BT)

Dengan pengaturan model numerik yang serupa dengan tahap sebelumnya, didapat tinggi gelombang signifikan maksimum, minimum, dan rerata secara berturut-turut adalah: 1,8 m pada Bulan Juni, 0,4 m pada Bulan Desember, dan 1 m. Berdasarkan luaran model numerik juga dapat diketahui bahwa Hs dengan nilai besar didominasi pada bulan pertengahan, Bulan Juni s.d. Bulan Agustus, dengan rata-rata tinggi gelombang signifikan sebesar 1,4 m.



Gambar 4. 12 Grafik Tp kedalaman 20 m;
selama setahun (atas) & Bulan Maret (bawah)
(koordinat 8.64114° LS, 114.05526° BT)

Sedangkan periode puncak gelombang dari hasi simulasi didapat nilai maksimum, minimum, dan rerata secara berturut-turut adalah: 18,2 s pada kebanyakan bulan, 5,1 s pada Bulan Januari, dan 13,9 s. Berikut ini merupakan tabulasi rerata tinggi gelombang signifikan dan periode puncak gelombang signifikan yang diperoleh dari hasil simulasi.

Tabel 4. 3 Rerata Hs dan Tp model selama 1 tahun

Bulan	Rerata Hs (m)	Rerata Tp (s)
Dec-18	0,8	12,6
Jan-19	0,8	12,7
Feb-19	0,6	12,7
Mar-19	1,0	14,0
Apr-19	1,1	14,4
May-19	1,0	13,7
Jun-19	1,4	14,6
Jul-19	1,4	15,2
Aug-19	1,4	14,9
Sep-19	1,2	14,3
Oct-19	1,1	14,5
Nov-19	0,8	13,6

4.6 Perhitungan Potensi Daya

Perhitungan potensi daya dilokasi kajian dilakukan dalam *time step* 1 tahun terhitung sejak Desember 2018 s.d. November 2019 dengan interval waktu 1 jam. Perhitungan potensi daya dilakukan dengan menggunakan luaran pemodelan berupa tinggi gelombang signifikan dan periode puncak gelombang yang disubstitusikan pada persamaan Yong et al. (2015), seperti yang telah disampaikan dalam bab sebelumnya. Oleh karena lokasi kajian yang digolongkan pada perairan transisi, persamaan 2.25 digunakan untuk menghitung potensi daya. Persamaan 2.25 diberikan:

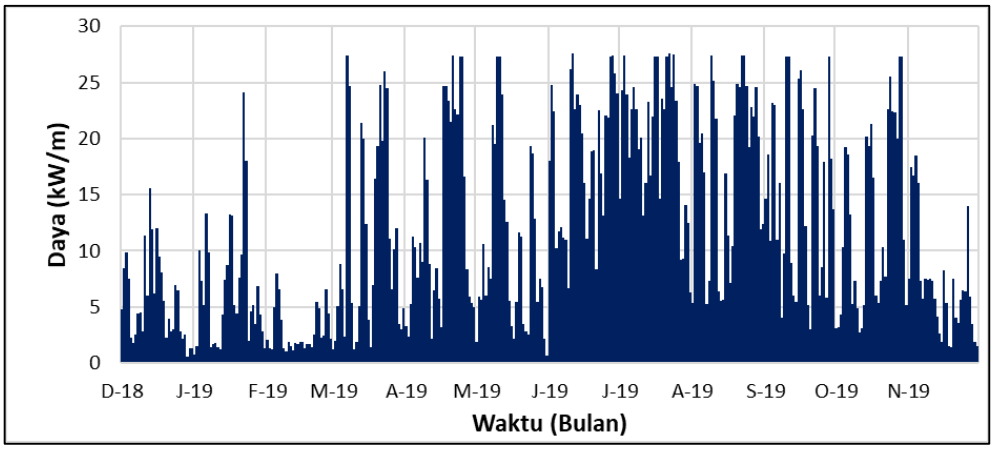
$$P_w = \bar{E}\left(\frac{gT_e}{2\pi}\tanh kd\right)\left[\frac{1}{2}\left(1+\frac{2kd}{sinh2kd}\right)\right]$$

dengan:

$\bar{E} = (1/16)\,\rho g {H_s}^2$

$T_e = \frac{Tp}{1{,}12}$

Berdasarkan hasil perhitungan menggunakan persamaan 2.25, potensi daya yang dapat dihasilkan di lokasi kajian memiliki rentang 0,3─27,5 kW/m dengan rata-rata daya sebesar 8,7kW/m.



Gambar 4. 13 Perhitungan potensi daya di lokasi kajian selama 1 Tahun

Perhitungan daya selanjutnya dibuat dalam matriks rerata daya sesuai dengan rentang tinggi gelombang signifikan dan periode puncak gelombang pada lokasi kajian seperti yang disajikan dalam Tabel 4.4. Matriks rerata daya ini diperoleh dengan menjumlahkan total daya dalam rentang Hs-Tp yang kemudian dibagi dengan jumlah kejadian dilokasi perairan.

Tabel 4. 4 Matriks rerata daya di lokasi studi (kW/m)

		Tinggi Gelombang Signifikan (m)						
		0,25-0,5	**0,5-0,75**	**0,75-1**	**1-1,25**	**1,25-1,5**	**1,5-1,75**	**1,75-2**
Periode Puncak Gelombang (s)	**4,5-5,5**	0.3						
	5,5-6,5	0.4	1.0					
	6,5-7,5	0.6	1.4	2.5				
	7.5-8.5	0.6	1.1					
	8.5-9.5	0.8						
	9,5-10,5	0.9	1.4					
	10,5-11,5	1.1	1.6	3.3				
	11,5-12,5	1.3	2.2	4.1	6.3	10.4		
	12,5-13,5	1.4	2.2	4.7	7.1	11.1	14.5	
	13,5-14,5	1.3	2.4	4.6	7.8	11.5	16.1	20.9
	14,5-15,5	1.5	2.7	5.2	8.4	12.7	17.6	22.3
	15,5-16,5		3.0	5.3	8.8	14.0	18.9	24.3
	16,5-17,5		3.0	5.9	9.8	14.1	19.9	25.2
	17,5-18,5		3.5	6.9	9.8	15.7	21.7	27.2

Sebagai gambaran, apabila gelombang yang menjalar tersebut ditangkap oleh teknologi konversi dengan panjang 10 m, besar daya yang dapat diperoleh di lokasi kajian tersebut memiliki rentang 3─275 kW. Akan tetapi, rentang daya tersebut merupakan bruto yang mana belum dikoreksi dengan efisiensi teknologi konversi tersebut.

4.7 Perhitungan Potensi Energi

Perhitungan potensi energi diperoleh dengan mengalikan daya gelombang dengan durasi gelombang. Tabel 4.5 merupakan matriks durasi gelombang di lokasi studi selama 1 tahun. Sebagai catatan, nilai yang tercantum pada Tabel 4.5 merupakan frekuensi durasi tinggi gelombang dan periode puncak gelombang dalam rentang tertentu dengan satuan jam.

Tabel 4. 5 Matriks durasi gelombang (h) di lokasi studi

		Tinggi Gelombang Signifikan (m)						
		0,25-0,5	0,5-0,75	0,75-1	1-1,25	1,25-1,5	1,5-1,75	1,75-2
Periode Puncak Gelombang (s)	4,5-5,5	4						
	5,5-6,5	20	6					
	6,5-7,5	50	3	3				
	7,5-8,5	117	10					
	8,5-9,5	33						
	9,5-10,5	100	5					
	10,5-11,5	372	204	11				
	11,5-12,5	292	630	333	32	15		
	12,5-13,5	38	487	459	252	115	28	
	13,5-14,5	2	282	329	438	247	142	69
	14,5-15,5	1	186	247	307	365	364	332
	15,5-16,5		53	142	102	146	234	258
	16,5-17,5		20	45	47	35	69	124
	17,5-18,5		38	69	101	53	93	202

Berdasarkan Tabel 4.5, kondisi perairan lokasi studi didominasi ketika Hs dalam rentang 0,5−0,75 m dan Tp dalam rentang 11,5−12,5 s dengan durasi 630 jam. Sedangkan durasi paling sedikit ditemukan ketika Hs dalam rentang 0,25−0,5 m dan Tp dalam rentang 14,5−15,5 s dengan durasi 1 jam.

Matriks tersebut digunakan untuk mengetahui distribusi gelombang dengan tinggi gelombang signifikan dan periode puncak gelombang tertentu, sehingga memudahkan dalam analisis melihat dominasi energi di lokasi studi.

Selanjutnya, dengan mengalikan daya dengan durasi sesuai dengan kondisi perairan, potensi energi dapat dihitung dan disajikan dalam Tabel 4.6. Pada Tabel 4.6 memvisualisasikan bahwa Hs dan Tp yang paling banyak mengandung energi sesuai dengan lokasi studi terdapat pada rentang Hs = 1,75−2,0 m dan Tp = 14,5−15,5 s dengan energi yang terkandung sebesar 7,5MWh/m. Sedangkan energi yang paling sedikit di lokasi kajian yakni ketika Hs dalam rentang 0,25─0,5 m dan Tp dalam rentang 4,5─5,5 s dengan besar energi <0,1 MWh/m.

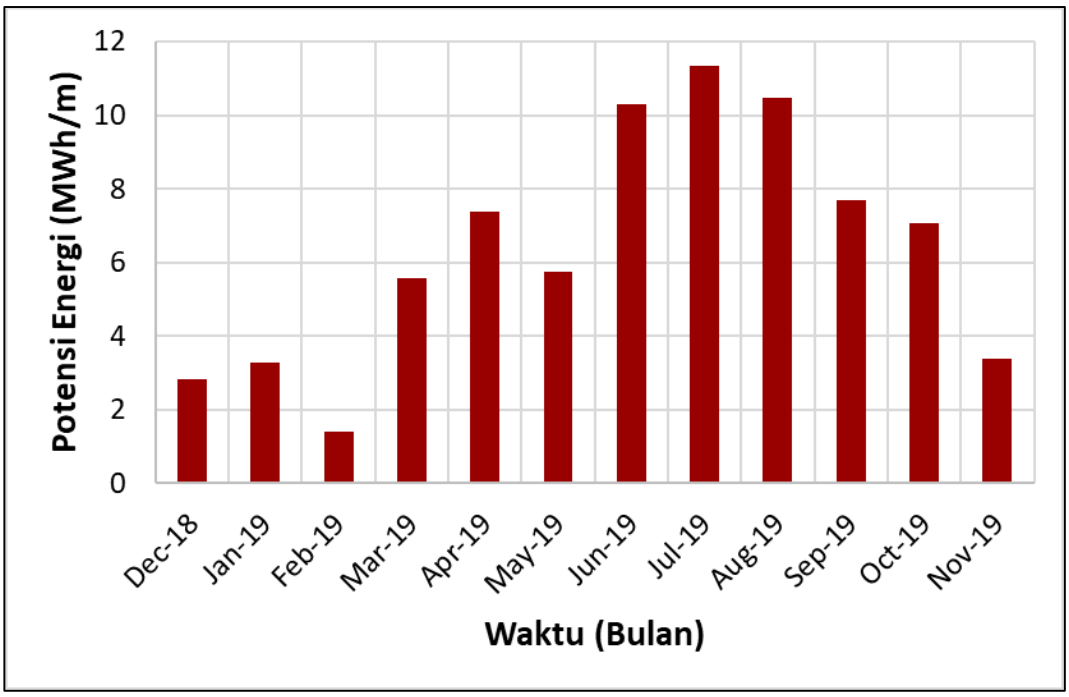
Tabel 4. 6 Matriks distribusi energi selama 1 tahun (MWh/m)

Total energi gelombang dalam setahun = 76,48 MWh/m

		Tinggi Gelombang Signifikan (m)						
		0,25-0,5	**0,5-0,75**	**0,75-1**	**1-1,25**	**1,25-1,5**	**1,5-1,75**	**1,75-2**
Periode Puncak Gelombang (s)	**4,5-5,5**	<0,1						
	5,5-6,5	<0,1	<0,1					
	6,5-7,5	<0,1	<0,1	<0,1				
	7.5-8.5	0,1	<0,1					
	8.5-9.5	<0,1						
	9,5-10,5	0,1	<0,1					
	10,5-11,5	0,4	0,3	<0,1				
	11,5-12,5	0,4	1,4	1,4	0,2	0,2		
	12,5-13,5	0,1	1,1	2,2	1,8	1,3	0,4	
	13,5-14,5	<0,1	0,7	1,5	3,4	2,8	2,3	1,5
	14,5-15,5	<0,1	0,5	1,3	2,6	4,6	6,4	7,5
	15,5-16,5		0,2	0,8	0,9	2	4,4	6,3
	16,5-17,5		0,1	0,3	0,5	0,5	1,4	3,1
	17,5-18,5		0,1	0,5	1	0,8	2	5,4

Perhitungan potensi energi juga disajikan dalam akumulasi setiap bulannya seperti yang ditunjukkan pada Gambar 4.14. Dari perhitungan tersebut didapat potensi energi per bulan selama setahun memiliki rentang 1,4─11,35 MWh/m dengan potensi energi terkecil ditemukan pada Bulan Februari 2019 dan potensi energi terbesar ditemukan pada Bulan Juli 2019.

Hal tersebut berkesesuaian dengan besar atau kecilnya nilai potensi energi gelombang dipengaruhi oleh 3 variabel: Tinggi gelombang signifikan, periode, dan durasi. Semakin besar nilai variabel tersebut semakin besar pula potensi energi gelombang laut yang dapat diperoleh.



Gambar 4. 14 Perhitungan potensi daya di lokasi kajian setiap bulannya

(Halaman ini sengaja dikosongkan)

BAB V
KESIMPULAN DAN SARAN

5.1 Kesimpulan

Berdasarkan hasil dan pembahasan yang telah disampaikan dalam bab-bab sebelumnya, maka dapat disimpulkan:

1. Tinggi gelombang signifikan di Pantai Selatan Banyuwangi pada Bulan Desember 2018 s.d. November 2019 memiliki rentang mulai 0,4 m s.d. 1,8 m dengan rerata tinggi gelombang signifikan sebesar 1 m. Periode puncak gelombang di Pantai Selatan Banyuwangi pada Bulan Desember 2018 s.d. November 2019 memiliki rentang mulai 5,1 s hingga 18,2 s dengan rerata periode puncak gelombang adalah 13,9 s, yang mana menandakan karakteristik gelombang di lokasi studi cenderung *swell*.
2. Besar potensi daya gelombang laut di Pantai Selatan Banyuwangi memiliki rentang 0,3─27,5 kW/m dengan rata-rata daya sebesar 8,7 kW/m. Total potensi energi gelombang laut di lokasi kajian selama setahun sebesar 76,48 MWh/m; potensi energi gelombang laut tiap bulannya memiliki rentang 1,42─11,35 MWh/m dengan akumulasi potensi energi paling sedikit ditemukan pada Bulan Februari 2019 dan paling besar pada Bulan Juli 2019.

5.2 Saran

Sebagai masukan untuk meningkatkan khazanah dalam penelitian di bidang energi laut, berikut ini adalah saran-saran yang diusulkan:

1. Pengukuran lapangan dilakukan dalam kurun waktu yang lebih panjang demi meningkatkan keakurasian dalam melakukan validasi.
2. Masukan batimetri diperoleh dengan menggunakan survei langsung untuk menghasilkan model numerik yang lebih baik.
3. Perlu adanya studi lanjutan tentang penelitian ini mengenai kelayakan lokasi, teknologi, regulasi, dan keekonomian

(Halaman ini sengaja dikosongkan)

DAFTAR PUSTAKA

AW-Energy, 2019. *Wave Roller.* [Online] tersedia di: https://aw-energy.com/waveroller/[Diakses Desember 2019].

Boake, C. B., T., T. J. & Whittaker, M. F., 2002. *Overview and Initial Operational Experience of the LIMPET Wave Energy Plant.* Kitakyushu, s.n.

Copernicus Climate Change Service (C3S) (2017): ERA5: Fifth generation of ECMWF atmospheric reanalyses of the global climate . Copernicus Climate Change Service Climate Data Store (CDS), Desember 2019. https://cds.climate.copernicus.eu/cdsapp#!/home

BPPT, 2016. *Outlook Energi Indonesia.* Jakarta: Pusat Teknologi Sumber Daya Energi dan Industri Kimia (PTSEIK).

CERC, 1984. *Shore Protection Manual.* Washington: US Army Coastal Engineering Research Center.

DHI, 2017. *Spectral Wave Module User Guide.* s.l.:DHI.

Djatmiko, E. B., 2012. *Perilaku dan Operabilitas Bangunan Laut di Atas Gelombang Acak.* Surabaya: ITS Press.

Energy, A. O., 2019. *Archimedes Waveswing Submerged Wave Power Buoy.*[Online] tersedia di:www.awsocean.com/archimedes-waveswing.html [Diakses Desember 2019].

Guney, M. S., 2015. Wave Energy Conversion Systems. *Journal of Naval Science and Engineering,* Volume 11 (2), pp. 22-51.

Havis, M. I., 2019. *Evaluasi Sumber Data Gelombang (Merged Altimetry, ERA5 dan Windwave-05), Studi Kasus: Estimasi Potensi Energi Gelombang Laut di Pantai Barat Kota Jayappura.* Surabaya: Departemen Teknik Kelautan, Fakultas Teknologi Kelautan, Institut Teknologi Sepuluh Nopember.

Hernawan, U. & Budiono, K., 2008. Kajian Dinamika Pantai Selatan Banyuwangi Berdasarkan Hasil Penafsiran Citra Satelit Landsat TM. *Jurnal Geologi Kelautan,* Volume 6 (1), pp. 36-42.

Hoffman, e. a., 2019. From ERA-Interim to ERA5: The Considerable Impact of ECMWF's Next-Generation Reanalysis on Lagrangian Transport Simulations.. *Atmos. Chem Phys.,* Volume 19, pp. 3097-3124.

Komen, G. et al., 1994. *Dynamics and Modelling of Ocean Waves.* Newyork: Cambridge University Press.

Méhauté, B. L., 1976. *An Introduction To Hydrodynamics And Water Waves.* New York: Springer-Verlag.

Moreno, J. J. M., Pol, A. P., Abad, A. S. & Blasco, B. C., 2013. Using the R-MAPE index as a resistant measure of forecast accuracy. *Psicothema,* Volume 25 (4), pp. 500-506.

Mukhtasor, 2014. *Mengenal Energi Laut.* Surabaya: Indonesian Counterpart for Energy and Enviromental Solutions (ICEES).

ITSK, 2019. Data Pengukuran Lapangan. Komunikasi Pribadi: s.n.

P3GL, ESDM, B. & ASELI, 2014. *Peta Potensi Energi Laut,* s.l.: s.n.

Pecher, A., 2016. *Handbook of Ocean Wave Energy.* Aalborg: Springer.

Persson, A., 2001. *User Guide to ECMWF Forecast Products,* s.l.: ECMWF.

Pratikto, W. A., Suntoyo, Sholihin & Kriyo, 2014. *Struktur Pelindung Pantai.* Jakarta: PT. Mediatama Saptakarya.

Rodrigues, L., 2015. Devices for Sea Wave Power Extraction to Electrical Energy Conversion. *International Journal of Engineering and Industrial Management,* Volume 3, pp. 193-210.

Ryan, W. B. F., S.M. Carbotte, J. Coplan, S. O'Hara, A. Melkonian, R. Arko, R.A. Weissel, V. Ferrini, A. Goodwillie, F. Nitsche, J. Bonczkowski, and R. Zemsky (2009), Global Multi-Resolution Topography (GMRT) synthesis data set, *Geochem. Geophys. Geosyst*., 10, Q03014, doi:10.1029/2008GC002332.

Setyawan, F. O., 2018. *Identifikasi dan Pemetaan Lokasi Potensial Energi Gelombang Laut di Perairan Indonesia.* Surabaya: ITS.

Sorensen, R. M., 2006. *Basic Coastal Engineering.* New York: Springer.

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

Toffoli, A. & Bitner-Gregersen, E. M., 2017. Types of Ocean Surface Waves, Wave Classification. In: *Encycl. Marit. Offshore Eng.*. s.l.:John Wiley & Sons, Ltd., pp. 1-8.

Utami, S. R., 2010. *Studi Potensi Pembangkit Listrik Tenaga Gelombang Laut dengan Menggunakan SIstem Oscillating Water Column (OWC) di Tiga Puluh Wilayah Kelautan Indonesia.* Depok: Universitas Indonesia.

Wang, C. et al., 2019. Comparison of ERA5 and ERA-Interim near-surface air temperature, snowfall and precipitation over Arctic sea ice: effects on sea ice thermodynamics and evolution. *The Cryosphere,* Volume 13, pp. 1661-1679.

Yong, W., Jie, Z., Junmin, M. & Jing, W., 2015. A wave energy resource assessment in the China's seas based on multi-satellite merged radar altimeter data.. *Acta Oceanologica Sinica,* Volume 34 (3), pp. 115-124.

LAMPIRAN 1

Data Pengukuran Lapangan (ITSK, 2019)

Waktu (WIB)	Hs (m)	Tp (s)
3/12/19 13:30	0.614	18.2
3/12/19 13:40	0.558	11.4
3/12/19 13:50	0.641	11.2
3/12/19 14:00	0.585	10.6
3/12/19 14:10	0.767	11.5
3/12/19 14:20	0.677	12.0
3/12/19 14:30	0.660	10.8
3/12/19 14:40	0.625	17.1
3/12/19 14:50	0.538	10.6
3/12/19 15:00	0.682	9.4
3/12/19 15:10	0.641	10.7
3/12/19 15:20	0.712	10.5
3/12/19 15:30	0.623	13.4
3/12/19 15:40	0.635	7.5
3/12/19 15:50	0.617	17.0
3/12/19 16:00	0.619	17.0
3/12/19 16:10	0.615	11.0
3/12/19 16:20	0.716	18.2
3/12/19 16:30	0.811	18.3
3/12/19 16:40	0.785	18.1
3/12/19 16:50	0.605	19.2
3/12/19 17:00	0.680	10.3
3/12/19 17:10	0.625	11.1
3/12/19 17:20	0.672	18.3
3/12/19 17:30	0.648	10.9
3/12/19 17:40	0.738	12.8
3/12/19 17:50	0.597	18.2

Waktu (WIB)	Hs (m)	Tp (s)
3/12/19 18:00	0.606	17.3
3/12/19 18:10	0.611	10.8
3/12/19 18:20	0.691	10.3
3/12/19 18:30	0.652	17.2
…	…	…
3/16/19 20:20	0.632	12.6
3/16/19 20:30	0.596	12.7
3/16/19 20:40	0.567	11.2
3/16/19 20:50	0.769	11.8
3/16/19 21:00	0.803	12.1
3/16/19 21:10	0.586	10.6
3/16/19 21:20	0.841	12.1
3/16/19 21:30	0.666	13.2
3/16/19 21:40	0.657	6.3
3/16/19 21:50	0.703	12.7
3/16/19 22:00	0.745	11.3
3/16/19 22:10	0.774	7.7
3/16/19 22:20	0.691	5.8
3/16/19 22:30	0.807	12.6
3/16/19 22:40	0.921	6
3/16/19 22:50	0.998	8.7
3/16/19 23:00	0.969	5.8
3/16/19 23:10	0.899	12.3
3/16/19 23:20	0.967	12.7
3/16/19 23:30	0.706	13.3
3/16/19 23:40	1.057	12.4
3/16/19 23:50	0.938	5.8

LAMPIRAN 2

Luaran model numerik peruntukkan validasi

Waktu (WIB)	Hs (m)	Tp (s)
3/12/19 13:30	0.61	16.60
3/12/19 13:40	0.56	16.57
3/12/19 13:50	0.64	16.56
3/12/19 14:00	0.59	16.55
3/12/19 14:10	0.77	16.53
3/12/19 14:20	0.68	16.52
3/12/19 14:30	0.66	16.50
3/12/19 14:40	0.63	16.49
3/12/19 14:50	0.54	16.47
3/12/19 15:00	0.68	16.46
3/12/19 15:10	0.64	16.44
3/12/19 15:20	0.71	16.42
3/12/19 15:30	0.62	16.41
3/12/19 15:40	0.64	16.39
3/12/19 15:50	0.62	16.38
3/12/19 16:00	0.62	16.36
3/12/19 16:10	0.62	16.34
3/12/19 16:20	0.72	16.32
3/12/19 16:30	0.81	16.31
3/12/19 16:40	0.79	16.29
3/12/19 16:50	0.61	16.27
3/12/19 17:00	0.68	16.25
3/12/19 17:10	0.63	16.23
3/12/19 17:20	0.67	16.20
3/12/19 17:30	0.65	16.18
3/12/19 17:40	0.74	16.16
3/12/19 17:50	0.60	16.14
3/12/19 18:00	0.61	16.12
3/12/19 18:10	0.61	16.10
3/12/19 18:20	0.69	16.08
3/12/19 18:30	0.65	16.06
3/12/19 18:40	0.76	16.05
3/12/19 18:50	0.73	16.03
3/12/19 19:00	0.62	16.02

Waktu (WIB)	Hs (m)	Tp (s)
3/12/19 19:10	0.80	16.01
3/12/19 19:20	0.79	16.00
3/12/19 19:30	0.68	16.00
3/12/19 19:40	0.56	16.00
3/12/19 19:50	0.70	15.99
3/12/19 20:00	0.73	15.99
3/12/19 20:10	0.69	16.00
3/12/19 20:20	0.58	16.01
3/12/19 20:30	0.82	16.02
3/12/19 20:40	0.88	16.03
3/12/19 20:50	0.78	16.04
3/12/19 21:00	0.87	16.05
3/12/19 21:10	0.88	16.06
3/12/19 21:20	1.07	16.08
3/12/19 21:30	0.86	16.09
3/12/19 21:40	0.77	16.11
3/12/19 21:50	0.91	16.12
3/12/19 22:00	0.89	16.14
3/12/19 22:10	1.03	16.15
3/12/19 22:20	0.90	16.17
3/12/19 22:30	0.67	16.18
3/12/19 22:40	0.87	16.19
3/12/19 22:50	0.83	16.21
3/12/19 23:00	0.90	16.22
3/12/19 23:10	0.99	16.23
3/12/19 23:20	0.82	16.24
3/12/19 23:30	0.79	16.25
3/12/19 23:40	0.75	16.26
3/12/19 23:50	1.45	16.28
3/13/19 0:00	0.78	16.28
3/13/19 0:10	1.03	16.29
3/13/19 0:20	0.82	16.30
3/13/19 0:30	1.14	16.31
3/13/19 0:40	0.89	16.32

Waktu (WIB)	Hs (m)	Tp (s)
3/13/19 0:50	1.06	16.33
3/13/19 1:00	1.08	16.34
3/13/19 1:10	1.32	16.34
3/13/19 1:20	1.09	16.35
3/13/19 1:30	0.85	16.36
3/13/19 1:40	0.98	16.36
3/13/19 1:50	0.82	16.37
3/13/19 2:00	0.97	16.38
3/13/19 2:10	1.06	16.38
3/13/19 2:20	0.83	16.39
3/13/19 2:30	0.94	16.39
3/13/19 2:40	0.70	16.40
3/13/19 2:50	0.99	16.41
3/13/19 3:00	1.06	16.41
3/13/19 3:10	1.32	16.42
3/13/19 3:20	1.56	16.42
3/13/19 3:30	1.03	16.43
3/13/19 3:40	1.18	16.43
3/13/19 3:50	1.41	16.44
3/13/19 4:00	1.97	16.44
3/13/19 4:10	1.27	16.44
3/13/19 4:20	1.34	16.45
3/13/19 4:30	1.66	16.45
3/13/19 4:40	1.68	16.45
3/13/19 4:50	1.57	16.46
3/13/19 5:00	1.70	16.46
3/13/19 5:10	1.17	16.46
3/13/19 5:20	1.36	16.47
3/13/19 5:30	1.66	16.47
3/13/19 5:40	1.34	16.47
3/13/19 5:50	1.40	16.47
3/13/19 6:00	2.02	16.48
3/13/19 6:10	1.45	16.48
3/13/19 6:20	1.46	16.48
3/13/19 6:30	1.31	16.48
3/13/19 6:40	1.36	16.48
3/13/19 6:50	1.27	16.48

Waktu (WIB)	Hs (m)	Tp (s)
3/13/19 7:00	1.58	16.48
3/13/19 7:10	1.34	16.48
3/13/19 7:20	1.59	16.48
3/13/19 7:30	1.75	16.48
3/13/19 7:40	1.37	16.48
3/13/19 7:50	1.70	16.48
3/13/19 8:00	1.51	16.48
3/13/19 8:10	1.74	16.48
3/13/19 8:20	1.24	16.48
3/13/19 8:30	1.31	16.48
3/13/19 8:40	1.86	16.47
3/13/19 8:50	1.16	16.47
3/13/19 9:00	1.38	16.47
3/13/19 9:10	2.07	16.47
3/13/19 9:20	1.22	16.46
3/13/19 9:30	2.32	16.46
3/13/19 9:40	1.42	16.46
3/13/19 9:50	1.74	16.46
3/13/19 10:00	1.29	16.45
3/13/19 10:10	1.80	16.45
3/13/19 10:20	1.88	16.45
3/13/19 10:30	1.69	16.44
3/13/19 10:40	1.56	16.44
3/13/19 10:50	2.07	16.44
3/13/19 11:00	1.45	16.43
3/13/19 11:10	2.20	16.43
3/13/19 11:20	1.88	16.42
3/13/19 11:30	1.52	16.42
3/13/19 11:40	1.81	16.42
3/13/19 11:50	1.73	16.41
3/13/19 12:00	1.95	16.41
3/13/19 12:10	2.07	16.40
3/13/19 12:20	2.20	16.40
3/13/19 12:30	1.74	16.40
3/13/19 12:40	1.70	16.39
3/13/19 12:50	1.35	16.39
3/13/19 13:00	1.61	16.38

Waktu (WIB)	Hs (m)	Tp (s)
3/13/19 13:10	2.15	16.38
3/13/19 13:20	1.52	16.37
3/13/19 13:30	1.68	16.37
3/13/19 13:40	2.04	16.36
3/13/19 13:50	1.58	16.36
3/13/19 14:00	1.61	16.35
3/13/19 14:10	1.13	16.35
3/13/19 14:20	1.46	16.34
3/13/19 14:30	1.25	16.34
3/13/19 14:40	1.73	16.33
3/13/19 14:50	1.76	16.33
3/13/19 15:00	1.55	16.32
3/13/19 15:10	2.09	16.32
3/13/19 15:20	1.24	16.31
3/13/19 15:30	1.18	16.31
3/13/19 15:40	1.98	16.30
3/13/19 15:50	1.69	16.30
3/13/19 16:00	1.54	16.29
3/13/19 16:10	1.86	16.28
3/13/19 16:20	1.80	16.28
3/13/19 16:30	1.64	16.27
3/13/19 16:40	1.66	16.26
3/13/19 16:50	1.70	16.26
3/13/19 17:00	1.95	16.25
3/13/19 17:10	1.38	16.24
3/13/19 17:20	1.74	16.24
3/13/19 17:30	1.48	16.23
3/13/19 17:40	1.76	16.22
3/13/19 17:50	1.92	16.21
3/13/19 18:00	1.56	16.21
3/13/19 18:10	2.07	16.20
3/13/19 18:20	1.95	16.19
3/13/19 18:30	1.62	16.18
3/13/19 18:40	1.91	16.17
3/13/19 18:50	1.94	16.17
3/13/19 19:00	1.58	16.16
3/13/19 19:10	2.31	16.15

Waktu (WIB)	Hs (m)	Tp (s)
3/13/19 19:20	1.33	16.14
3/13/19 19:30	1.82	16.13
3/13/19 19:40	1.54	16.12
3/13/19 19:50	1.86	16.11
3/13/19 20:00	1.70	16.10
3/13/19 20:10	1.30	16.09
3/13/19 20:20	1.34	16.08
3/13/19 20:30	1.66	16.06
3/13/19 20:40	1.60	16.05
3/13/19 20:50	1.87	16.04
3/13/19 21:00	1.27	16.03
3/13/19 21:10	0.95	16.02
3/13/19 21:20	1.36	16.00
3/13/19 21:30	1.87	15.99
3/13/19 21:40	1.59	15.98
3/13/19 21:50	1.69	15.97
3/13/19 22:00	1.59	15.95
3/13/19 22:10	1.58	15.94
3/13/19 22:20	1.77	15.92
3/13/19 22:30	1.85	15.91
3/13/19 22:40	1.42	15.89
3/13/19 22:50	1.82	15.87
3/13/19 23:00	1.71	15.86
3/13/19 23:10	1.07	15.84
3/13/19 23:20	1.78	15.82
3/13/19 23:30	1.60	15.80
3/13/19 23:40	1.57	15.79
3/13/19 23:50	1.46	15.77
3/14/19 0:00	1.46	15.73
3/14/19 0:10	1.67	15.67
3/14/19 0:20	1.56	15.62
3/14/19 0:30	1.63	15.57
3/14/19 0:40	1.59	15.53
3/14/19 0:50	1.36	15.49
3/14/19 1:00	1.22	15.46
3/14/19 1:10	1.70	15.45
3/14/19 1:20	1.52	15.44

Waktu (WIB)	Hs (m)	Tp (s)
3/14/19 1:30	1.75	15.43
3/14/19 1:40	1.34	15.43
3/14/19 1:50	1.20	15.42
3/14/19 2:00	1.10	15.41
3/14/19 2:10	1.34	15.41
3/14/19 2:20	0.80	15.40
3/14/19 2:30	1.12	15.40
3/14/19 2:40	1.58	15.40
3/14/19 2:50	1.49	15.39
3/14/19 3:00	1.78	15.39
3/14/19 3:10	1.47	15.39
3/14/19 3:20	1.44	15.39
3/14/19 3:30	1.47	15.39
3/14/19 3:40	1.79	15.39
3/14/19 3:50	2.01	15.39
3/14/19 4:00	1.44	15.39
3/14/19 4:10	1.65	15.39
3/14/19 4:20	1.47	15.39
3/14/19 4:30	1.51	15.40
3/14/19 4:40	1.78	15.40
3/14/19 4:50	1.72	15.40
3/14/19 5:00	1.58	15.41
3/14/19 5:10	1.79	15.41
3/14/19 5:20	1.80	15.41
3/14/19 5:30	1.69	15.41
3/14/19 5:40	2.07	15.41
3/14/19 5:50	1.65	15.41
3/14/19 6:00	1.55	15.42
3/14/19 6:10	1.73	15.44
3/14/19 6:20	1.72	15.46
3/14/19 6:30	1.38	15.48
3/14/19 6:40	1.36	15.51
3/14/19 6:50	1.54	15.53
3/14/19 7:00	1.37	15.55
3/14/19 7:10	1.41	15.58
3/14/19 7:20	1.21	15.60
3/14/19 7:30	1.44	15.62

Waktu (WIB)	Hs (m)	Tp (s)
3/14/19 7:40	1.58	15.64
3/14/19 7:50	1.18	15.67
3/14/19 8:00	1.19	15.69
3/14/19 8:10	1.25	15.71
3/14/19 8:20	1.49	15.73
3/14/19 8:30	1.40	15.75
3/14/19 8:40	1.90	15.77
3/14/19 8:50	1.30	15.78
3/14/19 9:00	1.71	15.80
3/14/19 9:10	1.61	15.81
3/14/19 9:20	1.11	15.82
3/14/19 9:30	1.66	15.83
3/14/19 9:40	1.15	15.84
3/14/19 9:50	1.23	15.84
3/14/19 10:00	0.80	15.85
3/14/19 10:10	1.33	15.85
3/14/19 10:20	1.34	15.86
3/14/19 10:30	1.18	15.86
3/14/19 10:40	1.47	15.86
3/14/19 10:50	1.28	15.87
3/14/19 11:00	1.42	15.87
3/14/19 11:10	1.38	15.87
3/14/19 11:20	1.36	15.87
3/14/19 11:30	1.47	15.87
3/14/19 11:40	1.23	15.86
3/14/19 11:50	1.73	15.86
3/14/19 12:00	1.37	15.83
3/14/19 12:10	1.38	15.76
3/14/19 12:20	1.35	15.66
3/14/19 12:30	1.49	15.58
3/14/19 12:40	1.44	15.50
3/14/19 12:50	1.79	15.44
3/14/19 13:00	1.28	15.40
3/14/19 13:10	1.54	15.37
3/14/19 13:20	1.51	15.35
3/14/19 13:30	1.73	15.33
3/14/19 13:40	1.41	15.31

Waktu (WIB)	Hs (m)	Tp (s)
3/14/19 13:50	1.73	15.29
3/14/19 14:00	2.02	15.27
3/14/19 14:10	1.34	15.25
3/14/19 14:20	1.35	15.23
3/14/19 14:30	0.98	15.22
3/14/19 14:40	1.24	15.20
3/14/19 14:50	1.38	15.18
3/14/19 15:00	1.03	15.17
3/14/19 15:10	1.21	15.15
3/14/19 15:20	1.16	15.14
3/14/19 15:30	1.32	15.13
3/14/19 15:40	1.05	15.11
3/14/19 15:50	1.19	15.10
3/14/19 16:00	1.14	15.09
3/14/19 16:10	1.38	15.08
3/14/19 16:20	1.30	15.07
3/14/19 16:30	1.86	15.06
3/14/19 16:40	1.20	15.05
3/14/19 16:50	1.59	15.04
3/14/19 17:00	1.27	15.04
3/14/19 17:10	1.27	15.06
3/14/19 17:20	1.48	15.08
3/14/19 17:30	1.31	15.11
3/14/19 17:40	1.26	15.14
3/14/19 17:50	1.14	15.17
3/14/19 18:00	1.75	15.18
3/14/19 18:10	1.60	15.17
3/14/19 18:20	1.34	15.16
3/14/19 18:30	1.24	15.14
3/14/19 18:40	1.45	15.13
3/14/19 18:50	1.66	15.11
3/14/19 19:00	1.49	15.10
3/14/19 19:10	1.12	15.09
3/14/19 19:20	1.66	15.08
3/14/19 19:30	1.35	15.07
3/14/19 19:40	1.30	15.06
3/14/19 19:50	0.88	15.05

Waktu (WIB)	Hs (m)	Tp (s)
3/14/19 20:00	1.03	15.04
3/14/19 20:10	0.95	15.03
3/14/19 20:20	1.20	15.02
3/14/19 20:30	1.19	15.01
3/14/19 20:40	1.61	15.00
3/14/19 20:50	1.27	15.00
3/14/19 21:00	1.32	14.99
3/14/19 21:10	1.49	14.98
3/14/19 21:20	1.47	14.97
3/14/19 21:30	0.95	14.96
3/14/19 21:40	1.21	14.96
3/14/19 21:50	1.32	14.95
3/14/19 22:00	1.38	14.94
3/14/19 22:10	1.41	14.94
3/14/19 22:20	1.53	14.93
3/14/19 22:30	1.25	14.92
3/14/19 22:40	1.03	14.91
3/14/19 22:50	1.30	14.91
3/14/19 23:00	1.58	14.90
3/14/19 23:10	1.13	14.90
3/14/19 23:20	1.63	14.89
3/14/19 23:30	1.56	14.88
3/14/19 23:40	1.36	14.88
3/14/19 23:50	1.27	14.87
3/15/19 0:00	1.04	14.86
3/15/19 0:10	1.09	14.86
3/15/19 0:20	0.99	14.85
3/15/19 0:30	1.30	14.85
3/15/19 0:40	1.70	14.84
3/15/19 0:50	1.09	14.84
3/15/19 1:00	1.21	14.83
3/15/19 1:10	1.36	14.83
3/15/19 1:20	1.64	14.82
3/15/19 1:30	1.06	14.82
3/15/19 1:40	1.10	14.81
3/15/19 1:50	1.41	14.81
3/15/19 2:00	1.01	14.80

Waktu (WIB)	Hs (m)	Tp (s)
3/15/19 2:10	1.17	14.80
3/15/19 2:20	1.38	14.79
3/15/19 2:30	1.23	14.79
3/15/19 2:40	1.36	14.79
3/15/19 2:50	1.65	14.78
3/15/19 3:00	1.25	14.78
3/15/19 3:10	1.55	14.77
3/15/19 3:20	1.35	14.77
3/15/19 3:30	1.25	14.77
3/15/19 3:40	1.02	14.76
3/15/19 3:50	1.27	14.76
3/15/19 4:00	1.28	14.76
3/15/19 4:10	0.95	14.75
3/15/19 4:20	1.08	14.75
3/15/19 4:30	1.26	14.75
3/15/19 4:40	1.06	14.74
3/15/19 4:50	1.39	14.74
3/15/19 5:00	1.33	14.73
3/15/19 5:10	1.29	14.73
3/15/19 5:20	1.11	14.73
3/15/19 5:30	0.97	14.72
3/15/19 5:40	1.22	14.72
3/15/19 5:50	1.07	14.71
3/15/19 6:00	1.36	14.71
3/15/19 6:10	1.25	14.70
3/15/19 6:20	0.97	14.70
3/15/19 6:30	1.02	14.69
3/15/19 6:40	1.01	14.69
3/15/19 6:50	1.04	14.68
3/15/19 7:00	1.26	14.68
3/15/19 7:10	1.03	14.67
3/15/19 7:20	0.76	14.67
3/15/19 7:30	1.48	14.66
3/15/19 7:40	1.29	14.66
3/15/19 7:50	1.05	14.65
3/15/19 8:00	1.23	14.64
3/15/19 8:10	1.08	14.64

Waktu (WIB)	Hs (m)	Tp (s)
3/15/19 8:20	1.23	14.63
3/15/19 8:30	1.07	14.62
3/15/19 8:40	0.78	14.61
3/15/19 8:50	1.08	14.60
3/15/19 9:00	0.74	14.59
3/15/19 9:10	0.78	14.58
3/15/19 9:20	1.24	14.57
3/15/19 9:30	1.28	14.56
3/15/19 9:40	1.14	14.55
3/15/19 9:50	0.96	14.54
3/15/19 10:00	1.59	14.52
3/15/19 10:10	1.19	14.51
3/15/19 10:20	1.62	14.50
3/15/19 10:30	1.30	14.48
3/15/19 10:40	1.18	14.47
3/15/19 10:50	1.50	14.45
3/15/19 11:00	1.38	14.43
3/15/19 11:10	0.99	14.41
3/15/19 11:20	1.08	14.39
3/15/19 11:30	1.04	14.37
3/15/19 11:40	1.09	14.35
3/15/19 11:50	1.47	14.32
3/15/19 12:00	0.81	14.30
3/15/19 12:10	0.88	14.26
3/15/19 12:20	1.13	14.24
3/15/19 12:30	1.52	14.21
3/15/19 12:40	1.22	14.18
3/15/19 12:50	1.08	14.16
3/15/19 13:00	0.98	14.13
3/15/19 13:10	1.05	14.10
3/15/19 13:20	1.02	14.08
3/15/19 13:30	0.86	14.05
3/15/19 13:40	1.02	14.03
3/15/19 13:50	0.87	14.00
3/15/19 14:00	0.95	13.98
3/15/19 14:10	1.02	13.95
3/15/19 14:20	0.87	13.93

Waktu (WIB)	Hs (m)	Tp (s)
3/15/19 14:30	1.15	13.91
3/15/19 14:40	0.87	13.88
3/15/19 14:50	0.87	13.86
3/15/19 15:00	0.89	13.84
3/15/19 15:10	0.87	13.83
3/15/19 15:20	0.72	13.81
3/15/19 15:30	1.00	13.80
3/15/19 15:40	1.01	13.78
3/15/19 15:50	0.96	13.77
3/15/19 16:00	0.94	13.76
3/15/19 16:10	0.95	13.75
3/15/19 16:20	1.01	13.74
3/15/19 16:30	1.00	13.73
3/15/19 16:40	1.07	13.72
3/15/19 16:50	1.03	13.71
3/15/19 17:00	1.21	13.70
3/15/19 17:10	0.75	13.69
3/15/19 17:20	1.21	13.68
3/15/19 17:30	1.04	13.68
3/15/19 17:40	1.17	13.67
3/15/19 17:50	1.20	13.66
3/15/19 18:00	1.34	13.66
3/15/19 18:10	1.14	13.65
3/15/19 18:20	1.20	13.64
3/15/19 18:30	0.92	13.64
3/15/19 18:40	1.39	13.63
3/15/19 18:50	1.55	13.62
3/15/19 19:00	1.22	13.62
3/15/19 19:10	1.16	13.61
3/15/19 19:20	1.07	13.60
3/15/19 19:30	1.01	13.60
3/15/19 19:40	1.37	13.59
3/15/19 19:50	1.24	13.59
3/15/19 20:00	1.03	13.58
3/15/19 20:10	1.31	13.57
3/15/19 20:20	0.87	13.57
3/15/19 20:30	1.22	13.56

Waktu (WIB)	Hs (m)	Tp (s)
3/15/19 20:40	0.87	13.56
3/15/19 20:50	0.90	13.55
3/15/19 21:00	1.00	13.55
3/15/19 21:10	0.75	13.54
3/15/19 21:20	1.06	13.54
3/15/19 21:30	0.95	13.53
3/15/19 21:40	0.73	13.53
3/15/19 21:50	0.96	13.52
3/15/19 22:00	0.78	13.52
3/15/19 22:10	1.14	13.51
3/15/19 22:20	1.18	13.51
3/15/19 22:30	0.80	13.50
3/15/19 22:40	0.99	13.50
3/15/19 22:50	1.01	13.49
3/15/19 23:00	0.84	13.49
3/15/19 23:10	0.94	13.48
3/15/19 23:20	1.11	13.48
3/15/19 23:30	0.87	13.47
3/15/19 23:40	0.89	13.47
3/15/19 23:50	1.07	13.46
3/16/19 0:00	0.83	13.45
3/16/19 0:10	0.91	13.43
3/16/19 0:20	0.92	13.40
3/16/19 0:30	0.85	13.36
3/16/19 0:40	0.79	13.31
3/16/19 0:50	0.93	13.24
3/16/19 1:00	0.92	13.17
3/16/19 1:10	1.05	13.10
3/16/19 1:20	0.87	13.06
3/16/19 1:30	0.95	13.03
3/16/19 1:40	1.00	13.00
3/16/19 1:50	0.94	12.97
3/16/19 2:00	1.02	12.94
3/16/19 2:10	0.90	12.91
3/16/19 2:20	0.98	12.89
3/16/19 2:30	0.89	12.86
3/16/19 2:40	1.08	12.84

Waktu (WIB)	Hs (m)	Tp (s)
3/16/19 2:50	0.88	12.82
3/16/19 3:00	1.07	12.80
3/16/19 3:10	0.71	12.79
3/16/19 3:20	0.85	12.76
3/16/19 3:30	1.00	12.75
3/16/19 3:40	1.08	12.73
3/16/19 3:50	0.96	12.71
3/16/19 4:00	0.79	12.69
3/16/19 4:10	0.74	12.68
3/16/19 4:20	0.78	12.66
3/16/19 4:30	0.76	12.65
3/16/19 4:40	0.88	12.63
3/16/19 4:50	0.80	12.62
3/16/19 5:00	0.89	12.61
3/16/19 5:10	0.80	12.59
3/16/19 5:20	0.73	12.59
3/16/19 5:30	1.08	12.58
3/16/19 5:40	0.95	12.57
3/16/19 5:50	0.78	12.56
3/16/19 6:00	0.92	12.55
3/16/19 6:10	0.90	12.55
3/16/19 6:20	0.93	12.54
3/16/19 6:30	0.86	12.54
3/16/19 6:40	0.74	12.53
3/16/19 6:50	0.88	12.53
3/16/19 7:00	0.88	12.52
3/16/19 7:10	0.93	12.52
3/16/19 7:20	0.65	12.51
3/16/19 7:30	0.79	12.51
3/16/19 7:40	0.93	12.51
3/16/19 7:50	0.68	12.50
3/16/19 8:00	0.84	12.50
3/16/19 8:10	0.76	12.50
3/16/19 8:20	0.86	12.50
3/16/19 8:30	0.67	12.50
3/16/19 8:40	0.69	12.50
3/16/19 8:50	0.64	12.50

Waktu (WIB)	Hs (m)	Tp (s)
3/16/19 9:00	0.69	12.49
3/16/19 9:10	0.60	12.49
3/16/19 9:20	0.85	12.49
3/16/19 9:30	0.90	12.49
3/16/19 9:40	0.77	12.50
3/16/19 9:50	0.74	12.50
3/16/19 10:00	0.88	12.50
3/16/19 10:10	0.84	12.50
3/16/19 10:20	0.84	12.50
3/16/19 10:30	0.88	12.50
3/16/19 10:40	0.75	12.50
3/16/19 10:50	0.89	12.50
3/16/19 11:00	0.65	12.51
3/16/19 11:10	0.74	12.51
3/16/19 11:20	0.91	12.51
3/16/19 11:30	0.68	12.51
3/16/19 11:40	0.94	12.52
3/16/19 11:50	0.58	12.52
3/16/19 12:00	0.86	12.52
3/16/19 12:10	0.92	12.51
3/16/19 12:20	0.99	12.49
3/16/19 12:30	0.77	12.47
3/16/19 12:40	0.86	12.44
3/16/19 12:50	0.82	12.42
3/16/19 13:00	0.73	12.40
3/16/19 13:10	0.92	12.38
3/16/19 13:20	0.77	12.37
3/16/19 13:30	0.70	12.37
3/16/19 13:40	0.70	12.37
3/16/19 13:50	0.67	12.37
3/16/19 14:00	0.69	12.37
3/16/19 14:10	0.74	12.37
3/16/19 14:20	0.81	12.37
3/16/19 14:30	0.73	12.37
3/16/19 14:40	0.56	12.37
3/16/19 14:50	0.62	12.37
3/16/19 15:00	0.73	12.37

Waktu (WIB)	Hs (m)	Tp (s)
3/16/19 15:10	0.71	12.37
3/16/19 15:20	0.84	12.37
3/16/19 15:30	0.72	12.37
3/16/19 15:40	0.53	12.37
3/16/19 15:50	0.73	12.37
3/16/19 16:00	0.71	12.37
3/16/19 16:10	0.67	12.37
3/16/19 16:20	0.67	12.37
3/16/19 16:30	0.72	12.37
3/16/19 16:40	0.69	12.37
3/16/19 16:50	0.67	12.37
3/16/19 17:00	0.74	12.37
3/16/19 17:10	0.67	12.37
3/16/19 17:20	0.82	12.37
3/16/19 17:30	0.81	12.37
3/16/19 17:40	0.70	12.37
3/16/19 17:50	0.64	12.37
3/16/19 18:00	0.56	12.37
3/16/19 18:10	0.83	12.37
3/16/19 18:20	0.81	12.37
3/16/19 18:30	0.70	12.37
3/16/19 18:40	0.75	12.37
3/16/19 18:50	0.68	12.37
3/16/19 19:00	0.56	12.37
3/16/19 19:10	0.61	12.37
3/16/19 19:20	0.67	12.37
3/16/19 19:30	0.78	12.37
3/16/19 19:40	0.55	12.37
3/16/19 19:50	0.62	12.37
3/16/19 20:00	0.51	12.38
3/16/19 20:10	0.61	12.38
3/16/19 20:20	0.63	12.38
3/16/19 20:30	0.60	12.38
3/16/19 20:40	0.57	12.38
3/16/19 20:50	0.77	12.38
3/16/19 21:00	0.80	12.38
3/16/19 21:10	0.59	12.38
3/16/19 21:20	0.84	12.38
3/16/19 21:30	0.67	12.38
3/16/19 21:40	0.66	12.38
3/16/19 21:50	0.70	12.38
3/16/19 22:00	0.75	12.38
3/16/19 22:10	0.77	12.39
3/16/19 22:20	0.69	12.39
3/16/19 22:30	0.81	12.39
3/16/19 22:40	0.92	12.39
3/16/19 22:50	1.00	12.39
3/16/19 23:00	0.97	12.39
3/16/19 23:10	0.90	12.39
3/16/19 23:20	0.97	12.40
3/16/19 23:30	0.71	12.40
3/16/19 23:40	1.06	12.40
3/16/19 23:50	0.94	12.40

LAMPIRAN 3

Analisis Deformasi Gelombang Perhitungan Secara Manual

15/03/2019 03.00 WIB **T = 14,6 s** **Deg = 204** **L_0 = 332,5 m**

α_0	H_0 (m)	C_0 (m/s)	d (m)	d/L_0	d/L	L (m)	C (m/s)	sin α	α	Kr	Ks	H (m)
24	2.20	22.8	205	0.62	0.6205	330.4	22.63	0.40	24	0.999	0.997	2.19
22	2.19	22.6	150	0.45	0.4540	330.4	22.63	0.37	22	1.000	0.985	2.16
48	2.16	22.6	100	0.30	0.3130	319.5	21.88	0.72	46	0.981	0.949	2.01
40	2.01	22.6	80	0.24	0.2601	307.6	21.07	0.60	37	0.978	0.929	1.83
36	1.83	21.9	60	0.18	0.2083	288.0	19.73	0.53	32	0.977	0.914	1.63
32	1.63	21.1	40	0.12	0.1581	253.0	17.33	0.44	26	0.971	0.920	1.46
28	1.46	19.7	20	0.06	0.1043	191.8	13.13	0.31	18	0.964	0.993	1.39

15/03/2019 04.00 WIB **T = 14,6 s** **Deg = 204** **L_0 = 332,5 m**

α_0	H_0 (m)	C_0 (m/s)	d (m)	d/L_0	d/L	L (m)	C (m/s)	sin α	α	Kr	Ks	H (m)
24	2.20	22.8	205	0.62	0.6205	330.4	22.63	0.40	24	0.999	0.997	2.19
22	2.19	22.6	150	0.45	0.4540	330.4	22.63	0.37	22	1.000	0.985	2.16
48	2.16	22.6	100	0.30	0.3130	319.5	21.88	0.72	46	0.981	0.949	2.01
40	2.01	22.6	80	0.24	0.2601	307.6	21.07	0.60	37	0.978	0.929	1.83
36	1.83	21.9	60	0.18	0.2083	288.0	19.73	0.53	32	0.977	0.914	1.63
32	1.63	21.1	40	0.12	0.1581	253.0	17.33	0.44	26	0.971	0.920	1.46
28	1.46	19.7	20	0.06	0.1043	191.8	13.13	0.31	18	0.964	0.993	1.39

15/03/2019 05.00 WIB **T = 14,5 s** **Deg = 204** **L_0 = 328 m**

α_0	H_0 (m)	C_0 (m/s)	d (m)	d/L_0	d/L	L (m)	C (m/s)	sin α	α	Kr	Ks	H (m)
24	2.100	22.6	205	0.625	0.6305	325.2	22.425	0.403	24	0.999	0.998	2.09
22	2.094	22.4	150	0.457	0.4598	326.2	22.497	0.376	22	1.000	0.986	2.07
48	2.065	22.5	100	0.305	0.3166	315.8	21.781	0.719	46	0.982	0.951	1.93
40	1.928	22.5	80	0.244	0.2627	304.6	21.004	0.600	37	0.979	0.930	1.75
36	1.755	21.8	60	0.183	0.2108	284.6	19.626	0.530	32	0.977	0.915	1.57
32	1.568	21.0	40	0.122	0.1598	250.3	17.261	0.435	26	0.971	0.920	1.40
28	1.400	19.6	20	0.061	0.1053	190.0	13.100	0.313	18	0.964	0.991	1.34

15/03/2019 06.00 WIB **T = 14,5 s** **Deg = 204** **L_0 = 328 m**

α_0	H_0 (m)	C_0 (m/s)	d (m)	d/L_0	d/L	L (m)	C (m/s)	sin α	α	Kr	Ks	H (m)
24	2.100	22.6	205	0.625	0.6305	325.2	22.425	0.403	24	0.999	0.998	2.09
22	2.094	22.4	150	0.457	0.4598	326.2	22.497	0.376	22	1.000	0.986	2.07
48	2.065	22.5	100	0.305	0.3166	315.8	21.781	0.719	46	0.982	0.951	1.93
40	1.928	22.5	80	0.244	0.2627	304.6	21.004	0.600	37	0.979	0.930	1.75
36	1.755	21.8	60	0.183	0.2108	284.6	19.626	0.530	32	0.977	0.915	1.57
32	1.568	21.0	40	0.122	0.1598	250.3	17.261	0.435	26	0.971	0.920	1.40
28	1.400	19.6	20	0.061	0.1053	190.0	13.100	0.313	18	0.964	0.991	1.34

15/03/2019 07.00 WIB **T = 14,5 s** **Deg = 204** **L_0 = 328 m**

α_0	H_0 (m)	C_0 (m/s)	d (m)	d/L_0	d/L	L (m)	C (m/s)	sin α	α	Kr	Ks	H (m)
24	2.100	22.6	205	0.625	0.6305	325.2	22.425	0.403	24	0.999	0.998	2.09
22	2.094	22.4	150	0.457	0.4598	326.2	22.497	0.376	22	1.000	0.986	2.07
48	2.065	22.5	100	0.305	0.3166	315.8	21.781	0.719	46	0.982	0.951	1.93
40	1.928	22.5	80	0.244	0.2627	304.6	21.004	0.600	37	0.979	0.930	1.75
36	1.755	21.8	60	0.183	0.2108	284.6	19.626	0.530	32	0.977	0.915	1.57
32	1.568	21.0	40	0.122	0.1598	250.3	17.261	0.435	26	0.971	0.920	1.40
28	1.400	19.6	20	0.061	0.1053	190.0	13.100	0.313	18	0.964	0.991	1.34

15/03/2019 08.00 WIB **T = 14,4 s** **Deg = 204** **L_0 = 328 m**

α_0	H_0 (m)	C_0 (m/s)	d (m)	d/L_0	d/L	L (m)	C (m/s)	sin α	α	Kr	Ks	H (m)
24	2.10	22.5	205	0.634	0.6305	325.2	22.581	0.409	24	1.001	0.998	2.10
22	2.10	22.6	150	0.464	0.4666	321.4	22.323	0.370	22	0.999	0.987	2.07
48	2.07	22.3	100	0.309	0.3203	312.3	21.684	0.722	46	0.983	0.952	1.94
40	1.94	22.3	80	0.247	0.2653	301.6	20.943	0.603	37	0.980	0.931	1.77
36	1.77	21.7	60	0.185	0.2125	282.3	19.606	0.531	32	0.977	0.915	1.58
32	1.58	20.9	40	0.124	0.1615	247.7	17.199	0.435	26	0.971	0.919	1.41
28	1.41	19.6	20	0.062	0.1063	188.2	13.069	0.313	18	0.964	0.988	1.34

LAMPIRAN 4

Perizinan Penggunaan Software MIKE 21

KEMENTERIAN KELAUTAN DAN PERIKANAN
BADAN RISET DAN SUMBER DAYA MANUSIA
KELAUTAN DAN PERIKANAN
KOMPLEKS BINA SAMUDERA JALAN PASIR PUTIH I ANCOL TIMUR LANTAI IV JAKARTA 14430
TELEPON : (021) 64700755 EXT. 3120 FAKSIMILE: (021) 64711654
LAMAN : www.kkp.go.id SURAT ELEKTRONIK : pusriskel@kkp.go.id

Jakarta, 12 November 2019

Nomor : 2045/BRSDM.2/TU.210/XI/2019
Hal : Permohonan Ijin Penggunaan *Software MIKE 21/3 HD* Untuk Tugas Akhir dan Tesis

Yth. Kepala Departemen Teknik Kelautan
Fakultas Teknologi Kelautan
Institut Teknologi Sepuluh Nopember
Di Surabaya

Bedasarkan surat Kepala Departemen Teknik Kelautan Nomor : 87127/IT2.VI.6.3/PP.05.02/2019 tanggal 22 Oktober 2019 perihal Permohonan Ijin penggunaan *Software* untuk Tugas Akhir, bersama ini dapat disampaikan bahwa pada prinsipnya kami menyetujui pelaksanaan pengolahan data terbatas dengan menggunakan *Software MIKE 21/3* Hidrodynamic (HD) milik Ministry of Marine Affairs and Fisheries, Agency for Marine and Fisheries Research and Development, Jln. Pasir Putih 1 Jakarta Utara Indonesia untuk keperluan Tugas Akhir (Mahasiswa S1) dan Tesis (Mahasiswa S2) atas nama sebagai berikut :

No	Nama	NRP	JudulTugasAkhir
1.	Muhammad Arrozikul R.S.	04311540000070	Analisa Dampak Pembangunan Jetty TerhadapLaju Sedimentasi dan Pola Arus di Kawasan Open Crude Access PT. Pertamina RU III Plaju.
2.	RendatiyarsoLaksono	04311640000018	Analisa Pola Arus Dan LajuSedimentasi Di Dermaga C Pt. Petrokimia Gresik DenganMenggunakan Software Mike 21
3.	Muhammad Ilham Maulana	04311640000039	Studi LajuSedimientasi PLTU Pulang Pisau Akibat Modifikasi Jetty Dalam Upaya Peningkatan Kapasitas Produksi.

Scanned by CamScanner

4.	Muhammad Yasyril Mumtaz	04311640000131	Estimasi Potensi Energi Di Pantai Selatan Banyuwangi.
5.	Ilham Cahya	04311850010005	Pemodelan Banjir dan Sedimentasi di Muara Sungai Welang Pasuruan.
6.	Imayatul Lailiyah	04311850010007	Pemodelan Dinamika Estuari Sungai Welang Pasuruan.
7.	Indri Ika Widyastuti	04311850010010	Pemodelan Kualitas Air dan Upaya Pengendalian Pencemaran di Muara Welang Pasuruan.
8.	Abiyani Choirul Huda	04311850012001	Valuation Economic of Reclamation in TelukLamong.

Adapun waktu pelaksanaan pengolahan data sebagaimana dimaksud diatas berlaku sejak dikeluarkan surat ini hingga selesainya masa studi yang tersebut di atas. Untuk mendukung kelancaran selama pubilkasi paper/ jurnal dimohon untuk mencantumkan nama personal dari instansi Pusat Riset Kelautan, Badan Riset Sumber Manusia, Kemeterian Kelautan dan Perikanan.

Demikian disampaikan dan atas perhatian dan kerjasamanya diucapkan terimakasih.

Kepala Pusat Riset Kelautan,

KEMENTERIAN KELAUTAN DAN PERIKANAN
BADAN RISET DAN SUMBER DAYA MANUSIA
PUSAT RISET KELAUTAN
KELAUTAN PERIKANAN
REPUBLIK INDONESIA

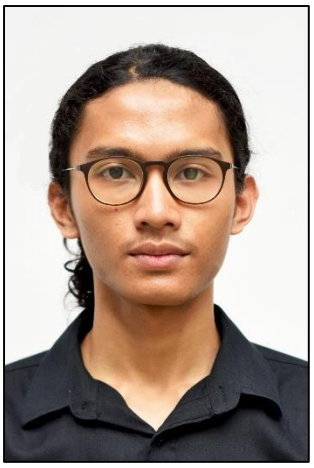
Riyanto Basuki

Tembusan :

- Sekretaris BRSDM KP

Scanned by CamScanner

BIODATA PENULIS



Muhammad Yasyril Mumtaz, atau yang biasa dipanggil Yasyril, dilahirkan di Bandung pada 28 April 1999. Pemuda yang gemar mengopi ini adalah putra bungsu dari tiga bersaudara oleh pasangan Bapak Syafril dan Yanizar Dahlan. Yasyril mengenyam pendidikan dasar di SD Negeri Karang Pawulang III Bandung dan melanjutkan pendidikan menengah di SMP Negeri 5 Bandung. Setelah lulus dari pendidikan menengah, penulis melanjutkan jenjang studinya di SMA Negeri 3 Bandung. Sewaktu SMA, penulis aktif berkegiatan di OSIS dan ekstrakurikuler lainnya, hingga berakhir lulus pada tahun 2016.

Pada tahun yang sama, penulis diberikan kesempatan untuk melanjutkan studi ke jenjang sarjana dalam Program Studi Teknik Kelautan, Fakultas Teknologi Kelautan, Institut Teknologi Sepuluh Nopember. Selama menjadi mahasiswa, penulis aktif berkegiatan di beberapa lembaga kemahasiswaan seperti HIMATEKLA FTK ITS, BEM ITS, serta berbagai lembaga lainnya. Pada tahun 2017, penulis diberikan kesempatan menjadi delegasi ITS dalam program *Student Leadership Excursion* yang diselenggarakan oleh Universiti Kuala Lumpur Malaysia France Institute (UniKL MFI). Pada tahun 2019, penulis turut melaksanakan kerja praktik di Pusat Penelitian dan Pengembangan Geologi Kelautan (P3GL), Kementrian Energi, Sumber Daya dan Mineral (ESDM).

Penulis menyelesaikan Tugas Akhir yang berjudul “Studi Potensi Energi Gelombang Laut Di Pantai Selatan Banyuwangi Menggunakan Sumber Data ERA5 (ECMWF) dan Pengukuran Lapangan” sebagai syarat untuk memeroleh gelar sarjana.