



TESIS - M0235401

**ANALISIS PEMODELAN HIDRODINAMIKA DAN  
TRANSPORTASI SEDIMEN DI AREA *FUEL*  
*TERMINAL* SERUI DAN ALTERNATIF  
PENANGGULANGANNYA**

**AHMAD AZWAR MAS`UD M  
6020212006**

Dosen Pembimbing  
Prof. Suntoyo, ST., M.Eng., Ph.D  
Prof. Ir. Widi Agoes Pratikto, M.Sc., Ph.D

Departemen Teknik Kelautan  
Fakultas Teknologi Kelautan  
Institut Teknologi Sepuluh Nopember  
2023

*Halaman ini sengaja dikosongkan*



# LEMBAR PENGESAHAN TESIS

Tesis disusun untuk memenuhi salah satu syarat memperoleh gelar  
**Magister Teknik (M.T.)**

di

**Institut Teknologi Sepuluh Nopember**

Oleh:

**AHMAD AZWAR MAS'UD M**

**NRP. 6020212006**

dengan Judul Tesis

**Analisis Pemodelan Hidrodinamika dan Transportasi Sedimen di Area Fuel  
Terminal Serui dan Alternatif Penanggulangannya**

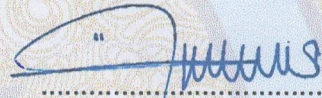
Tanggal Ujian: 22 Januari 2024

Periode Wisuda: April 2024

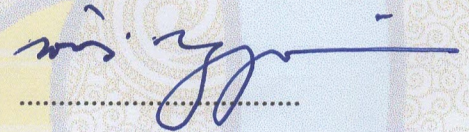
Disetujui oleh:

**Pembimbing:**

1. Prof. Suntoyo., S.T., M.Eng., Ph.D.  
NIP: 197107231995121001



2. Prof. Ir. Widi Agoes Pratikto, M.Sc., Ph.D.  
NPP: 1953202331005

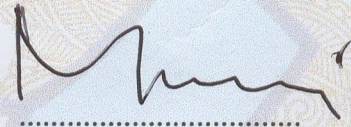


**Penguji:**

1. Dr. Ir. Wahyudi, M.Sc.  
NIP: 196012141989031001



2. Prof. Drs. Mahmud Musta'in, M.Sc., Ph.D.  
NIP: 196108051989101001



3. Dr.Eng. Muhammad Zikra, S.T., M.Sc.  
NIP: 197702252002121002



Kepala Departemen Teknik Kelautan  
Fakultas Teknologi Kelautan



**Heriman Pratikno, S.T., M.T., Ph.D.**

NIP: 197304152000031001



*Halaman ini sengaja dikosongkan*



# ANALISIS PEMODELAN HIDRODINAMIKA DAN TRANSPORTASI SEDIMEN DI *FUEL TERMINAL* SERUI DAN ALTERNATIF PENAGGULANGANNYA

Nama mahasiswa : Ahmad Azwar Mas'ud M  
NRP : 6020212006  
Pembimbing : Prof. Suntoyo, ST., M.Eng., Ph.D  
: Prof. Ir. Widi Agoes Pratikto, M.Sc., Ph.D

## ABSTRAK

*Fuel Terminal* Serui merupakan fasilitas vital milik negara yang mendistribusikan BBM ke seluruh wilayah Pulau Yapen Provinsi Papua yang memiliki permasalahan dimana terjadi overtopping pada bangunan pelindung pantai eksisting yang menyebabkan kerusakan pada fasilitas yang ada. Penelitian ini bertujuan untuk mengetahui proses hidrodinamika dan karakteristik gelombang melalui pemodelan numerik menggunakan MIKE DHI dengan modul (HD), (SW) dan (ST). kemudian meninjau lebih jauh penyebab utama dari permasalahan yang ada dalam menentukan alternatif penanggulangannya. Validasi dilakukan dengan membandingkan output model (arus dan pasang surut) dengan data lapangan serta kajian penjalaran dan transformasi gelombang dengan analisis teoritis yang dibandingkan dengan hasil pemodelan. Hasil validasi model dengan MAPE (*Mean Absolute Percentage Error*) pasang surut (0.3%), arus (30%) dan gelombang (15%) dengan tinggi gelombang yang menjalar ke garis pantai 0.3-0.4 m (*calm waves*). Terjadinya run-up dan overtopping disebabkan oleh geometri dan jenis bangunan pantai eksisting yang tidak sesuai. sehingga menyebabkan gelombang menjadi 2-3 kali lipat dengan rate overtopping yang bersifat destruktif terhadap bangunan sekitar. Sirkulasi arus berkisar 0.1-0.04 s/d 0.1-0.02 m/s dan transport sedimen dengan interval 0.0000016 - 0.0000024 m<sup>3</sup>/s/m. Shield parameter dan pemodelan memperlihatkan perubahan morfologi di sekitar bangunan. Berdasarkan identifikasi permasalahan pantai yang ada maka alternatif penanggulangan yang dilakukan adalah melakukan modifikasi bangunan pelindung pantai eksisting. dimana penentuan dimensi menggunakan kala ulang gelombang 50 tahunan.

**Kata kunci:** hidrodinamika, pemodelan numerik, run-up, transformasi gelombang

*Halaman ini sengaja dikosongkan*



# **HYDRODYNAMIC MODELING AND SEDIMENT TRANSPORTATION ANALYSIS IN FUEL TERMINAL SERUI AND TREATMENT ALTERNATIVES**

Nama mahasiswa : Ahmad Azwar Mas'ud M  
NRP : 6020212006  
Pembimbing : Prof. Suntoyo, ST., M.Eng., Ph.D  
: Prof. Ir. Widi Agoes Pratikto, M.Sc., Ph.D

## **ABSTRACT**

The Serui Fuel Terminal is a vital state-owned facility that distributes fuel throughout the Yapen Island, Papua Province, which has problems where there is overtopping of existing coastal protection buildings which causes damage to existing facilities. This research aims to determine the hydrodynamic process and wave characteristics through numerical modeling using MIKE DHI with (HD), (SW) and (ST) modules. then review further the main causes of existing problems in determining alternative solutions. Validation is carried out by comparing model output (currents and tides) with field data as well as studying wave propagation and transformation with theoretical analysis which is compared with modeling results. Model validation results with MAPE (Mean Absolute Percentage Error) tides (0.3%), currents (30%) and waves (15%) with wave heights that propagate to the coastline of 0.3-0.4 m (calm waves). The occurrence of run-up and overtopping is caused by the inappropriate geometry and type of existing coastal buildings. thus causing the waves to become 2-3 times larger with an overtopping rate which is destructive to surrounding buildings. Current circulation ranges from 0.1-0.04 to 0.1-0.02 m/s and sediment transport in the interval 0.0000016 - 0.0000024 m<sup>3</sup>/s/m. Shield parameters and modeling show changes in morphology around the building. Based on the identification of existing coastal problems, the alternative response taken is to modify existing coastal protection buildings. where the determination of dimensions uses a wave return period of 50 years.

**Keywords:** Hydrodynamics, numerical modeling, run-up, wave transformation.

*Halaman ini sengaja dikosongkan*



## **KATA PENGANTAR**

Puji penulis panjatkan kehadiran Allah SWT yang telah memberikan Rahmat dan Karunia-Nya karena dengan izin-Nya penulis dapat menyelesaikan Tesis yang berjudul “Analisis Pemodelan Hidrodinamikan dan Transportasi Sedimen di Fuel Terminal Serui Serta Alternatif Penanggulangannya”. Tesis ini disusun untuk memenuhi persyaratan dalam menyelesaikan Studi Magister (S-2) di Departemen Teknik Kelautan, Fakultas Teknologi Kelautan (FTK), Institut Teknologi Sepuluh Nopember (ITS) Surabaya.

Dalam penyusunan Tesis ini penulis menyadari terdapat kekurangan baik yang disengaja maupun tidak disengaja. Oleh karena itu saran dan kritik yang membangun sangat penulis harapkan guna membangun kesempurnaan Tesis ini. Penulis berharap semoga Tesis ini dapat bermanfaat bagi perkembangan teknologi di Indonesia khususnya di bidang teknologi kelautan yang berkaitan dengan Infrastruktur Pantai dan Pelabuhan.

Surabaya, Februari 2024

Penulis

*Halaman ini sengaja dikosongkan*



## UCAPAN TERIMA KASIH

Dalam Pengerjaan Tesis ini, penulis sangat bersyukur telah mendapatkan banyak bantuan dari berbagai pihak, baik bantuan secara langsung maupun tidak langsung oleh karena itu penulis ingin mengucapkan rasa terima kasih yang mendalam khususnya kepada:

1. Allah SWT yang telah memberikan rahmat dan hidayah-Nya serta kemudahan dan kelancara dalam pengerjaan tesis ini.
2. Orang tua yang tercinta, Drs Mas`ud Muchtar M.Pd. dan Juli Asri Djafar serta kedua Adik Penulis, Nurul dan Afiq yang telah memberikan cinta kasih, dukungan moral dan doa yang tidak pernah henti.
3. Prof. Suntoyo, S.T., M.Eng., Ph.D. selaku Dosen Pembimbing Pertama yang berkenan meluangkan waktunya untuk membimbing, mengarahkan dan memberikan masukan serta ilmu yang sangat bermanfaat dalam menyelesaikan Tesis ini.
4. Prof. Ir. Widi Agoes Pratikto, M.Sc., Ph.D. selaku Dosen Pembimbing Kedua yang berkenan memberikan bimbingan, masukan, nasihat serta berbagai pengalamannya kepada penulis dalam pengerjaan Tesis ini sehingga dapat terselesaikan dengan baik.
5. Seluruh Dosen penguji sidang Magister Teknik yang telah memberikan arahan dan perbaikan dalam penulisan tesis ini.
6. Rekan sejawat penulis di Divisi Kawasan & K3LH, PT PAL Indonesia atas dukungan dan pengertiannya kepada penulis selama menjalankan studi
7. Yang terkasih dr. Sitti Azhima yang selalu meyakinkan penulis untuk terus bergerak maju dan pantang menyerah
8. Masyarakat Serui, Fuel Terminal Serui Pertamina dan Puslantek COT Unhas atas sambutan dan dukungan selama penulis melakukan pengambilan data.
9. Kepada diri saya sendiri yang sudah berusaha semaksimal mungkin untuk menyelesaikan studi dengan membuktikan serta tidak mengecewakan harapan orang yang saya sebut diatas.

*Halaman ini sengaja dikosongkan*

## DAFTAR ISI

SAMPUL .....	i
LEMBAR PENGESAHAN TESIS .....	iii
ABSTRAK .....	v
ABSTRACT .....	vii
KATA PENGANTAR.....	ix
UCAPAN TERIMA KASIH .....	xi
DAFTAR ISI .....	xiii
DAFTAR GAMBAR.....	17
DAFTAR TABEL .....	21
PENDAHULUAN.....	23
1.1 Latar Belakang.....	23
1.2 Rumusan Masalah .....	24
1.3 Batasan Masalah .....	24
1.4 Tujuan Penelitian.....	25
1.5 Manfaat Penelitian .....	25
TINJAUAN PUSTAKA.....	27
2.1. Penelitian Terdahulu.....	27
2.2. Landasan Teori .....	30
2.2.1. Pantai .....	30
2.2.2. Gelombang .....	31
2.2.3. Transformasi Gelombang.....	33
2.2.4. Run-up dan Overtopping .....	41
2.2.5. Pemilihan Kala Ulang Gelombang.....	43
2.2.6. Kala Ulang Gelombang .....	44
2.2.7. Pasang Surut .....	46
2.2.8. Arus di Dekat Pantai.....	49
2.2.9. Transport Sedimen .....	50
2.2.10. Mike 21 .....	52
2.2.11. Validasi Pemodelan.....	55
2.3. Bangunan Pantai Tumpukan Batu .....	55
2.3.1. Berat Batu Lapis Lindung .....	55
2.3.2. Lebar Puncak Lindung .....	57
2.3.3. Tebal Lapis Lindung .....	58
2.3.4. Jumlah Lapis Lindung .....	58

2.3.5. Struktur Pelindung Kaki Bangunan Tumpukan Beton .....	58
METODOLOGI PENELITIAN.....	61
3.1. Lokasi dan Waktu Penelitian .....	61
3.2. Penyajian Data .....	61
3.2.1. Data Bathimetry .....	62
3.2.2. Data Pasang Surut .....	63
3.2.3. Data Arus .....	65
3.2.4. Data Sedimen Dasar dan Melayang .....	67
3.2.5. Data Gelombang .....	70
3.3. Kerangka Alur Penelitian.....	73
3.3.1. Studi Literatur .....	73
3.3.2. Pengumpulan Data .....	74
3.3.3. Analisis Data.....	74
3.3.4. Pemodelan Kondisi Eksisting .....	74
3.3.5. Identifikasi Permasalahan Pantai dan Evaluasi Kinerja Bangunan Eksisting .....	74
3.3.6. Perencanaan Bangunan Alternatif Penanggulangan .....	74
3.3.7. Penyajian Hasil dan Pelaporan .....	75
3.4. Diagram Alur .....	75
3.5. Rencana dan Jadwal Kerja Penelitian dan Penyusunan Tesis.....	76
HASIL DAN PEMBAHASAN.....	77
4.1. Kondisi Awal Bangunan Eksisting .....	77
4.2. Kondisi Topografi Bathimetri .....	78
4.3. Analisis Hidrodinamika Pantai .....	79
4.3.1. Validasi Pasang Surut .....	79
4.3.2. Pemodelan Gelombang .....	80
4.3.3. Pembuatan Garis Orthogonal Gelombang .....	82
4.3.4. Teori Gelombang yang Sesuai .....	84
4.3.5. Perhitungan Transformasi Gelombang .....	85
4.3.6. Validasi Gelombang .....	86
4.3.7. Pemodelan Hidrodinamika .....	95
4.3.8. Pemodelan Transport Sedimen .....	98
4.4. Perhitungan Run-up dan Overtopping Kondisi Eksisting.....	103
4.5. Identifikasi Permasalahan Pantai .....	105
4.6. Strategi Penyelesaian Masalah dan Rencana Alternatif Bangunan ....	106
4.7. Kinerja Alternatif Bangunan Pantai .....	107
4.8. Layout Bangunan Alternatif.....	108

4.9. Kedalaman Bangunan Eksisting .....	108
4.10. Perencanaan Dimensi Bangunan Alternatif .....	108
4.10.1. Analisis Data Pasang Surut .....	109
4.10.2. Analisis dan Pemilihan Kala Ulang Gelombang.....	112
4.10.3. Transformasi Gelombang .....	114
4.10.4. Gelombang Pecah.....	115
4.10.5. Tinggi Gelombang Rencana.....	117
4.10.6. Run-up Bangunan Rencana.....	117
4.10.7. Tipikal Bangunan dan Persyaratan Bangunan .....	118
4.10.8. Elevasi Puncak Bangunan .....	119
4.10.9. Penentuan Berat Material .....	120
4.10.10. Penentuan Lebar Puncak .....	120
4.10.11. Tebal Lapis Lindung dan Lebar Lapis Lindung.....	120
4.10.12. Perlindungan Gerusan di Kaki (Toe Protection).....	121
4.10.13. Gambar Desain Bangunan Alternatif .....	121
KESIMPULAN .....	123
5.1. Kesimpulan.....	123
5.2. Saran .....	124
DAFTAR PUSTAKA.....	125
LAMPIRAN .....	128



*Halaman ini sengaja dikosongkan*

## DAFTAR GAMBAR

Gambar 2.1. Defenisi dan batasan pantai.....	30
Gambar 2.2. Tipe Profil Pantai .....	31
Gambar 2.3. Defenisi gelombang.....	32
Gambar 2.4. Gambaran proses difraksi.....	35
Gambar 2.5. Hubungan antara $H_o'/gT^2$ dengan $H_b/H$ dalam penentuan tinggi gelombang pecah .....	38
Gambar 2.6. Hubungan antara $H_b/gT^2$ dengan $d_b/H_b$ dalam penentuan kedalaman gelombang pecah .....	39
Gambar 2.7. Klasifikasi gelombang pecah .....	39
Gambar 2.8. Penentuan gelombang rencana ( $H_D$ ) .....	40
Gambar 2.9. Grafik Penentuan Run-up dan Rund-down .....	42
Gambar 2.10. Klasifikasi Overtopping .....	43
Gambar 2.11. Kurva untuk tipe pasang surut.....	47
Gambar 2.12. Gelombang membangkitkan <i>longshore current</i> .....	49
Gambar 2.13. Diagram Shield dalam menentukan $\theta c$ fungsi $S^*$ .....	52
Gambar 2.14. Tipikal Penampang Bangunan Tumpukan Batu.....	55
Gambar 2.15. Tipikal Pelindung kaki yang terendam permanen.....	59
Gambar 2.16. Tipikal Pelindung kaki yang terendam temporer .....	59
Gambar 2.17. Tipikal Pelindung kaki yang terendam temporer .....	60
Gambar 3.1. Lokasi <i>Fuel Terminal</i> Serui Kabupaten Kepulauan Yapen ..	61
Gambar 3.2. Peta Topografi-Bathimetri di Lokasi Studi .....	62
Gambar 3.3. Peta Bathimetri Sekunder di Lokasi Studi .....	63
Gambar 3.4. Peta Lokasi Pemasangan Alat Ukur Pasang Surut .....	64
Gambar 3.5. Proses Pemasangan Alat Ukur Arus.....	65
Gambar 3.6. Peta Lokasi Pemasangan Alat Ukur Arus .....	66
Gambar 3.7. Kecepatan Arus Sebagai Fungsi Waktu dan Elevasi Muka Air .....	66
Gambar 3.8. Proses Pengambilan Sampel Sedimen Dasar dan Melayang	67
Gambar 3.9. Peta Lokasi Pengambilan Sampel Sedimen Dasar .....	67
Gambar 3.10. Peta Lokasi Pengambilan Sampel Sedimen Melayang .....	68
Gambar 3.11. Titik lokasi data gelombang laut dalam .....	70
Gambar 3.12. Mawar Gelombang Serui 20 Tahun .....	72
Gambar 3.13. Mawar Gelombang Serui 2002-2021 .....	73
Gambar 3.14. Diagram Alur Penelitian.....	75
Gambar 4.1. Topografi-Bathimetri Perairan <i>Fuel Terminal</i> Serui.....	78
Gambar 4.2. Validasi Pasang Surut dari Hasil Pemodelan dan Data Pengukuran.....	79
Gambar 4.3. Waverose Serui Januari - Desember 2020 .....	80
Gambar 4.4. Penjalaran Gelombang Arah Barat Kondisi Pasang Tertinggi (Timestep 67) .....	81
Gambar 4.5. Penjalaran Gelombang Arah Barat Kondisi Surut Terendah (Timestep 49) .....	81
Gambar 4.6. Penjalaran Gelombang Arah Barat Kondisi Pasang dan Surut .....	82
Gambar 4.7. Pola dan Penjalaran Orthogonal Gelombang (titik tinjauan	

pada gambar kecil).....	83
Gambar 4.8. Potongan Profile Sepanjang Orthogonal .....	83
Gambar 4.9. Region Validity Teori Gelombang .....	84
Gambar 4.9. Transformasi gelombang pada Orthogonal A (Timestep 67)	88
Gambar 4.10. Transformasi gelombang pada Orthogonal A (Timestep 49) .....	88
Gambar 4.12. Transformasi gelombang pada Orthogonal B (Timestep 67) .....	88
Gambar 4.13. Transformasi gelombang pada Orthogonal B (Timestep 49) .....	89
Gambar 4.14. Transformasi gelombang pada Orthogonal C (Timestep 67) .....	89
Gambar 4.15. Transformasi gelombang pada Orthogonal C (Timestep 49) .....	89
Gambar 4.16. Transformasi gelombang pada Orthogonal D (Timestep 67) .....	89
Gambar 4.17. Transformasi gelombang pada Orthogonal D (Timestep 49) .....	90
Gambar 4.18. Transformasi gelombang pada Orthogonal E (Timestep 67) .....	91
Gambar 4.19. Transformasi gelombang pada Orthogonal E (Timestep 49) .....	91
Gambar 4.20. Transformasi gelombang pada Orthogonal F (Timestep 67) .....	92
Gambar 4.21. Transformasi gelombang pada Orthogonal F (Timestep 49) .....	92
Gambar 4.22. Transformasi gelombang pada Orthogonal G (Timestep 67) .....	92
Gambar 4.23. Transformasi gelombang pada Orthogonal G (Timestep 49) .....	92
Gambar 4.24. Transformasi gelombang pada Orthogonal H (Timestep 67) .....	93
Gambar 4.25. Transformasi gelombang pada Orthogonal H (Timestep 49) .....	93
Gambar 4.26. Transformasi gelombang pada Orthogonal I (Timestep 67) .....	93
Gambar 4.27. Transformasi gelombang pada Orthogonal I (Timestep 49) .....	93
Gambar 4.28. Validasi Kecepatan Arus dari Hasil Pemodelan dan Data Pengukuran .....	95
Gambar 4.29. Pemodelan Sirkulasi Arus Kondisi Pasang Tertinggi (Timestep 67).....	96
Gambar 4.30. Pemodelan Sirkulasi Arus Kondisi Surut Terendah (Timestep 49).....	96
Gambar 4.31. Kecepatan Arus Terhadap Kedalaman Kondisi Pasang Tertinggi (Timestep 67).....	97
Gambar 4.32. Kecepatan Arus Terhadap Kedalaman Kondisi Surut	

Terendah (Timestep 49) .....	98
Gambar 4.33. Transport Sedimen Kondisi Pasang Tertinggi (Timestep 67) .....	99
Gambar 4.34. Pemodelan Transport Sedimen Kondisi Surut Terendah (Timestep 49) .....	99
Gambar 4.35. <i>Bed level change</i> selama 30 hari (Timestep 720).....	100
Gambar 4.36. Perubahan bed level pada titik tinjauan.....	100
Gambar 4.37. Nilai Critical Shield.....	102
Gambar 4.38. Run-up gelombang pada bangunan pantai eksisting .....	104
Gambar 4.39. Klasifikasi Overtopping Kondisi Eksisting.....	105
Gambar 4.40. Layout Bangunan Alternatif.....	108
Gambar 4.41. Grafik Data Pasang Surut di <i>FUEL TERMINAL</i> Serui .....	110
Gambar 4.42. Pengikatan Pasut Terhadap Titik Referensi Untuk LWS = 0.00 m di <i>Fuel Terminal</i> Serui .....	111
Gambar 4.43. Grafik Gelombang Pecah Berbagai Arah.....	116
Gambar 4.44. Layout Potongan Perbaikan Bangunan Eksisting Material Tumpukan Batu.....	122
Gambar 4.45. Layout Potongan Perbaikan Bangunan Eksisting Material Kubus Beton.....	122

*Halaman ini sengaja dikosongkan*



## DAFTAR TABEL

Tabel 2.1. Penentuan Nilai $K_d$ .....	36
Tabel 2.2. Pedoman Pemilihan Gelombang Rencana .....	44
Tabel 2.3. Komponen utama pembangkit pasang surut .....	48
Tabel 2.4. Interpretasi MAPE .....	55
Tabel 2.5. Nilai Koefisien Stabilitas Lapis Lindung ( $K_D$ ) .....	56
Tabel 2.6. Nilai Koefisien Lapis .....	57
Tabel 3.1. Data yang Digunakan .....	62
Tabel 3.2. Contoh Raw Data Pasang Surut .....	64
Tabel 3.3. Hasil Pengujian Kadar Air Sedimen Dasar .....	68
Tabel 3.4. Hasil Gradasi Sedimen Dasar .....	69
Tabel 3.5. Hasil Pengujian Berat Jenis Sedimen Dasar .....	69
Tabel 3.6. Hasil Analisis Padatan Tersuspensi Total (TSS) dan Dsipesi Total (TDS) .....	69
Tabel 3.7. Persentasi Kejadian Gelombang Berdasarkan Arah Datangnya .....	70
Tabel 3.8. Persentasi Kejadian Gelombang Berdasarkan Tinggi Gelombang .....	71
Tabel 3.9. Persentasi Tinggi Gelombang Rata-rata Berdasarkan Arah Datang Gelombang .....	71
Tabel 3.10. Rencana dan Jadwal Kerja Penelitian .....	76
Tabel 4.1. Kondisi Eksisting Bangunan Pantai <i>Fuel Terminal Serui</i> .....	77
Tabel 4.2. Nilai $H/gT^2$ dan $d/gT^2$ .....	84
Tabel 4.3. Perhitungan Transformasi Gelombang Orthogonal A .....	85
Tabel 4.4. Perhitungan Transformasi Gelombang Orthogonal A .....	86
Tabel 4.5. Validasi pemodelan gelombang Orthogonal A (Timestep 67) ..	87
Tabel 4.6. Validasi pemodelan gelombang Orthogonal A (Timestep 49) ..	87
Tabel 4.7. Validasi pemodelan gelombang Orthogonal I (Timestep 67) ...	90
Tabel 4.8. Validasi pemodelan gelombang Orthogonal I (Timestep 49) ...	90
Tabel 4.9. Tinggi gelombang di garis pantai (kondisi pasang tertinggi) ...	94
Tabel 4.10. Tinggi gelombang di garis pantai (kondisi surut terendah) ...	94
Tabel 4.11. Kecepatan Arus Sejajar Pantai (Kondisi Pasang) .....	97
Tabel 4.12. Kecepatan Arus Sejajar Pantai (Kondisi Surut) .....	97
Tabel 4.13. Analisis Transport Sedimen Hasil Pemodelan Selama Satu Bulan .....	101
Tabel 4.14. Analisis Teoritis Transport Sedimen Kondisi Pasang Tertinggi (Timestep 67) .....	101
Tabel 4.15. Analisis Teoritis Transport Sedimen Kondisi Surut Terendah (Timestep 49) .....	101
Tabel 4.16. Perhitungan Treshold Sedimen .....	102
Tabel 4.17. Perhitungan Run-up 2% .....	103
Tabel 4.18. Perhitungan Run-up 10% .....	103
Tabel 4.19. Perhitungan Run-up 33% .....	103
Tabel 4.20. Hasil Perhitungan Overtopping .....	104
Tabel 4.21. Kinerja Alternatif Bangunan Pantai .....	107
Tabel 4.22. Kedalaman Lokasi Bangunan Eksisting .....	108

Tabel 4.23. Hasil Pengamatan Pasang Surut di <i>Fuel Terminal</i> Serui (meter) .....	109
Tabel 4.24. Konstanta Pasang Surut di <i>Fuel Terminal</i> Serui .....	110
Tabel 4.25. Konstanta Pasang Surut di <i>FUEL TERMINAL</i> Serui .....	111
Tabel 4.26. Tinggi Gelombang Signifikan Maximum di Lokasi Studi ...	112
Tabel 4.27. Periode Gelombang Signifikan Maximum di Lokasi Studi .	112
Tabel 4.28. Kala Ulang Gelombang Tahunan di Lokasi Studi.....	113
Tabel 4.29. Parameter Gelombang dengan Kala Ulang 50 Tahun di Lokasi Studi.....	113
Tabel 4.30. Panjang Gelombang Untuk Gelombang yang Merambat dari Berbagai Arah.....	114
Tabel 4.31. Perhitungan Refraksi Tinggi Gelombang Arah Barat .....	114
Tabel 4.32. Perhitungan Tinggi Gelombang Arah Barat.....	115
Tabel 4.33. Tinggi Gelombang Pecah Berbagai Arah.....	116
Tabel 4.34. Rekapitulasi Tinggi Gelombang Rencana .....	117
Tabel 4.35. Hasil Perhitungan Run-up Gelombang dengan Material Konstruksi Batu .....	117
Tabel 4.36. Hasil Perhitungan Run-up Gelombang dengan Material Konstruksi Kubus .....	118
Tabel 4.37. Tipikal Bangunan dan Persyaratan Bangunan.....	119
Tabel 4.38. Berat Batu Lapis Lindung Perbaikan Bangunan Eksisting ..	120
Tabel 4.39. Rekapitulasi Lebar Puncak Perbaikan Bangunan Eksisting.	120
Tabel 4.40. Tebal dan Lebar Lapis Lindung Perbaikan Bangunan Eksisting .....	121
Tabel 4.41. Struktur Toe Protection Bangunan Eksisting .....	121

# **BAB 1**

## **PENDAHULUAN**

### **1.1 Latar Belakang**

Daerah pantai merupakan daerah yang memiliki potensi baik secara ekonomi dan pariwisata. Namun disisi lain pantai juga memiliki permasalahan seperti yang terjadi pada area pantai *Fuel Terminal Serui* di Kabupaten Kepulauan Yapen Provinsi Papua yang merupakan fasilitas milik PT Pertamina (Persero). Permasalahan utama adalah terjadinya limpasan air laut akibat gelombang hingga ke area darat *Fuel Terminal* yang berpotensi bahkan telah menyebabkan kerusakan pada sarana dan prasarana yang ada. Fasilitas *Fuel Terminal* yang terkena dampak dari besar dan tidak terkendalinya gelombang adalah kerusakan pada sarana tambat yang akan berdampak pada timbulnya biaya pemeliharaan dermaga, causeway, serta sarana dan prasarana pendukung pipa, pompa dan bahkan fasilitas lain yang ada di daratan seperti tanki timbun dan lainnya yang beresiko lebih besar.

Sebelumnya telah terdapat bangunan pelindung eksisting yang diharapkan melindungi fasilitas dari permasalahan gelombang, akan tetapi gelombang masih melimpas (*overtopping*) ke belakang bangunan hal ini karena elevasi puncak bangunan relatif rendah dengan ketinggian 0.53 m dari muka air pasang (HWS) dimana sebelumnya tunggang pasang surut air laut di perairan Yapen Waropen kurang lebih 2 m (Husrin & Prihantono, 2007). dengan geometri bangunan yang hampir vertical kemudian energi gelombang di depan bangunan masih tinggi hal ini terlihat dari proses konvergen dan divergen dari penyebaran energi gelombang yang bisa terlihat ketika gelombang belum pecah saat menabrak struktur bangunan serta kondisi morfologi pantai terutama di sepanjang bangunan yang relatif lebih dalam sehingga energi gelombang masih tinggi dan pecah ketika menabrak bangunan eksisting dibandingkan dengan di sekitarnya yang sangat mempengaruhi perbedaan transformasi gelombang serta pola arus di area *Fuel Terminal* dan sekitarnya. Untuk meninjau transformasi gelombang ke pantai dapat menggunakan berbagai model spektral dengan berbagai kondisi seperti muara yang terlindung (Taylor-Burns et al., 2023), *open bay* (Rusu et al., 2011), terumbu karang (Mandlier & Kench, 2012)

dan berbagai profil terumbu karang (Fang et al., 2014).

Maka dari itu perlu adanya kajian yang mendalam secara menyeluruh dari hidrodinamika yang terjadi seperti perubahan karakteristik gelombang dan penjararannya, pola arus serta transpor sedimen di sekitar area studi. Kemudian meninjau lebih dalam penyebab utama dari permasalahan yang ada dalam menentukan alternatif penanggulangannya. dimana gelombang menjadi penting karena dipengaruhi oleh tinggi gelombang yang signifikan, perjalanan pasang surut, dan transformasi gelombang (Sugianto & Andika, 2015) Pada penelitian ini akan dilakukan kajian numerik menggunakan MIKE DHI dengan modul *Hydrodynamic* (HD), *Spectral Wave* (SW) dan *Sediment Trasnport* kemudian dilakukan validasi terhadap arus, pasang surut serta validasi teoritis transformasi gelombang akibat pengaruh shoaling dan refraksi berdasarkan kondisi morfologi perairan.

## **1.2 Rumusan Masalah**

Berdasarkan latar belakang di atas, rumusan masalah yang menjadi kajian dalam penelitian ini adalah sebagai berikut:

1. Bagaimana hidrodinamika di sekitar pantai *Fuel Terminal* Serui?
2. Bagaimana proses transformasi dan penjararan gelombang?
3. Apakah penyebab utama terjadinya limpasan ke area darat?
4. Bagaimana solusi alternatif bangunan yang paling efektif atas permasalahan pantai yang terjadi?

## **1.3 Batasan Masalah**

Agar penelitian dapat terarah sesuai dengan kerangka yang direncanakan, maka dibatasi oleh beberapa hal sebagai berikut:

1. Pemodelan numerik menggunakan MIKE DHI
2. Tidak dilakukan kajian dampak ekonomi dan finansial
3. Tidak mempertimbangkan penurunan bangunan (geoteknik)
4. Validasi dilakukan terhadap arus, pasang surut dan validasi secara teoritis terhadap gelombang

#### **1.4 Tujuan Penelitian**

Tujuan dari penelitian ini adalah

1. Melakukan analisis pemodelan hidrodinamika kondisi eksisting
2. Melakukan analisis pemodelan proses transformasi dan penjalaran gelombang kondisi eksisting
3. Merumuskan bentuk penyebab permasalahan pantai yang ada
4. Merencanakan solusi alternatif permasalahan pantai.

#### **1.5 Manfaat Penelitian**

Adapun manfaat dari penelitian ini adalah:

1. Memberikan informasi kondisi hidrodinamika dan gelombang pada kondisi eksisting
2. Memberikan alternatif penanggulangan yang efektif dalam meredam gelombang
3. Bisa jadi pertimbangan dalam penyelesaian masalah untuk jangka panjang.



*Halaman ini sengaja dikosongkan*

## **BAB 2**

### **TINJAUAN PUSTAKA**

#### **2.1. Penelitian Terdahulu**

Telah banyak penelitian-penelitian terdahulu yang melakukan penelitian tentang hidrodinamika pantai dalam perencanaan bangunan pantai dengan melakukan pemodelan numerik diantaranya yaitu:

Penelitian (Azhar et al., 2011), dengan *Studi Pengamanan Pantai Tipe Pemecah Gelombang Tenggelam di Pantai Tanjung Kait*. Studi ini mengambil kajian tentang sedimentasi yang terjadi di depan struktur tipe pemecah gelombang tenggelam. Proses sedimentasi diperkirakan karena adanya angkutan sedimen sejajar pantai. Dengan menggunakan perangkat lunak Mike 21 dengan modul Hydrodynamic/HD, Spectral Wave/SW, Sand Transport/ST yang digunakan untuk memodelkan proses sedimentasi yang terjadi setelah pemasangan struktur pengamanan pantai berupa pemecah gelombang tenggelam akibat pengaruh arus dan gelombang yang terjadi di pantai Tanjung Kait. Kalibrasi hidrodinamika dilakukan dengan membandingkan output dari model (arus dan elevasi muka air) dengan hasil pengamatan. Skenario pemodelan melakukan running model selama pada saat pemasangan bulan Mei 2011, dibandingkan dengan hasil monitoring yang dilakukan pada saat bulan Desember 2011. Sehingga hasil pemodelan menganalisa pola sedimentasi yang terjadi akibat proses hidrodinamik dan gelombang di sekitar struktur pengamanan pantai pemecah gelombang tenggelam.

Penelitian (Ghipari et al., 2012), dengan *Pemodelan Morfologi Pantai Akibat Pengaruh Submerged Breakwater Berjenjang*. dengan melakukan studi numerik tentang pengaruh submerged breakwater terhadap morfologi pantai menggunakan perangkat lunak Mike 21. Dari hasil penelitian menunjukkan dengan adanya submerged breakwater ternyata lebih efektif dalam menahan laju erosi dan berbagai variasi kedalaman tidak mempengaruhi secara signifikan.

Penelitian (Hatta et al., 2018), dengan *Pengaruh Kondisi Hidrodinamika Pantai Tarawang Terhadap Penentu Tipe Pengaman Pantai*. Penelitian ini menggunakan metode model numerik yang melakukan simulasi muka air dan aliran

di estuari, teluk dan pantai dengan perangkat lunak SMS. Hasil dari penelitian ini adalah ditetapkannya pias Pantai Tarowang yang akan di amankan dengan kedalaman rata rata 2-3 m dengan vector gelombang pada arah selatan dan timur dengan sudut  $45^\circ$  dari arah datang gelombang. Dari hasil simulasi disimpulkan bangunan groin lebih tepat digunakan untuk perencanaan, mengingat energi dan tinggi gelombang yang tereduksi lebih kecil dibandingkan dengan *Detached Breakwater*.

Penelitian (Fitri et al., 2019), dengan *Dynamic of Sediment Transport and Erosion-Deposition Patterns in the Locality of a Detached Low-Crested Breakwater on a Cohesive Coast*. Penelitian ini menyelidiki pola transport sedimen dan erosi-endapan di lokasi detached low-crested breakwater yang melindungi pantai kohesif Pulau Carey, Malaysia. Data yang digunakan untuk penelitian ini dikumpulkan dari pengukuran lapangan dan sumber sekunder dari 2014 hingga 2015. Ketinggian dasar laut dipantau setiap dua bulan mulai dari Desember 2014 hingga Oktober 2015, untuk mengukur perubahan dasar laut dan menyelidiki pola pengendapan erosi dari sedimen kohesif karena keberadaannya dari pemecah gelombang. Selain itu, pemodelan numerik juga dilakukan untuk memahami dampak dari pemecah gelombang pada hidrodinamika dekat pantai dan menyelidiki dinamika transport sedimen di sekitar struktur pemecah gelombang. Analisis dari hasil menunjukkan bahwa *detached breakwater* mengurangi kecepatan arus dan tinggi gelombang di belakang struktur dengan rata-rata masing-masing 0.12 m/s dan 0.1 m. Juga, pemecah gelombang memungkinkan untuk sedimen tersuspensi yang terperangkap untuk menetap di area terlindung dengan ketinggian sekitar 8 cm di dekat segmen utama pertama pemecah gelombang, dari 1 tahun setelah pembangunannya. Hasil numerik sejalan dengan pengukuran lapangan, dimana akumulasi sedimen terkonsentrasi di daerah belakang pemecah gelombang. Penilaian menggambarkan bahwa pola pengendapan sangat dipengaruhi oleh variasi kondisi hidrodinamika musiman, jenis sedimen, pasokan sedimen dan desain struktural. Pemecah gelombang terpisah jarang dipertimbangkan untuk pantai yang kohesif; maka, ini memberikan hal baru, bagi para insinyur, ilmuwan, dan otoritas pengelolaan pesisir sehubungan dengan perubahan dinamis musiman yang dipengaruhi oleh detached breakwater dan kinerjanya di pantai yang kohesif

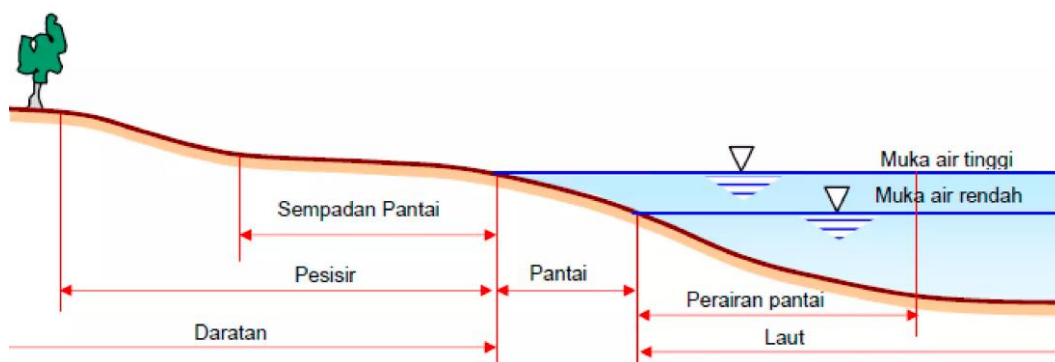
Penelitian (J. N. C. Oliveira et al., 2018), dengan *Modelling The Beach Morphodynamics in Defence Schemes of Combined Groin Fields and Seawall Under Storms Conditions*. Penelitian ini mensimulasikan kompleks perilaku hidrodinamik dan morfologi dekat pantai dan memungkinkan studi interaksi antara struktur yang berbeda. Studi ini berfokus pada penerapan model XBeach untuk disederhanakan kondisi morfologi wilayah pesisir selatan Figueira da Foz, di mana kombinasi groin dan skema pertahanan tembok laut diimplementasikan. Hasil menunjukkan bahwa model dapat mensimulasikan evolusi morfologis berubah saat menambahkan tembok laut ke bidang groin yang ada di bawah badai kondisi sesuai dengan pemahaman proses saat ini, dan menjelaskan lebih banyak interaksi kompleks yang dihasilkan dalam jenis skema perlindungan pantai ini.

Penelitian (M. F. Oliveira et al., 2020), dengan *Modelling The Morphodynamics in the Vicinity of a Submerged Detached Breakwater*. Morfodinamika akibat interaksi gelombang – pemecah gelombang – dasar di zona aktif yang terletak di sekitar struktur dianalisis menggunakan dua model numerik: model dua dimensi, kedalaman rata-rata (2DH), Delft3D, dan satu baris (garis pantai), LITLINE. Model-model tersebut diterapkan mengingat tipikal kondisi gaya hidrodinamik (gelombang rata-rata dan paling sering) dan kondisi morfo-sediment di lapangan. Parameter pemecah gelombang terhadap respon morfologi pantai dianalisis menggunakan Delft3D. kemudian evolusi garis pantai dibandingkan dengan prediksi LITLINE. Delft3D mampu mereproduksi sirkulasi dominan pola di sekitar struktur, dan antara struktur dan garis pantai, yang mempengaruhi evolusinya. Pada sebaliknya, penyederhanaan model LITLINE tidak memungkinkan representasi dari fenomena fisik yang mendominasi sekitar pemecah gelombang.

## 2.2. Landasan Teori

### 2.2.1. Pantai

Pantai dapat diartikan sebagai suatu wilayah di mana wilayah daratan bertemu dengan wilayah lautan, selain itu, pantai juga merupakan daerah atau tempat di mana gaya-gaya yang berasal dari laut direaksikan ke daratan (CERC, 1984). Pantai merupakan batas antara daerah daratan dengan daerah lautan. Daerah daratan adalah daerah yang terletak di atas dan di bawah permukaan daratan dimulai dari batas garis pasang tertinggi. Sedangkan daerah lautan adalah daerah yang terletak di atas dan di bawah permukaan laut dimulai dari sisi laut pada garis surut terendah, termasuk dasar laut dan bagian bumi di bawahnya (Triatmodjo, 2011).



Gambar 2.1. Defenisi dan batasan pantai

Sumber: Yuwono (1992)

Berdasarkan gambar diatas dapat disimpulkan pantai adalah daerah di tepi perairan yang dipengaruhi oleh air pasang tertinggi dan air surut terendah, sedangkan pesisir adalah daerah darat di tepi laut yang dipengaruhi oleh aktivitas laut. Garis pantai adalah garis batas pertemuan antara daratan dengan lautan. Perairan pantai adalah daerah perairan yang masih dipengaruhi oleh aktivitas daratan. Sempadan pantai adalah daerah sepanjang pantai yang diperuntukkan bagi pengamanan dan pelestarian pantai.

Menurut (Triatmodjo, 2011), morfologi pantai dan dasar laut dekat pantai akibat pengaruh terhadap gelombang dibagi menjadi empat kelompok yang berurutan dari darat ke laut sebagai berikut:

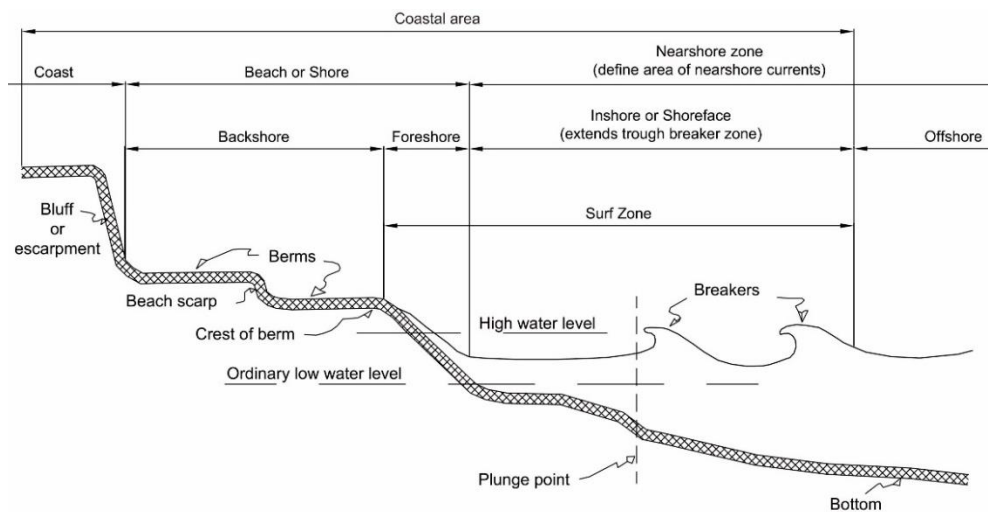
- Backshore merupakan bagian dari pantai yang tidak terendam air laut kecuali bila terjadi gelombang badai
- Foreshore merupakan bagian pantai yang dibatasi oleh beach face atau



muka pantai pada saat surut terendah hingga uprush pada saat air pasang tinggi.

- Inshore merupakan daerah dimana terjadinya gelombang pecah, memanjang dari surut terendah sampai ke garis gelombang pecah.
- Offshore yaitu bagian laut yang terjauh dari pantai (lepas pantai), yaitu daerah dari garis gelombang pecah ke arah laut.

Adapun kelompok morfologi pantai dan dasar laut dapat dilihat pada Gambar 2.2.



Gambar 2.2. Tipe Profil Pantai  
Sumber : (CERC, 1984)

Tipe pantai sangat berpengaruh terhadap kemudahan terjadinya pantai. Berikut ini diuraikan tentang tipe-tipe pantai yang ada di Indonesia berdasarkan tipe paparan (shelf) dan perairan (Pratikto Widi Agoes et al., 1997):

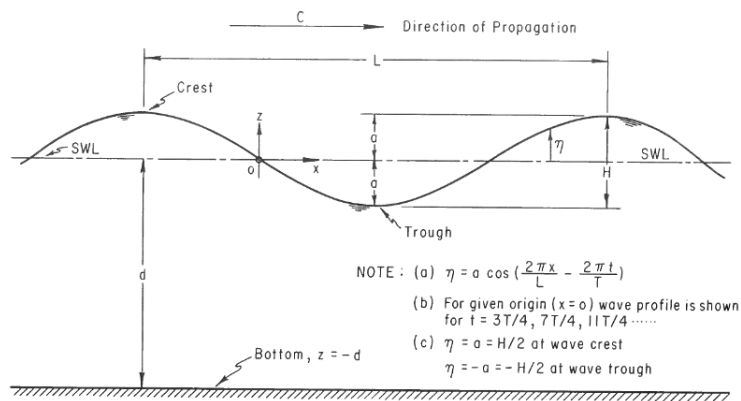
- Pantai Paparan, merupakan pantai dengan proses pengendapan yang dominan
- Pantai Samudra, merupakan pantai di mana proses erosi lebih dominan.
- Pantai Pulau, merupakan pantai yang mengelilingi pulau kecil yang dibentuk oleh endapan sungai, batu gamping, endapan gunung berapi atau endapan lainnya.

### 2.2.2. Gelombang

Gelombang adalah salah satu bentuk energi yang dapat membentuk pantai, menimbulkan arus dan transportasi sedimen. Secara umum bentuk gelombang di alam

sangatlah kompleks dan sulit digambarkan secara matematis karena ketidaklinieran, tiga dimensi dan mempunyai bentuk yang random dengan pengertian suatu deret gelombang mempunyai tinggi dan periode yang berbeda (Triatmodjo, 2011).

Teori yang paling sederhana yang digunakan untuk menerangkan perambatan gelombang gravitasi dikenal sebagai small amplitude wave theory atau linear wave theory. Teori ini dapat digunakan untuk menganalisa gerakan gelombang, gelombang gelombang menjalar tanpa terjadi deformasi dan baik profil permukaan maupun kecepatan partikel air membentuk sinusoidal (Pratikto Widi Agoes et al., 1997).



Gambar 2.3. Defenisi gelombang  
 Sumber (CERC, 1984)

Keterangan:

- d : jarak antara muka air merata dan dasar laut.
- $\eta(x, t)$  : Fluktuasi muka air terhadap muka air diam.
- a : Amplitudo gelombang
- H : Tinggi Gelombang
- T : Periode gelombang yaitu interval waktu yang diperlukan oleh partikel air untuk kembali pada kedudukan yang sama dengan kedudukan sebelumnya
- L : Panjang gelombang yaitu jarak antara dua puncak gelombang yang berurutan.
- C : Kecepatan rambat gelombang =  $L/T$
- K : Angka gelombang =  $2\pi/L$ .
- $\sigma$  : Frekuensi gelombang

Berdasarkan kedalaman relatif, yaitu perbandingan antara kedalaman air  $d$  dan panjang gelombang  $L$ , ( $d/L$ ), gelombang diklasifikasikan menjadi tiga macam yaitu:

1. Gelombang di laut dangkal jika  $d/L < 1/20$
2. Gelombang dilaut Transisi jika  $1/20 < d/L < 1/2$
3. Gelombang dilaut dalam jika  $d/L > 1/2$

### 2.2.3. Transformasi Gelombang

Gelombang menjalar dari perairan dalam menuju pantai mengalami beberapa proses perubahan tinggi gelombang, kecepatan, arah, dan fenomena lainnya seperti proses pendangkalan (*wave shoaling*), proses refraksi (*refraction*), proses difraksi (*difraction*), atau proses pantulan (*reflection*) sebelum gelombang tersebut pecah (*wave breaking*) (Pratikto et al., 2014). Perambatan gelombang seperti refraksi dan difraksi juga harus diketahui terutama dalam perencanaan bangunan pantai dan pelabuhan (Amalia et al., 2014).

Agar puncak gelombang tetap stabil, gelombang ortogonal akan membelok sehingga ortogonal yang sejajar di perairan dalam menjadi konvergen atau divergen seiring terjadinya refraksi. Konvergen dan divergen yang terjadi pada ortogonal gelombang ini akan menyebabkan peningkatan atau penurunan energi gelombang begitupula terhadap tinggi gelombang (Sorensen, 2006). Orthogonal gelombang yang dibuat akan memperlihatkan penjalaran gelombang yang terjadi. Terdapat beberapa metode dalam membuat orthogonal gelombang salah satunya dengan metode puncak gelombang (*wave crest method*) (Johnson et al., 1948).

#### 2.2.3.1. Panjang Gelombang

Berdasarkan teori gelombang linier atau teori gelombang amplitudo kecil, panjang gelombang sebagai fungsi kedalaman air dan periode gelombang dirumuskan pada persamaan 2.1.

$$L = \frac{gT^2}{2\pi} \tanh\left(\frac{2\pi d}{L}\right) \quad (2.1)$$

Dimana  $L$ ,  $g$ ,  $T$ ,  $d$  masing-masing adalah panjang gelombang pada

kedalaman  $d$ , percepatan gravitasi bumi, periode gelombang, dan kedalaman air. Secara implisit, panjang gelombang akan mengalami perubahan jika kedalaman air berubah dengan asumsi, periode gelombang adalah tetap. Persamaan di atas dapat diselesaikan dengan cara iterasi.

### 2.2.3.2. Refraksi dan Pendangkalan Gelombang

Refraksi dan pendangkalan gelombang (Wave Shoaling) dapat menentukan tinggi gelombang di suatu tempat berdasarkan karakteristik gelombang datang. Refraksi mempunyai pengaruh yang cukup besar terhadap tinggi dan arah gelombang serta distribusi energi gelombang di sepanjang pantai. Perubahan arah perambatan gelombang yang diakibatkan oleh adanya perbedaan kecepatan gelombang antara sisi kiri dan kanan puncak perambatannya. Perbedaan kecepatan jalar gelombang ini diakibatkan oleh adanya perbedaan kedalaman air antara sisi kiri dan kanan arah perambatan gelombang. Oleh karena terjadi perbedaan kecepatan jalar, menyebabkan gelombang akan berbelok ke arah dengan kecepatan yang lebih dangkal atau berkecepatan rendah. Akibat dari perubahan arah gelombang tersebut, maka terjadi pula perubahan tinggi dan panjang gelombang. Dan dari proses refraksi ini, maka akan ditemui gelombang yang konvergen dan divergen. dengan menggunakan persamaan 2.2, 2.3 dan 2.4 koefisien refraksi dan shoaling dapat ditentukan.

Koefisien Refraksi:

$$K_r = \sqrt{\frac{\cos \alpha_0}{\cos \alpha}} \quad (2.2)$$

Dimana pada hukum Snell berlaku apabila ditinjau gelombang di laut dalam dan di suatu titik yang ditinjau, yaitu:

$$\sin \alpha = \frac{c}{c_0} \sin \alpha_0 \quad (2.3)$$

Keterangan:

$K_r$  : Koefisien Refraksi

$\alpha$  : Sudut antara garis puncak gelombang dan garis kontur dasar laut di titik yang ditinjau ( $^\circ$ )

$\alpha_0$  : Sudut antara garis puncak gelombang di laut dalam dan garis pantai ( $^\circ$ )

- $C$  : Kecepatan rambat gelombang (m/d)  
 $C_0$  : Kecepatan rambat gelombang di laut dalam (m/d)

Koefisien Shoaling:

$$K_s = \sqrt{\frac{n_o L_o}{nL}} \quad (2.4)$$

Keterangan:

- $K_s$  : Koefisien Pendangkalan (Shoaling)  
 $L$  : Panjang Gelombang (m)  
 $L_0$  : Panjang Gelombang di laut dalam (m)

Tinggi Gelombang

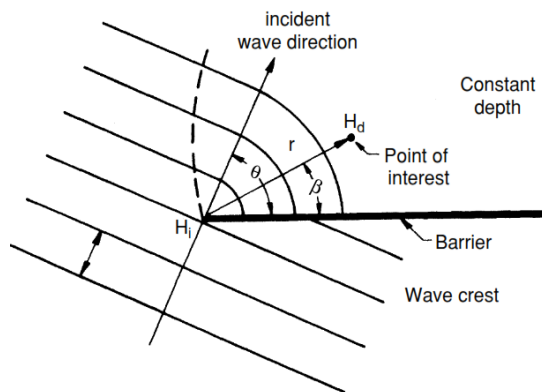
Tinggi gelombang akibat pengaruh refraksi gelombang dan pendangkalan (wave shoaling), diberikan oleh rumus:

$$H = K_s K_r H_0 \quad (2.5)$$

- Keterangan:  $H_0$  : Tinggi gelombang laut dalam (m)  
 $K_s$  : Koefisien Pendangkalan (Shoaling)

### 2.2.3.3. Difraksi Gelombang

Difraksi adalah berbeloknya arah puncak gelombang karena adanya rintangan atau halangan. Gelombang akan berbelok ke arah yang terlindung oleh penghalang. Penghalang dapat berupa pulau atau breakwater dan struktur lainnya yang ada di pantai. Adapun ilustrasi proses difraksi dapat dilihat pada Gambar 2.4



Gambar 2.4. Gambaran proses difraksi  
(Sorensen, 2006)

Gambar di atas memperlihatkan  $H_i$ ,  $H_d$ ,  $\beta$ ,  $\theta$  dan  $r$  adalah tinggi gelombang di ujung penghalang, tinggi gelombang jarak  $r$  dari ujung rintangan, sudut antara rintangan dan garis yang menghubungkan titik tersebut dengan ujung rintangan, sudut antara arah penjarangan gelombang dengan rintangan dan jarak vector titik tinjauan dari ujung rintangan. Perbandingan antara tinggi gelombang di belakang rintangan,  $H_d$  dengan tinggi gelombang ujung rintangan disebut koefisien difraksi,  $K_d$ . Dengan demikian koefisien difraksi dapat dirumuskan dengan persamaan 2.6.

$$K_d = f(\theta, \beta, r/L) \quad (2.6)$$

Untuk menentukan nilai  $K_d$  dapat menggunakan table berikut ini.

Tabel 2.1. Penentuan Nilai  $K_d$

r/L	$\beta$ (derajat)												
	0	15	30	45	60	75	90	105	120	135	150	165	180
$\theta = 15^\circ$													
0.5	0.49	0.79	0.83	0.90	0.97	1.01	1.03	1.02	1.01	0.99	0.99	1.00	1.00
1	0.38	0.73	0.83	0.95	1.04	1.04	0.99	0.98	1.01	1.01	1.00	1.00	1.00
2	0.21	0.68	0.86	1.05	1.03	0.97	1.02	0.99	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00
5	0.13	0.63	0.99	1.04	1.03	1.02	0.99	0.99	1.00	1.01	1.00	1.00	1.00
10	0.35	0.58	1.10	1.05	0.98	0.99	1.01	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00
$\theta = 30^\circ$													
0.50	0.61	0.63	0.68	0.76	0.87	0.97	1.03	1.05	1.03	1.01	0.99	0.95	1.00
1	0.50	0.53	0.63	0.78	0.95	1.06	1.05	0.98	0.98	1.01	1.01	0.97	1.00
2	0.40	0.44	0.59	0.84	1.07	1.03	0.96	1.02	0.98	1.01	0.99	0.95	1.00
5	0.27	0.32	0.55	1.00	1.04	1.04	1.02	0.99	0.99	1.00	1.01	0.97	1.00
10	0.20	0.24	0.54	1.12	1.06	0.97	0.99	1.01	1.00	1.00	1.00	0.98	1.00
$\theta = 45^\circ$													
0.5	0.49	0.50	0.55	0.63	0.73	0.85	0.96	1.04	1.06	1.04	1.00	0.99	1.00
1	0.38	0.40	0.47	0.59	0.76	0.95	1.07	1.06	0.98	0.97	1.01	1.01	1.00
2	0.29	0.31	0.39	0.56	0.83	1.08	1.04	0.96	1.03	0.98	1.01	1.00	1.00
5	0.18	0.20	0.29	0.54	1.01	1.04	1.05	1.03	1.00	0.99	1.01	1.00	1.00
10	0.13	0.15	0.22	0.53	1.13	1.07	0.96	0.98	1.02	0.99	1.00	1.00	1.00
$\theta = 60^\circ$													
0.5	0.40	0.41	0.45	0.52	0.60	0.72	0.85	1.13	1.04	1.06	1.03	1.01	1.00
1	0.31	0.32	0.36	0.44	0.57	0.75	0.96	1.08	1.06	0.98	0.98	1.01	1.00
2	0.22	0.23	0.28	0.37	0.55	0.83	1.08	1.04	0.96	1.03	0.98	1.01	1.00
5	0.14	0.15	0.18	0.28	0.53	1.01	1.04	1.05	1.03	0.99	0.99	1.00	1.00
10	0.10	0.11	0.13	0.21	0.52	1.14	1.07	0.96	0.98	1.01	1.00	1.00	1.00
$\theta = 75^\circ$													
0.5	0.34	0.35	0.38	0.42	0.50	0.59	0.71	0.85	0.97	1.04	1.05	1.02	1.00
1	0.25	0.26	0.29	0.34	0.43	0.56	0.75	0.95	1.02	1.06	0.98	0.98	1.00
2	0.18	0.19	0.22	0.26	0.36	0.54	0.83	1.09	1.04	0.96	1.03	0.99	1.00
5	0.12	0.12	0.13	0.17	0.27	0.52	1.01	1.04	1.05	1.03	0.99	0.99	1.00
10	0.08	0.08	0.1	0.13	0.20	0.52	1.14	1.07	0.96	0.98	1.01	1.00	1.00
$\theta = 90^\circ$													
0.5	0.31	0.31	0.33	0.36	0.41	0.49	0.59	0.71	0.85	0.96	1.03	1.03	1.00
1	0.22	0.22	0.24	0.28	0.33	0.42	0.56	0.75	0.96	1.07	1.05	0.99	1.00
2	0.16	0.16	0.18	0.20	0.26	0.35	0.54	0.69	1.08	1.04	0.96	1.02	1.00
5	0.10	0.10	0.11	0.13	0.16	0.27	0.53	1.01	1.04	1.05	1.02	0.99	1.00
10	0.07	0.07	0.08	0.09	0.13	0.20	0.52	1.14	1.07	0.96	0.99	1.01	1.00
$\theta = 105^\circ$													
0.5	0.28	0.28	0.29	0.32	0.35	0.41	0.49	0.59	0.72	0.85	0.97	1.01	1.00
1	0.20	0.20	0.24	0.23	0.27	0.33	0.42	0.56	0.75	0.95	1.06	1.04	1.00
2	0.14	0.14	0.13	0.17	0.20	0.25	0.35	0.54	0.83	1.08	1.03	0.97	1.00
5	0.09	0.09	0.10	0.11	0.13	0.17	0.27	0.52	1.02	1.04	1.04	1.02	1.00

r/L	$\beta$ (derajat)												
	0	15	30	45	60	75	90	105	120	135	150	165	180
10	0.07	0.06	0.08	0.08	0.09	0.12	0.20	0.52	1.14	1.07	0.97	0.99	1.00
$\theta = 120^\circ$													
0.5	0.25	0.26	0.27	0.28	0.31	0.35	0.41	0.5	0.6	0.73	0.87	0.97	1.00
1	0.18	0.19	0.19	0.21	0.23	0.27	0.33	0.43	0.57	0.76	0.95	1.04	1.00
2	0.13	0.13	0.14	0.14	0.17	0.2	0.26	0.16	0.55	0.83	1.07	1.03	1.00
5	0.08	0.08	0.08	0.09	0.11	0.13	0.16	0.27	0.53	1.01	1.04	1.03	1.00
10	0.06	0.06	0.06	0.07	0.07	0.09	0.13	0.2	0.52	1.13	1.06	0.98	1.00
$\theta = 135^\circ$													
0.5	0.24	0.24	0.25	0.25	0.26	0.28	0.32	0.36	0.42	0.52	0.63	0.76	1.00
1	0.18	0.17	0.18	0.18	0.19	0.21	0.23	0.28	0.34	0.44	0.59	0.78	1.00
2	0.12	0.12	0.13	0.13	0.14	0.14	0.17	0.20	0.26	0.37	0.56	0.84	1.00
5	0.08	0.07	0.08	0.08	0.08	0.09	0.11	0.13	0.17	0.28	0.54	1.00	1.00
10	0.05	0.06	0.06	0.06	0.06	0.07	0.08	0.09	0.13	0.21	0.53	1.12	1.00
$\theta = 150^\circ$													
0.5	0.23	0.23	0.24	0.25	0.27	0.29	0.33	0.38	0.45	0.55	0.68	0.83	1.00
1	0.16	0.16	0.17	0.18	0.19	0.22	0.24	0.29	0.36	0.47	0.63	0.83	1.00
2	0.11	0.11	0.12	0.13	0.14	0.15	0.18	0.22	0.28	0.39	0.59	0.86	1.00
5	0.07	0.07	0.08	0.08	0.08	0.10	0.11	0.13	0.18	0.29	0.55	0.99	1.00
10	0.05	0.05	0.05	0.06	0.06	0.07	0.08	0.10	0.13	0.22	0.54	1.10	1.00
$\theta = 165^\circ$													
0.5	0.23	0.23	0.23	0.24	0.26	0.28	0.31	0.35	0.41	0.5	0.63	0.79	1.00
1	0.16	0.16	0.17	0.17	0.19	0.20	0.23	0.26	0.32	0.4	0.53	0.73	1.00
2	0.11	0.11	0.12	0.12	0.13	0.14	0.16	0.19	0.23	0.31	0.44	0.68	1.00
5	0.07	0.07	0.07	0.07	0.08	0.09	0.1	0.12	0.15	0.2	0.32	0.63	1.00
10	0.05	0.05	0.05	0.06	0.06	0.06	0.07	0.08	0.11	0.11	0.21	0.58	1.00
$\theta = 180^\circ$													
0.5	0.20	0.25	0.23	0.24	0.25	0.28	0.31	0.34	0.40	0.49	0.61	0.78	1.00
1	0.10	0.17	0.16	0.18	0.18	0.23	0.22	0.25	0.31	0.38	0.50	0.70	1.00
2	0.02	0.09	0.12	0.12	0.13	0.18	0.16	0.18	0.22	0.29	0.40	0.60	1.00
5	0.02	0.06	0.07	0.07	0.07	0.08	0.10	0.12	0.14	0.18	0.27	0.46	1.00
10	0.01	0.05	0.05	0.04	0.06	0.07	0.07	0.08	0.10	0.13	0.20	0.36	1.00

Wiegel (1962)

#### 2.2.3.4. Gelombang Pecah

Gelombang pecah dipengaruhi oleh kemiringan (stepness), yaitu perbandingan antara tinggi dan panjang gelombang ( $H/L$ ) dan perbandingan tinggi gelombang dan kedalaman air ( $H/d$ ) (Pratikto, 2014). Di laut dalam kemiringan gelombang maksimum dimana gelombang mulai tidak stabil diberikan oleh bentuk persamaan 2.7. (Sorensen, 2006):

$$\frac{H_0}{L_0} = \frac{1}{7} = 0.142 \quad (2.7)$$

Jika kemiringan melebihi kondisi batas maksimum tersebut maka terjadi ketidakstabilan dimana kecepatan partikel di puncak gelombang lebih cepat dibandingkan cepat rambat gelombang sehingga gelombang pecah. Munk (1949) dalam (CERC, 1984) memberikan rumus menentukan kedalaman gelombang pecah  $d_b$  dan tinggi gelombang pecah  $H_b$  pada persamaan 2.8 dan 2.9 apabila pantai relatif datar, dimana persamaan ini tidak memberikan pengaruh kemiringan pada gelombang pecah ( $m = 0$ )

$$\frac{H_b}{H'_0} = \frac{1}{3.3(H_0/L_0)^{\frac{1}{3}}} \quad (2.8)$$

$$\frac{d_b}{H_b} = 1.28 \quad (2.9)$$

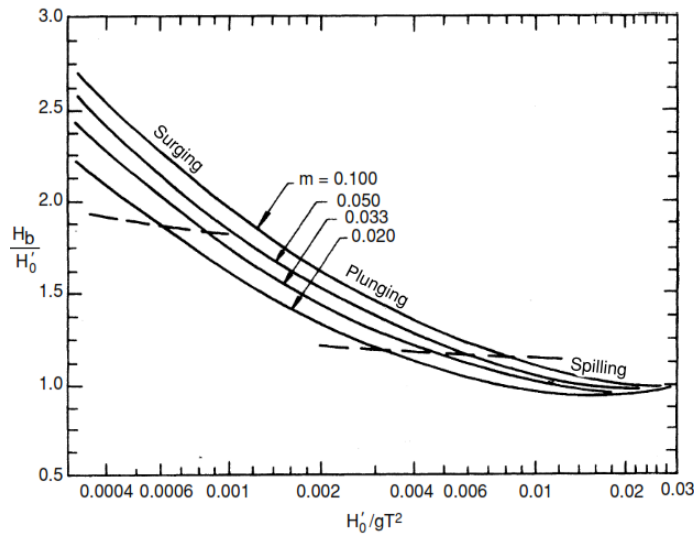
Peneliti lain dalam (CERC, 1984) membuktikan bahwa ada pengaruh kemiringan dasar laut terhadap gelombang pecah. Pada Gambar 2.5 menunjukkan hubungan antara  $H_b/H'_0$  dan  $H'_0/gT^2$  untuk berbagai kemiringan dasar laut. Sedangkan Gambar 2.6 menunjukkan hubungan antara  $d_b/H_b$  dan  $H_b/gT^2$  untuk berbagai kemiringan dasar yang dapat ditulis dalam bentuk persamaan 2.10.

$$\frac{d_b}{H_b} = \frac{1}{b - (aH_b/gT^2)} \quad (2.10)$$

Dimana  $a$  dan  $b$  merupakan fungsi kemiringan pantai  $m$  dan didekati dengan persamaan 2.11 dan 2.12.

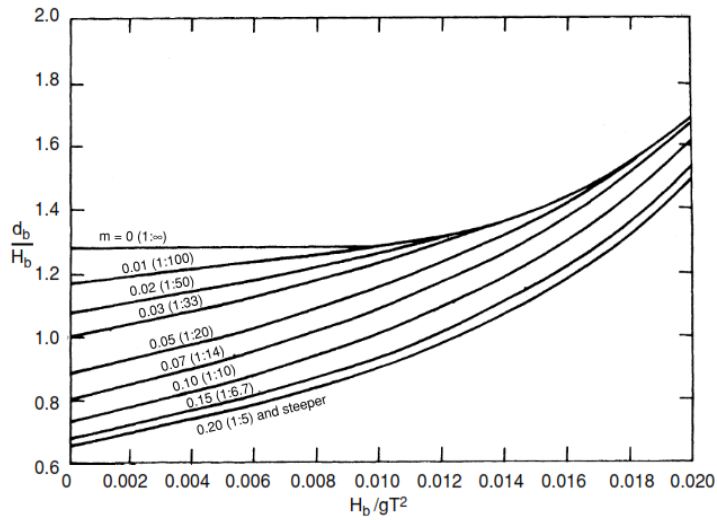
$$a = 43.75(1 - e^{-19m}) \quad (2.11)$$

$$b = \frac{1.56}{(1 + e^{-19.5m})} \quad (2.12)$$



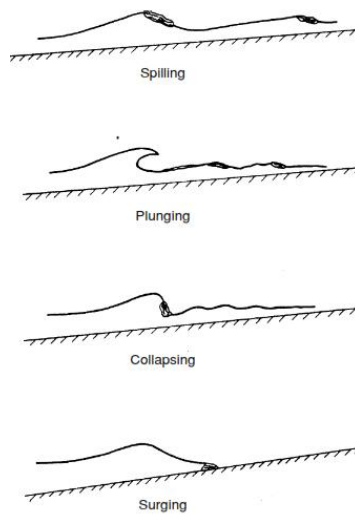
Gambar 2.5. Hubungan antara  $H'_0/gT^2$  dengan  $H_b/H$  dalam penentuan tinggi gelombang pecah (CERC, 1984)





Gambar 2.6. Hubungan antara  $H_b/gT^2$  dengan  $d_b/H_b$  dalam penentuan kedalaman gelombang pecah (CERC, 1984)

Gelombang Pecah terbagi atas 4 kategori yaitu Spilling, Plunging, Colapsing dan Surging sebagaimana terlihat pada gambar 2.7 (Sorensen, 2006). Parameter yang digunakan dalam penentuan karakter gelombang pecah disebut *surf similarity* atau *Iribaren parameter Ir* (Persamaan 2.14). Secara teoritis, gelombang pecah tipe spilling terjadi pad  $Ir < 0.3$ ; *plunging* pada  $0.5 < Ir < 3.3$ ; *collapsing*  $2.5 < Ir < 3.3$  dan *surging*  $Ir > 3.3$ . Berdasarkan bentuk gelombang pecah yang ada, plunging merupakan tipe pecah yang berpotensi menghasilkan gerusan yang besar (Dalrino & Utomo, 2011)



Gambar 2.7. Klasifikasi gelombang pecah (Sorensen, 2006)

### 2.2.3.5. Tinggi Gelombang Rencana

Tinggi gelombang rencana terpilih adalah tinggi gelombang maksimum yang mungkin terjadi di lokasi bangunan. Apabila gelombang telah pecah sebelum mencapai lokasi bangunan, maka gelombang rencana yang dipakai adalah tinggi gelombang pecah ( $H_b$ ) di lokasi bangunan. Apabila gelombang telah pecah atau akan pecah di lokasi bangunan, maka tinggi gelombang rencana yang digunakan  $H_D$  sama dengan tinggi gelombang pecah ( $H_D = H_b$ ). Apabila gelombang belum pecah atau tidak pecah di bangunan. Maka tinggi gelombang yang digunakan adalah tinggi gelombang yang dipengaruhi oleh shoaling, refraksi dan difraksi dan secara matematis ditulis pada persamaan 2.13.

$$H_D = K_S K_R K_D H_o \quad (2.13)$$

Keterangan:

$H_D$  = tinggi gelombang rencana (m)

$H_b$  = tinggi gelombang pecah di lokasi bangunan (m)

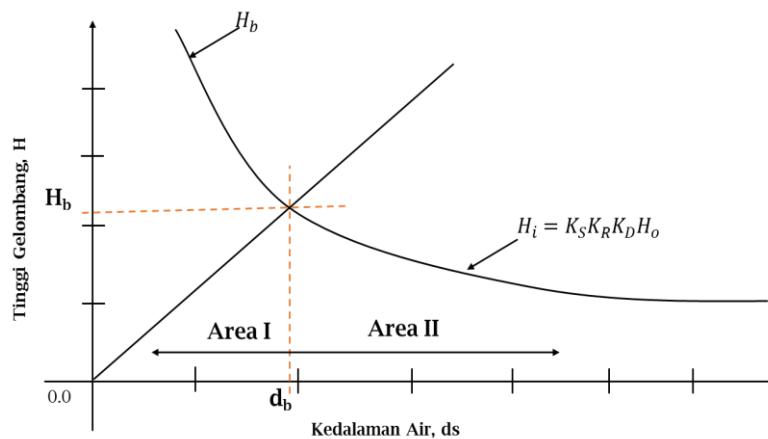
$H_o$  = tinggi gelombang di laut dalam (m)

$K_D$  = koefisien difraksi (jika mengalami proses ini)

$K_R$  = koefisien refraksi

$K_S$  = koefisien shoaling

Persamaan di atas merupakan fungsi dari kedalaman air  $d$ . Dengan melakukan plotting hasil hitungan kedua persamaan tersebut di dalam satu grafik maka akan diperoleh grafik seperti gambar berikut.



Gambar 2.8. Penentuan gelombang rencana ( $H_D$ )

#### 2.2.4. Run-up dan Overtopping

Gelombang pada saat mengenai tembok/tanggul laut akan menimbulkan luncuran air ke permukaan dinding tembok/tanggul laut tersebut, dan luncuran air tersebut dinamakan rayapan gelombang atau *wave run up*. Ini merupakan variabel penting yang harus diperhitungkan dalam desain bangunan pelindung pantai (Di Leo et al., 2022) bahkan jika dikombinasikan dengan gelombang dari arah lain (Van Der Werf & Van Gent, 2018). Tinggi rayapan gelombang secara vertikal dipengaruhi oleh kekasaran permukaan dinding tembok/laut (jenis material tembok), kemiringan dinding tembok laut ( $\theta$ ), tinggi gelombang (H) dan panjang gelombang (L). Parameter dinding dan gelombang direpresentasikan oleh nilai *Iribaren Number* (Ir). Berbagai penelitian telah dilakukan untuk menghitung run-up. Hasil penelitian ini berupa grafik yang dapat digunakan untuk run-up (Triatmodjo, 2011). Dimana efektivitas pengurangan limpasan menurun seiring dengan bertambahnya jumlah Iribarren (Kerpen et al., 2019) yang dirumuskan dengan persamaan 2.14.

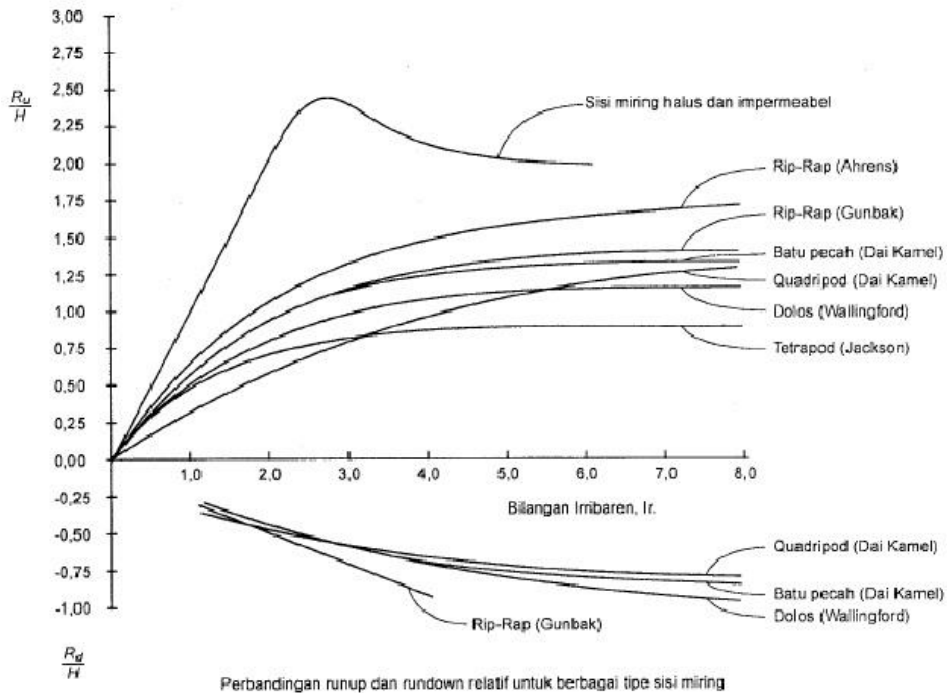
$$Ir = \frac{tg\theta}{\left(\frac{H}{L_0}\right)^{0.5}} \quad (2.14)$$

$\theta$  = kemiringan dinding tembok laut

$L_0$  = panjang gelombang =  $1,56 T^2$  (m)

$T$  = periode gelombang (detik)

Berdasarkan nilai Ir, maka dengan menggunakan grafik run up gelombang, maka rasio antara Ru/H dapat ditentukan. Adapun grafik untuk menentukan nilai Ru/H diperlihatkan pada gambar 2.9.



Gambar 2.9. Grafik Penentuan Run-up dan Rund-down (Triatmodjo, 2011)

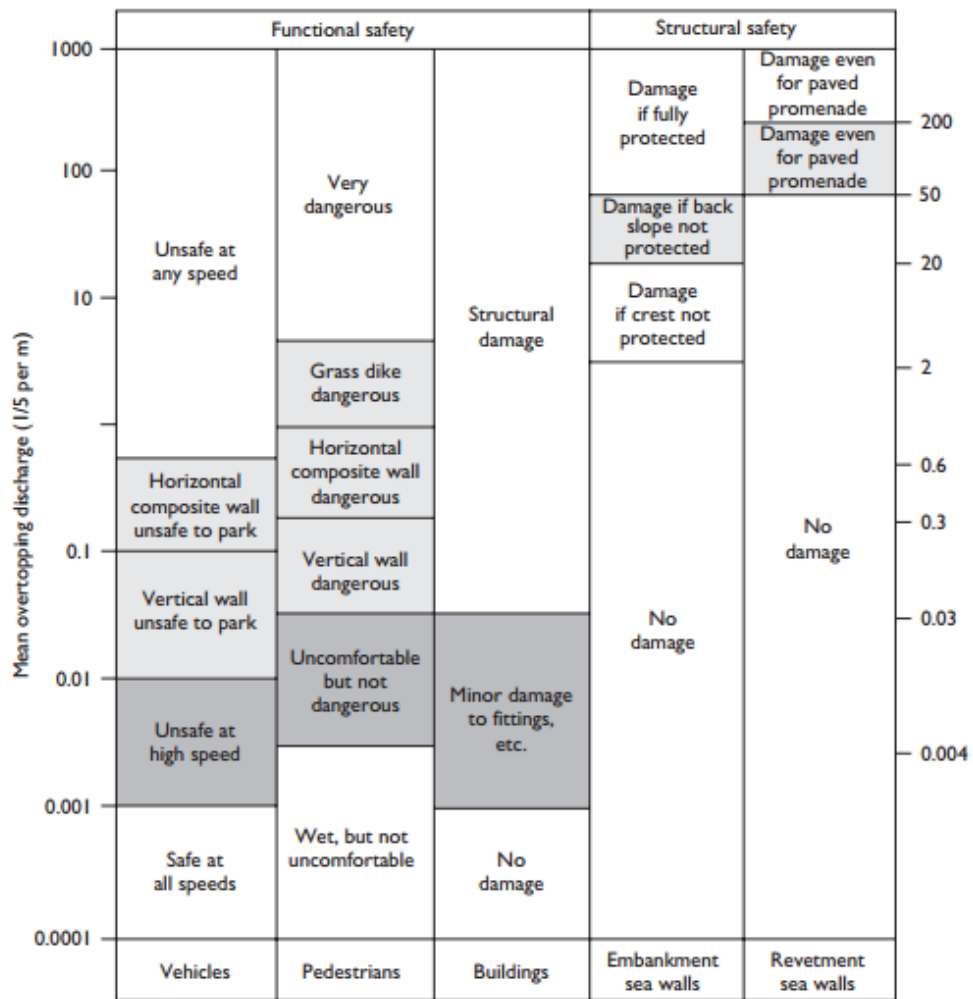
Gambar di atas digunakan untuk menentukan nilai  $R_u/H$  berdasarkan nilai  $I_r$  yang telah diketahui. Apabila diasumsikan nilai  $R_u/H$  dari grafik adalah  $\beta$  atau  $R_u/H = \beta$ , maka tinggi runup dihitung persamaan 2.15.

$$R_u = \beta.H \quad (2.15)$$

Run-up terbagi atas beberapa yaitu  $R_{2\%}$ ,  $R_{10\%}$  dan  $R_{33\%}$ . Maksud dari  $R_{2\%}$  adalah run-up yang terjadi oleh gelombang  $H_{2\%}$  yaitu 2% dari total data gelombang tertinggi rata-rata. (Van Der Mer & Steam, 1993) juga menunjukkan formula empiris untuk menentukan  $R_{2\%}$  dimana untuk kemiringan dan permukaan halus dengan faktor gesekan ( $r_f = 1$ ) diperoleh dari 3 kali tinggi gelombang atau bisa dituliskan pada persamaan 2.16.

$$\frac{R_{2\%}}{H_s} = 3 r_f \quad (2.16)$$

Terjadinya overtopping pada bangunan pelindung pantai bisa mempengaruhi struktur baik pada bangunan itu sendiri dan pada fasilitas yang ada disekitarnya. (Owen, 1980) mengklasifikasikan Batasan volume overtopping yang diijinkan yang dapat dilihat pada gambar 2.10.



Gambar 2.10. Klasifikasi Overtopping (Owen, 1980)

(Bruce, 2006) merumuskan formulasi dalam bentuk eksponensial untuk overtopping gelombang dengan persamaan 2.17.

$$Q = \frac{q}{\sqrt{gH_{m0}^3}} = 0.2 \exp\left(-2.6 \frac{R_c}{H_{m0}} \frac{1}{r_f}\right) \quad (2.17)$$

dengan  $R_c$  adalah freeboard,  $H_{m0}$  tinggi gelombang signifikan dan  $r_f$  koefisien kekasaran (*smooth surface* = 1).

### 2.2.5. Pemilihan Kala Ulang Gelombang

Penentuan kala ulang gelombang rencana dilakukan berdasarkan daerah yang akan dilindungi dan type konstruksi yang akan dibangun. Semakin tinggi nilai ekonomis atau semakin vital daerah yang akan dilindungi makin besar pula kala

ulang gelombang rencana yang akan dipilih. pada perencanaan bangunan pantai biasanya menggunakan kala ulang 50 tahunan atau 100 tahunan (Sorensen, 2006). Dalam penentuan kala ulang (*return period*) gelombang rencana dapat dipergunakan pedoman yang terdapat pada tabel 2.2.

Tabel 2.2. Pedoman Pemilihan Gelombang Rencana

No	Jenis Struktur Bangunan	Gelombang Rencana	
		Jenis Gelombang	Kala ulang (tahun)
1	<b>Struktur Fleksibel</b>	$H_s, (H_{33})$	
	a. Resiko rendah		5 – 10
	b. Resiko sedang		10 – 100
	c. Resiko tinggi		100 – 1000
2	<b>Struktur Semi Kaku</b>	$H_{10} - H_1$	
	a. Resiko rendah		5 – 10
	b. Resiko sedang		10 – 100
	c. Resiko tinggi		100 – 1000
3	<b>Struktur Kaku</b>	$H_1 - H_{maks}$	
	a. Resiko rendah		5 – 10
	b. Resiko sedang		10 – 100
	c. Resiko tinggi		100 – 1000

Yuwono (1996)

### 2.2.6. Kala Ulang Gelombang

Perencanaan struktur pantai dan lepas pantai biasanya didasarkan pada kondisi gelombang ekstrim yang terjadi dalam periode waktu yang lebih panjang dari pada durasi yang diukur baik dari pengukuran maupun peramalan. Sehingga pada umumnya harus di ekstrapolasi sampai periode yang lebih lama untuk memperoleh kondisi gelombang rencana periode kala ulang (Pratikto et al., 1997). Data representatif untuk beberapa tahun pengamatan dapat diperkirakan gelombang yang diharapkan disamai atau dilampaui satu kali dalam T tahun dan gelombang tersebut dikenal dengan periode ulang T tahun atau gelombang T tahunan (Triatmodjo, 2011). Terdapat beberapa metode dalam penentuan kala ulang gelombang salah satunya metode Gumbel (Fisher-Tippet Type I) (CERC, 1984). Untuk menentukann tinggi gelombang signifikan dengan berbagai kala ulang yang mempunyai bentuk persamaan 2.18.

Distribusi Gumbel (Fisher-Tippet Type I)

$$P = (H_s \leq \hat{H}_s) = e^{-e^{-\left(\frac{\hat{H}_s - B}{A}\right)}} \quad (2.18)$$

Keterangan :

$P = (H_s \leq \hat{H}_s)$  : Probabilitas bahwa  $\hat{H}_s$  tidak dilampaui

H : Tinggi gelombang representatif

$\hat{H}_s$  : Tinggi gelombang dengan nilai tertentu

A : Parameter skala

B : Parameter lokasi

Parameter A dan B dihitung dari metode kuadrat terkecil untuk setiap tipe distribusi yang digunakan. Hitungan didasarkan pada analisis regresi linier dari persamaan 2.17. Dimana  $y_m$  diberukan oleh bentuk persamaan 2.20.

$$H_m = \hat{A}y_m + \hat{B} \quad (2.19)$$

$$y_m = -\ln\{-\ln F(H_s \leq H_{sm})\} \quad (2.20)$$

Dengan  $\hat{A}$  dan  $\hat{B}$  adalah perkiraan dari parameter skala dan lokal yang diperoleh dari analisis regresi linier. Sedangkan untuk tinggi gelombang signifikan untuk berbagai periode ulang dihitung dari fungsi distribusi probabilitas dengan persamaan 2.21 dan  $y_m$  diberukan oleh bentuk persamaan 2.22.

$$H_{sr} = \hat{A}y_r + \hat{B} \quad (2.21)$$

$$y_m = -\ln\left\{-\ln\left(1 - \frac{1}{LT_r}\right)\right\} \quad (2.22)$$

Dimana

$H_{sr}$  : Tinggi gelombang signifikan dengan periode ulang  $T_r$

$T_r$  : Periode ulang (tahun)

K : Panjang data (tahun)

L : rerata jumlah kejadian per tahun =  $\frac{N_T}{K}$

Untuk penentuan nilai kala ulang periode gelombang maka digunakan rasio kelandaian gelombang ( $H/gT^2$ ) dari data gelombang maksimum tahunan dan secara matematis ditulis seperti persamaan 2.23.

$$\alpha = \frac{H}{gT^2} \quad (2.23)$$

Dengan  $\alpha$ , H dan T masing-masing adalah kelandaian gelombang yang dihitung berdasarkan tinggi dan periode gelombang significant terbesar tahunan, tinggi gelombang maksimum tahunan dan periode gelombang maksimum tahunan. Dengan demikian periode gelombang dengan kala ulang tertentu dapat dirumuskan seperti persamaan 2.24.

$$T_T = \sqrt{\frac{H_T}{\alpha g}} \quad (2.24)$$

Dengan  $\alpha$ ,  $H_T$  dan  $T_T$  masing-masing adalah Rata-rata kelandaian gelombang, Tinggi gelombang dengan kala ulang tertentu dan Periode gelombang dengan kala ulang tertentu.

### 2.2.7. Pasang Surut

Pasang surut adalah fluktuasi muka air laut karena adanya gaya tarik benda-benda di langit, terutama matahari dan bulan terhadap massa air laut di bumi (Triatmodjo, 2011). Meskipun massa bulan jauh lebih kecil daripada massa matahari, tetapi karena jaraknya terhadap bumi jauh lebih dekat, maka pengaruh gaya tarik bulan terhadap bumi lebih besar daripada pengaruh gaya tarik matahari. Gaya tarik bulan yang mempengaruhi pasang surut 2.2 kali lebih besar daripada gaya tarik matahari.

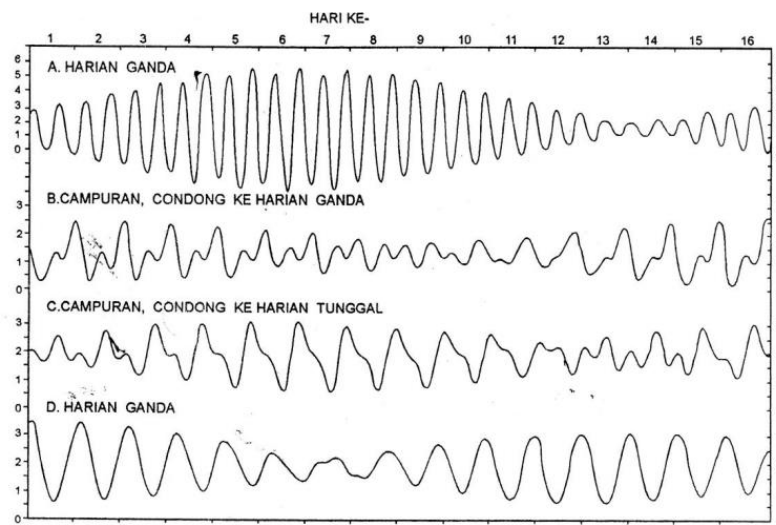
Peristiwa pasang surut air laut menyebabkan muka air laut selalu berubah setiap saat. Karena perubahan yang tidak menentu tersebut, maka diperlukan suatu nilai elevasi muka air laut yang ditetapkan berdasarkan data pasang surut sebagai koreksi terhadap kedalaman perairan.

Secara umum tipe-tipe pasang surut dapat dibagi menjadi empat (Triatmodjo, 2011). yaitu antara lain:

1. Pasang surut harian ganda (semi diurnal tide), yaitu dalam satu hari terjadi dua kali air pasang dan dua kali air surut terjadi secara berurutan secara teratur. Periode pasang surut rata-rata adalah 12 jam 24 menit.
2. Pasang surut harian tunggal (diurnal tide), yaitu dalam satu hari terjadi satu kali air pasang dan satu kali air surut. Periode pasang surut adalah 24 jam 50 menit.



3. Pasang surut campuran condong ke harian ganda (mixed tide prevailing semidiurnal), yaitu dalam satu hari terjadi dua kali air pasang dan dua kali air surut namun dengan periode yang berbeda.
4. Pasang surut campuran condong ke harian tunggal (mixed tide prevailing diurnal), yaitu dalam satu hari terjadi satu kali air pasang dan satu kali air surut, tetapi kadang-kadang untuk sementara waktu terjadi dua kali pasang dan dua kali surut dengan tinggi dan periode yang sangat berbeda.



Gambar 2.11. Kurva untuk tipe pasang surut  
(Triatmodjo, 2011)

Untuk menentukan tipe pasang surut digunakan kriteria Caurtier dengan Formzahl Number (FN). Dimana akan teridentifikasi tipe pasang surut berdasarkan nilai amplitudo komponen utamanya dengan menggunakan persamaan 2.25.

$$F = \frac{K_1 O_1}{M_2 S_2} \quad (2.25)$$

Tipe pasang surut berdasarkan nilai F dapat diklasifikasikan sebagai berikut:

- 0– 0.25 : semi diurnal
- 0.25 – 1.5 : campuran (semi diurnal dominant)
- 1.5 – 3.0 : campuran (diurnal dominant)
- >3.0 : diurnal

Untuk menghitung konstanta harmonik pasang surut atau biasa disebut amplitudo pasang surut, maka perlu dilakukan analisis data pasang surut. Dengan diketahuinya nilai konstanta ini, maka elevasi muka air yang dibutuhkan dalam

penentuan dimensi bangunan dapat dihitung. Pada dasarnya terdapat kurang lebih 2-390 amplitudo komponen pasang surut bulan dan matahari yang masing-masing memiliki perkiraan periode 8 jam hingga 18.6 tahun. Namun hampir dari 390 komponen relatif kecil dan dapat diabaikan dalam melakukan prediksi pasang surut (Sorensen, 2006). Adapun delapan komponen utama penyusun gelombang pasang surut berdasarkan simbol, periode dan keterangannya.

Tabel 2.3. Komponen utama pembangkit pasang surut

Simbol	Peirode	Keterangan
M2	12.42	Komponen utama semidiurnal bulan
S2	12.00	Komponen utama semidiurnal matahari
N2	12.66	Komponen bulan akibat variasi bulanan jarak bumi-bulan
K2	11.97	Komponen matahari-bulan akibat perubahan sudut deklinasi matahari-bulan
K1	23.93	Komponen matahari-bulan akibat perubahan sudut deklinasi matahari-bulan
O1	25.82	Komponen utama diurnal bulan
P1	24.07	Komponen utama diurnal matahari
M1	327.86	Komponen bulan dwi-mingguan

(Sorensen, 2006)

Berdasarkan komponen pembangkit pasang surut akibat bulan dan matahari yang telah diuraikan pada tabel diatas, dimana masing-masing komponen tersebut akan menimbulkan gelombang periodik harmonik yang memiliki amplitudo dan sudut fase yang berbeda satu sama lain yang dapat ditentukan secara teoritis. Untuk menghitung elevasi muka air pada gelombang pasang surut digunakan persamaan 2.26. (Sorensen, 2006)

$$Z_t = S_0 + \sum_{i=1}^f A_i \cos(\omega_i t - G_i) \quad (2.26)$$

Keterangan :

$Z_t$  : elevasi pasang surut fungsi dari waktu,

$S_0$  : duduk tengah atau tinggu muka air rata-rata (mean sea level),

$A_i$  : amplitudo komponen ke-i,

$\omega_i$  : frekuensi sudut komponen ke-i =  $2\pi/T_i$ ,

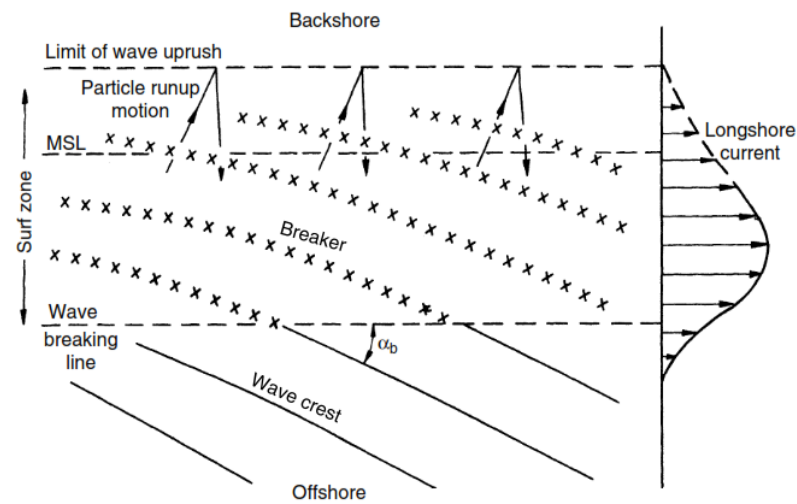
$T_i$  : periode komponen ke-i,

$t$  : waktu,

$G_i$  : beda fase komponen ke-i.

### 2.2.8. Arus di Dekat Pantai

Energi gelombang dari laut dalam menjalar ke pantai seiring dengan berkurangnya kedalaman mengalami pecah disebut gelombang pecah. Energi gelombang pecah menghasilkan arus sejajar pantai (*longshore current*) (Pratama et al., 2023). Arus sepanjang pantai yang dominan adalah arus di *surfzone* yang dihasilkan oleh pecahnya gelombang membentuk sudut menuju garis pantai. Arus sejajar pantai yang disebabkan oleh gelombang ini dan turbulensi yang disebabkan oleh gelombang di surfzone adalah penyebab atas sebagian besar transport sedimen sepanjang pantai. (Sorensen, 2006).



Gambar 2.12. Gelombang membangkitkan *longshore current*

(Sorensen, 2006)

Dimana tinggi gelombang dan sudut datang gelombang pecah merupakan parameter penting dalam menentukan kecepatan arus sejajar pantai Longuet-Higgins dalam (Triatmodjo, 2011) menurunkan persamaan untuk menghitung arus sepanjang pantai pada persamaan 2.27.

$$V = 1.17 \sqrt{g H_b} \sin a_b \cos a_b \quad (2.27)$$

Keterangan:

$V$  : kecepatan arus sepanjang pantai ( $m/s$ )

$g$  : percepatan gravitasi

$H_b$  : tinggi gelombang pecah ( $m$ )

$a_b$  : sudut datang gelombang pecah ( $^\circ$ )

### 2.2.9. Transport Sedimen

Sedimen pantai bisa berasal dari erosi garis pantai itu sendiri, dari daratan yang dibawa oleh sungai dan dari laut dalam yang terbawa arus ke daerah pantai. Transport sedimen pantai adalah gerakan sedimen di daerah pantai oleh gelombang dan arus yang dibangkitkan. Transport sedimen pantai dapat diklasifikasikan menjadi transport sedimen menuju dan meninggalkan pantai (Onshore-Offshore Sediment Transport) dan transport sedimen sepanjang pantai (Longshore Sediment Transport).

Transport sedimen sepanjang pantai banyak menyebabkan permasalahan seperti pendangkalan di pelabuhan, erosi pantai dan sebagainya. Besarnya transport sedimen dipengaruhi oleh tinggi gelombang pecah, sudut gelombang pecah dan karakteristik sedimen. Laju transport sedimen sejajar pantai dirumuskan dengan formula persamaan 2.28 (CERC, 1984).

$$Q = K \left( \frac{\rho \sqrt{g}}{16\kappa^2 (\rho_s - \rho)(1-n)} \right) H_b^{\frac{5}{2}} \sin(2\alpha_b) \quad (2.28)$$

Keterangan:

$Q$  : angkutan sedimen sepanjang pantai (m<sup>3</sup>/hari)

$D_{50}$  : Diameter rerata sedimen

$K$  : Konstanta ( $1.4e^{(-2.5D_{50})}$ )

$\rho$  : rapat massa air laut (1025 kg/m<sup>3</sup>)

$\rho_s$  : massa jenis pasir

$H_b$  : tinggi gelombang pecah (m)

$D_b$  : kedalaman gelombang pecah (m)

$C_b$  : kecepatan gelombang di laut dalam (m/s)

$\alpha_b$  : sudut datang gelombang pecah

$g$  : gravitasi bumi

$\kappa$  :  $H_b/D_b$

$n$  : porositas sedimen (0,4 untuk pasir)

Karakteristik sedimen yang berupa pasir (ukuran > 0.060mm) cenderung bergerak di dasar atau biasa disebut *Bed load Transport*. Jika pergerakannya melayang, disebut *Suspended load Transport* yang umumnya terjadi pada sedimen

lanau atau lempung (ukuran < 0.060mm). Untuk menentukan awal pergerakan sedimen akibat pergerakan gelombang terjadi dengan menggunakan parameter shield. dimana sedimen bergerak jika memenuhi kriteria pada persamaan 2.29 (Liu, 2001).

$$\theta > \theta_c \text{ critical shield parameters } \theta_c = \frac{u_{*c}^2}{(s-1)g d_{50}} \quad (2.29)$$

$$\theta = \frac{\tau_{w,max}}{\rho (s-1)g d_{50}} \quad (2.30)$$

$$\tau_{w,max} = \frac{1}{2} \rho f_w U_m^2 \quad (2.31)$$

$$f_w = \exp\left(5.5 \left(\frac{k_s}{A}\right)^{0.2}\right) - 6.3 \quad (2.32)$$

dengan

$\nu$  : viskositas kinematik (1 cST = 0.000001 m<sup>2</sup>/s)

$V$  : kecepatan arus (m/s)

$s$  :  $\rho_s/\rho$

$\tau_{w,max}$  : tegangan geser dasar maksimum akibat gelombang

$\theta$  : *shield parameters*

$f_w$  : *wave friction factor*

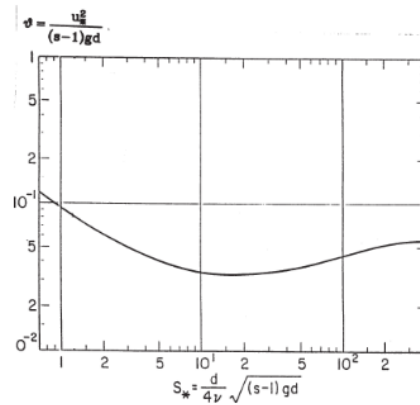
$$A : \text{Amplitudo} = \frac{H}{2} \frac{1}{\sinh\left(\frac{2\pi h}{L}\right)} \quad (2.33)$$

$$U_m = A_w : \text{kecepatan horizontal maksimum partikel} = A \frac{2\pi}{T} \quad (2.34)$$

$$k_s : \text{kekasaran dasar} = \begin{cases} (1 - 10)d_{50} & \text{flat bed} \\ 100d_{50} = H_r & \text{rippled bed} \end{cases}$$

Madsen et. al (1976) dalam (Liu, 2001) mengkonversi diagram shields kedalam diagram yang memperlihatkan hubungan antara *critical shield parameters*  $\theta_c$  dan *sediment fluid parameter*  $S_*$  pada persamaan 2.35.

$$S_* = \frac{d_{50} \sqrt{(s-1)g d_{50}}}{4 \nu} \quad (2.35)$$



Gambar 2.13. Diagram Shield dalam menentukan  $\theta_c$  fungsi  $S_*$   
(Liu, 2001)

### 2.2.10. Mike 21

Mike 21 adalah perangkat lunak yang direkayasa secara profesional yang berisi sistem pemodelan komprehensif untuk memprogram komputer untuk aliran bebas permukaan 2D. Mike 21 dapat diterapkan pada simulasi hidrolika dan fenomena terkait di sungai, danau, muara, teluk, pantai dan laut. Program ini dikembangkan oleh DHI Water & Environment. Mike 21 terdiri dari beberapa modul, antara lain sebagai berikut:

- *Hydrodynamic (HD) Modul*

*Mike 21 hydrodynamic (HD) module* adalah model matematik untuk menghitung perilaku hidrodinamika air terhadap berbagai macam fungsi gaya, misalnya kondisi angin tertentu dan muka air yang sudah ditentukan di *open model boundaries*. *Hydrodynamic module* mensimulasi perbedaan muka air dan arus dalam menghadapiberbagai fungsi gaya di danau, estuari dan pantai. Efek dan fasilitasi yang termasuk di dalamnya yaitu *bottom shear stress, wind shear stress, barometric pressure gradients, Coriolis force, momentum, dispersion, sources and sinks, evaporation, flooding and drying, wave radiation stresses*.

Model hidrodinamik dalam Mike 21 HD adalah sistem model numerik umum untuk muka air dan aliran di estuari, teluk dan pantai. Model ini mensimulasi aliran dua dimensi tidak langgeng dalam fluida satu lapisan (secara vertikal homogen). Dimaana persamaan 2.36, 2.37 dan 2.38 adalah persamaan kontinuitas dan momentum sumbu-x dan sumbu-y yang menggambarkan

aliran dan perbedaan muka air (DHI, 2014a):

$$\frac{\partial \zeta}{\partial t} + \frac{\partial p}{\partial x} + \frac{\partial q}{\partial y} = 0 \quad (2.36)$$

$$\frac{\partial p}{\partial t} + \frac{\partial}{\partial x} \left( \frac{p^2}{h} \right) + \frac{\partial}{\partial y} \left( \frac{pq}{h} \right) + gh \frac{\partial \zeta}{\partial x} + \frac{gp\sqrt{p^2+q^2}}{c^2 \cdot h^2} - \frac{1}{\rho_w} \left[ \frac{\partial}{\partial x} (h\tau_{xx}) + \frac{\partial}{\partial y} (h\tau_{xy}) \right] - \Omega_q - fVV_x + \frac{h}{\rho_w} \frac{\partial}{\partial x} (P_a) = 0 \quad (2.37)$$

$$\frac{\partial q}{\partial t} + \frac{\partial}{\partial y} \left( \frac{q^2}{h} \right) + \frac{\partial}{\partial x} \left( \frac{pq}{h} \right) + gh \frac{\partial \zeta}{\partial y} + \frac{gp\sqrt{p^2+q^2}}{c^2 \cdot h^2} - \frac{1}{\rho_w} \left[ \frac{\partial}{\partial y} (h\tau_{yy}) + \frac{\partial}{\partial x} (h\tau_{xy}) \right] - \Omega_p - fVV_y + \frac{h}{\rho_w} \frac{\partial}{\partial xy} (P_a) = 0 \quad (2.38)$$

Dimana:

$H(x,y,t)$	= kedalaman (= $\zeta - d$ , m)
$d(x,y,t)$	= variasi kedalaman terhadap waktu (m)
$\zeta(x,y,t)$	= elevasi muka air (m)
$p, q(x,y,t)$	= <i>flux density</i> dalam arah x dan y ( $m^3/s/m$ ) = (uh,vh); (u,v) = pada kedalaman dan kecepatan rata-rata dalam arah x dan y
$C(x,y)$	= Tahanan Chezy ( $m^{1/2}/s$ )
$g$	= percepatan gravitasi ( $m/s^2$ )
$f(V)$	= factor gesekan angin
$V, V_x, V_y, (x,y,t)$	= komponen kecepatan angin dalam arah x dan y (m/s)
$\Omega(x,y)$	= parameter Coriolis ( $s^{-1}$ )
$P_a(x,y,t)$	= tekanan atmosfer ( $kg/m/s^2$ )
$\rho_w$	= berat jenis air ( $kg/m^3$ )
$x,y$	= kordinat ruang (m)
$t$	= waktu (s)
$\tau_{xx}, \tau_{xy}, \tau_{yy}$	= komponen tegang

#### - Spektral Wave (SW) Modul

MIKE 21 SW dapat digunakan untuk prediksi gelombang dan analisa dalam skala regional dan skala lokal MIKE 21 SW juga digunakan dalam hubungannya dengan perhitungan transportasi sedimen, yang mana sebagian besar ditentukan oleh kondisi gelombang dan *wave-induced currents*. *Wave-induced current* disebabkan oleh gradien *radiation stresses* yang terjadi di *surf zone*. MIKE 21 SW dapat digunakan untuk menghitung kondisi gelombang dan *radiation stresses*. Dalam modul ini, persamaan pengaturannya adalah persamaan keseimbangan gaya gelombang baik dalam koordinat kartesian maupun *spherical* yang dirumuskan oleh Komen et al. (1994) dan Young (1999). (DHI, 2014b)

- Sand Transport (ST) Modul

Modul Sand Transport (ST) merupakan aplikasi model dari angkutan sedimen non kehesif. MIKE 21 Flow Model FM adalah satu sistem modeling berbasis pada satu pendekatan mesh fleksibel. Dikembangkan untuk aplikasi di dalam oceanographic, rekayasa pantai dan alam lingkungan muara sungai. Sand Transport Module menghitung hasil dari pergerakan material non kohesif berdasarkan kondisi aliran di dalam modul hidrodinamik serta kondisi gelombang dari perhitungan gelombang (modul spectral wave). Pendekatan formula yang digunakan dalam sediment transport di modul ini adalah Engelund-Hansen model, Van-Rijn model, Engelund-Fredsoe model, serta Meyer-Peter-Müller model. Formula yang digunakan tersebut memadukan antara pengaruh arus dan gelombang dalam pergerakan sedimen (DHI, 2014a) Persamaan 2.39. pengatur yang digunakan dalam modul ini adalah sebagai berikut:

$$\frac{\partial z}{\partial t} = \frac{z(1+e^{-z})}{e^{z(z-1)+1}} \frac{1}{U_0} \frac{dU_0}{dt} + \frac{30K}{k} + \frac{\sqrt{K^2 U_0^2 + z^2 U_{f0}^2 + 2Kz U_{f0} U_0 \cos \gamma}}{e^{z(z-1)+1}} \quad (2.39)$$

Dimana: K	= Konstanta Von Karman
t	= waktu
z	= parameter tebal boundary layer
U <sub>0</sub>	= Kecepatan orbit dasar gelombang terdekat
U <sub>f0</sub>	= Kecepatan geser arus dalam lapisan batas gelombang
γ	= sudut antara arus dan gelombang
k	= kekasarann dasar permukaan 2.5 d <sub>50</sub> untuk lapisan <i>plane bed</i> dan 2.5 d <sub>50</sub> + k <sub>R</sub> untuk <i>ripple covered bed</i>
d <sub>50</sub>	= rata ukuran diameter
k <sub>R</sub>	= <i>ripple</i> yang diberkaitan dengan kekasaran

Beberapa item output yang dihasilkan dari Modul Sand Transport (ST) ini adalah

- Total load, x-component
- Total load, y-component
- Rate of bed level change
- Bed level change
- Bed level



### 2.2.11. Validasi Pemodelan

Validasi Pemodelan didasarkan pada nilai MAPE (Mean Absolute Percentage Error) yang dikemukakan oleh (Lewis, 1982), dimana dilihat pada persamaan 2.40.

$$MAPE = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n \left| \frac{X_i' - X_i}{X_i'} \right| 100\% \quad (2.40)$$

Dimana n adalah banyaknya data  $X_i'$  adalah data pengukuran dan  $X_i$  merupakan data pemodelan, Interpretasi nilai MAPE dapat dilihat pada tabel 2.4.

Tabel 2.4. Interpretasi MAPE

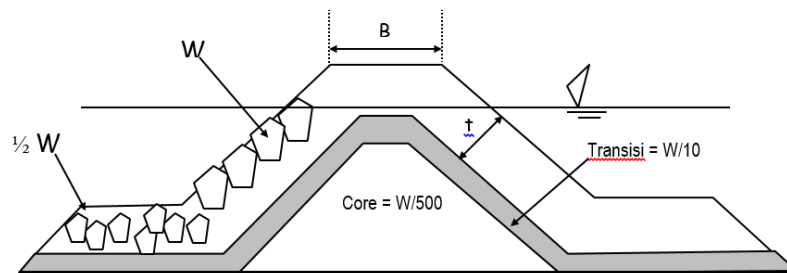
MAPE (%)	Interpretasi
<10%	Sangat Akurat
10%-20%	Baik
20%-50%	Masuk Akal
>50%	Lemah dan Tidak Akurat

(Lewis, 1982)

## 2.3. Bangunan Pantai Tumpukan Batu

### 2.3.1. Berat Batu Lapis Lindung

Dalam mendesain bangunan pantai dari tumpukan batu (batu alam dan batu buatan) baik sebagai pemecah gelombang, groin, revetmen maupun tembok parameter utama yang utama dan harus diketahui adalah berat unit lapis lindung. Adapun tipikal bangunan pantai dari tumpukan batu dapat dilihat pada gambar 2.14.



Gambar 2.14. Tipikal Penampang Bangunan Tumpukan Batu

Berat satu unit lapis lindung dapat dihitung dengan menggunakan formula Hudson (CERC, 1984) pada persamaan 2.41.

$$W = \frac{\gamma_r H^3}{K_D \Delta c o t \alpha} \quad (2.41)$$

Keterangan:

$W$  = berat minimum batu (tf)

- $H$  = tinggi gelombang rencana (m)  
 $K_D$  = koefisien stabilitas batu lindung  
 $\alpha$  = sudut lereng tanggul laut  
 $\gamma_b$  = berat satuan batu lapis lindung (tf/m<sup>3</sup>)  
 $\gamma_a$  = berat satuan air laut (tf/m<sup>3</sup>)  
 $\Delta$  =  $(\gamma_b - \gamma_a) / \gamma_a$

Nilai koefisien stabilitas lapis lindung tergantung pada jenis material lapis lindung (batu alam, kubus, tertapord dan lainnya), kemiringan bangunan, jenis gelombang (pecah atau tidak pecah), perletakan (diujung atau di lengan bangunan) dan proses pemasangan (acak atau disusun). Untuk menentukan koefisien batu lapis lindung maka digunakan table 2.5.

Tabel 2.5. Nilai Koefisien Stabilitas Lapis Lindung ( $K_D$ )

Lapis Lindung	n	Penempatan	Lengan Bangunan		Ujung (Kepala) Bangunan		Slope
			$K_D$		$K_D$		
			Gelombang pecah	Gelombang Tidak Pecah	Gelombang pecah	Gelombang Tidak Pecah	Cot $\beta$
Barn pecah							
Bulat halus	2	Acak	1,2	2,4	1,1	1,9	1,5-3,0
Bulathalus	> 3	Acak	1,6	3,2	1,4	2,3	*2
Bersudut kasar	I	Acak	*1	2,9	*1	2,3	*2
Bersudut kasar	2	Acak	2	4	1,9	3,2	1,5
					1,6	2,8	2
					1,3	2,3	3
Bersudut kasar	> 3	Acak	2,2	4,5	2,1	4,2	*2
Bersudut kasar	2	Khusus*3	5,8	7	5,3	6,4	*2
Paralelepipedum	2	Khusus	7,0-20,0	8,5-24,0	-	-	
Tetrapod dan Quadripod	2	Acak	7	8	5	6	1,5
					4,5	5,5	2
					3,5	4	3
Tribar	2	Acak	9	10	8,3	9	1,5
					7,8	8,5	2
					6	6,5	3
Dolos	2	Acak	15,8	31,8	8	16	2
					7	14	3
Kubus modifikasi	2	Acak	6,5	7,5	-	5	*2
Hexapod	2	Acak	8	9,5	5	7	*2
Tribar	1	Seragam	12,0	15,0	7,5	9,5	*2

(CERC, 1984)

### 2.3.2. Lebar Puncak Lindung

Lebar puncak lindung ( $B$ ) ditentukan minimum setebal dua kali diameter equivalen butiran armor. Sedangkan diameter equivalen butiran nilainya diperkirakan sama dengan sisi kubus atau menggunakan persamaan 2.42.

$$B = nK_{\Delta} \left( \frac{W}{\gamma_r} \right)^{1/3} \quad (2.42)$$

Keterangan:

- $B$  = lebar puncak lapis lindung (m)
- $n$  = jumlah batu susun pada arah lebar bangunan (minimum 3)
- $W$  = berat armor (ton)
- $\gamma_r$  = berat unit armor ( $t/m^3$ )
- $K_{\Delta}$  = koefisien lapis

Nilai  $K_{\Delta}$  mengacu koefisien lapis dan porositas lapis lindung pada tabel 2.6.

Tabel 2.6. Nilai Koefisien Lapis

Batu Pelindung	N	Penempatan	Koef. Lapis ( $k_{\Delta}$ )	Porositas (%)
Batu ( <i>quarrrystone</i> , halus)	2	Acak	1,02	38
Batu ( <i>quarrrystone</i> , kasar)	2	Acak	1,15	37
Batu ( <i>quarrrystone</i> , kasar)	>3	Acak	1,1	40
Kubus	2	Acak	1,1	47
Tetrapod	2	Acak	1,04	50
Quadripod	2	Acak	0,95	49
Hexapod	2	Acak	1,15	47
Tribard	2	Acak	1,02	54
Dolos	2	Acak	1	63
Tribard	1	Seragam	1,13	47
Batu ( <i>quarrrystone</i> )		Acak	-	37

(Triatmodjo, 2011)

### 2.3.3. Tebal Lapis Lindung

Tebal lapis lindung ( $t$ ) ditentukan minimum setebal dua kali diameter equivalen butiran *armor*. Sedangkan diameter equivalen butiran nilainya diperkirakan sama dengan sisi kubus atau menggunakan persamaan 2.43.

$$t = nK_{\Delta} \left( \frac{W}{\gamma_r} \right)^{1/3} \quad (2.43)$$

Keterangan:

- $t$  = tebal lapis lindung (m)
- $n$  = jumlah batu susun pada arah tebal bangunan
- $W$  = berat *armor* (ton)
- $\gamma_r$  = berat unit *armor* ( $t/m^3$ )
- $K_{\Delta}$  = koefisien lapis

### 2.3.4. Jumlah Lapis Lindung

Untuk mengetahui jumlah batu yang dipergunakan untuk keperluan lapis lindung dapat ditentukan dengan persamaan 2.44.

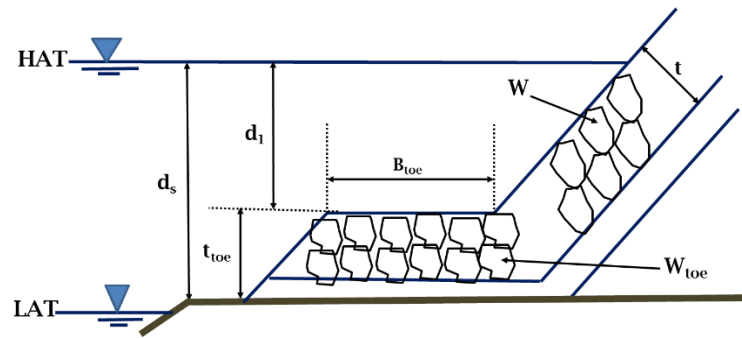
$$N = AnK_{\Delta} \left( 1 - \frac{P}{100} \right) \left( 1 - \frac{W}{\gamma_r} \right)^{2/3} \quad (2.44)$$

Keterangan:

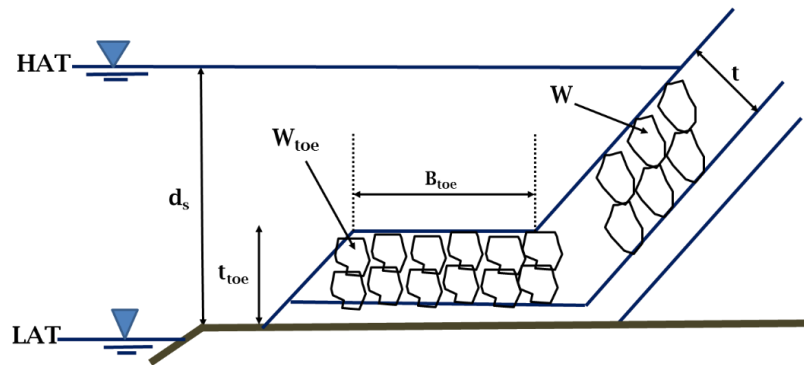
- $N$  = jumlah batu lindung untuk satu satuan luas permukaan
- $A$  = luas daerah permukaan ( $m^2$ )
- $n$  = porositas tumpukan batu
- $P$  = porositas rerata dari lapis lindung dalam %
- $W$  = berat batu (ton)
- $\gamma_r$  = berat unit batu ( $t/m^3$ )

### 2.3.5. Struktur Pelindung Kaki Bangunan Tumpukan Beton

Untuk menghindari gerusan di kaki bangunan maka pada kaki bangunan diberi pelindung yang dinamakan *toe protection* Pilarczyk (1990) dalam (CERC, 1984). dimensi utama pelindung kaki adalah berat pelindung kaki,  $W_{toe}$ , lebar pelindung kaki,  $B_{toe}$ , dan tebal toe,  $t_{toe}$ . Terdapat dua kondisi pelindung kaki, yaitu kaki selalu terendam secara permanen meskipun air surut terendah dan pelindung kaki yang hanya terendam temporer seperti yang diperlihatkan pada gambar 2.15 dan 2.16.



Gambar 2.15. Tipikal Pelindung kaki yang terendam permanen



Gambar 2.16. Tipikal Pelindung kaki yang terendam temporer

Dimensi pelindung kaki dihitung dengan rumus persamaan Lebar puncak pelindung kaki ( $B_{toe}$ ) pada persamaan 2.45 sampai dengan 2.50

$$B_{toe} = 3H \text{ sd. } 4H \quad (2.45)$$

atau

$$B_{toe} = 0.4d_s \quad (2.46)$$

Tebal pelindung kaki ( $t_{toe}$ ):

$$t_{toe} = t \text{ sd. } 2t \quad (2.47)$$

Berat lapis pelindung kaki ( $W_{toe}$ ):

$$W_{toe} = 0.5W \quad (2.48)$$

atau

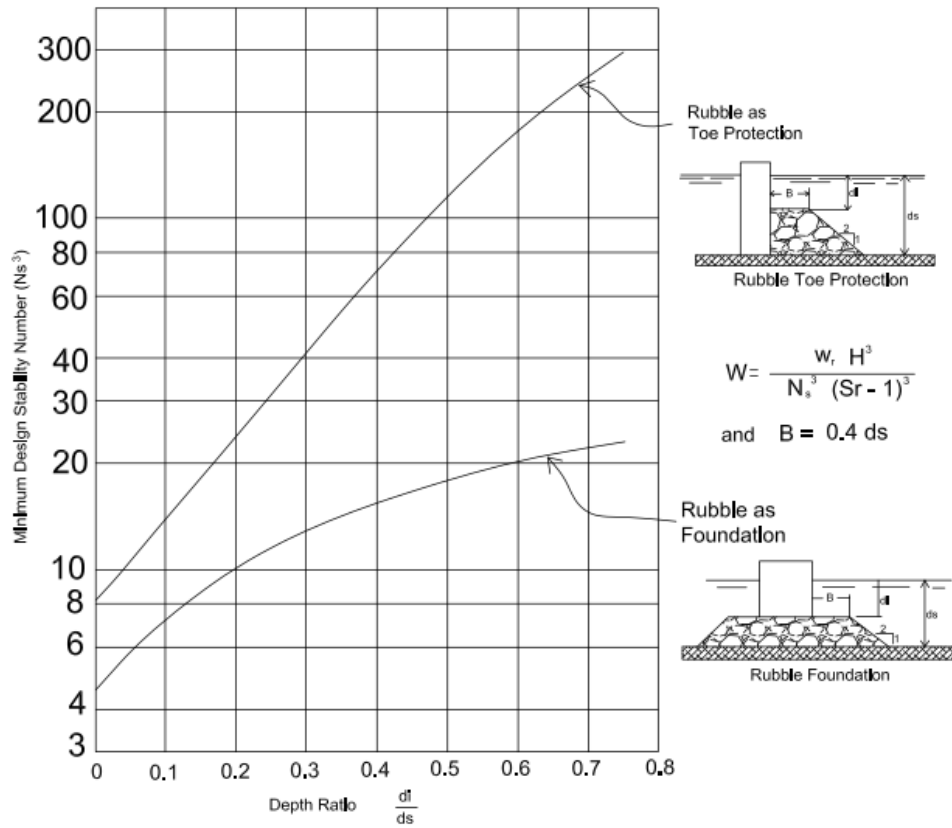
$$W_{toe} = \frac{\gamma_r H^3}{N_s^3 \left( \frac{\gamma_r - \gamma}{\gamma} \right)^3} \quad (2.49)$$

untuk pelindung kaki terendam permanen

$$W_{toe} = \frac{\gamma_r H^3}{K_D \Delta c \cot \alpha} \quad (2.50)$$

untuk pelindung kaki terendam temporer

Sebagai catatan pelindung kaki terendam temporer, tinggi gelombang di kaki bangunan H dihitung berdasarkan kedalaman air pada kaki saat muka air tepat pada mercu kaki. Sedangkan untuk untuk pelindung kaki terendam permanen, nilai  $N_s^3$  ditentukan berdasarkan gambar 2.17.

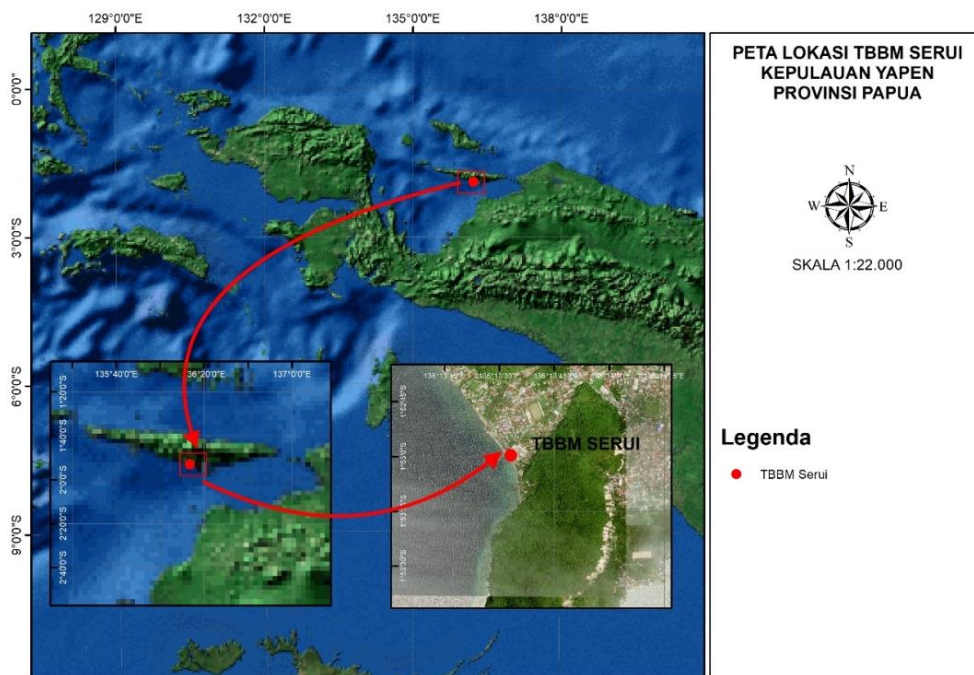


Gambar 2.17. Tipikal Pelindung kaki yang terendam temporer (CERC, 1984)

## BAB III METODOLOGI PENELITIAN

### 3.1. Lokasi dan Waktu Penelitian

Terminal Bahan Bakar Minyak (TTBM) Serui terletak di Pulau Yapen, tepatnya di Banawa, Yapen Selatan Kabupaten Kepulauan Yapen. Adapun peta lokasi Fuel Terminal Serui dapat dilihat pada gambar 3.1.



Gambar 3.1. Lokasi *Fuel Terminal* Serui Kabupaten Kepulauan Yapen

### 3.2. Penyajian Data

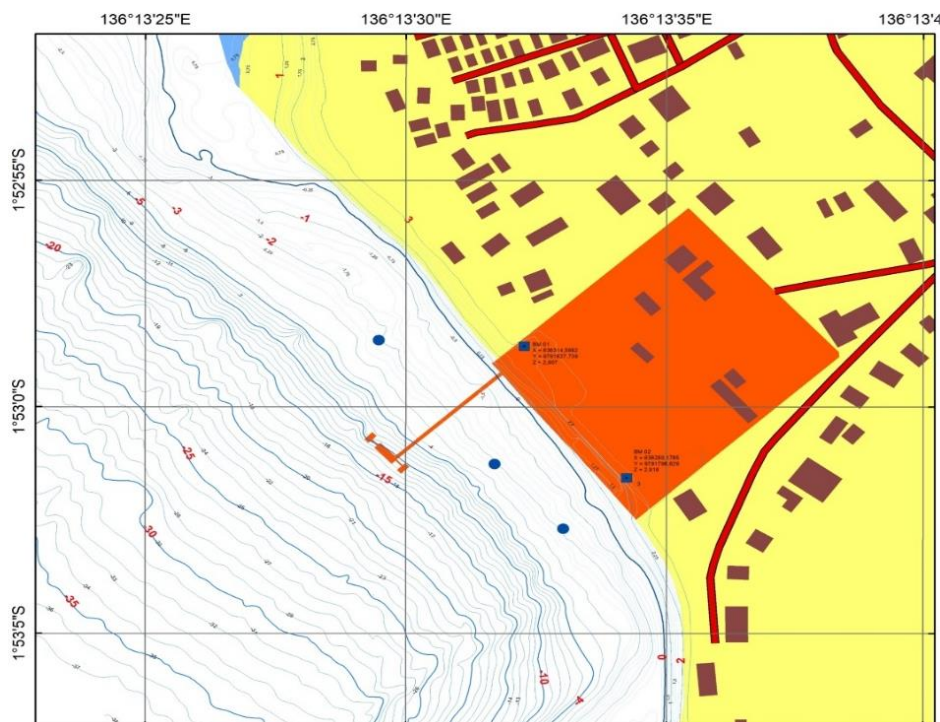
Data yang digunakan dalam penelitian ini meliputi data bathimetri-topografi, pasang surut, gelombang, arus dan sedimen yang diperoleh dari survey lapangan Sedangkan untuk Data Gelombang diperoleh dari ECMWF, dan Data bathimetri tambahan untuk melengkapi data hasil survey yang diperoleh dari Pushidrosal/Navionics atau dapat dilihat pada tabel 3.1.

Tabel 3.1. Data yang Digunakan

No.	Keterangan	Jenis Data	Jumlah Data		Sumber Data
1	Topografi-Bathimetry	Primer	-	-	Puslantek COT-Unhas
		Sekunder	-	-	Pushidros-AL /Navionics
2	Data Pasang Surut	Primer	15 Hari	2020	Puslantek COT-Unhas
3	Data Arus	Primer	15 Hari	2020	Puslantek COT-Unhas
4	Sedimen Dasar & Melayang	Primer	6 Titik	2020	Puslantek COT-Unhas
5	Gelombang	Sekunder	20 Tahun	2002-2021	ECMWF

### 3.2.1. Data Bathimetry

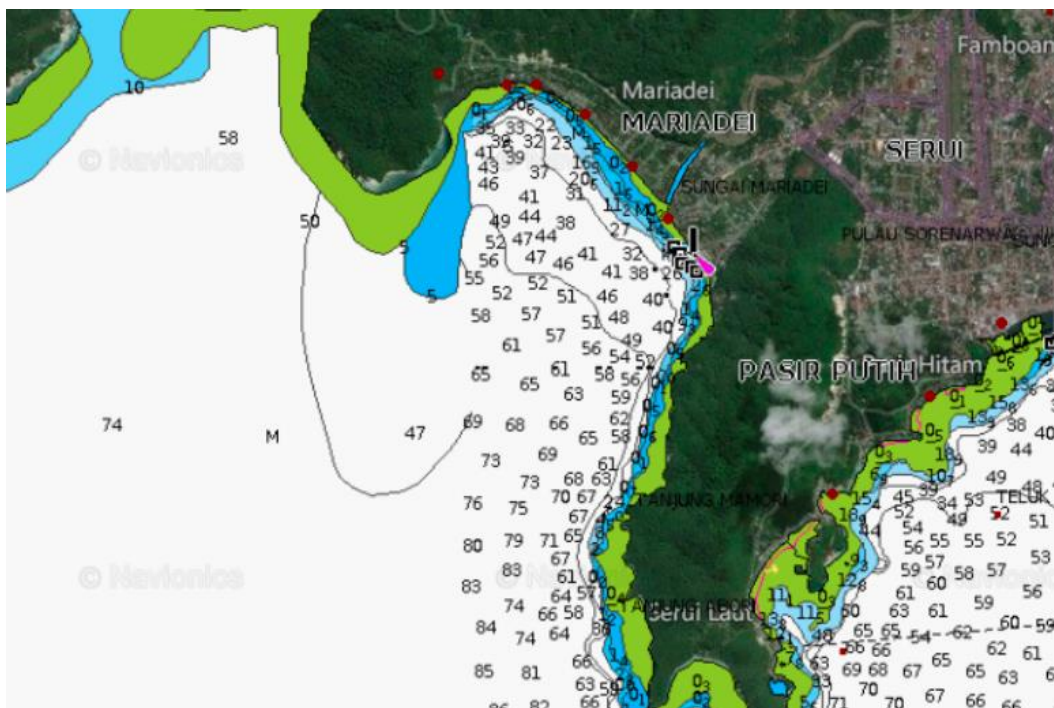
Berdasarkan tabel di atas kebutuhan data untuk dilakukan pemodelan sudah cukup. Adapun data topografi bathimetry di lokasi ini dapat dilihat pada gambar 3.2.



Gambar 3.2. Peta Topografi-Bathimetri di Lokasi Studi  
*Puslantek COT-Unhas (2020)*



Dari gambar diatas dapat kita lihat bahwa kondisi pantai di area *Fuel Terminal Serui* cukup terjal. data menunjukkan bahwa rata-rata kemiringan pantai di area lokasi studi berkisar 0.1 m dengan kondisi sedimen penyusun pantai berupa kerikil dan pasir kasar. Kedalaman perairan pada area dermaga yaitu -8 sampai -12 m. Sedangkan untuk kondisi topografinya, secara umum area darat *Fuel Terminal Serui* berkisar 2.5 sampai 3 m. Area kosong yang terletak dibelakang tembok laut memiliki elevasi berkisar 1.25 – 1.75 m sehingga pada saat kondisi pasang area tersebut sering tergenang air yang masuk melalui celah yang terdapat pada dasar tembok penahan pantai dan akibat gelombang melewati bangunan Ketika gelombang pecah. Adapun data bathimetri sekunder yang diambil dari Navionics dapat dilihat pada gambar 3.3 dimana perairan *Fuel Terminal Serui* berada di alam teluk rata-rata kedalaman dari dermaga menuju laut lepas sekitar 40-80 m-LWS.

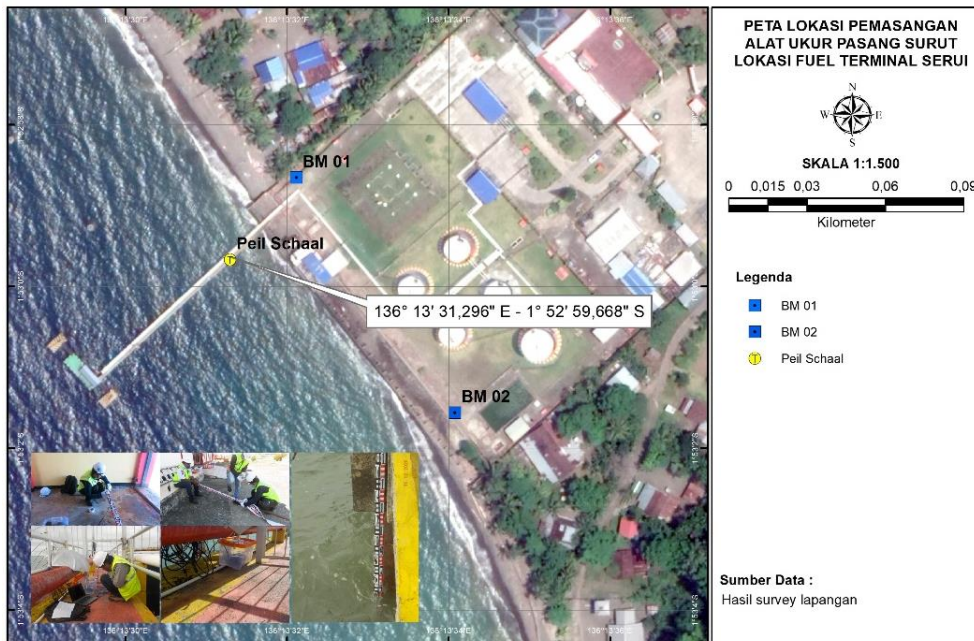


Gambar 3.3. Peta Bathimetri Sekunder di Lokasi Studi

*Sumber: Pushidrosal (2023)*

### 3.2.2. Data Pasang Surut

Untuk data pasang surutnya sendiri dilakukan pengukuran 15 hari setiap interval 1 jam. Adapun titik pengamatan pasang surut dapat dilihat pada gambar 3.4.



Gambar 3.4. Peta Lokasi Pemasangan Alat Ukur Pasang Surut

*Puslantek COT-Unhas (2020)*

Akuisisi data pasang surut menggunakan tide master dilakukan setiap hari sedangkan pencatatan manual dilakukan setiap jam secara berkala. Adapun contoh data hasil pengamatan dan grafik pasang surut pasang surut di lokasi studi dapat dilihat pada tabel 3.2.

Tabel 3.2. Contoh Raw Data Pasang Surut

<b>Tgl</b>	<b>Waktu</b>	<b>t</b>	<b>Survey</b>
13-Dec 2020	00.00	0	1,37
13-Dec 2020	01.00	1	1,60
13-Dec 2020	02.00	2	2,00
13-Dec 2020	03.00	3	2,47
13-Dec 2020	04.00	4	2,90
13-Dec 2020	05.00	5	3,19
13-Dec 2020	06.00	6	3,28
13-Dec 2020	07.00	7	3,18
13-Dec 2020	08.00	8	2,91
13-Dec 2020	09.00	9	2,56
13-Dec 2020	10.00	10	2,24
13-Dec 2020	11.00	11	2,04

Tgl	Waktu	t	Survey
13-Dec 2020	12.00	12	2,00
13-Dec 2020	13.00	13	2,19
13-Dec 2020	14.00	14	2,55
13-Dec 2020	15.00	15	2,92
13-Dec 2020	16.00	16	3,24
13-Dec 2020	17.00	17	3,43
13-Dec 2020	18.00	18	3,46
13-Dec 2020	19.00	19	3,28
13-Dec 2020	20.00	20	2,86
13-Dec 2020	21.00	21	2,33
13-Dec 2020	22.00	22	1,77
13-Dec 2020	23.00	23	1,32

*Puslantek COT-Unhas (2020)*

### 3.2.3. Data Arus

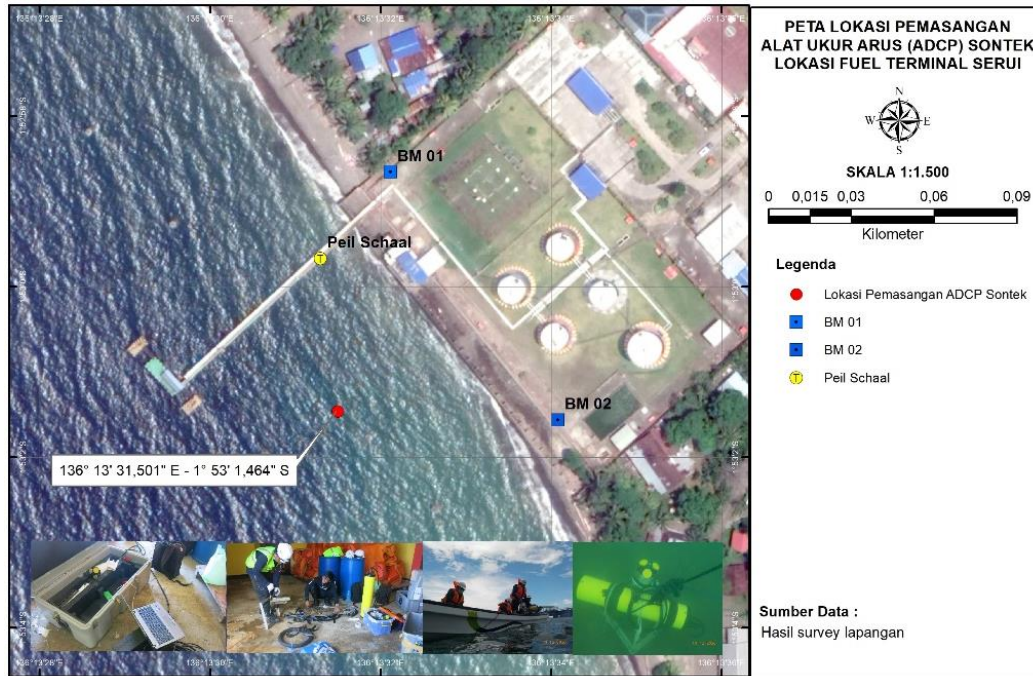
Pelaksanaan survey arus dilakukan dengan menggunakan ADCP Sontek yang di pasang di sekitar area dermaga. Pemasangan sontek dilakukan pada hari yang bersamaan dengan pemasangan alat ukur pasang surut adapun proses pemasangan ADCP Sontex data arus dapat dilihat pada gambar 3.5.



Gambar 3.5. Proses Pemasangan Alat Ukur Arus  
*Puslantek COT-Unhas (2020)*

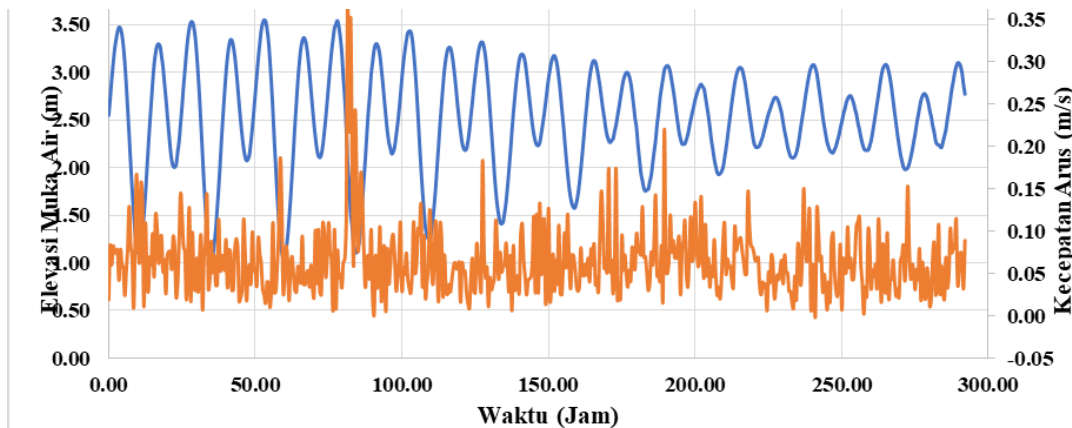


Pemasangan alat ukur arus dilakukan pada sisi kiri area dermaga dengan kedalaman kurang lebih 5 meter. Adapun peta lokasi pemasangan alat ukur arus dapat pada gambar 3.6.



Gambar 3.6. Peta Lokasi Pemasangan Alat Ukur Arus  
Puslantek COT-Unhas (2020)

Adapun gambaran kecepatan arus di *Fuel Terminal* Serui sebagai fungsi waktu pengukuran dapat dilihat pada gambar 3.7.



Gambar 3.7. Kecepatan Arus Sebagai Fungsi Waktu dan Elevasi Muka Air  
Puslantek COT-Unhas (2020)

Gambar di atas memperlihatkan bahwa pada saat spring tide, kecepatan arus di *Fuel Terminal* Serui mencapai nilai maksimum.

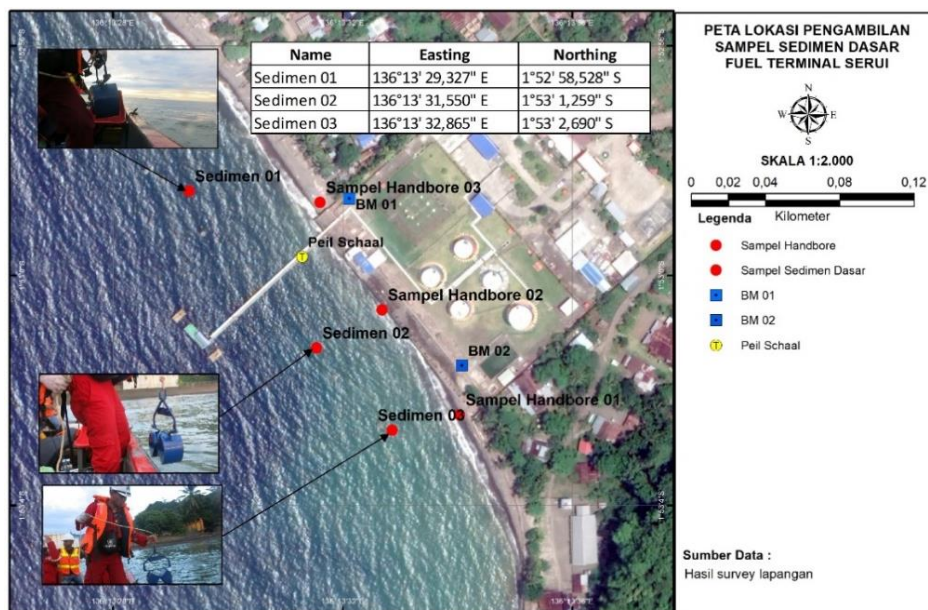
### 3.2.4. Data Sedimen Dasar dan Melayang

Sampling sedimen dasar dilakukan dengan menggunakan Grab Sampler pada 3 titik di sekitar dermaga FT Serui dan ditambah 1 titik di area muara sungai. Sedangkan pengambilan sampel sedimen melayang dilakukan dengan menggunakan botol nensens yang kemudian dimasukkan pada botol sampel. Adapun proses pengambilan sampel sedimen dapat dilihat pada gambar 3.8.



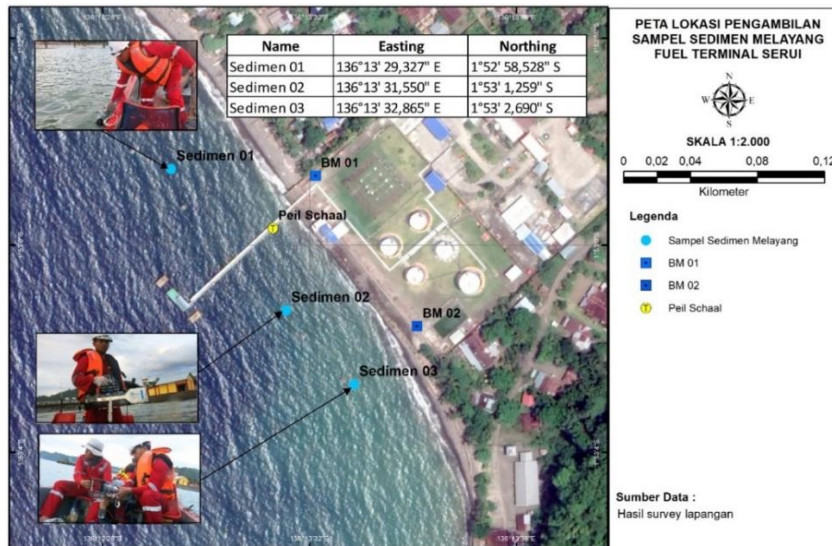
Gambar 3.8. Proses Pengambilan Sampel Sedimen Dasar dan Melayang  
*Puslantek COT-Unhas (2020)*

Adapun lokasi pengambilan sampel sedimen dasar dapat dilihat pada gambar 3.9. yang tatas beberapa titik pengambilan sampling.



Gambar 3.9. Peta Lokasi Pengambilan Sampel Sedimen Dasar  
*Puslantek COT-Unhas (2020)*

Sampling sedimen melayang dilakukan pada lokasi yang sama dengan sampling sedimen dasar. Setiap titik lokasi dilakukan pengambilan sampel pada kedalaman 0.2n, 0.6n, dan 0.8n dimana n merupakan kedalaman titik lokasi pengambilan sampel. Adapun lokasi sampling sedimen melayang dapat dilihat pada gambar 3.10.



Gambar 3.10. Peta Lokasi Pengambilan Sampel Sedimen Melayang Puslantek COT-Unhas (2020)

Adapun hasil analisis sedimen dasar dan melayang dapat dilihat pada tabel 3.3. sampai dengan tabel 3.6.

Tabel 3.3. Hasil Pengujian Kadar Air Sedimen Dasar

Sedimen Grab No. / Type	-	Sedimen Dasar 1	Sedimen Dasar 2	Sedimen Dasar 3	Keterangan
Sample Depth & Inclination	Cm	-	-	-	
Sample UDS		DS	DS	DS	
Weight of Ring, (1)	Gram	44.7	44.7	44.7	
Weight of Container, (2)	Gram	16.3	16.3	16.6	
Weight of Ring+Container+Wet Soil, (3)	Gram	106.7	106.8	104	
Weight of Wet Soil, (4)={(3)-(2)-(1)}	Gram	90.4	90.5	87.4	
Volume of Soil or Ring, (5)	cm <sup>3</sup>	56.57	56.57	56.57	
Weight of Ring+Container+Dry Soil, (6)	Gram	84.9	84.7	82	
Weight of Dry Soil, (7)={(6)-(2)-(1)}	Gram	68.6	68.4	65.4	
Weight of Water, (8)=(4)-(7)	Gram	21.8	22.1	22	
Specific Gravity, Gs	-	2.48	2.36	2.24	
Volume of Dry Soil, (9)=(7)/Gs	cm <sup>3</sup>	27.63	28.93	29.26	
Volume of Pore, (10)=(5)-(9)	cm <sup>3</sup>	28.94	27.64	27.31	
<b>Wet Density, <math>g_{wet}=(4)/(5)</math></b>	Gr/cm <sup>3</sup>	<b>1.598</b>	<b>1.6</b>	<b>1.545</b>	
<b>Water Content, <math>w=(8)/(7)*100\%</math></b>	%	<b>31.78</b>	<b>32.31</b>	<b>33.64</b>	
<b>Dry Density, <math>g_d=g_{wet}/(1+w)</math></b>	Gr/cm <sup>3</sup>	<b>1.213</b>	<b>1.209</b>	<b>1.156</b>	
<b>Porosity, <math>n=(10)/(5)*100\%</math></b>	%	<b>51.16</b>	<b>48.85</b>	<b>48.28</b>	
<b>Degree of Saturation, <math>S_r=(8)/(10)*100\%</math></b>	%	<b>75.32</b>	<b>79.96</b>	<b>80.55</b>	

Puslantek COT-Unhas (2020)

Tabel 3.4. Hasil Gradasi Sedimen Dasar

Kode Sampel	Sedimen Dasar 1	Sedimen Dasar 2	Sedimen Dasar 3
D10 % (mm)	0.09	0.09	0.85
D30 % (mm)	0.15	0.15	0.14
D50 % (mm)	0.19	0.10	0.18
D60 % (mm)	0.21	0.21	2.00
Cu	2.47	2.47	2.35
Cc	1.26	1.26	0.01
% lolos Saringan 200	6.03	5.18	4.27
Ket.	Pasir	Pasir	Pasir

Puslantek COT-Unhas (2020)

Tabel 3.5. Hasil Pengujian Berat Jenis Sedimen Dasar

Grab Sampler No. / Type	Units	Sedimen Dasar 1		Sedimen Dasar 2		Sedimen Dasar 3	
Sample	-	DS		DS		DS	
Number of Volumetric Flask	-	A3	A1	A2	A3	A1	A2
Weight of Vol. Flask + Soil (W2)	Gram	104.2	111	90.9	116.3	105.7	84.3
Weight of Vol. Flask (W1)	Gram	71.9	71.9	49	71.9	71.9	49
Weight of Dry Soil (Ws=W2-W1)	Gram	32.3	39.1	41.9	44.4	33.8	35.3
Temperature, T (oC)	Degree	26	26	26	26	26	26
Weight of Vol. Flask+Water at T (W4)	Gram	170	170	167.2	170	170	167.2
Weight of Vol. Flask+Water+Soil (W3)	Gram	189.3	193.4	191.9	195.1	189.1	186.3
Unit Weight of Water at T, $g_T$	Gram/Cm <sup>3</sup>	0.996	0.996	0.996	0.996	0.996	0.996
Weight of Soil (Wu=(Ws+W4-W3))	Gram	13	15.7	17.2	19.3	14.7	16.2
Specific Gravity of Soil (Gs=a*Ws/Wu)	-	2.48	2.486	2.432	2.296	2.295	2.175
Average of Gs	-	2.483		2.364		2.235	
Remarks:	Unit Weight of Water,		$g_{w,20}^{\circ C} =$		0.99823		

Puslantek COT-Unhas (2020)

Data sedimen melayang yang diperoleh selanjutnya dilakukan analisis TSS (*Total Suspended Solid*) dan TDS (*Total Dissolved Solid*). Adapun hasil analisis pada tabel berikut

Tabel 3.6. Hasil Analisis Padatan Tersuspensi Total (TSS) dan Disipasi Total (TDS)

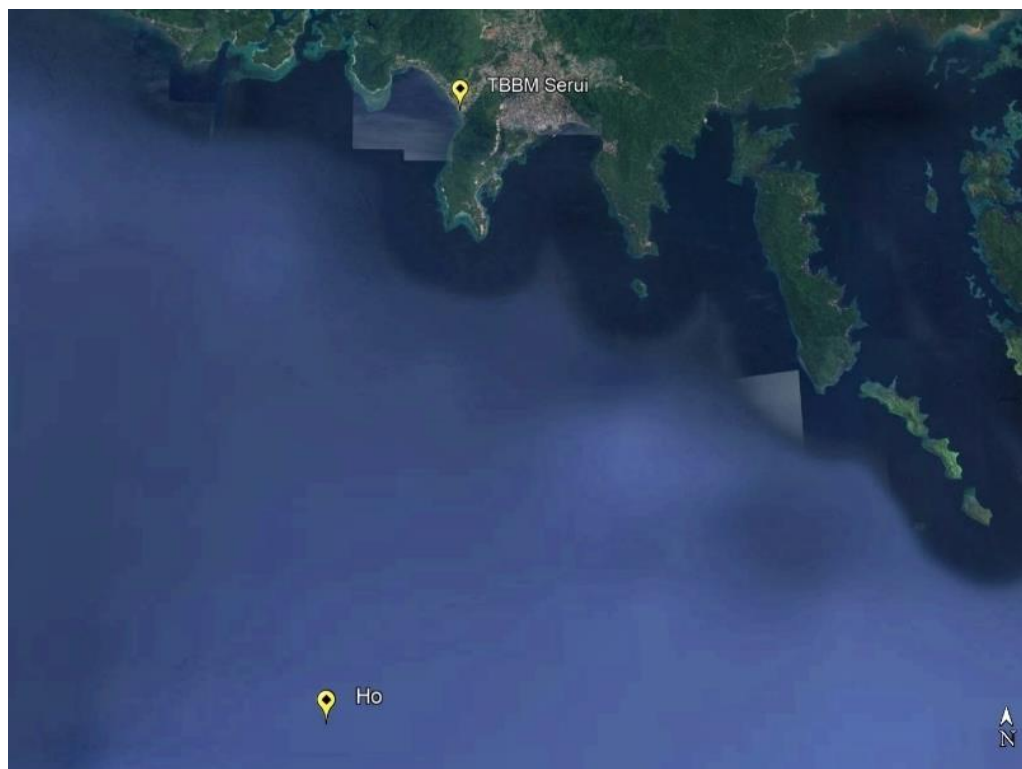
No	Kode Sampel	Total Suspended Solid (TSS)-ppm	Total Dissolved Solid (TDS)-ppm
1	Sampel muara	896	1184
2	1A Serui 0.2 d	1035	33016
3	1B Serui 0.6 d	1122	34613
4	1C Serui 0.8 d	1142	37479
5	2A Serui 0.2 d	1101	35307
6	2B Serui 0.6 d	1146	34234
7	2C Serui 0.8 d	1138	35519
8	3A Serui 0.2 d	1133	31770
9	3B Serui 0.6 d	1188	36987
10	3C Serui 0.8 d	1153	35962

Puslantek COT-Unhas (2020)



### 3.2.5. Data Gelombang

Data gelombang yang akan digunakan bersumber dari ECMWF adapun titik lokasi data gelombang di laut dalam diperlihatkan pada gambar 3.11.



Gambar 3.11. Titik lokasi data gelombang laut dalam

Adapun data persentasi kejadian gelombang selama 20 tahun yang terjadi di laut dalam dari data yang diperoleh dari *European Center For Medium-Range Weather Forecast* (ECMWF) disajikan pada tabel 3.7.

Tabel 3.7. Persentasi Kejadian Gelombang Berdasarkan Arah Datangnya

Arah	Jumlah Data	Persentasi (%)
Selatan	611	1.8
Barat Daya	1040	3.1
Barat	31700	95.0
<b>Jumlah</b>	<b>33351</b>	<b>100</b>



Berdasarkan tabel di atas dan jika memperhitungkan semua data gelombang dari berbagai arah selama 20 tahun data diperoleh bahwa kejadian tinggi gelombang yang dominan adalah dari arah Barat (95 %), disusul dari arah Barat Daya (3.1 %) dan Selatan (1.8%). Sementara itu, kejadian gelombang berdasarkan interval tinggi gelombang dapat dilihat pada tabel 3.8.

Tabel 3.8. Persentasi Kejadian Gelombang Berdasarkan Tinggi Gelombang

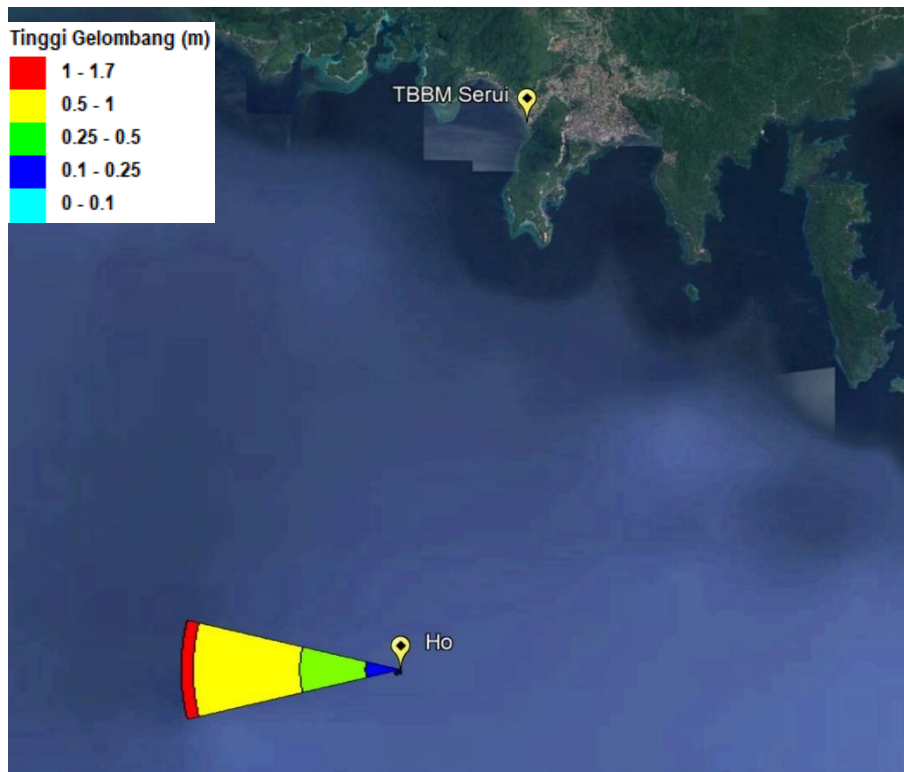
<b>Interval Tinggi Gelombang (m)</b>	<b>Jumlah Data</b>	<b>Persentase (%)</b>
0 - 0.1	2	0.01
0.1 - 0.25	6638	19.90
0.25 – 0.5	12005	36.00
0.5 - 1.0	13329	39.97
1.0 – 1.7	1377	4.13
<b>Jumlah</b>	<b>33351</b>	<b>100</b>

Berdasarkan tabel di atas diperoleh bahwa gelombang yang dominan adalah gelombang dengan interval 0.5 – 1.0 m (39.97%), disusul gelombang dengan interval 0.25 - 0.5 m (36.00%), interval 0.1 – 0.25 m (19.90%), interval 1.0 - 1.7 m (4.13%) dan terakhir interval 0.0 s/d 0.1 (0.01%). Adapun data tinggi gelombang rata-rata Serui dapat dilihat pada tabel 3.9.

Tabel 3.9. Persentasi Tinggi Gelombang Rata-rata Berdasarkan Arah Datang Gelombang

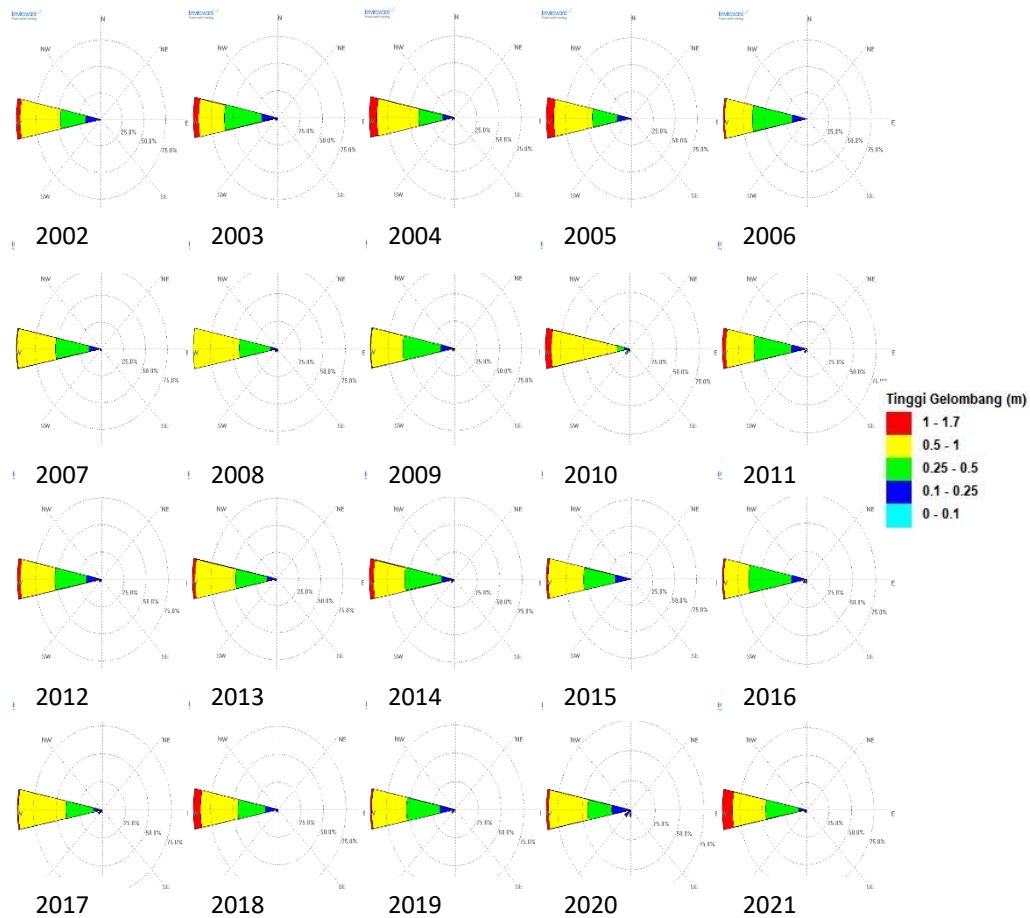
<b>Arah</b>	<b>Jumlah Data</b>	<b>Tinggi Gelombang Rata-rata</b>	<b>Presentase (%)</b>
Selatan	611	0.18	1.8
Barat Daya	1040	0.19	3.1
Barat	31700	0.50	95.0

Pada tabel diatas dapat dilihat bahwa tinggi gelombang rata-rata yang paling besar merambat dari arah Barat sebesar 0.50 m, disusul arah Barat Daya 0.19 m dan arah Selatan sebesar 0.18 m. Selain penyajian presentasi kejadian gelombang dalam bentuk tabulasi, juga disajikan dalam bentuk mawar gelombang seperti pada gambar 3.12.



Gambar 3.12. Mawar Gelombang Serui 20 Tahun

Gambar di atas memperlihatkan bahwa arah gelombang dengan jumlah data 20 tahun dominan berasal dari arah Barat. adapun mawar gelombang setiap tahun dapat dilihat pada gambar 3.13.



Gambar 3.13. Mawar Gelombang Serui 2002-2021

Berdasarkan gambar 3.13 gelombang dominan setiap tahun selama kurun waktu 20 tahun terakhir dominan dari arah barat dan disusul arah barat daya dan selatan yang persentasenya relatif kecil.

### 3.3. Kerangka Alur Penelitian

Tahap-tahapan yang dilakukan pada penelitian ini adalah:

#### 3.3.1. Studi Literatur

Setelah melakukan penelitian, peneliti perlu untuk memperdalam pengetahuannya terkait topik yang akan dibahas sehingga mempermudah dalam proses pengolahan data dan analisis data yang dilakukan. Pendalaman literatur mengenai pemodelan hidrodinamika akan membantu proses pengerjaan penelitian ini. Literatur yang digunakan bisa dalam bentuk buku, jurnal ilmiah, konferensi resmi, majalah, publikasi media, internet, dan lain-lain.

### **3.3.2. Pengumpulan Data**

Pengumpulan data dilakukan untuk digunakan dalam analisis pemodelan penelitian ini meliputi data bathimetri, data pasang surut, data gelombang, data arus dan data sedimen. Dimana data ini diperoleh dengan survey langsung di lapangan dan pengambilan data sekunder di instansi terkait.

### **3.3.3. Analisis Data**

Data yang telah diperoleh selanjutnya akan dianalisis lebih lanjut untuk persiapan input modeling dan validasi pemodelan numerik seperti analisis data bathimetri, pasang surut, arus, transport sedimen dan gelombang.

### **3.3.4. Pemodelan Kondisi Eksisting**

Pemodelan Kondisi Eksisting dilakukan secara numerik menggunakan MIKE DHI dengan beberapa modul yaitu spectral wave, hydrodynamic module dan sediment transport module yang bisa digunakan secara *free license*. Transformasi gelombang akan dibandingkan dengan perhitungan teoritis serta sirkulasi arus dan distribusi sedimen dapat diketahui.

### **3.3.5. Identifikasi Permasalahan Pantai dan Evaluasi Kinerja Bangunan Eksisting**

Setelah melakukan pemodelan, permasalahan pantai akan diidentifikasi dari karakteristik hidrodinamika dan penjararan dan transformasi gelombang di lokasi studi. Kemudian bangunan eksisting akan dievaluasi dari kondisi permasalahan yang telah diketahui. Sehingga kita dapat melakukan perencanaan alternatif penanganan.

### **3.3.6. Perencanaan Bangunan Alternatif Penanggulangan**

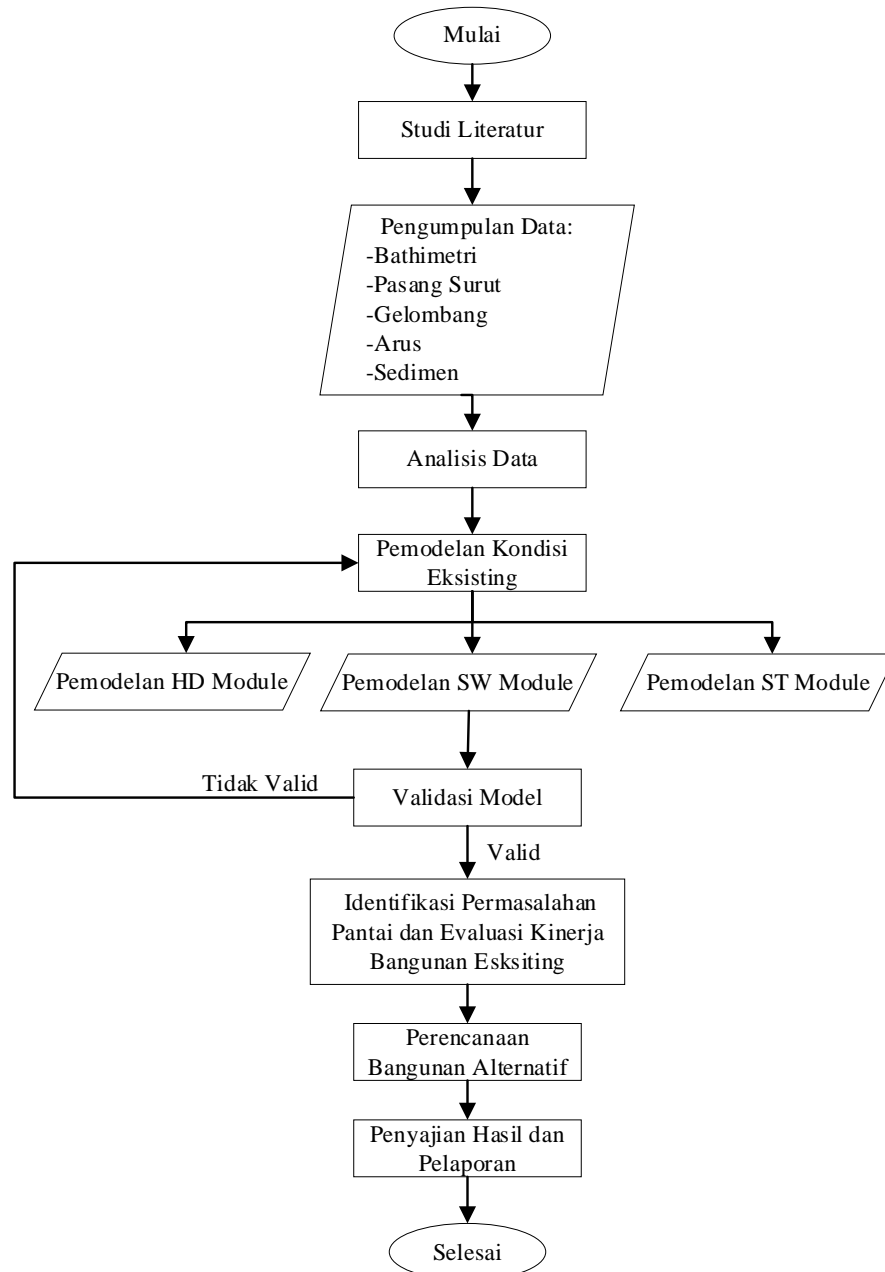
Merencanakan alternatif penanggulangan dari permasalahan utama yaitu gelombang. Tahapannya dimulai dari penentuan kala ulang gelombang, dari gelombang kala ulang tersebut dilakukan perhitungan tinggi gelombang di depan bangunan. Data tinggi gelombang tersebut sebagai dasar dalam menghitung gelombang pecah, penentuan tipe alternatif penanggulangan dan dimensi utama bangunan dengan menggunakan teori-teori perencanaan bangunan pantai.

### 3.3.7. Penyajian Hasil dan Pelaporan

Hasil Pemodelan akan disajikan dalam bentuk visualisasi gambar dan tabulasi termasuk validasi pemodelan. kemudian perencanaan bangunan alternatif penanggulangan akan disajikan dalam bentuk perhitungan dan gambar desain rencana bangunan.

### 3.4. Diagram Alur

Secara garis besar, prosedur penelitian digambarkan pada diagram berikut



Gambar 3.14. Diagram Alur Penelitian

### 3.5. Rencana dan Jadwal Kerja Penelitian dan Penyusunan Tesis

Adapun rencana dan jadwal kerja penelitian dan penyusunan tesis yang disusun dan diharapkan pelaksanaannya selesai dengan tepat waktu dapat dilihat pada tabel 3.10.

Tabel 3.10. Rencana dan Jadwal Kerja Penelitian

No.	Uraian Kegiatan	Waktu																							
		Bulan Ke-1				Bulan Ke-2				Bulan Ke-3				Bulan Ke-4				Bulan Ke-5				Bulan Ke-6			
		1	2	3	4	1	2	3	4	1	2	3	4	1	2	3	4	1	2	3	4	1	2	3	4
1	Penentuan Judul & Kerangka Penelitian	■	■	■	■																				
2	Studi Literatur	■	■	■	■	■	■	■	■																
3	Penyusunan Proposal Tesis	■	■	■	■	■	■	■	■																
4	Seminar Proposal Tesis									■															
5	Pengumpulan Data					■	■	■	■																
6	Pengolahan Data									■	■	■	■	■	■	■	■								
7	Analisis Data Pemodelan									■	■	■	■	■	■	■	■								
8	Hasil dan Pembahasan																	■	■	■	■				
9	Penyusunan Laporan																					■	■	■	■
10	Publikasi Ilmiah																								■





## BAB 4

### HASIL DAN PEMBAHASAN

#### 4.1. Kondisi Awal Bangunan Eksisting

Permasalahan umum yang terjadi di Pantai di Sekitar *Fuel Terminal* Serui diantaranya adalah terjadi beberapa kerusakan di beberapa titik bangunan pantai yang dapat dilihat pada tabel 4.1.

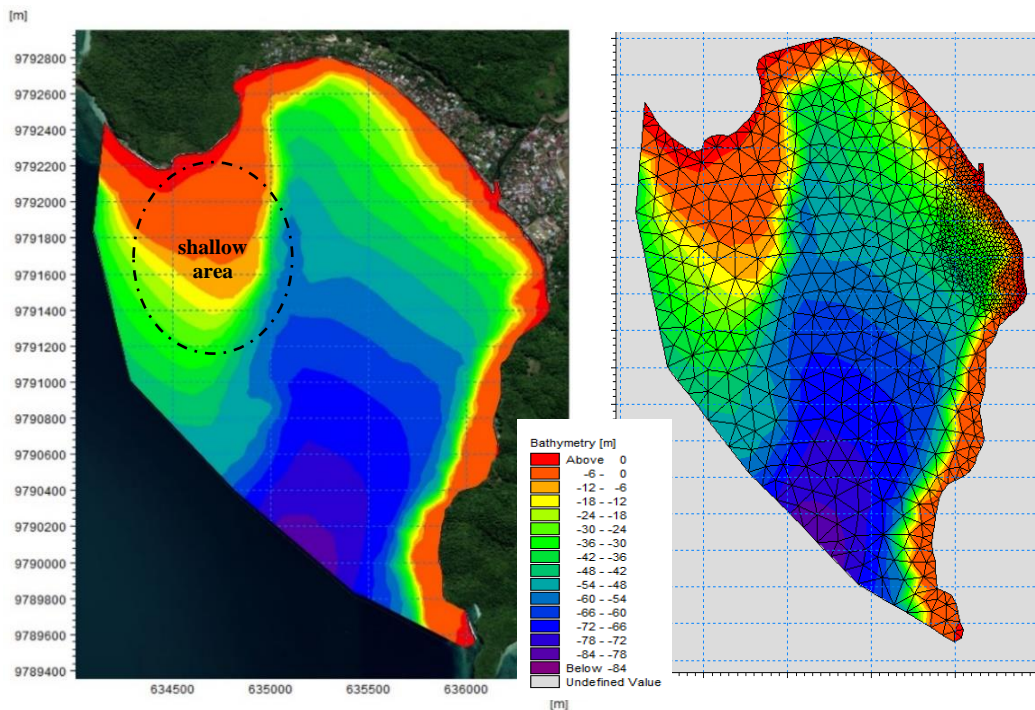
Tabel 4.1. Kondisi Eksisting Bangunan Pantai *Fuel Terminal* Serui

No.	Kondisi dan Eksisting Bangunan Pantai	Dokumentasi
1	Terjadi Limpasan Gelombang pada bangunan pelindung eksisting	
2	Terjadi Kerusakan Sleepway Slickbar di LLP <i>Fuel Terminal</i> Serui	
3	Terjadi Korosi Pada Pipa Akibat Limpasan Air Laut	
4	Terjadi gerusan pada bangunan pelindung eksisting	

Dalam menyelesaikan permasalahan yang terjadi perlu diketahui proses hidrodinamika yang terjadi di area studi untuk mengidentifikasi secara lengkap dan menyeluruh penyebab permasalahan yang terjadi. sehingga bisa menentukan solusi alternatif penanggulangan.

## 4.2. Kondisi Topografi Bathimetri

Data Topografi-Bathimetri yang digunakan dalam penelitian ini adalah data yang diperoleh dari hasil analisis survei lapangan oleh Puslantek COT-Unhas 2020. Namun area pengukuran yang dilakukan relatif kurang dalam melakukan analisis dan pemodelan hidrodinamika, sehingga diperlukan data tambahan yaitu berupa data sekunder dari Pushidrosal/Navionics kemudian dikombinasikan dengan data bathimetri pengukuran langsung dengan mengacu pada kondisi muka air (LWS). Adapun hasil analisis Data Topografi-Bathimetri yang digunakan dalam pemodelan dapat dilihat pada gambar 4.1.



Gambar 4.1. Topografi-Bathimetri Perairan *Fuel Terminal* Serui

Berdasarkan hasil analisis data topografi bathimetri diperoleh bahwa rata-rata kemiringan dasar pantai dari kaki bangunan eksisting hingga pada elevasi -1 m LWS adalah 0.1 m sehingga kemiringan pantai masih tergolong landai. Kemudian jika kita melihat terdapat area dangkal yang berpotensi untuk mereduksi tinggi gelombang dari laut dalam ke beberapa area di sekitar *Fuel Terminal* Serui yang secara tidak langsung terlindung dari gelombang yg tinggi.

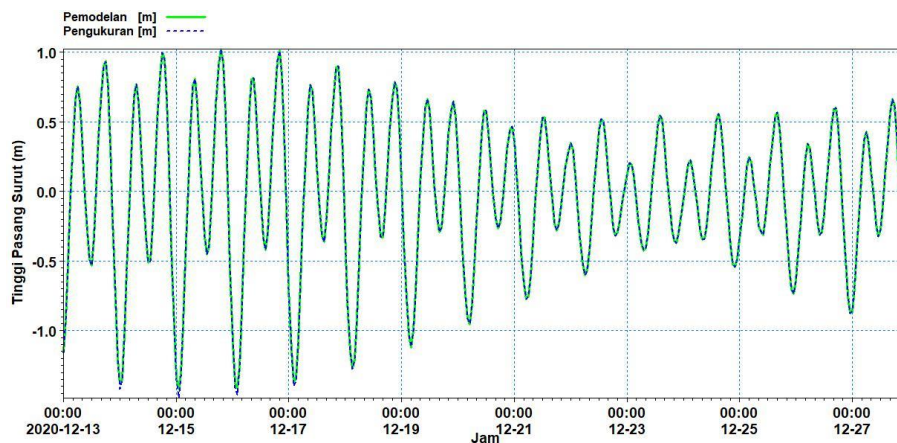


### 4.3. Analisis Hidrodinamika Pantai

Pemodelan hidrodinamika dilakukan pada kondisi eksisting meliputi pemodelan atau simulasi pergerakan arus akibat pasang surut dan gelombang, Hasil dari pemodelan ini akan dilakukan validasi dari hasil pengambilan data langsung meliputi pasang surut dan data kecepatan arus dilapangan serta hasil analisis teoritis.

#### 4.3.1. Validasi Pasang Surut

Pasang surut merupakan komponen yang berpengaruh besar dalam hidrodinamika pantai. Sehingga perlu dilakukan validasi dari hasil pengukuran dengan simulasi pemodelan agar pemodelan yang dilakukan mendekati kondisi aktual di lapangan. Data pengukuran pasang surut merupakan hasil pengamatan selama 15 hari dengan interval setiap jam. Hasil kalibrasi diperoleh nilai MAPE (*Mean Absolute Percentage Error*) sebesar 0.3%. Gambar 4.2. menunjukkan hasil validasi antara hasil pemodelan dengan pengukuran dilapangan.

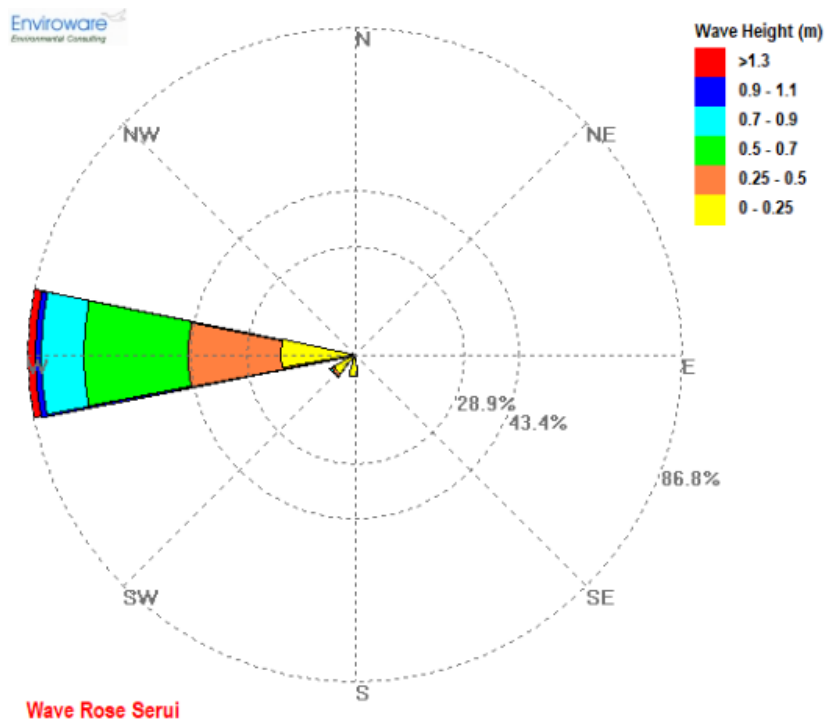


Gambar 4.2. Validasi Pasang Surut dari Hasil Pemodelan dan Data Pengukuran

Berdasarkan nilai MAPE model hidrodinamika pada data pasang surut sudah sangat akurat dan pada Gambar 4.2. memperlihatkan selisih antara data pengukuran pasang surut dan pemodelan sangat kecil. Ditunjukkan pula bahwa pasang tertinggi dan surut terendah pada timestep ke-67 pada jam 19:00 dengan tinggi muka air 1.01 m dan timestep ke-49 pada jam 01:00 dengan tinggi muka air -1.48 m tanggal 15 Desember 2020. Dimana pada dua kondisi ini akan digunakan sebagai acuan dalam pembahasan pemodelan.

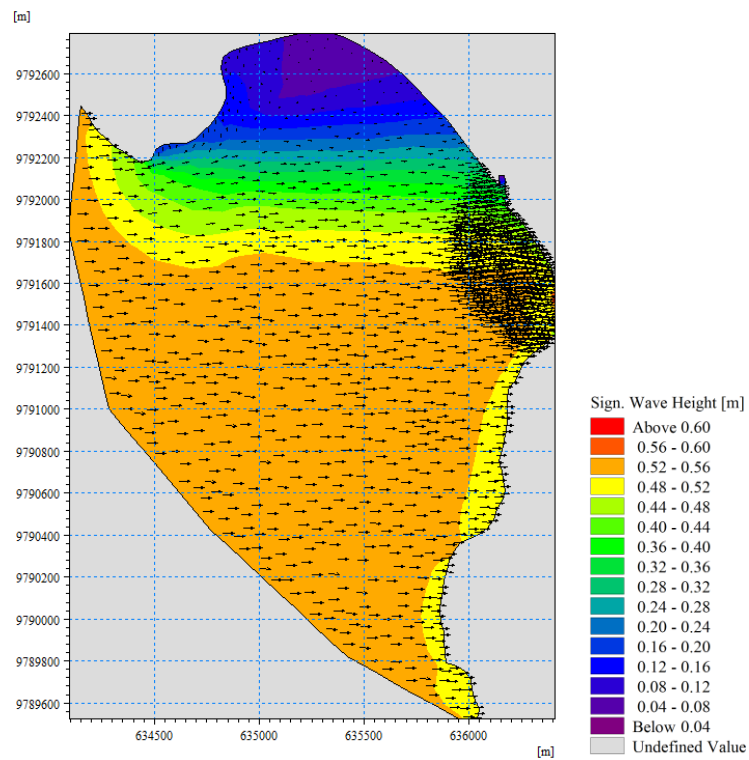
### 4.3.2. Pemodelan Gelombang

Berdasarkan data gelombang satu tahun (2020) dari ECMWF, gelombang dominan berasal dari arah barat yang dapat dilihat pada gambar 4.3. Data tinggi gelombang laut dalam signifikan ( $H_s$ ) dan periode gelombang ( $T_s$ ) yang digunakan dalam analisis dan pemodelan adalah 0.5 m dan 4,2 detik. Nilai tersebut diperoleh dari rata-rata data per jam gelombang signifikan selama satu bulan (Desember 2020) untuk menyesuaikan waktu pengukuran pasang surut dan arus di lokasi agar hasil pemodelan mendekati kondisi lapangan.

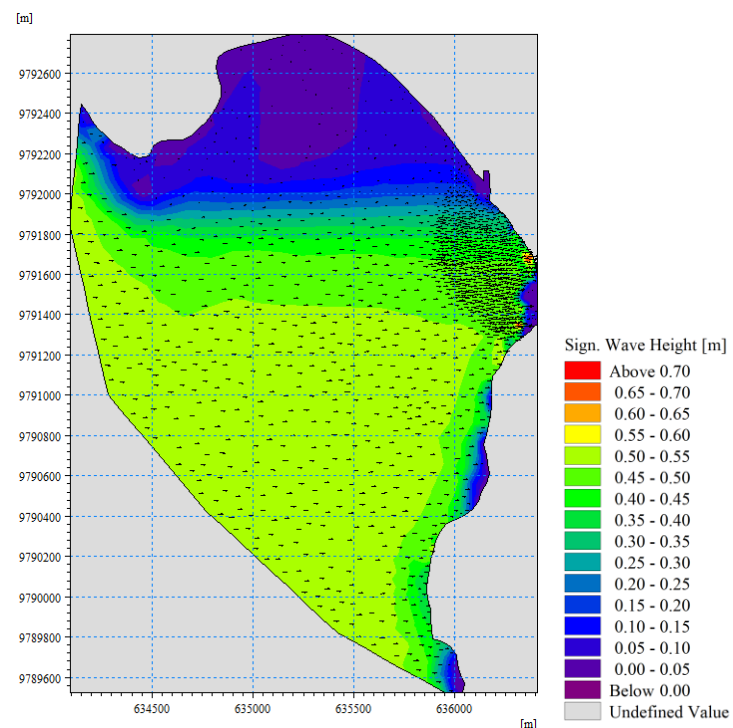


Gambar 4.3. Waverose Serui Januari - Desember 2020

Waktu simulasi yang digunakan adalah 15 hari untuk Model HD dan Model SW dengan timestep 360 dengan selang waktu 3600 detik dengan Eddy viscosity type Smagorinski formulation dengan nilai konstanta 0.28 dan bed resistance dengan manning number konstan  $40 \text{ m}^{1/3}/\text{s}$ . Adapun hasil pemodelan gelombang arah barat dapat dilihat pada gambar 4.4. dan gambar 4.5.

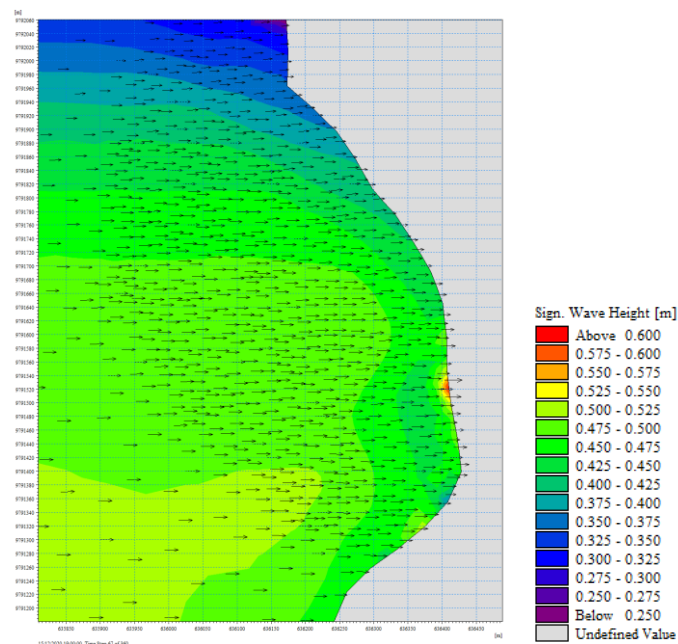


Gambar 4.4. Penjalaran Gelombang Arah Barat Kondisi Pasang Tertinggi (Timestep 67)



Gambar 4.5. Penjalaran Gelombang Arah Barat Kondisi Surut Terendah (Timestep 49)

Berdasarkan gambar di atas terjadi perubahan tinggi dan penjaralan gelombang dari laut dalam ke perairan dangkal, terutama di beberapa bagian yang terdapat daerah dangkal sebelum gelombang mencapai garis pantai di sisi timur laut *Fuel Terminal* Serui. Adapun refraksi gelombang yang berada di depan *Fuel Terminal* Serui dapat dilihat pada gambar 4.6.



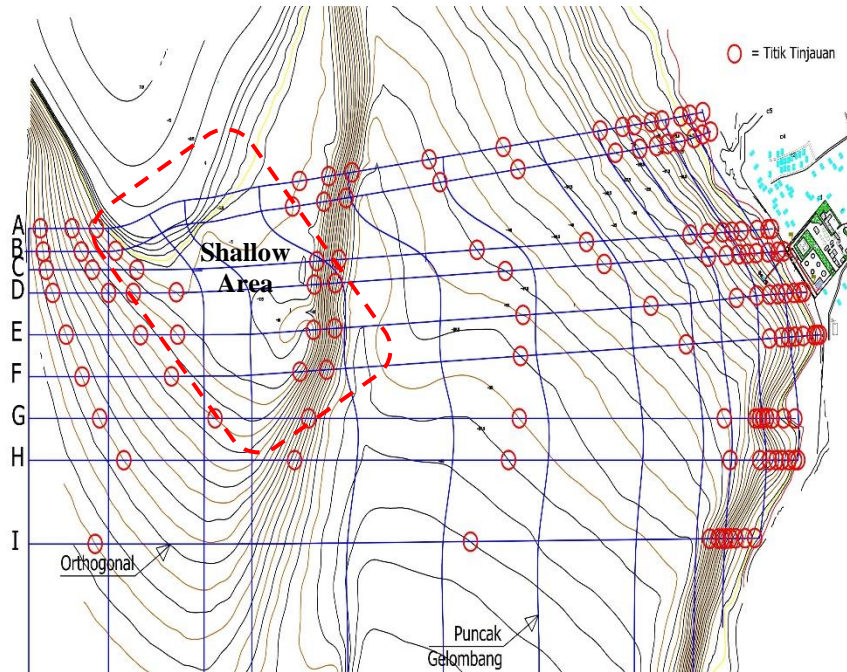
Gambar 4.6. Penjaralan Gelombang Arah Barat Kondisi Pasang dan Surut

Jika kita melihat arah penjaralan lebih dekat lagi di area sekitar bangunan pantai eksisting kita bisa melihat bahwa refraksi atau penjaralan gelombang relatif tegak lurus dan posisi bangunan tegak lurus terhadap arah gelombang datang. Berbeda dengan area di sisi timur laut bangunan, kontur tinggi gelombangnya relatif lebih kecil dikarenakan adanya area dangkal sebelum sekitar pantai

### 4.3.3. Pembuatan Garis Orthogonal Gelombang

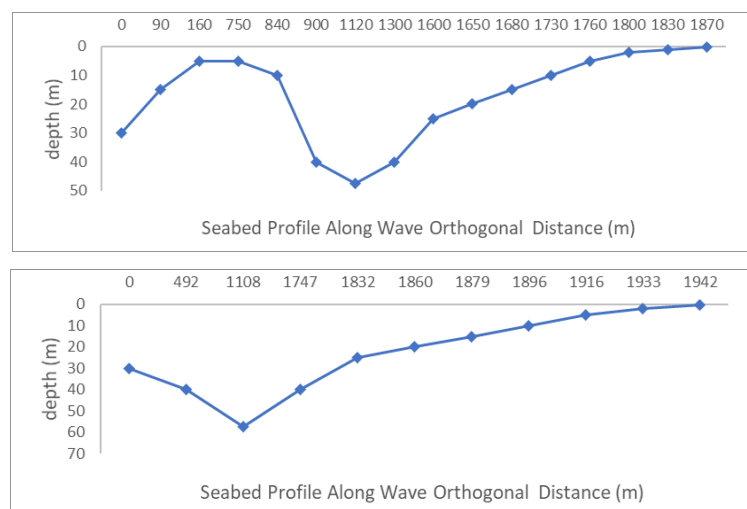
Gelombang laut dalam adalah gelombang di daerah pembangkitan gelombang di laut dalam yang akan merambat ke pantai dan akan mengalami perubahan tinggi dan panjang gelombang seiring perubahan kedalaman laut. pantai. Analisis Transformasi gelombang dimulai dengan menghitung panjang gelombang, shoaling dan refraksi, kemudian membuat diagram refraksi dan orthogonal gelombang serta menentukan beberapa titik acuan setiap orthogonal sebagai titik tinjau terhadap pemodelan.

Untuk mengetahui keakuratan pemodelan gelombang kemudian dilakukan perhitungan gelombang teoritis, dan dibuatlah hasil perhitungan gelombang ortogonal dimana terdapat sembilan gelombang ortogonal yang terbagi menjadi dua tipikal (Gambar 4.8), yang pertama adalah garis ortogonal yang melewati daerah dangkal sebelum menuju ke pantai. Yang kedua adalah langsung dari laut dalam menuju ke pantai.



Gambar 4.7. Pola dan Penjalaran Orthogonal Gelombang (titik tinjauan pada gambar kecil)

Adapun tipikal potongan profil kedalaman sepanjang orthogonal dapat dilihat pada gambar berikut.



Gambar 4.8. Potongan Profile Sepanjang Orthogonal

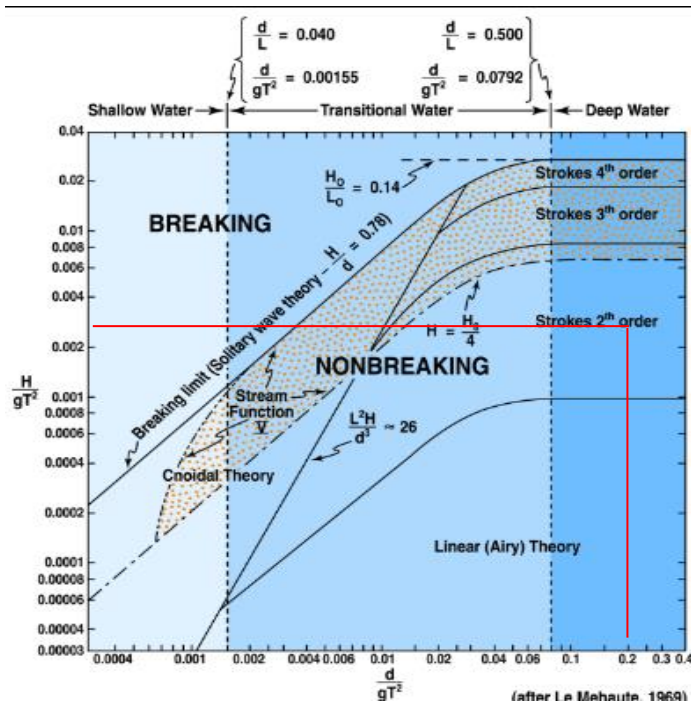
#### 4.3.4. Teori Gelombang yang Sesuai

Melakukan Analisis perhitungan transformasi gelombang perlu menentukan teori gelombang yang sesuai kondisi di lokasi yang dikaji agar bisa menggunakan persamaan gelombang dengan teori gelombang yang ditentukan dengan melakukan validity wave check. Parameter yang diperlukan dalam diantaranya kedalaman  $d$ , tinggi dan periode gelombang.

Tabel 4.2. Nilai  $H/gT^2$  dan  $d/gT^2$

$H_0$	0.5
$T$	4.2
$d$	40
$H/gT^2$	0.003
$d/gT^2$	0.231

Maka teori gelombang yang sesuai pada kondisi perairan serui di lokasi *Fuel Terminal Serui* adalah teori gelombang Stoke orde 2 yang ditunjukkan oleh Gambar 4.9.



Gambar 4.9. Region Validity Teori Gelombang

### 4.3.5. Perhitungan Transformasi Gelombang

Berdasarkan region validity teori gelombang yaitu stoke orde 2 untuk menghitung panjang dan kecepatan rambat gelombang sama dengan teori gelombang Airy (Sorensen, 2006). Adapun perhitungan transformasi gelombang dilakukan dari perairan laut dalam hingga ke garis pantai pada garis orthogonal A dengan kondisi pasang tertinggi (timestep 67) dan surut terendah (timestep 49) untuk melihat pengaruh gelombang pada dua kondisi dengan kedalaman yang berbeda. berdasarkan data lapangan dan pemodelan yang dilakukan dengan hasil yang disajikan pada tabel 4.3. dan tabel 4.4. untuk perhitungan pada orthogonal yang lain dapat dilihat pada Lampiran.

Tabel 4.3. Perhitungan Transformasi Gelombang Orthogonal A  
Kondisi Pasang Tertinggi (Timestep 67)

T	d	H <sub>0</sub>	a <sub>0</sub>	Sin a <sub>0</sub>	Cos a <sub>0</sub>	L <sub>0</sub>	C <sub>0</sub>	L	C	sin a	a	cos a	Kr	Ks	H'
4.2	37.38	0.50	3	0.05	1.00	27.54	6.56	27.54	6.56	0.05	2.63	1.00	1.00	1.00	0.50
	32.38	0.50	7	0.13	0.99	27.54	6.56	27.54	6.56	0.13	7.49	0.99	1.00	1.00	0.50
	27.38	0.50	16	0.27	0.96	27.54	6.56	27.54	6.56	0.27	15.50	0.96	1.00	1.00	0.50
	22.38	0.50	21	0.36	0.93	27.54	6.56	27.54	6.56	0.36	21.39	0.93	1.00	1.00	0.50
	17.38	0.50	25	0.42	0.91	27.54	6.56	27.52	6.55	0.42	24.63	0.91	1.00	1.00	0.50
	12.38	0.50	33	0.54	0.84	27.52	6.55	27.36	6.51	0.54	32.64	0.84	1.00	0.98	0.49
	7.38	0.49	42	0.67	0.74	27.36	6.51	26.03	6.20	0.64	39.46	0.77	0.98	0.94	0.45
	4.38	0.45	45	0.71	0.70	26.03	6.20	22.96	5.47	0.63	38.79	0.78	0.95	0.91	0.39
	7.38	0.39	32	0.54	0.84	22.96	5.47	26.03	6.20	0.61	37.39	0.79	1.03	0.96	0.39
	12.38	0.39	28	0.47	0.88	26.03	6.20	27.36	6.51	0.50	29.73	0.87	1.01	0.96	0.37
	17.38	0.37	24	0.41	0.91	27.36	6.51	27.52	6.55	0.42	24.58	0.91	1.00	0.99	0.37
	22.38	0.37	32	0.53	0.85	27.52	6.55	27.54	6.56	0.53	32.23	0.85	1.00	1.00	0.37
	27.38	0.37	32	0.53	0.85	27.54	6.56	27.54	6.56	0.53	32.31	0.85	1.00	1.00	0.37
	32.38	0.37	32	0.53	0.85	27.54	6.56	27.54	6.56	0.53	31.84	0.85	1.00	1.00	0.37
	37.38	0.37	32	0.52	0.85	27.54	6.56	27.54	6.56	0.52	31.52	0.85	1.00	1.00	0.37
	42.38	0.37	24	0.41	0.91	27.54	6.56	27.54	6.56	0.41	24.30	0.91	1.00	1.00	0.37
	47.38	0.37	32	0.52	0.85	27.54	6.56	27.54	6.56	0.52	31.54	0.85	1.00	1.00	0.37
	52.38	0.37	45	0.70	0.71	27.54	6.56	27.54	6.56	0.70	44.77	0.71	1.00	1.00	0.37
	52.38	0.37	18	0.31	0.95	27.54	6.56	27.54	6.56	0.31	17.95	0.95	1.00	1.00	0.37
	49.88	0.37	26	0.43	0.90	27.54	6.56	27.54	6.56	0.43	25.72	0.90	1.00	1.00	0.37
	47.38	0.37	27	0.45	0.89	27.54	6.56	27.54	6.56	0.45	27.03	0.89	1.00	1.00	0.37
	42.38	0.37	32	0.54	0.84	27.54	6.56	27.54	6.56	0.54	32.39	0.84	1.00	1.00	0.37
	37.38	0.37	39	0.62	0.78	27.54	6.56	27.54	6.56	0.62	38.57	0.78	1.00	1.00	0.37
	32.38	0.37	19	0.32	0.95	27.54	6.56	27.54	6.56	0.32	18.53	0.95	1.00	1.00	0.37
	27.38	0.37	33	0.55	0.84	27.54	6.56	27.54	6.56	0.55	33.08	0.84	1.00	1.00	0.37
	22.38	0.37	27	0.46	0.89	27.54	6.56	27.54	6.56	0.46	27.21	0.89	1.00	1.00	0.37
	17.38	0.37	40	0.64	0.77	27.54	6.56	27.52	6.55	0.64	39.79	0.77	1.00	1.00	0.37
	12.38	0.37	44	0.70	0.72	27.52	6.55	27.36	6.51	0.69	43.77	0.72	1.00	0.98	0.36
	7.38	0.36	20	0.34	0.94	27.36	6.51	26.03	6.20	0.32	18.69	0.95	1.00	0.94	0.34
	4.38	0.34	22	0.37	0.93	26.03	6.20	22.96	5.47	0.33	19.03	0.95	0.99	0.91	0.31
	3.38	0.31	7	0.11	0.99	22.96	5.47	21.07	5.02	0.10	5.98	0.99	1.00	0.91	0.28
	2.63	0.28	44	0.70	0.72	21.07	5.02	19.20	4.57	0.63	39.39	0.77	0.96	0.92	0.25



Tabel 4.4. Perhitungan Transformasi Gelombang Orthogonal A  
Kondisi Surut Terendah (Timestep 49)

T	d	H <sub>0</sub>	a <sub>0</sub>	Sin a <sub>0</sub>	Cos a <sub>0</sub>	L <sub>0</sub>	C <sub>0</sub>	L	C	sin a	a	cos a	K <sub>r</sub>	K <sub>s</sub>	H'
4.2	34.90	0.50	3	0.05	1.00	27.54	6.56	27.54	6.56	0.05	2.63	1.00	1.00	1.00	0.50
	29.90	0.50	7	0.13	0.99	27.54	6.56	27.54	6.56	0.13	7.49	0.99	1.00	1.00	0.50
	24.90	0.50	16	0.27	0.96	27.54	6.56	27.54	6.56	0.27	15.50	0.96	1.00	1.00	0.50
	19.90	0.50	21	0.36	0.93	27.54	6.56	27.54	6.56	0.36	21.39	0.93	1.00	1.00	0.50
	14.90	0.50	25	0.42	0.91	27.54	6.56	27.48	6.54	0.42	24.60	0.91	1.00	0.99	0.50
	9.90	0.50	33	0.54	0.84	27.48	6.54	27.00	6.43	0.53	32.01	0.85	1.00	0.97	0.48
	4.90	0.48	42	0.67	0.74	27.00	6.43	23.71	5.65	0.59	35.93	0.81	0.96	0.91	0.41
	1.90	0.41	78	0.98	0.21	23.71	5.65	16.80	4.00	0.69	43.87	0.72	0.54	0.90	0.20
	4.90	0.20	26	0.43	0.90	16.80	4.00	23.71	5.65	0.61	37.69	0.79	1.07	0.71	0.15
	9.90	0.15	20	0.34	0.94	23.71	5.65	27.00	6.43	0.39	22.92	0.92	1.01	0.90	0.14
	14.90	0.14	24	0.41	0.91	27.00	6.43	27.48	6.54	0.42	24.89	0.91	1.00	0.98	0.14
	19.90	0.14	32	0.53	0.85	27.48	6.54	27.54	6.56	0.53	32.28	0.85	1.00	1.00	0.14
	24.90	0.14	32	0.53	0.85	27.54	6.56	27.54	6.56	0.53	32.32	0.85	1.00	1.00	0.14
	29.90	0.14	32	0.53	0.85	27.54	6.56	27.54	6.56	0.53	31.84	0.85	1.00	1.00	0.14
	34.90	0.14	32	0.52	0.85	27.54	6.56	27.54	6.56	0.52	31.52	0.85	1.00	1.00	0.14
	39.90	0.14	24	0.41	0.91	27.54	6.56	27.54	6.56	0.41	24.30	0.91	1.00	1.00	0.14
	44.90	0.14	32	0.52	0.85	27.54	6.56	27.54	6.56	0.52	31.54	0.85	1.00	1.00	0.14
	49.90	0.14	45	0.70	0.71	27.54	6.56	27.54	6.56	0.70	44.77	0.71	1.00	1.00	0.14
	49.90	0.14	18	0.31	0.95	27.54	6.56	27.54	6.56	0.31	17.95	0.95	1.00	1.00	0.14
	47.40	0.14	26	0.43	0.90	27.54	6.56	27.54	6.56	0.43	25.72	0.90	1.00	1.00	0.14
	44.90	0.14	27	0.45	0.89	27.54	6.56	27.54	6.56	0.45	27.03	0.89	1.00	1.00	0.14
	39.90	0.14	32	0.54	0.84	27.54	6.56	27.54	6.56	0.54	32.39	0.84	1.00	1.00	0.14
	34.90	0.14	39	0.62	0.78	27.54	6.56	27.54	6.56	0.62	38.57	0.78	1.00	1.00	0.14
	29.90	0.14	19	0.32	0.95	27.54	6.56	27.54	6.56	0.32	18.53	0.95	1.00	1.00	0.14
	24.90	0.14	33	0.55	0.84	27.54	6.56	27.54	6.56	0.55	33.08	0.84	1.00	1.00	0.14
	19.90	0.14	27	0.46	0.89	27.54	6.56	27.54	6.56	0.46	27.20	0.89	1.00	1.00	0.14
	14.90	0.14	40	0.64	0.77	27.54	6.56	27.48	6.54	0.64	39.73	0.77	1.00	0.99	0.14
	9.90	0.14	44	0.70	0.72	27.48	6.54	27.00	6.43	0.68	43.13	0.73	0.99	0.97	0.13
	4.90	0.13	20	0.34	0.94	27.00	6.43	23.71	5.65	0.30	17.21	0.96	0.99	0.91	0.12
	1.90	0.12	22	0.37	0.93	23.71	5.65	16.80	4.00	0.26	15.19	0.97	0.98	0.96	0.11
	0.90	0.11	7	0.11	0.99	16.80	4.00	12.02	2.86	0.08	4.66	1.00	1.00	1.01	0.11
	0.15	0.11	44	0.70	0.72	12.02	2.86	4.99	1.19	0.29	16.80	0.96	0.87	1.38	0.13

Hasil perhitungan ini selanjutnya akan dibandingkan dengan pemodelan gelombang yang kemudian akan ditinjau untuk melakukan validasi.

#### 4.3.6. Validasi Gelombang

Hasil perhitungan transformasi gelombang dengan garis ortogonal yang melewati daerah dangkal sebelum menuju ke garis pantai salah satunya yaitu pada Orthogonal A dapat dilihat pada Tabel 4.5. dan Tabel 4.6 dan untuk hasil perhitungan orthogonal dengan kondisi yang sama (B, C dan D) dapat dilihat pada lampiran. Perubahan tinggi gelombang akibat pengaruh refraksi gelombang dan pendangkalan (wave shoaling), dengan persamaan (2.5) yaitu:

$$H = K_s K_r H_0$$

Dengan  $H_0$  adalah tinggi gelombang laut dalam,  $K_s$  adalah Koefisien Pendangkalan (Shoaling) dan  $K_r$  adalah Koefisien Refraksi. Hasil perhitungan tersebut akan disandingkan dengan nilai hasil pemodelan sebagai validasi.



Tabel 4.5. Validasi pemodelan gelombang Orthogonal A (Timestep 67)

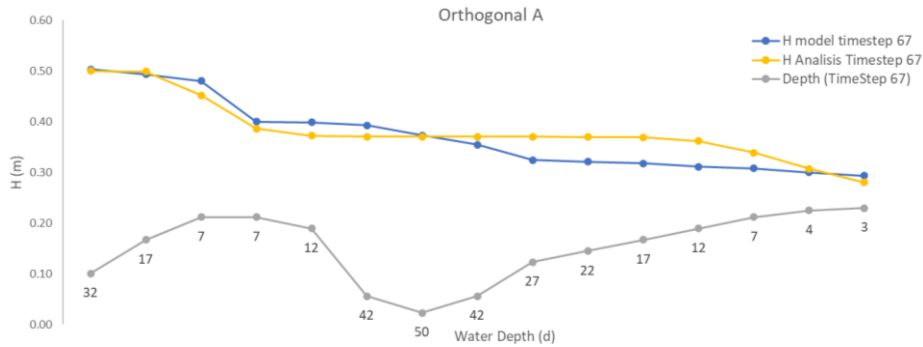
Point	Distance	Depth	Hs		MAPE
			Model	Analysis	
Point1	0	30	0.5	0.5	0.01
Point2	90	15	0.49	0.5	0.01
Point3	160	5	0.48	0.45	0.06
Point4	750	5	0.4	0.39	0.04
Point5	840	10	0.4	0.37	0.07
Point6	900	40	0.39	0.37	0.06
Point7	1120	47.5	0.37	0.37	0.01
Point8	1300	40	0.35	0.37	0.04
Point9	1600	25	0.32	0.37	0.14
Point10	1650	20	0.32	0.37	0.15
Point11	1680	15	0.32	0.37	0.16
Point12	1730	10	0.31	0.36	0.16
Point13	1760	5	0.31	0.34	0.1
Point14	1800	2	0.3	0.31	0.02
Point15	1830	1	0.29	0.28	0.05
Point16	1870	0.25	0.29	0.25	0.13
<b>MAPE</b>					<b>7.50%</b>

Tabel 4.6. Validasi pemodelan gelombang Orthogonal A (Timestep 49)

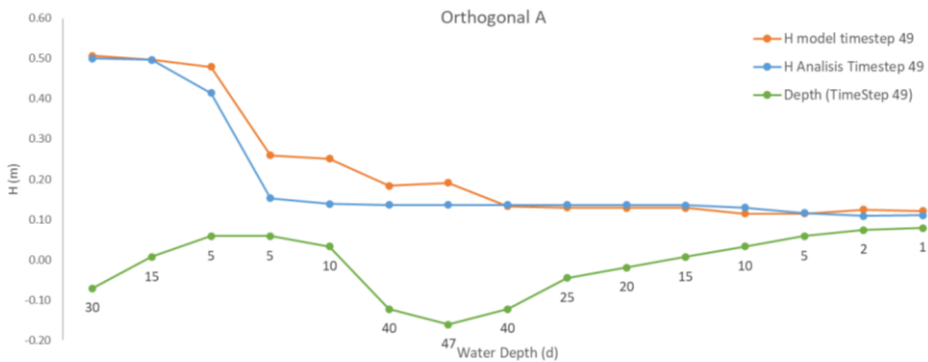
Point	Distance	Depth	Hs		MAPE
			Model	Analysis	
Point1	0	30	0.51	0.50	0.01
Point2	90	15	0.50	0.50	0.00
Point3	160	5	0.48	0.41	0.13
Point4	750	5	0.26	0.15	0.41
Point5	840	10	0.25	0.14	0.45
Point6	900	40	0.18	0.14	0.26
Point7	1120	47.5	0.19	0.14	0.29
Point8	1300	40	0.13	0.14	0.02
Point9	1600	25	0.13	0.14	0.05
Point10	1650	20	0.13	0.14	0.06
Point11	1680	15	0.13	0.14	0.05
Point12	1730	10	0.11	0.13	0.13
Point13	1760	5	0.11	0.12	0.02
Point14	1800	2	0.12	0.11	0.12
Point15	1830	1	0.12	0.11	0.09
<b>MAPE</b>					<b>14.0%</b>

Berdasarkan hasil analisis transformasi gelombang terdapat perubahan tinggi gelombang pada kondisi air pasang tertinggi, dimana untuk pemodelan sebesar 0.29 m dan untuk analisis teoritis sebesar 0.25 m dengan nilai MAPE sebesar 7.5%. Sedangkan nilai tinggi gelombang pemodelan untuk kondisi air

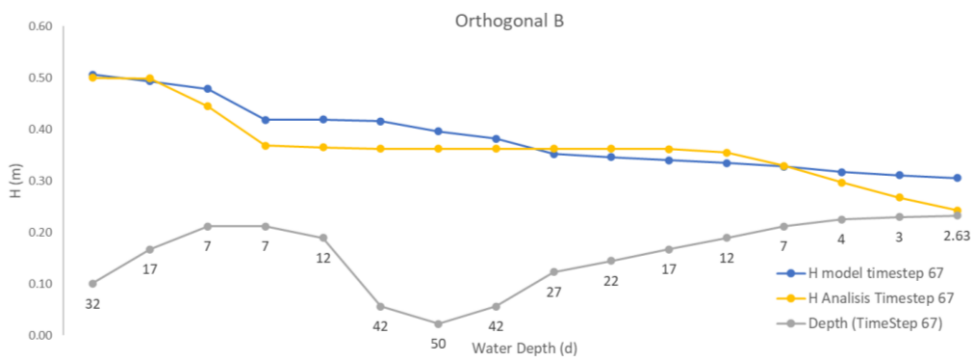
surut adalah 0.12 m dan analisa teoritis adalah 0.11 m dengan nilai MAPE sebesar 14.0% masih termasuk dalam kategori peramalan baik. Grafik tinggi gelombang versus kedalaman pada setiap orthogonal yang melewati daerah dangkal sebelum menuju ke garis pantai (A, B, C dan D) dapat dilihat pada gambar 4.9 sampai dengan gambar 4.17.



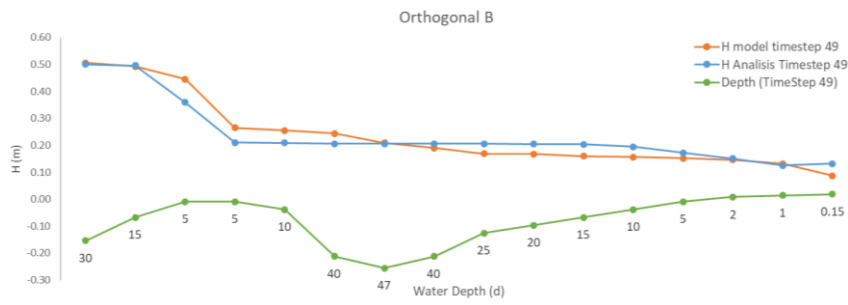
Gambar 4.10. Transformasi gelombang pada Orthogonal A (Timestep 67)



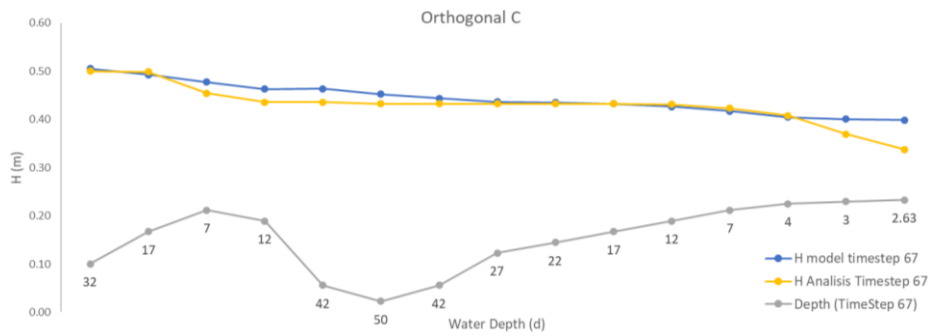
Gambar 4.11. Transformasi gelombang pada Orthogonal A (Timestep 49)



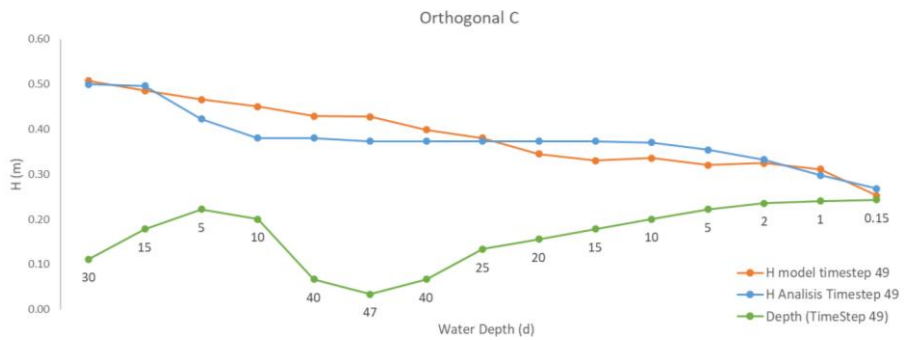
Gambar 4.12. Transformasi gelombang pada Orthogonal B (Timestep 67)



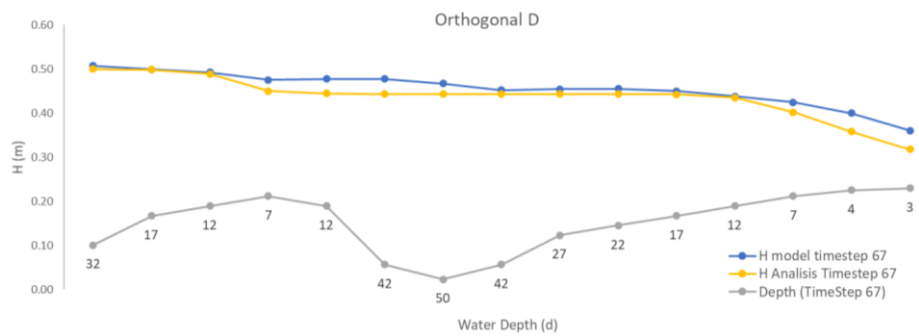
Gambar 4.13. Transformasi gelombang pada Orthogonal B (Timestep 49)



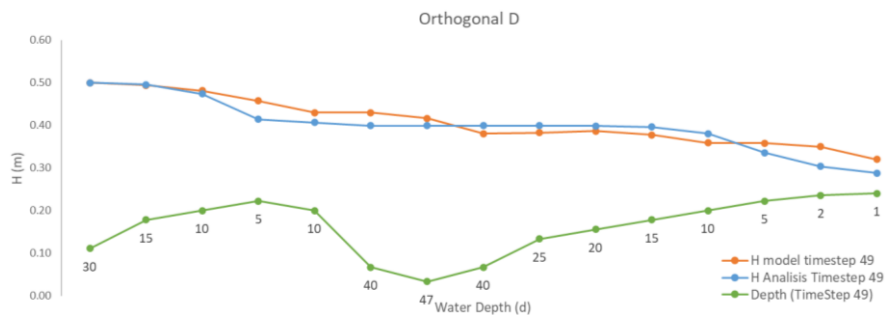
Gambar 4.14. Transformasi gelombang pada Orthogonal C (Timestep 67)



Gambar 4.15. Transformasi gelombang pada Orthogonal C (Timestep 49)



Gambar 4.16. Transformasi gelombang pada Orthogonal D (Timestep 67)



Gambar 4.17. Transformasi gelombang pada Orthogonal D (Timestep 49)

Grafik pada gambar 4.9 dan gambar 4.15 menunjukkan penurunan tinggi gelombang yang signifikan dari laut dalam melewati perairan dangkal, kemudian ketika melalui perairan yang dalam tidak terjadi penurunan tinggi gelombang hingga mendekati garis pantai terjadi lagi penurunan gelombang. Selanjutnya hasil perhitungan transformasi gelombang dengan garis ortogonal langsung dari laut dalam hingga ke garis pantai salah satunya yaitu pada orthogonal I dapat dilihat pada tabel 4.7. dan tabel 4.8. Untuk hasil perhitungan orthogonal dengan kondisi yang sama (E, F, G dan H) dapat dilihat pada lampiran.

Tabel 4.7. Validasi pemodelan gelombang Orthogonal I (Timestep 67)

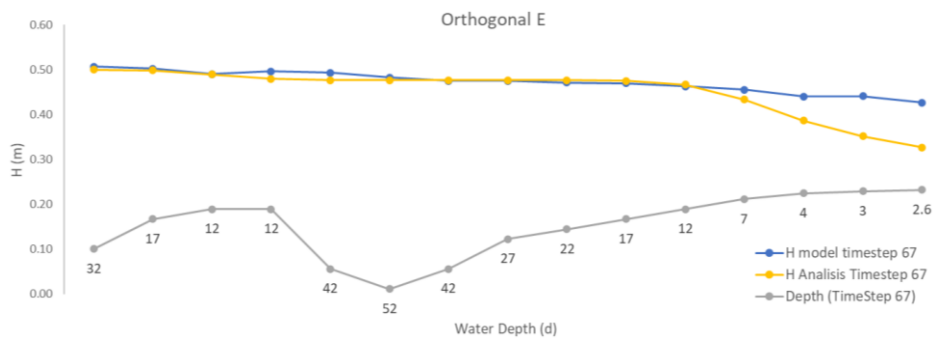
Point	Distance	Depth	H		MAPE
			Model	Analysis	
Point1	0	40	0.51	0.50	0.02
Point2	1081	65	0.51	0.50	0.01
Point3	1771	40	0.50	0.50	0.00
Point4	1795	30	0.50	0.50	0.00
Point5	1806	25	0.48	0.50	0.03
Point6	1817	20	0.48	0.50	0.03
Point7	1829	15	0.48	0.50	0.03
Point8	1845	10	0.48	0.49	0.02
Point9	1872	5	0.47	0.46	0.02
Point10	1900	2	0.46	0.41	0.11
<b>MAPE</b>					<b>2.9%</b>

Tabel 4.8. Validasi pemodelan gelombang Orthogonal I (Timestep 49)

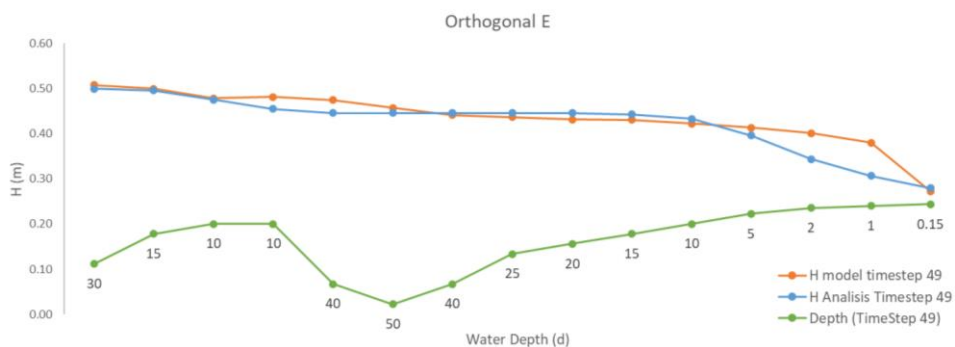
Point	Distance	Depth	H		MAPE
			Model	Analysis	
Point1	0	40	0.50	0.50	0.00
Point2	1081	65	0.50	0.50	0.00
Point3	1771	40	0.50	0.50	0.00
Point4	1795	30	0.50	0.50	0.00
Point5	1806	25	0.48	0.50	0.04
Point6	1817	20	0.48	0.50	0.03
Point7	1829	15	0.48	0.50	0.03

Point8	1845	10	0.48	0.48	0.01
Point9	1872	5	0.47	0.44	0.06
Point10	1900	2	0.47	0.42	0.11
<b>MAPE</b>					<b>2.9%</b>

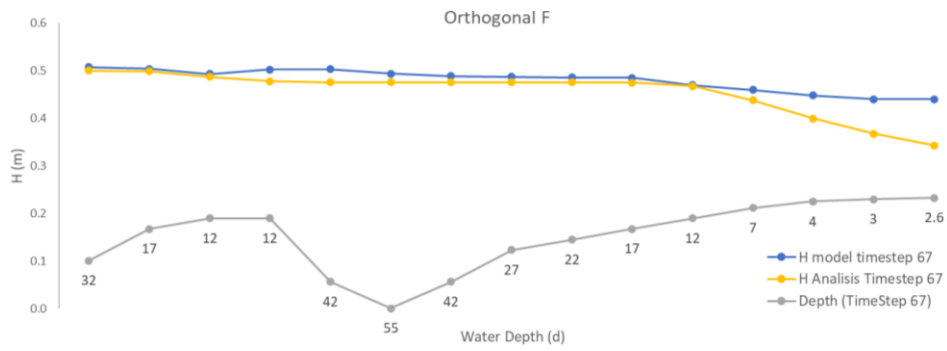
Berdasarkan hasil analisis transformasi gelombang di atas, penurunan tinggi gelombang tidak signifikan. Selisih tinggi gelombang pada kondisi pasang tertinggi untuk pemodelan sebesar 0.46 m dan analisis teoritis sebesar 0.41 m dengan nilai MAPE sebesar 2.9%. Sedangkan nilai tinggi gelombang pemodelan untuk kondisi air surut terendah adalah 0.47 m. Untuk analisa teoritis adalah 0.42 m dengan nilai MAPE sebesar 2.9% masih termasuk dalam kategori peramalan sangat akurat dengan grafik tinggi gelombang versus kedalaman pada setiap orthogonal langsung dari laut dalam hingga ke garis pantai (E, F, G, H dan I) dapat dilihat pada gambar 4.18 sampai dengan gambar 4.27.



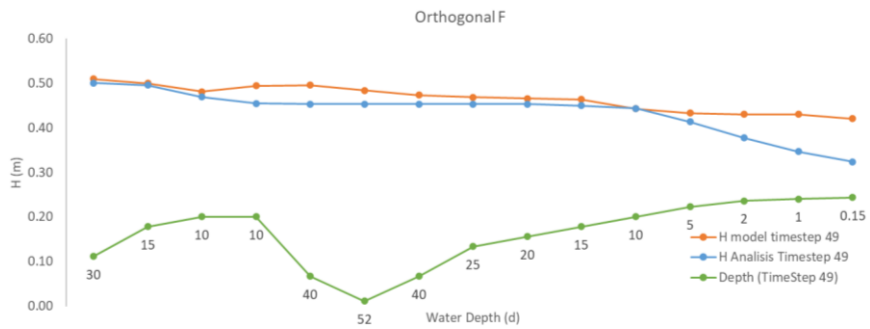
Gambar 4.18. Transformasi gelombang pada Orthogonal E (Timestep 67)



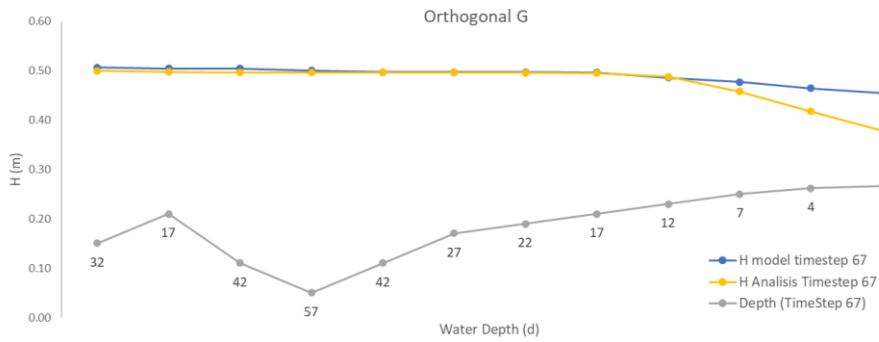
Gambar 4.19. Transformasi gelombang pada Orthogonal E (Timestep 49)



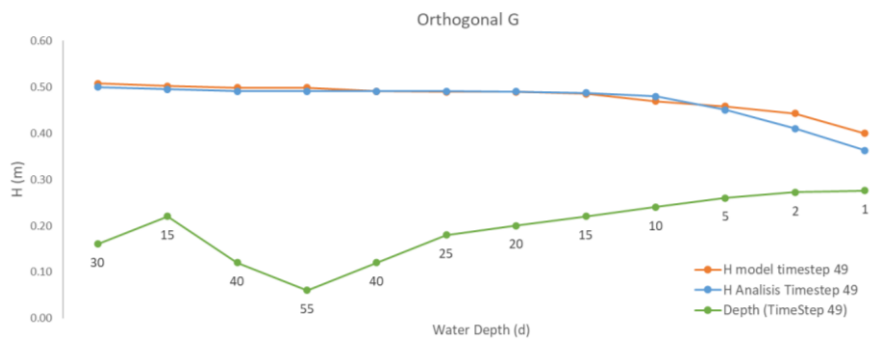
Gambar 4.20. Transformasi gelombang pada Orthogonal F (Timestep 67)



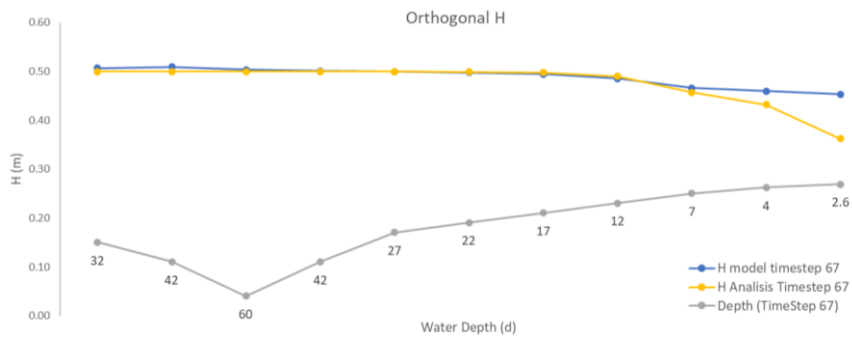
Gambar 4.21. Transformasi gelombang pada Orthogonal F (Timestep 49)



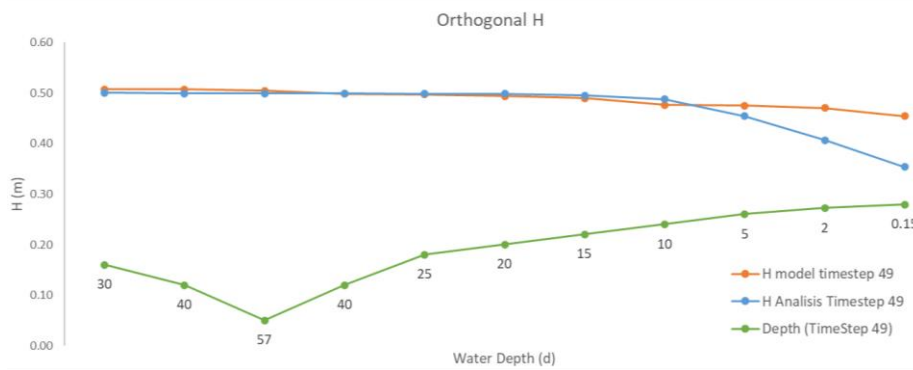
Gambar 4.22. Transformasi gelombang pada Orthogonal G (Timestep 67)



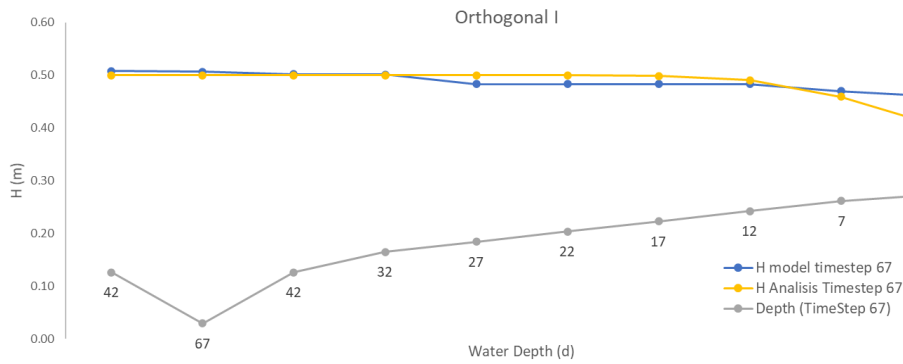
Gambar 4.23. Transformasi gelombang pada Orthogonal G (Timestep 49)



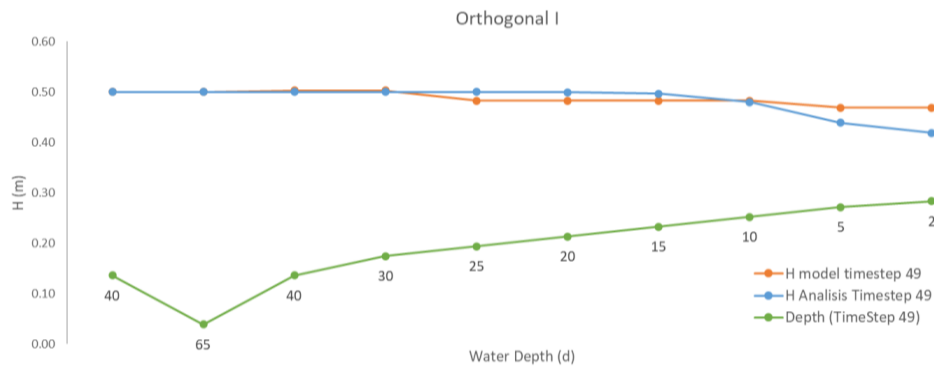
Gambar 4.24. Transformasi gelombang pada Orthogonal H (Timestep 67)



Gambar 4.25. Transformasi gelombang pada Orthogonal H (Timestep 49)



Gambar 4.26. Transformasi gelombang pada Orthogonal I (Timestep 67)



Gambar 4.27. Transformasi gelombang pada Orthogonal I (Timestep 49)

Hal ini sangat berbeda dengan kondisi gelombang melewati area dangkal, dimana tidak terjadi perubahan tinggi gelombang yang signifikan baik pada kondisi air pasang maupun surut, sehingga tinggi gelombang dari laut dalam terus merambat hingga ke bibir pantai dan mengalami penurunan tinggi gelombang sejalan dengan Persamaan 2.5. Nilai tinggi gelombang yang bertransformasi ke garis pantai akibat shoaling dan refraksi pada masing-masing ortogonal dapat dilihat pada tabel 4.9.

Tabel 4.9. Tinggi gelombang di garis pantai (kondisi pasang tertinggi)

Orthogonal	H		MAPE
	Model	Analysis	
A	0.29	0.25	13%
B	0.31	0.24	20%
C	0.40	0.34	15%
D	0.33	0.29	12%
E	0.43	0.33	23%
F	0.44	0.34	22%
G	0.45	0.38	17%
H	0.45	0.44	2%
I	0.46	0.41	11%
<b>Average</b>	<b>0.39</b>	<b>0.34</b>	<b>15%</b>

Rata-rata tinggi gelombang masing-masing ortogonal hasil pemodelan kondisi air pasang (timestep 67) adalah 0.39 m. Hasil analisis teoritis menunjukkan 0.34 m, dimana selisih antara model dan analisis tidak terlalu besar dengan rata-rata MAPE dari seluruh ortogonal berada pada kisaran 15%, sedangkan tinggi gelombang di garis pantai pada setiap kondisi pasang surut ortogonal disajikan pada tabel 4.10.

Tabel 4.10. Tinggi gelombang di garis pantai (kondisi surut terendah)

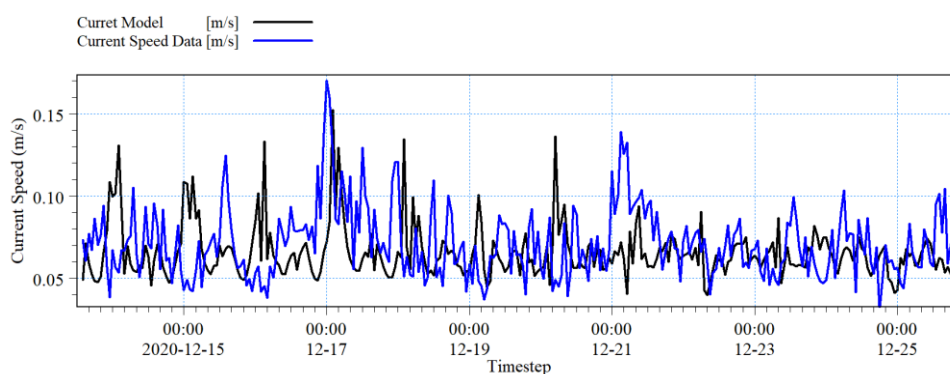
Orthogonal	H		MAPE
	Model	Analysis	
A	0.12	0.11	9%
B	0.09	0.12	37%
C	0.25	0.27	6%
D	0.44	0.38	13%
E	0.27	0.28	3%
F	0.42	0.32	23%
G	0.40	0.36	9%
H	0.49	0.35	28%
I	0.47	0.42	11%
<b>Average</b>	<b>0.33</b>	<b>0.29</b>	<b>15%</b>



Rata-rata tinggi gelombang masing-masing ortogonal dari hasil pemodelan kondisi air surut (timestep 49) adalah 0.33 m dan dari hasil analisa teoritis 0.29 m dimana selisih antara model dan analisa tidak terlalu besar dengan rata-rata MAPE dari seluruh orthogonal yaitu 15%. Sehingga dapat disimpulkan bahwa tinggi gelombang di bibir pantai kurang lebih sama, terutama pada daerah sekitar bangunan pantai yang ada.

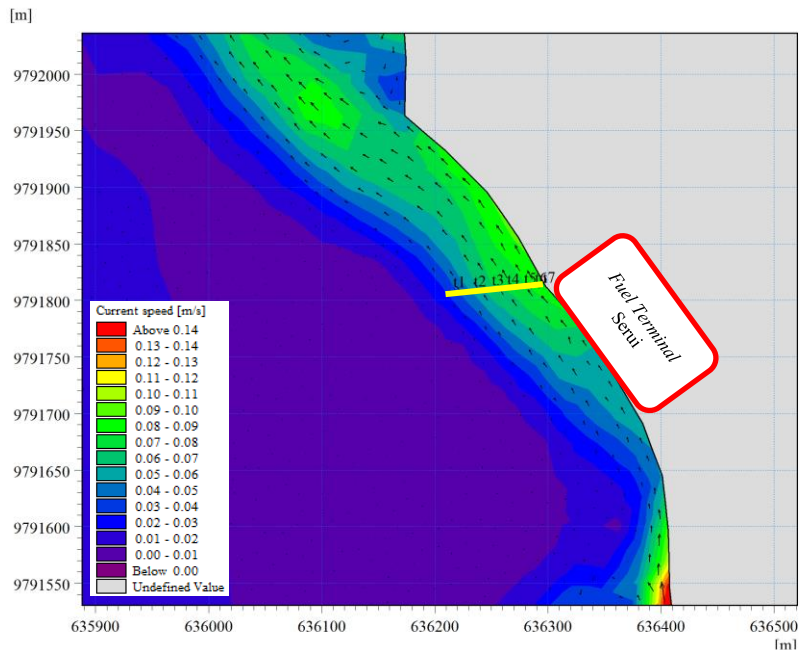
#### 4.3.7. Pemodelan Hidrodinamika

Dengan menggunakan persamaan dalam pemodelan Hidrodinamika kontinuitas (2.36) dan momentum sumbu x dan y (2.37) (2.38) dalam pemodelan numerik diperoleh perubahan kecepatan arus pada setiap timestep dimana kecepatan arus pemodelan dilakukan validasi terhadap data kecepatan arus hasil pengukuran lapangan menggunakan ADCP (Acoustic Doppler Current Profiler) yang ditempatkan dekat dengan bangunan pelindung pantai eksisting dengan titik kordinat yang telah diuraikan pada bab sebelumnya yang diukur selama 293 jam mulai tanggal 13 Desember 2020 pukul 14.00 hingga 25 Desember 2020 pukul 18.00. Sedangkan grafik perbandingan data kecepatan aliran hasil pengukuran dengan hasil pemodelan dapat dilihat pada Gambar 4.28.

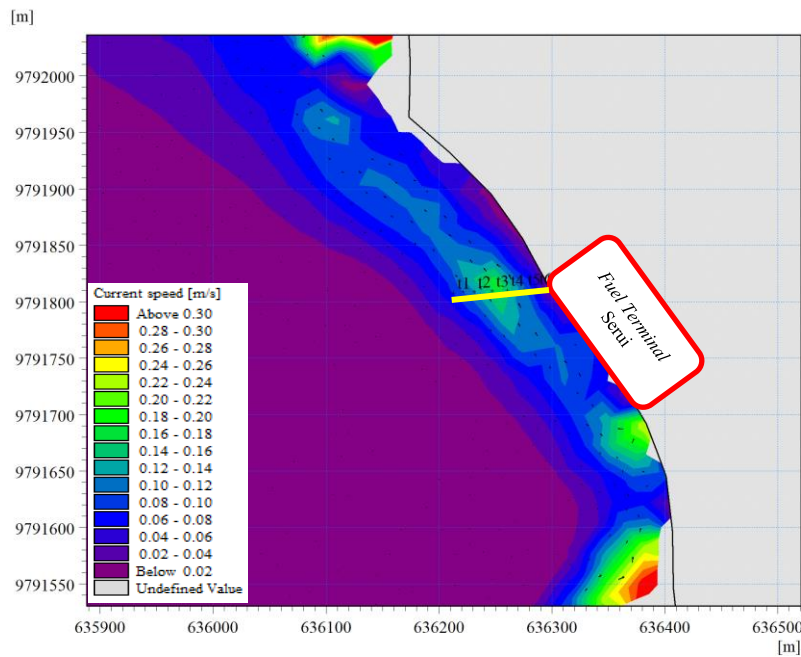


Gambar 4.28. Validasi Kecepatan Arus dari Hasil Pemodelan dan Data Pengukuran

Hasil validasi diperoleh nilai MAPE sebesar 30% yang dalam kategori masuk akal. validasi ini juga menjadi salah satu indikator untuk melihat keakuratan dalam pemodelan gelombang. Sirkulasi arus sepanjang pantai pada kondisi pasang tertinggi timestep (67) dan surut terendah timestep (49) selama pemodelan dapat dilihat pada gambar 4.29 dan gambar 4.30.



Gambar 4.29. Pemodelan Sirkulasi Arus Kondisi Pasang Tertinggi (Timestep 67)



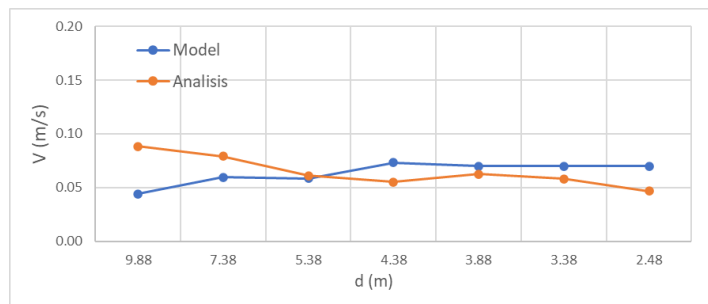
Gambar 4.30. Pemodelan Sirkulasi Arus Kondisi Surut Terendah (Timestep 49)

Pergerakan arus sepanjang pantai mengarah ke arah timur laut atau mengarah ke sisi kanan *Fuel Terminal Serui*. Kecepatan arus yang terjadi pada kondisi pasang tertinggi timestep (67) adalah 0.07-0.04 m/s dan surut terendah timestep (49) adalah 0.1-0.02 m/s hal ini dipengaruhi oleh area surfzone yang berubah akibat pasang surut dimana longshore current terbatas pada perairan gelombang pecah hingga garis pantai (Meilistya R.R et al., 2012). kemudian

dibuktikan dengan perhitungan secara analitis menggunakan persamaan (27) untuk membandingkan pemodelan dilapangan dimana hasil perhitungan pada dua kondisi (pasang & surut) disajikan pada tabel 4.11 dan tabel 4.12 dan gambar 4.31 dan gambar 4.32.

Tabel 4.11. Kecepatan Arus Sejajar Pantai (Kondisi Pasang)

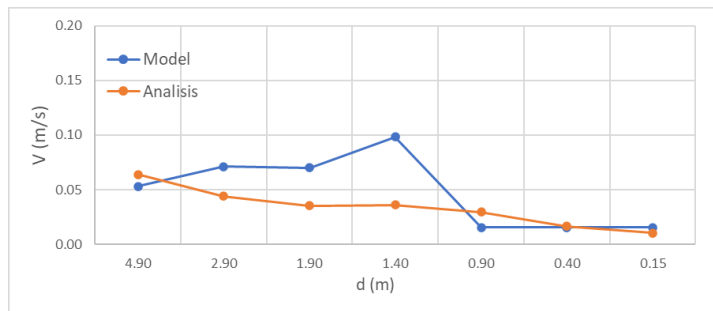
Point	Hb	db	ab	V		MAPE
				Analisis	Model	
t1	6.12	9.88	33.38	0.09	0.04	1.01
t2	4.53	7.38	34.08	0.08	0.06	0.33
t3	3.26	5.38	29.69	0.06	0.06	0.04
t4	2.62	4.38	30.12	0.06	0.07	0.25
t5	2.29	3.88	38.50	0.06	0.07	0.10
t6	1.96	3.38	38.28	0.06	0.07	0.17
t7	1.39	2.48	37.34	0.05	0.07	0.33
<b>Average</b>						<b>32%</b>



Gambar 4.31. Kecepatan Arus Terhadap Kedalaman Konidisi Pasang Tertinggi (Timestep 67)

Tabel 4.12. Kecepatan Arus Sejajar Pantai (Kondisi Surut)

Point	Hb	db	ab	V		MAPE
				Analisis	Model	
t1	2.94	4.90	31.97	0.06	0.05	0.20
t2	1.68	2.90	26.42	0.04	0.07	0.38
t3	1.07	1.90	26.66	0.04	0.07	0.50
t4	0.75	1.40	34.51	0.04	0.10	0.63
t5	0.51	0.90	32.05	0.03	0.02	0.91
t6	0.21	0.40	22.44	0.02	0.02	0.07
t7	0.07	0.15	22.34	0.01	0.02	0.32
<b>Average</b>						<b>43%</b>

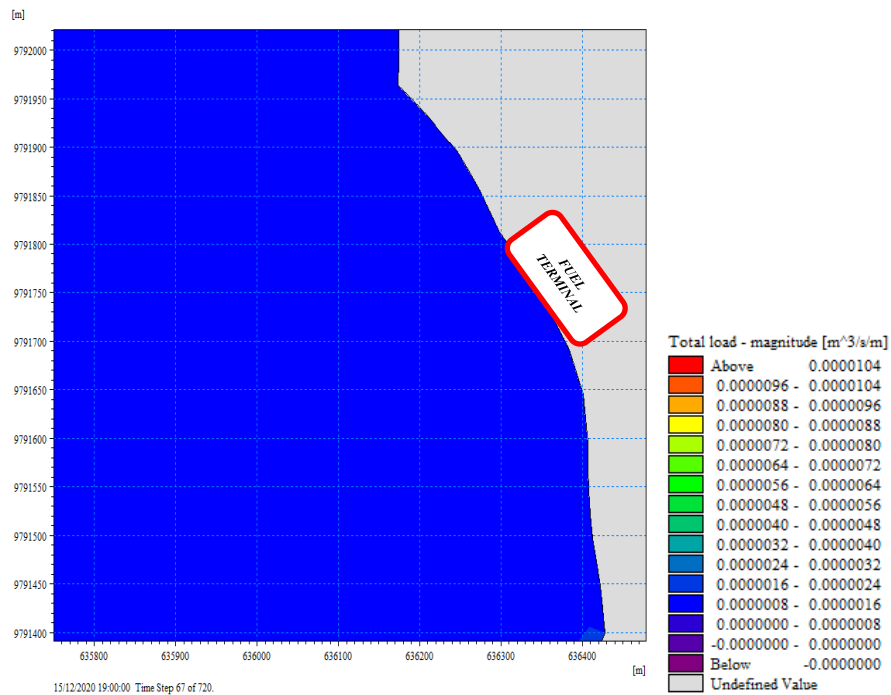


Gambar 4.32. Kecepatan Arus Terhadap Kedalaman Kondisi Surut Terendah (Timestep 49)

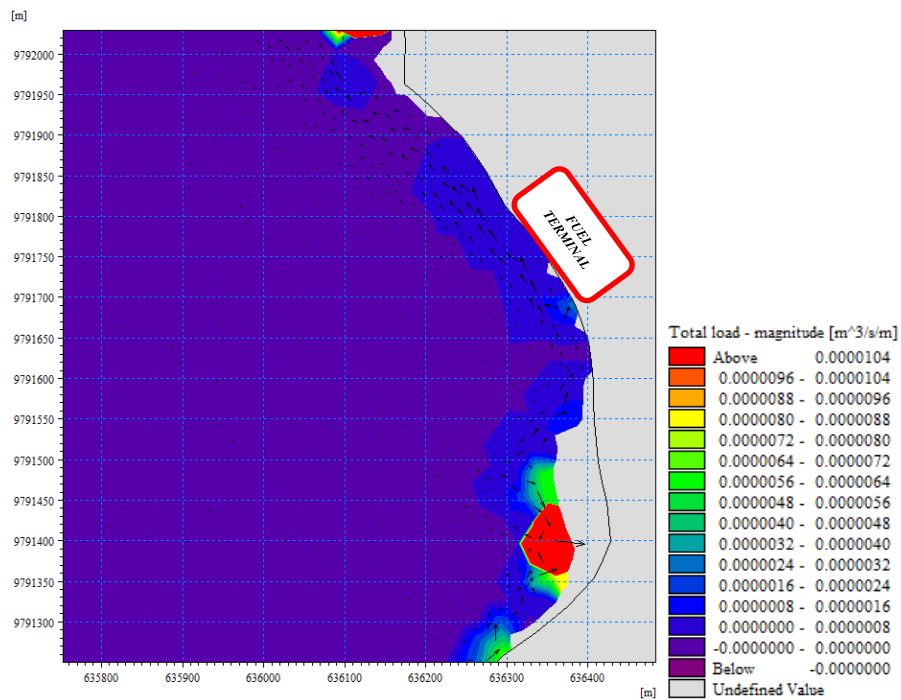
Kecepatan arus yang terjadi kurang lebih hampir sama dengan pemodelan yaitu pada kondisi pasang tertinggi timestep (67) adalah 0.1-0.04 m/s dan surut terendah timestep (49) adalah 0.1-0.02 m/s. dengan *Mean Absolute Percentage Error* (MAPE) rata-rata 32% dan 43 % yang masih masuk dalam kategori masuk akal. Sirkulasi arus ini relatif kecil namun untuk memastikan apakah terjadi sediment transport yang besar tergantung dari propertis butiran sedimen.

#### 4.3.8. Pemodelan Transport Sedimen

Pendekatan formula yang digunakan dalam transport sedimen di modul (Engelund-Hansen model, Van-Rijn model, Engelund-Fredsoe model, serta Meyer-Peter-Müller model. dimana memadukan antara pengaruh arus dan gelombang dalam pergerakan sedimen (Persamaan 2.39) dengan data sedimen diperoleh dari pengambilan sample lapangan yang sudah dijelaskan pada bab sebelumnya. Pada umumnya jumlah transport sedimen tertinggi terjadi pada garis gelombang pecah. Adapun perubahan morfologi disekita bangunan eksisting dapat dilihat pada gambar 4.33 dan gambar 4.34.



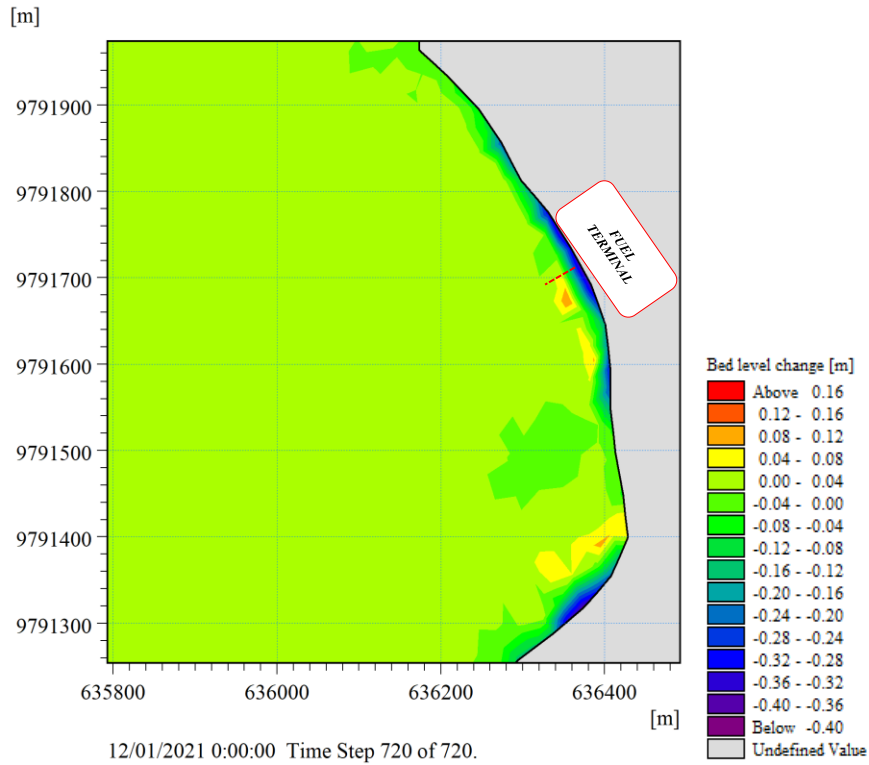
Gambar 4.33. Transport Sedimen Kondisi Pasang Tertinggi (Timestep 67)



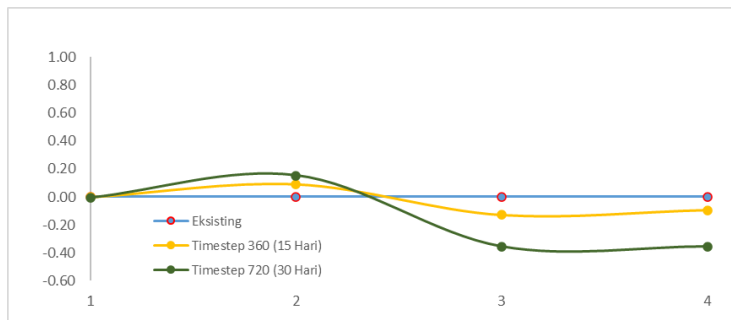
Gambar 4.34. Pemodelan Transport Sedimen Kondisi Surut Terendah (Timestep 49)

Berdasarkan hasil pemodelan, sedimen transport yang terjadi pada kondisi pasang tertinggi timestep (67) dan surut terendah timestep (49) dengan interval 0.0000016 - 0.0000024 m<sup>3</sup>/s/m, kemudian simulasi dilakukan selama 30 hari terlihat pada gambar 4.35 terjadi perubahan morfologi disekitar

bangunan hal ini juga terlihat pada perubahan *bed level* pada gambar 4.36 terdapat beberapa titik tinjauan dalam satu line section *bed level* yang ditinjau selama 30 hari.



Gambar 4.35. *Bed level change* selama 30 hari (Timestep 720)



Gambar 4.36. Perubahan *bed level* pada titik tinjauan

Terlihat pada gambar 4.35. dan 4.36 terjadi perubahan *bed level* terutama pada lokasi bangunan dengan interval 0.16 s/d 0.12 m hingga -0.32 s/d -0.36 m Untuk melihat nilai sedimen transport hasil pemodelan selama satu bulan, dilakukan perhitungan dalam bentuk tabulasi pada Tabel 4.13. Kemudian dibuktikan juga dengan perhitungan secara teoritis menggunakan Persamaan 2.28 (CERC, 1984) pada masing-masing kondisi yang dapat dilihat pada tabel 4.14 dan tabel 4.15.

Tabel 4.13. Analisis Transport Sedimen Hasil Pemodelan Selama Satu Bulan

Point	Bed Level Change (m/bulan)	Bed Level Change (m/hari)	Bed Level Change (m/jam)
1	-0.00708	-0.00024	-0.00001
2	0.15324	0.00511	0.00021
3	-0.35468	-0.01182	-0.00049
4	-0.35468	-0.01182	-0.00049
Q (m <sup>3</sup> /jam/m)			0.01
Q (m <sup>3</sup> /s/m)			0.000002

Tabel 4.14. Analisis Teoritis Transport Sedimen Kondisi Pasang Tertinggi (Timestep 67)

Hb	db	ab	D50	ρ <sub>s</sub>	ρ	κ	αb	K	n	Q(m <sup>3</sup> /hari)	Q(m <sup>3</sup> /jam)
2.3	3.88	38.50	0.15	2360	1025	0.59	38.50	0.96	0.40	2.355	0.098
2.0	3.38	38.28	0.15	2360	1025	0.58	38.28	0.96	0.40	1.607	0.067
1.6	2.88	32.09	0.15	2360	1025	0.57	32.09	0.96	0.40	0.968	0.040
1.5	2.63	36.83	0.15	2360	1025	0.56	36.83	0.96	0.40	0.804	0.033
1.4	2.48	37.34	0.15	2360	1025	0.56	37.34	0.96	0.40	0.687	0.029
1.3	2.38	5.57	0.15	2360	1025	0.55	5.57	0.96	0.40	0.121	0.005
Q(m <sup>3</sup> /jam/m)											0.0114
Q(m <sup>3</sup> /s/m)											0.000003

Tabel 4.15. Analisis Teoritis Transport Sedimen Kondisi Surut Terendah (Timestep 49)

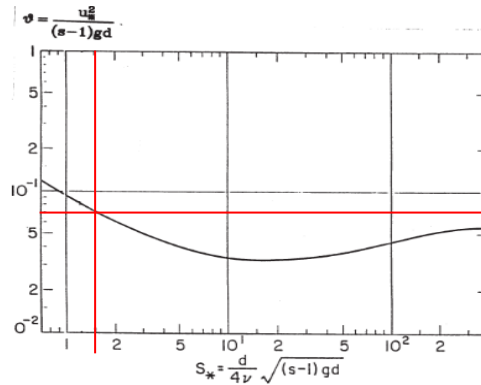
Hb	db	ab	D50	ρ <sub>s</sub>	ρ	κ	αb	K	n	Q(m <sup>3</sup> /hari)	Q(m <sup>3</sup> /jam)
2.9	4.90	31.97	0.15	2360	1025	0.60	31.97	0.96	0.4	4.0117	0.1672
1.7	2.90	26.42	0.15	2360	1025	0.58	26.42	0.96	0.4	0.9046	0.0377
1.1	1.90	26.66	0.15	2360	1025	0.56	26.66	0.96	0.4	0.2970	0.0124
0.8	1.40	34.51	0.15	2360	1025	0.54	34.51	0.96	0.4	0.1468	0.0061
0.5	0.90	32.05	0.15	2360	1025	0.57	32.05	0.96	0.4	0.0512	0.0021
0.2	0.40	22.44	0.15	2360	1025	0.53	22.44	0.96	0.40	0.0046	0.0002
Q(m <sup>3</sup> /jam/m)											0.0113
Q(m <sup>3</sup> /s/m)											0.000003

Hasil perhitungan sedimen transport secara teoritis (CERC, 1984) pada kondisi Timestep 49 dan 67 hasilnya kurang lebih sama dengan pemodelan yang dilakukan sebelumnya. Selain itu untuk membuktikan bahwa benar terjadi pergerakan sedimen, dilakukan pendekatan menggunakan parameter shield. dimana sedimen bergerak jika memenuhi beberapa kriteria (Liu, 2001). Perhitungan dimulai dari perhitungan *sediment fluid parameter*  $S_*$  dengan *relative density*

$$s = \rho_s / \rho = 2360 / 1025 = 2.3 \text{ maka}$$

$$S_* = \frac{d_{50} \sqrt{(s-1)gd_{50}}}{4\nu} = \frac{0.00005 \sqrt{(2.3-1) 9.81 \times 0.00005}}{4 \times 0.0000001} = 1.641$$

dengan menggunakan grafik pada gambar 4.18. dan diketahuinya nilai  $S_*$  maka dapat ditentukan nilai *Critical Shield* nya diperoleh  $\theta_c = 0.07$



Gambar 4.37. Nilai Critical Shield

Kemudian dilanjutkan perhitungan kecepatan horizontal maksimum partikel, tegangan geser dasar maksimum akibat gelombang, *wave friction factor* dan *shield parameter* kemudian melihat apakah sedimen bergerak dari beberapa ketentuan dari nilai parameter yang dihitung pada tabel 4.16.

Tabel 4.16. Perhitungan Treshold Sedimen

$\rho_s$	$\rho$	$s$	$s_*$	$\theta_c$	$\Lambda$	$U_m$	$f_w$	$T_{w, \max}$	$\theta$
2360	1025	2.30	1.641	0.07	0.24	0.37	0.033	2.293	1.16705
Sedimen bergerak jika ( $\theta > \theta_c$ )						=	1.167	>	0.070
Kesimpulan						=	<b>Sedimen Bergerak</b>		

Berdasarkan shield parameter diketahui bahwa sedimen bergerak karena arus akibat gelombang artinya benar terjadi transport sedimen di lokasi studi didukung dengan jenis gelombang pecah yang terjadi pada bangunan, dengan menggunakan tinggi gelombang dan panjang gelombang laut dalam dengan slope seabed diperoleh nilai  $Ir = 0.745$ .

$$Ir = \frac{\tan 0.1}{\left(\frac{0.5}{27.54}\right)^{0.5}} = 0,745$$

Nilai tersebut masuk dalam kategori *plunging* pada  $0.5 < Ir < 3.3$  yang merupakan tipe pecah yang berpotensi menghasilkan gerusan yang besar (Dalrino & Utomo, 2011).



#### 4.4. Perhitungan Run-up dan Overtopping Kondisi Eksisting

Berdasarkan hasil transformasi gelombang dimana tinggi gelombang yang menjalar ke garis pantai bangunan dan sekitarnya relatif tenang. Selanjutnya dilakukan perhitungan Run-up gelombang untuk mengetahui apakah geometri bangunan merupakan faktor terjadinya limpasan, dengan menggunakan gelombang orthogonal C, D, E dan F yang merupakan garis orthogonal menuju ke depan bangunan pantai eksisting. Untuk menghitung run-up gelombang maka dihitung nilai Iribaren untuk bangunan sisi miring halus dan impermeable. Efektivitas pengurangan limpasan menurun seiring dengan bertambahnya jumlah Iribarren (Kerpen et al., 2019). Perhitungan run-up dilakukan pada kondisi air pasang tertinggi yang memiliki potensi overtopping signifikan dengan beberapa tinggi gelombang representatif untuk mengetahui Nilai Run-up 2%, 10% dan 33%. Perhitungan run-up menggunakan tinggi gelombang yang dapat dilihat pada tabel 4.17 dan tabel 4.19.

Tabel 4.17. Perhitungan Run-up 2%

Orthogonal	Lo	tan $\theta$	Ir	Ru/H	H	Ru
C	21.07	0.63	2.72	2.95	1.11	3.28
D	21.07	0.63	2.81	2.95	1.05	3.09
E	21.07	0.63	2.67	2.95	1.16	3.41
F	21.07	0.63	2.62	2.85	1.20	3.42
<b>Average</b>					<b>1.1</b>	<b>3.3</b>

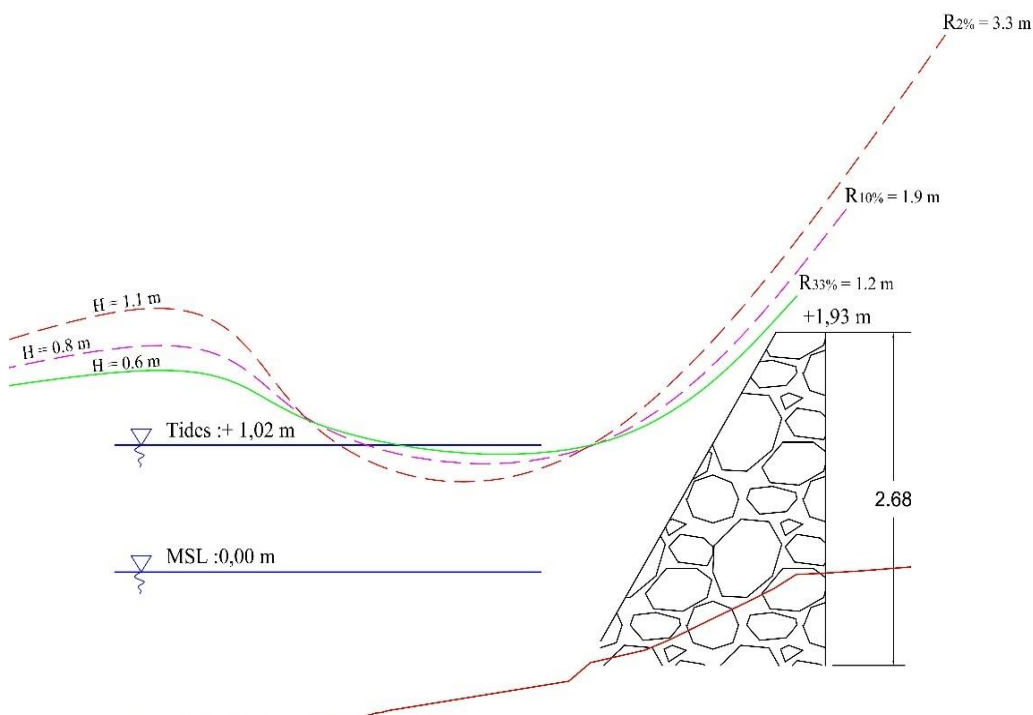
Tabel 4.18. Perhitungan Run-up 10%

Orthogonal	Lo	tan $\theta$	Ir	Ru/H	H	Ru
C	21.07	0.63	3.25	2.25	0.78	1.75
D	21.07	0.63	3.35	2.10	0.73	1.54
E	21.07	0.63	3.19	2.38	0.81	1.93
F	21.07	0.63	3.13	2.60	0.84	2.19
<b>Average</b>					<b>0.8</b>	<b>1.9</b>

Tabel 4.19. Perhitungan Run-up 33%

Orthogonal	Lo	tan $\theta$	Ir	Ru/H	H	Ru
C	21.07	0.63	3.79	2.10	0.57	1.21
D	21.07	0.63	3.91	2.10	0.54	1.13
E	21.07	0.63	3.71	2.14	0.60	1.28
F	21.07	0.63	3.63	2.15	0.62	1.34
<b>Average</b>					<b>0.6</b>	<b>1.2</b>

Dari hasil perhitungan run-up dengan tinggi gelombang representatif, diperoleh tinggi run-up 2%, 10% dan 33% sebesar 1.2, 1.9 dan 3.3 m. Dapat disimpulkan bahwa struktur bangunan meningkatkan tinggi gelombang 2-3 kali lipat ketika merambat ke bangunan pantai eksisting, sehingga dapat disimpulkan terjadinya overtopping disebabkan oleh geometri dan type bangunan alternatif yang kurang sesuai. Hal ini perlu menjadi perhatian khusus dalam merencanakan alternatif bangunan. Adapun ilustrasi ketinggian run-up ketika gelombang mendekati struktur pantai eksisting yang disajikan pada gambar 4.38.



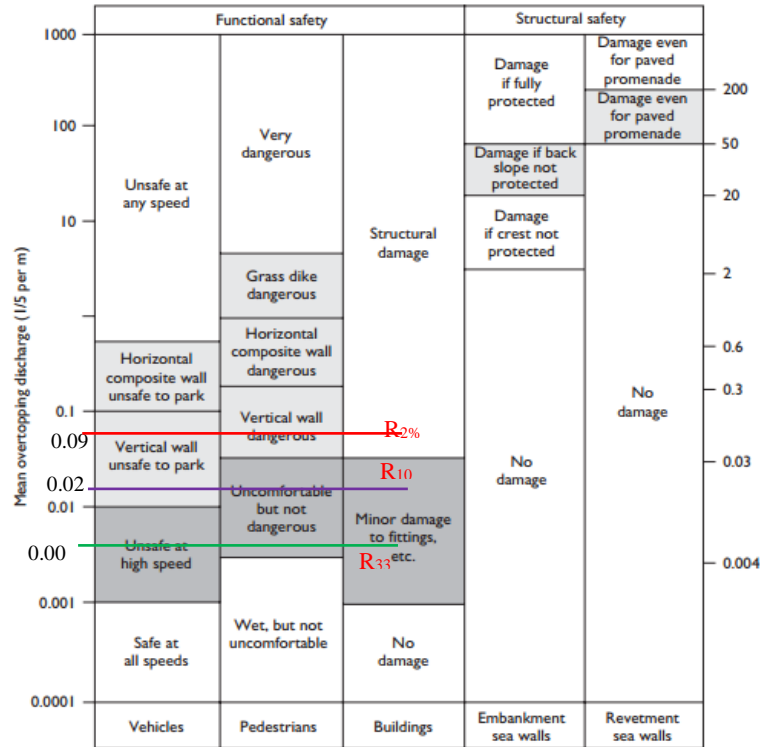
Gambar 4.38. Run-up gelombang pada bangunan pantai eksisting

Selain run-up dilakukan juga perhitungan overtopping untuk melihat klasifikasi overtopping yang terjadi dengan menggunakan persamaan 2.17. Adapun hasil perhitungan overtopping dengan berbagai jenis Run-up disajikan pada tabel 4.20.

Tabel 4.20. Hasil Perhitungan Overtopping

<b>H</b>		<b>R<sub>c</sub></b>	<b>rf</b>	<b>Q</b>	<b>q<sub>o</sub></b> (m <sup>3</sup> /s/m)
H <sub>2%</sub>	1.1	0.91	1	0.025	0.09
H <sub>10%</sub>	0.8	0.91	1	0.010	0.02
H <sub>33%</sub>	0.6	0.91	1	0.003	0.005

Hasil perhitungan overtopping diperoleh volume overtopping yang terjadi untuk  $H_{2\%}$  adalah  $0.09 \text{ m}^3/\text{s}/\text{m}$ ,  $H_{10\%}$   $0.02 \text{ m}^3/\text{s}/\text{m}$  dan  $H_{33\%}$   $0.005 \text{ m}^3/\text{s}/\text{m}$ . selanjutnya dilakukan klasifikasi overtopping menurut (Owen, 1980) yang dapat dilihat pada gambar 4.37. untuk masing-masing jenis Run-up.



Gambar 4.39. Klasifikasi Overtopping Kondisi Eksisting

Berdasarkan gambar 4.39 hasil klasifikasi overtopping dari nilai run-up diperoleh jumlah limpasan  $0.005$  s/d  $0.09 \text{ m}^3/\text{s}/\text{m}$  dimana overtopping yang terjadi masuk dalam kategori *minor damage* ( $0.005$ - $0.02 \text{ m}^3/\text{s}/\text{m}$ ) dan *structural damage* ( $0.09 \text{ m}^3/\text{s}/\text{m}$ ) terhadap fasilitas bangunan sekitarnya meskipun tidak merusak struktur bangunan pelindung pantai eksisting hal ini sesuai dengan situasi di *Fuel Terminal Serui*.

#### 4.5. Identifikasi Permasalahan Pantai

Berdasarkan survey kondisi dan analisis mendalam secara menyeluruh, lokasi di *Fuel Terminal Serui* terdapat beberapa permasalahan pantai diantaranya adalah sebagai berikut:

1. Terjadinya overtopping pada bangunan pelindung eksisting disebabkan oleh jenis dan geometri bangunan yaitu serelatif vertikal dan elevasi puncak

bangunan relatif rendah dengan muka air pasang yang berpotensi terjadinya overtopping dan hempasan air laut sampai ke lahan darat.

2. Berdasarkan kondisi eksisting tinggi gelombang di perairan terminal bahan bakar Serui berkisar 0,3-0,4 m, dimana gelombang relatif tenang, dan dipastikan overtopping yang terjadi disebabkan oleh geometri dan jenis bangunan pantai yang ada dengan smooth slooping dan impermeable yang menyebabkan tinggi gelombang menjadi 2-3 kali lipat dengan tinggi run-up  $R_{2\%}$ ,  $R_{10\%}$  dan  $R_{33\%}$  sebesar 1.2, 1.9 dan 3.3 m sehingga bangunan ini kurang efektif dalam meredam gelombang overtopping.
3. Walaupun bangunan pelindung pantai eksisting masih dalam kondisi baik Klasifikasi dari limpasan overtopping masuk dalam kategori *minor damage* hingga *structural damage* terhadap fasilitas bangunan yang ada disekitarnya.
4. Akibat energi gelombang yang bekerja dalam waktu yang lama dengan energi gelombang yang masih tinggi menabrak bangunan eksisting menyebabkan terjadinya perubahan morfologi dan gerusan pada bangunan. Apabila permasalahan ini tidak ditangani maka akan mengakibatkan kerusakan fasilitas darat yang mempengaruhi proses bongkar muat di *Fuel Terminal* Serui.

#### **4.6. Strategi Penyelesaian Masalah dan Rencana Alternatif Bangunan**

Berdasarkan permasalahan pantai yang telah disampaikan pada sub bab sebelumnya serta hasil analisis dan kondisi lingkungan yang ada maka strategi penyelesaian permasalahan pantai di *Fuel Terminal* Serui adalah sebagai berikut.

1. Mengurangi/meredam energi gelombang dengan modifikasi bangunan eksisting. dengan menggunakan material dengan porositas yang optimal
2. Memperkuat bangunan eksisting dengan material bangunan dengan durabilitas yang tinggi dan menambahkan pelindung kaki bangunan
3. Menambah elevasi puncak bangunan eksisting dengan memperhitungkan rayapan gelombang maksimum pada saat kondisi air pasang tertinggi.

#### 4.7. Kinerja Alternatif Bangunan Pantai

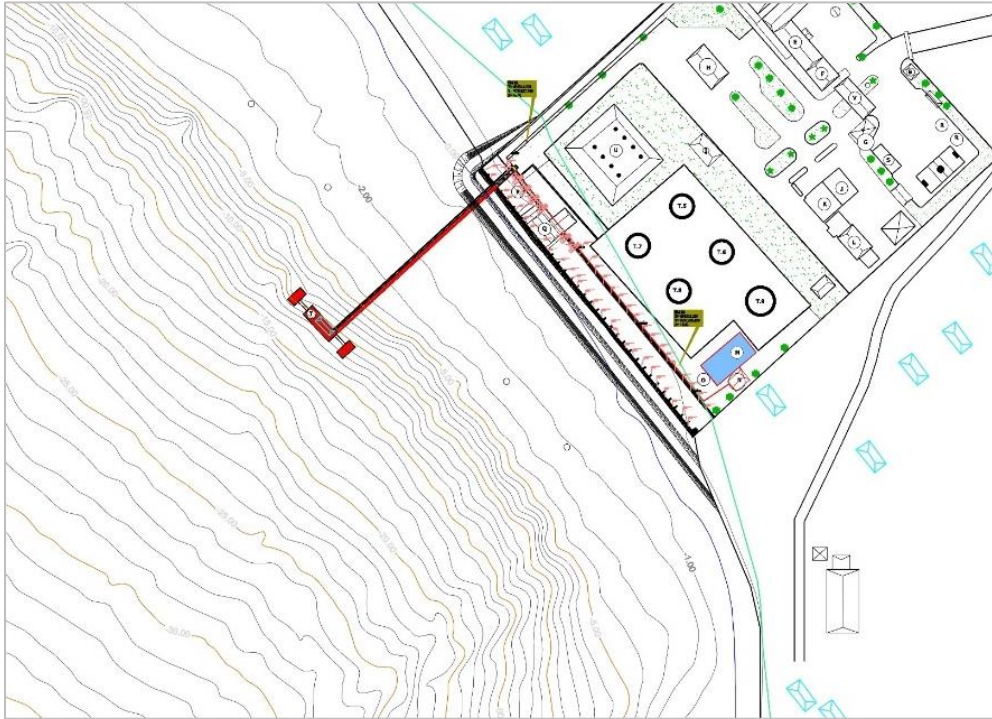
Berdasarkan kondisi eksisting bangunan, karakteristik lingkungan dan hasil analisis data maka dilakukan perbaikan/modifikasi bangunan eksisting dengan kriteria unjuk kerja alternatif bangunan sebagai dasar pertimbangan yang dapat di deskripsikan seperti pada tabel 4.21.

Tabel 4.21. Kinerja Alternatif Bangunan Pantai

No	Kriteria	Kinerja Alternatif Bangunan
		Perbaikan/modifikasi Bangunan Eksisting
1	Kemampuan Bangunan Melindungi Pantai dari Gelombang	Perkuatan bangunan eksisting dapat meredam gelombang dengan jika lebar dan tinggi pelindung kaki cukup memadai untuk peredaman gelombang serta elevasi struktur dibuat non overtoping
2	Keterpaduan dengan Bangunan Eksisting	Sangat padu karena hanya modifikasi dan perkuatan bangunan eksisting
3	Kemudahan Pelaksanaan	Mudah dalam pelaksanaan pekerjaan karena lokasinya di pantai
4	Biaya Konstruksi	Material konstruksi relative lebih kecil serta teknik pelaksanaan yang lebih mudah dibandingkan dengan alternatif yang lain sehingga biaya konstruksi lebih mudah
5	Kemudahan Pemeliharaan	Relatif mudah dalam pemeliharaan
6	Dampak Lingkungan terhadap Lingkungan Sekitar	Relatif sangat kecil karena bangunan diletakkan di pantai dan telah mencapai kondisi stabil

#### 4.8. Layout Bangunan Alternatif

Setelah menentukan alternatif bangunan selanjutnya akan dilakukan layout seperti pada gambar 4.40.



Gambar 4.40. Layout Bangunan Alternatif

#### 4.9. Kedalaman Bangunan Eksisting

Kedalaman dasar bangunan diambil dari beberapa potongan. Kemudian memilih nilai kedalaman paling besar yang akan menjadi acuan perencanaan bangunan. Adapun hasil penentuan kedalaman lokasi perbaikan bangunan eksisting dapat dilihat pada tabel 4.22.

Tabel 4.22. Kedalaman Lokasi Bangunan Eksisting

No.	Cross Section	Kedalaman (m)
1	1 - 11	2.3
2	12 - 22	1.9
3	23 - 27	1.5

#### 4.10. Perencanaan Dimensi Bangunan Alternatif

Bangunan alternatif yang di rencanakan adalah Modifikasi Bangunan Eksisting dengan dua type dimulai dari jenis material dan sistem keamanan overtopping. Adapun perencanaan bangunan alternatif sebagai berikut.

#### 4.10.1. Analisis Data Pasang Surut

Pada tahap ini dilakukan analisa perhitungan konstanta pasang surut agar mendapatkan elevasi penting pasang surut yang dijadikan sebagai acuan perencanaan bangunan alternatif. Perekaman elevasi muka air pada *Fuel Terminal Serui* dimulai pada tanggal 13-28 Desember 2020. Pencatatan dilakukan setiap jam

Tabel 4.23. Hasil Pengamatan Pasang Surut di *Fuel Terminal Serui* (meter)

Jam	Hari															
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16
<b>0</b>	1.4	1.1	1.2	1.4	1.8	2.2	2.6	2.8	2.9	2.9	2.7	2.5	2.2	1.9	1.7	1.5
<b>1.00</b>	1.6	1.2	1.0	1.1	1.4	1.7	2.2	2.5	2.7	2.8	2.7	2.6	2.4	2.1	1.8	1.6
<b>2.00</b>	2.0	1.5	1.2	1.1	1.1	1.4	1.8	2.1	2.4	2.6	2.7	2.7	2.5	2.3	2.1	1.8
<b>3.00</b>	2.5	2.0	1.6	1.3	1.2	1.3	1.5	1.8	2.1	2.4	2.6	2.8	2.7	2.6	2.4	2.2
<b>4.00</b>	2.9	2.5	2.0	1.7	1.4	1.3	1.4	1.6	1.9	2.2	2.5	2.7	2.8	2.8	2.7	2.5
<b>5.00</b>	3.2	2.9	2.6	2.2	1.9	1.6	1.5	1.6	1.8	2.0	2.3	2.6	2.7	2.9	2.9	2.8
<b>6.00</b>	3.3	3.2	3.0	2.7	2.3	2.0	1.8	1.7	1.8	1.9	2.2	2.4	2.6	2.8	3.0	3.1
<b>7.00</b>	3.2	3.3	3.3	3.1	2.8	2.5	2.2	2.0	1.9	2.0	2.1	2.3	2.4	2.7	2.9	3.1
<b>8.00</b>	2.9	3.2	3.3	3.3	3.1	2.9	2.6	2.3	2.2	2.1	2.1	2.2	2.3	2.5	2.7	2.9
<b>9.00</b>	2.6	2.9	3.2	3.3	3.3	3.2	2.9	2.7	2.5	2.3	2.2	2.2	2.2	2.3	2.5	2.7
<b>10.00</b>	2.2	2.5	2.8	3.1	3.3	3.3	3.1	2.9	2.7	2.6	2.4	2.3	2.2	2.2	2.3	2.5
<b>11.00</b>	2.0	2.2	2.5	2.8	3.0	3.2	3.2	3.1	2.9	2.8	2.6	2.5	2.3	2.2	2.2	2.3
<b>12.00</b>	2.0	2.0	2.2	2.5	2.7	3.0	3.1	3.1	3.1	3.0	2.8	2.7	2.5	2.4	2.3	2.2
<b>13.00</b>	2.2	2.0	2.1	2.2	2.4	2.6	2.9	3.0	3.1	3.0	3.0	2.9	2.7	2.6	2.4	2.3
<b>14.00</b>	2.5	2.3	2.1	2.1	2.2	2.4	2.6	2.7	2.9	3.0	3.1	3.0	2.9	2.8	2.7	2.5
<b>15.00</b>	2.9	2.6	2.4	2.2	2.2	2.2	2.3	2.5	2.7	2.9	3.0	3.1	3.1	3.0	2.9	2.7
<b>16.00</b>	3.2	3.0	2.8	2.5	2.3	2.2	2.2	2.3	2.5	2.7	2.9	3.0	3.1	3.1	3.1	3.0
<b>17.00</b>	3.4	3.4	3.1	2.9	2.6	2.4	2.3	2.3	2.3	2.5	2.7	2.8	3.0	3.1	3.2	3.2
<b>18.00</b>	3.5	3.5	3.4	3.2	2.9	2.7	2.5	2.3	2.2	2.3	2.4	2.6	2.8	3.0	3.1	3.2
<b>19.00</b>	3.3	3.5	3.5	3.5	3.2	3.0	2.7	2.4	2.3	2.2	2.3	2.3	2.5	2.7	2.9	3.1
<b>20.00</b>	2.9	3.2	3.5	3.5	3.4	3.2	2.9	2.6	2.4	2.2	2.2	2.1	2.2	2.4	2.6	2.8
<b>21.00</b>	2.3	2.7	3.1	3.4	3.4	3.3	3.1	2.8	2.6	2.3	2.2	2.0	2.0	2.0	2.2	2.4
<b>22.00</b>	1.8	2.1	2.6	2.9	3.2	3.3	3.2	3.0	2.7	2.4	2.2	2.0	1.8	1.8	1.8	2.0
<b>23.00</b>	1.3	1.6	2.0	2.4	2.8	3.0	3.1	3.0	2.8	2.6	2.3	2.0	1.8	1.7	1.5	1.6

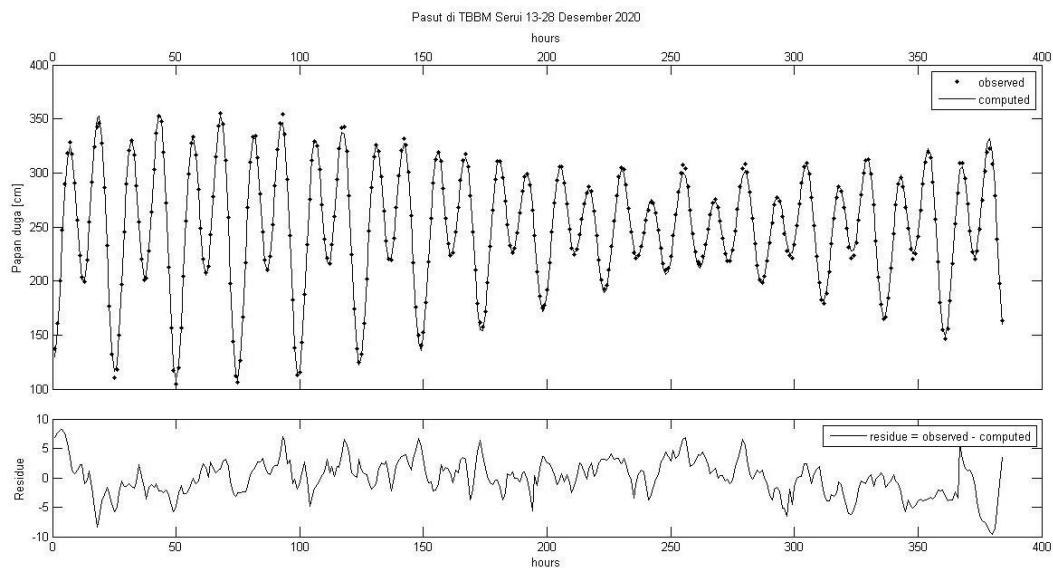
*Puslantek COT-Unhas (2020)*

Berdasarkan hasil peengamatan pasang surut selanjutnya akan dilakukan analisis harmonik pasang surut menggunakan metode least square dan diperoleh konstanta pasang surut pada tabel 4.24.

Tabel 4.24. Konstanta Pasang Surut di *Fuel Terminal* Serui

Konstanta	Amplitude (m)	Phase (Deg)
So	249.57	0.00
M2	65.64	0.24
S2	34.10	3.55
N2	11.83	1.14
K2	17.63	3.53
K1	21.79	3.51
O1	16.76	4.90
P1	16.70	4.22
M4	1.30	2.29
MS4	0.56	3.44

Konstanta pasang surut yang didapatkan akan digunakan untuk memprediksi pasang surut di lokasi studi. Adapun grafik data pasang surut dapat dilihat pada gambar 4.41.



Gambar 4.41. Grafik Data Pasang Surut di *FUEL TERMINAL* Serui  
*Puslantek COT-Unhas (2020)*

Gambar diatas memperlihatkan bahwa grafik antara data pengamatan dengan prediksi sangat dekat. Kedekatan diantara keduanya dapat dilihat dari amplitude dan beda phase. Sehingga dapat disimpulkan hasil perhitungan konstanta pasang surut yang dilakkan sudah benar dan dapat digunakan untuk analisis lanjutan. Untuk penentuan tipe pasang surut menggunakan formula Formzhal Number (FN) sebagai berikut:



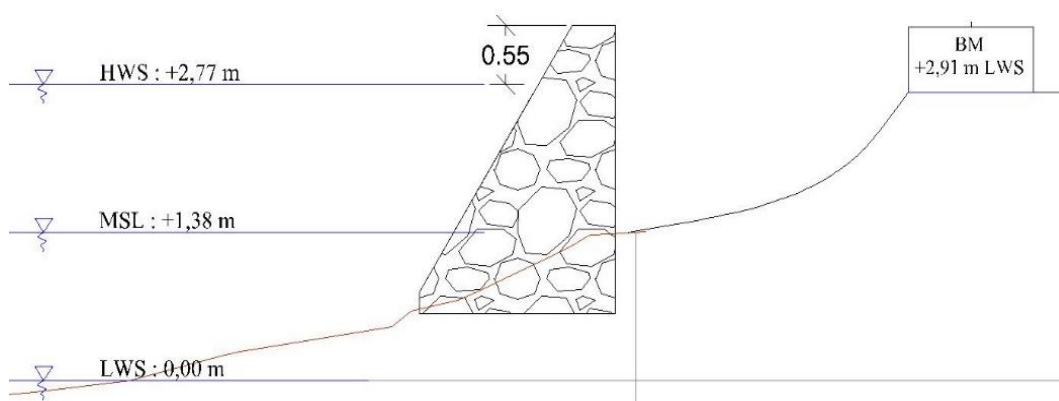
$$F = \frac{K_1 O_1}{M_2 S_2} = \frac{21.79 + 16.76}{34.10 + 65.64} = 0.387$$

Hasil perhitungan menggunakan Formzahl Number (FN), maka tipe pasang surut di lokasi studi adalah pasang surut **harian ganda**, dimana di lokasi studi cenderung terjadi 2 kali pasang dan 2 kali surut dalam periode 24 jam dengan tinggi yang sama dan terjadi secara berurutan dan teratur. Selanjutnya dilakukan perhitungan elevasi muka air dan tunggang pasang surut seperti yang diperlihatkan pada tabel berikut.

Tabel 4.25. Konstanta Pasang Surut di *FUEL TERMINAL* Serui

Elevasi Muka Air Penting	Rumus	Elevasi Muka Air Penting (m)				
		Nol BM	Nol HWS	Nol MSL	Nol LWS	Nol BL
BM	-	0.00	0.14	1.52	2.91	4.02
HWS	$Z_o + (M_2 + S_2 + K_1 + O_1)$	-0.14	0.00	1.38	2.77	3.88
MSL	$Z_o$	-1.52	-1.38	0.00	1.38	2.50
LWS	$Z_o - (M_2 + S_2 + K_1 + O_1)$	-2.91	-2.77	-1.38	0.00	1.11
Dasar	-	-4.02	-3.88	-2.50	-1.1	0.00

Hasil penghitungan muka air rerata (MSL) diperoleh sebesar 1,38 m LWS. Adapun tunggang pasang surut di lokasi studi adalah 2,77 m adapun hubungan antara titik referensi dengan elevasi muka air dilokasi studi dapat dilihat pada gambar 4.42.



Gambar 4.42. Pengikatan Pasut Terhadap Titik Referensi Untuk LWS = 0.00 m di *Fuel Terminal*

Serui

#### 4.10.2. Analisis dan Pemilihan Kala Ulang Gelombang

Dalam perencanaan bangunan alternatif pelindung pantai diperlukan penentuan kala ulang. Menentukan kala ulang (return period) gelombang rencana, dipergunakan analisis harga-harga ekstrim tinggi gelombang, biasanya diambil satu gelombang tertinggi setiap tahunnya yang sudah dijelaskan pada BAB 2 untuk analisis dan pemilihan kala ulang. Adapun data tinggi gelombang maksimum pada laut dalam di lokasi studi dapat dilihat pada tabel 4.26 dan tabel 4.27.

Tabel 4.26. Tinggi Gelombang Signifikan Maksimum di Lokasi Studi

No	Tahun	Gelombang Signifikan Maksimum ( $H_s$ Max)		
		Barat	Barat Daya	Selatan
1	2002	1.35	0.28	0.20
2	2003	1.70	0.42	0.21
3	2004	1.54	0.38	0.36
4	2005	1.48	0.25	0.23
5	2006	1.34	0.24	0.19
6	2007	1.18	0.30	0.20
7	2008	0.97	0.26	0.26
8	2009	1.11	0.28	0.25
9	2010	1.42	0.28	0.26
10	2011	1.32	0.40	0.23
11	2012	1.54	0.23	0.21
12	2013	1.35	0.24	0.22
13	2014	1.39	0.43	0.21
14	2015	1.24	0.24	0.20
15	2016	1.21	0.30	0.30
16	2017	1.11	0.23	0.24
17	2018	1.38	0.32	0.43
18	2019	1.32	0.24	0.24
19	2020	1.33	0.25	0.24
20	2021	1.47	0.23	0.22

Tabel 4.27. Periode Gelombang Signifikan Maksimum di Lokasi Studi

No	Tahun	Gelombang Signifikan Maksimum ( $T_s$ Max)		
		Barat	Barat Daya	Selatan
1	2002	5.83	11.76	11.79
2	2003	5.90	6.16	9.42
3	2004	5.67	10.07	3.92
4	2005	5.71	6.22	2.44
5	2006	5.48	6.23	6.13
6	2007	5.29	6.24	8.60
7	2008	5.56	6.20	2.41
8	2009	5.52	3.45	2.52
9	2010	5.65	2.86	2.61

No	Tahun	Gelombang Signifikan Maksimum ( $T_s$ Max)		
		Barat	Barat Daya	Selatan
10	2011	5.33	8.89	2.72
11	2012	6.02	9.32	2.43
12	2013	5.59	2.67	2.66
13	2014	5.50	4.40	2.43
14	2015	5.77	2.41	2.29
15	2016	5.44	3.46	6.21
16	2017	5.70	2.58	2.54
17	2018	5.77	6.03	3.76
18	2019	5.60	6.17	2.64
19	2020	5.24	6.17	6.21
20	2021	5.72	2.58	2.46

Dengan menggunakan data tinggi gelombang signifikan tahun maksimum dan menerapkan metode Gumbel, maka tinggi dan periode gelombang dengan kala ulang gelombang dapat dilakukan dan hasilnya seperti yang diperlihatkan pada tabel 4.28.

Tabel 4.28. Kala Ulang Gelombang Tahunan di Lokasi Studi

Kala Ulang Tahunan	Arah		
	Barat	Barat Daya	Selatan
2	1.31	0.28	0.24
5	1.46	0.34	0.29
10	1.57	0.38	0.32
25	1.69	0.43	0.37
50	1.79	0.46	0.40
100	1.88	0.50	0.43

Berdasarkan tingkat kepentingan dan nilai ekonomis daerah yang akan dilindungi maka pada penelitian ini ditetapkan nilai kala ulang gelombang yang digunakan adalah 50 tahunan. Adapun parameter gelombang dari berbagai arah, dengan kala ulang 50 tahunan pada tabel 4.29.

Tabel 4.29. Parameter Gelombang dengan Kala Ulang 50 Tahun di Lokasi Studi

Arah	$H_o$	$T_o$
Barat	1.79	8.1
Barat Daya	0.46	5.9
Selatan	0.40	3.8

### 4.10.3. Transformasi Gelombang

Dengan menggunakan data periode gelombang hasil analisis sebelumnya dan memvariasikan kedalaman air, maka panjang gelombang setiap kedalaman air dapat dihitung dan hasilnya seperti yang diperlihatkan pada tabel 4.30.

Tabel 4.30. Panjang Gelombang Untuk Gelombang yang Merambat dari Berbagai Arah

No	d	Panjang Gelombang (L)		
		Barat	Barat Daya	Selatan
1	20.00	90.45	53.38	22.54
2	17.50	87.21	52.70	22.54
3	15.00	83.18	51.60	22.53
4	12.50	78.20	49.88	22.50
5	10.00	71.99	47.24	22.38
6	7.50	64.13	43.28	21.94
7	5.00	53.82	37.32	20.53
8	3.00	42.59	30.15	17.74
9	2.00	35.14	25.12	15.26
10	1.50	30.59	21.98	13.56
11	1.00	25.11	18.12	11.35
12	0.50	17.85	12.94	8.22
13	0.25	12.65	9.20	5.88
14	0.10	8.01	5.83	3.75

Pada saat gelombang merambat dari perairan dalam ke pantai umumnya dipengaruhi oleh proses shoaling dan refraksi secara simultan. Tabel 4.31. menyajikan tinggi gelombang sebagai fungsi kedalaman air yang dipengaruhi oleh proses shoaling dan refraksi secara simultan.

Tabel 4.31. Perhitungan Refraksi Tinggi Gelombang Arah Barat

T (s)	d (m)	$a_0$ (o)	$\sin a_0$	$C_0$ (m/s)	C (m/s)	$\sin a$	$a$ (o)	Kr	k	n	no	Ks	H (m)
5.9	40.00	34	0.56	12.65	12.47	0.55	33.47	1.00	0.06	0.53	0.5	0.97	1.74
5.9	30.00	34	0.56	12.65	12.12	0.54	32.39	0.99	0.06	0.58	0.5	0.95	1.67
5.9	20.00	34	0.56	12.65	11.17	0.49	29.59	0.98	0.07	0.67	0.5	0.92	1.58
5.9	19.00	34	0.56	12.65	11.02	0.49	29.15	0.97	0.07	0.69	0.5	0.92	1.54
5.9	18.00	34	0.56	12.65	10.85	0.48	28.68	0.97	0.07	0.70	0.5	0.91	1.49
5.9	17.50	34	0.56	12.65	10.77	0.48	28.43	0.97	0.07	0.70	0.5	0.91	1.45
5.9	15.00	34	0.56	12.65	10.27	0.45	27.01	0.96	0.08	0.74	0.5	0.91	1.40
5.9	10.00	34	0.56	12.65	8.89	0.39	23.14	0.95	0.09	0.81	0.5	0.93	1.36
5.9	5.00	34	0.56	12.65	6.64	0.29	17.08	0.93	0.12	0.90	0.5	1.03	1.39
5.9	3.00	34	0.56	12.65	5.26	0.23	13.44	0.92	0.15	0.94	0.5	1.13	1.41
5.9	2.60	34	0.56	12.65	4.92	0.22	12.55	0.92	0.16	0.95	0.5	1.16	1.34
5.9	2.30	34	0.56	12.65	4.64	0.21	11.83	0.92	0.17	0.95	0.5	1.20	1.27

T (s)	d (m)	a <sub>0</sub> (o)	Sin a <sub>0</sub>	C <sub>0</sub> (m/s)	C (m/s)	sin a	a (o)	Kr	k	n	no	Ks	H (m)
5.9	1.90	34	0.56	12.65	4.23	0.19	10.79	0.92	0.18	0.96	0.5	1.25	1.21
5.9	1.50	34	0.56	12.65	3.78	0.17	9.61	0.92	0.21	0.97	0.5	1.31	1.17
5.9	1.00	34	0.56	12.65	3.10	0.14	7.88	0.91	0.25	0.98	0.5	1.44	1.18
5.9	0.50	34	0.56	12.65	2.20	0.10	5.59	0.91	0.35	0.99	0.5	1.70	1.27
5.9	0.25	34	0.56	12.65	1.56	0.07	3.96	0.91	0.50	0.99	0.5	2.02	1.37
5.9	0.10	34	0.56	12.65	0.99	0.04	2.51	0.91	0.78	1.00	0.5	2.53	1.57

#### 4.10.4. Gelombang Pecah

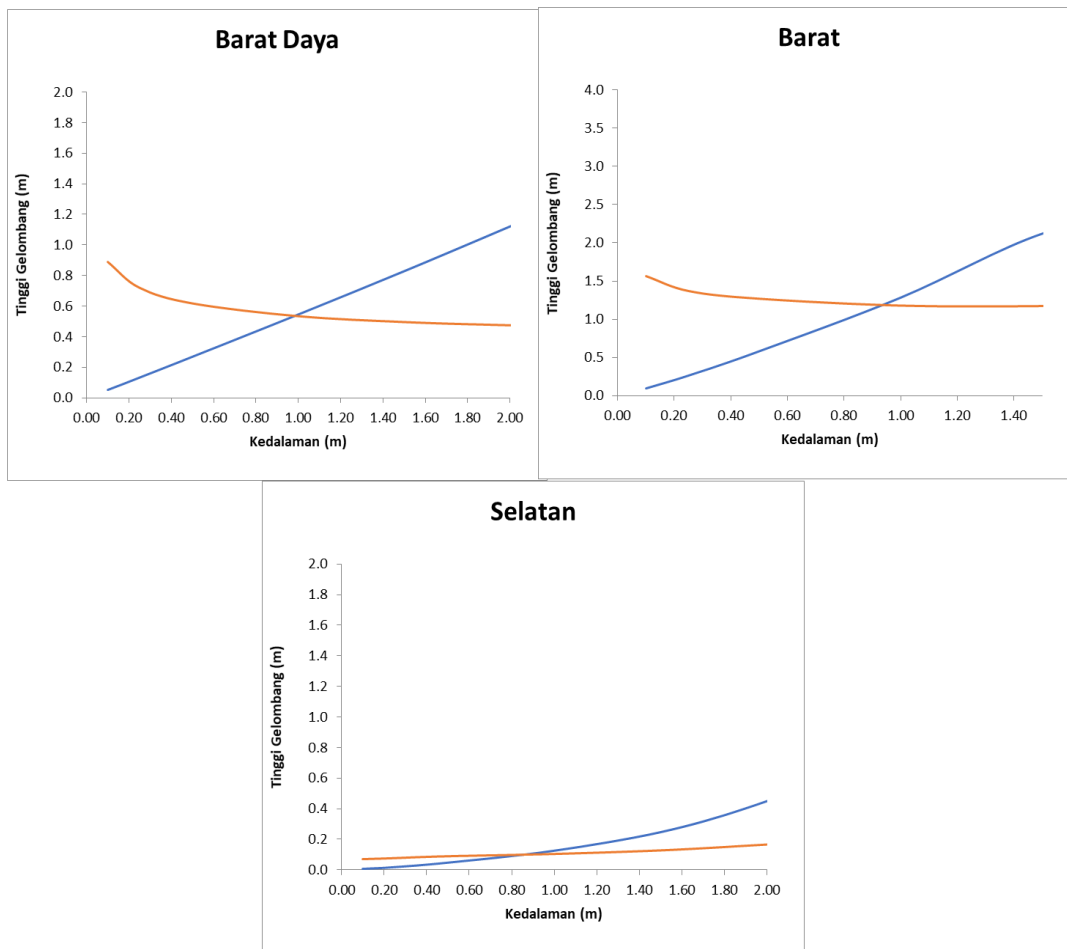
Pada laut dalam, gelombang akan pecah akibat gelombang yang terjadi cukup curam ( $H/L$  melewati nilai tertentu). Untuk gelombang di laut dangkal dan transisi, gelombang akan pecah akibat kecepatan rambat gelombang lebih besar dari kecepatan partikel air.

Tabel 4.32 memperlihatkan tinggi gelombang sebagai fungsi kedalaman air yang dipengaruhi oleh proses shoaling dan refraksi secara simultan dan tinggi gelombang pecah yang proporsional dengan kedalaman air.

Tabel 4.32. Perhitungan Tinggi Gelombang Arah Barat

T	H' <sub>0</sub> (m)	H' <sub>0</sub> /gT <sup>2</sup>	m (slope)	H <sub>b</sub> /H' <sub>0</sub>	H <sub>b</sub> (m)
8.1	1.78	0.003	0.1	1.5	2.68
8.1	1.77	0.003	0.1	1.5	2.65
8.1	1.73	0.003	0.1	1.5	2.59
8.1	1.68	0.003	0.1	1.5	2.52
8.1	1.64	0.003	0.1	1.65	2.70
8.1	1.59	0.002	0.1	1.65	2.62
8.1	1.53	0.002	0.1	1.65	2.53
8.1	1.45	0.002	0.1	1.65	2.40
8.1	1.35	0.002	0.1	1.65	2.23
8.1	1.25	0.002	0.1	1.65	2.06
8.1	1.15	0.002	0.1	1.65	1.90
8.1	1.06	0.002	0.1	1.65	1.75
8.1	0.97	0.002	0.1	1.65	1.61
8.1	0.89	0.001	0.1	2	1.79
8.1	0.82	0.001	0.1	2	1.63
8.1	0.75	0.001	0.1	2	1.49
8.1	0.68	0.001	0.1	2	1.36
8.1	0.62	0.001	0.1	2	1.24

Adapun grafik gelombang pecah pada masing-masing arah pembangkit gelombang dapat dilihat pada gambar 4.43.



Gambar 4.43. Grafik Gelombang Pecah Berbagai Arah

Sumber : Analisis Data 2023

Berdasarkan grafik di atas diperoleh bahwa tinggi dan kedalaman gelombang pecah yang terbesar merambat dari arah Barat disusul dengan arah Barat Daya dan Selatan. Adapun rekap tinggi dan kedalaman gelombang pecah dari berbagai arah seperti pada tabel 4.33.

Tabel 4.33. Tinggi Gelombang Pecah Berbagai Arah

No	Arah	Tinggi Gelombang Pecah (m)	Kedalaman Lokasi Gelombang Pecah (m)
1	Barat Daya	0.37	0.65
2	Barat	1.11	0.62
3	Selatan	0.16	0.64

#### 4.10.5. Tinggi Gelombang Rencana

Adapun gelombang rencana yang digunakan pada masing-masing kedalaman dapat dilihat pada tabel 4.34.

Tabel 4.34. Rekapitulasi Tinggi Gelombang Rencana

No	T	Elevasi (DWL)	d	Kemiringan Pantai (m)	Lo	L	Ho	Hb	HD
1	8.1	-37.2	40.0	0.1	102.44	101.03	1.74	107.07	107.07
2	8.1	-27.2	30.0	0.1	102.44	98.13	1.67	65.63	65.63
3	8.1	-17.2	20.0	0.1	102.44	90.45	1.58	42.59	42.59
4	8.1	-16.2	19.0	0.1	102.44	89.24	1.54	39.30	39.30
5	8.1	-15.2	18.0	0.1	102.44	87.91	1.49	40.14	40.14
6	8.1	-14.7	17.5	0.1	102.44	87.21	1.45	37.75	37.75
7	8.1	-12.2	15.0	0.1	102.44	83.18	1.40	31.08	31.08
8	8.1	-7.2	10.0	0.1	102.44	71.99	1.36	19.55	19.55
9	8.1	-2.2	5.0	0.1	102.44	53.82	1.39	9.04	9.04
10	8.1	-0.2	3.0	0.1	102.44	42.59	1.41	4.97	4.97
11	8.1	0.2	2.6	0.1	102.44	39.82	1.34	3.94	3.94
12	8.1	0.5	2.3	0.1	102.44	37.57	1.27	3.18	3.18
13	8.1	0.9	1.9	0.1	102.44	34.29	1.21	2.40	2.40
14	8.1	1.3	1.5	0.1	102.44	30.59	1.17	2.12	2.12
15	8.1	1.8	1.0	0.1	102.44	25.11	1.18	1.29	1.18
16	8.1	2.3	0.5	0.1	102.44	17.85	1.27	0.58	1.27
17	8.1	2.5	0.3	0.1	102.44	12.65	1.37	0.26	1.37
18	8.1	2.7	0.1	0.1	102.44	8.01	1.57	0.10	1.57

#### 4.10.6. Run-up Bangunan Rencana

Hasil analisis hitungan run up gelombang berdasarkan kondisi kedalaman dan jenis material konstruksi dengan menggunakan kala ulang gelombang 100 tahunan dapat dilihat pada tabel 4.35 dan tabel 4.36.

Tabel 4.35. Hasil Perhitungan Run-up Gelombang dengan Material Konstruksi Batu

No	T	Elevasi (DWL)	d	Slope	Lo	L	Ho	Hb	HD	tana	$\xi$	Ru/H (Batu)	Ru
1	8.1	-17.2	20.0	0.1	102.4	90.5	1.6	42.6	42.6	0.625	0.67	0.36	15.51
2	8.1	-16.2	19.0	0.1	102.4	89.2	1.5	39.3	39.3	0.625	0.67	0.37	14.40
3	8.1	-15.2	18.0	0.1	102.4	87.9	1.5	40.1	40.1	0.625	0.67	0.37	14.82
4	8.1	-14.7	17.5	0.1	102.4	87.2	1.5	37.8	37.8	0.625	0.68	0.37	13.99
5	8.1	-12.2	15.0	0.1	102.4	83.2	1.4	31.1	31.1	0.625	0.69	0.38	11.77
6	8.1	-7.2	10.0	0.1	102.4	72.0	1.4	19.6	19.6	0.625	0.75	0.41	7.93
7	8.1	-2.2	5.0	0.1	102.4	53.8	1.4	9.0	9.0	0.625	0.86	0.46	4.19
8	8.1	-0.2	3.0	0.1	102.4	42.6	1.4	5.0	5.0	0.625	0.97	0.52	2.56
9	8.1	0.2	2.6	0.1	102.4	39.8	1.3	3.9	3.9	0.625	1.00	0.53	2.10
10	8.1	0.5	2.3	0.1	102.4	37.6	1.3	3.2	3.2	0.625	1.03	0.55	1.74

No	T	Elevasi (DWL)	d	Slope	Lo	L	Ho	Hb	HD	tana	$\xi$	Ru/H (Batu)	Ru
11	8.1	0.9	1.9	0.1	102.4	34.3	1.2	2.4	2.4	0.625	1.08	0.57	1.37
12	8.1	1.3	1.5	0.1	102.4	30.6	1.2	2.1	2.1	0.625	1.14	0.60	1.27
13	8.1	1.8	1.0	0.1	102.4	25.1	1.2	1.3	1.2	0.625	1.26	0.65	0.77
14	8.1	2.3	0.5	0.1	102.4	17.8	1.3	0.6	1.3	0.625	1.50	0.75	0.96
15	8.1	2.5	0.3	0.1	102.4	12.7	1.4	0.3	1.4	0.625	1.78	0.86	1.18
16	8.1	2.7	0.1	0.1	102.4	8.0	1.6	0.1	1.6	0.625	2.23	1.01	1.58

Tabel 4.36. Hasil Perhitungan Run-up Gelombang dengan Material Konstruksi Kubus

No	T	Elevasi (DWL)	d	Slope	Lo	L	Ho	Hb	HD	tana	$\xi$	Ru/H (Kubus)	Ru
1	8.1	-17.2	20.0	0.1	102.4	90.5	1.6	42.6	42.6	0.625	0.67	0.36	15.51
2	8.1	-16.2	19.0	0.1	102.4	89.2	1.5	39.3	39.3	0.625	0.67	0.37	14.40
3	8.1	-15.2	18.0	0.1	102.4	87.9	1.5	40.1	40.1	0.625	0.67	0.37	14.82
4	8.1	-14.7	17.5	0.1	102.4	87.2	1.5	37.8	37.8	0.625	0.68	0.37	13.99
5	8.1	-12.2	15.0	0.1	102.4	83.2	1.4	31.1	31.1	0.625	0.69	0.38	11.77
6	8.1	-7.2	10.0	0.1	102.4	72.0	1.4	19.6	19.6	0.625	0.75	0.41	7.93
7	8.1	-2.2	5.0	0.1	102.4	53.8	1.4	9.0	9.0	0.625	0.86	0.46	4.19
8	8.1	-0.2	3.0	0.1	102.4	42.6	1.4	5.0	5.0	0.625	0.97	0.52	2.56
9	8.1	0.2	2.6	0.1	102.4	39.8	1.3	3.9	3.9	0.625	1.00	0.53	2.10
10	8.1	0.5	2.3	0.1	102.4	37.6	1.3	3.2	3.2	0.625	1.03	0.55	1.74
11	8.1	0.9	1.9	0.1	102.4	34.3	1.2	2.4	2.4	0.625	1.08	0.57	1.37
12	8.1	1.3	1.5	0.1	102.4	30.6	1.2	2.1	2.1	0.625	1.14	0.60	1.27
13	8.1	1.8	1.0	0.1	102.4	25.1	1.2	1.3	1.2	0.625	1.26	0.65	0.77
14	8.1	2.3	0.5	0.1	102.4	17.8	1.3	0.6	1.3	0.625	1.50	0.75	0.96
15	8.1	2.5	0.3	0.1	102.4	12.7	1.4	0.3	1.4	0.625	1.78	0.86	1.18
16	8.1	2.7	0.1	0.1	102.4	8.0	1.6	0.1	1.6	0.625	2.23	1.01	1.58

Hasil analisis hitungan run up gelombang dengan kala ulang 100 tahunan diperoleh nilai run-up tidak terlalu besar dibandingkan dengan run-up dengan bangunan eksisting

#### 4.10.7. Tipikal Bangunan dan Persyaratan Bangunan

Setelah melakukan perhitungan beberapa parameter penting dalam perencanaan penanggulangan didukung hasil identifikasi permasalahan pantai yang terjadi maka bangunan sebagai alternatif penanggulangan perlu memenuhi beberapa kriteria atau persyaratan minimal yang dapat dilihat pada tabel 4.37.



Tabel 4.37. Tipikal Bangunan dan Persyaratan Bangunan

Persyaratan Minimal	Keunggulan	Kelemahan
<ul style="list-style-type: none"> <li>• Bangunan harus mampu menahan gerusan di kaki bangunan, syaratnya adalah pelindung kaki harus mampu menahan gaya dinamis gelombang</li> <li>• Bangunan harus mampu meredam overtopping, syaratnya material pelindung kaki harus permeable serta berat unit material pelindung kaki harus mampu menahan gaya dinamis gelombang</li> <li>• Alternatif material adalah batu gajah atau batu buatan (beton) seperti kubus</li> <li>• Elevasi puncak bangunan harus mampu menahan run-up gelombang</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Volume bangunan relatif kecil</li> <li>• Pelaksanaan konstruksi lebih mudah karena bekerja dari darat</li> <li>• Dapat mempertahankan garis pantai</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Gelombang yang sampai ke kaki bangunan relatif masih tinggi</li> </ul>

#### 4.10.8. Elevasi Puncak Bangunan

Dalam menentukan elevasi bangunan, maka parameter yang dipertimbangkan adalah tinggi gelombang di lokasi bangunan, jenis material bangunan, muka air laut pasang tertinggi (HWS) dan run up gelombang. Oleh sebab itu, dalam desain ini ditetapkan elevasi puncak armor untuk bangunan berada pada elevasi +4.5 m LWS pada area sisi kanan dermaga. Sedangkan elevasi puncak pada bagian ujung kiri dermaga adalah +3.8 m LWS. Untuk lebih jelasnya detail bangunan dapat dilihat pada gambar desain rinci masing-masing potongan (Gambar 4.42 dan Gambar 4.43).

#### 4.10.9. Penentuan Berat Material

Berdasarkan hasil analisis perencanaan, berat material lapis lindung untuk masing-masing tipe material untuk konstruksi perbaikan bangunan eksisting dapat dilihat pada tabel 4.38.

Tabel 4.38. Berat Batu Lapis Lindung Perbaikan Bangunan Eksisting

No.	Jenis Material	Cross Section	Kedalaman	Berat (ton)
1	Batu	1 - 11	2.3	4.19
		12 - 22	1.9	1.8
		23 - 27	1.5	1.2
2	Kubus Beton	1 - 11	2.3	4.01
		12 - 22	1.9	1.72
		23 - 27	1.5	1.19

#### 4.10.10. Penentuan Lebar Puncak

Lebar bangunan rencana sangat tergantung pada kedalaman lokasi bangunan, jenis dan dimensi material, kondisi gelombang dan lain-lain. Adapun hasil analisis lebar bangunan rencana perbaikan bangunan eksisting dapat dilihat pada tabel 4.39.

Tabel 4.39. Rekapitulasi Lebar Puncak Perbaikan Bangunan Eksisting

No.	Jenis Material	Cross Section	Kedalaman	Lebar (m)
1	Batu	1 - 11	2.3	4.1
		12 - 22	1.9	3.0
		23 - 27	1.5	2.7
2	Kubus Beton	1 - 11	2.3	4.1
		12 - 22	1.9	3.1
		23 - 27	1.5	2.7

#### 4.10.11. Tebal Lapis Lindung dan Lebar Lapis Lindung

Tebal dan lebar bangunan lapis lindung dipengaruhi oleh kedalaman lokasi dan jenis material. Hasil analisis tebal dan lebar batu lapis lindung untuk bangunan rencana perbaikan bangunan eksisting dapat dilihat pada tabel 4.40.

Tabel 4.40. Tebal dan Lebar Lapis Lindung Perbaikan Bangunan Eksisting

No.	Jenis Material	Cross Section	Kedalaman	Tebal (m)
1	Batu	1 - 11	2.3	2.68
		12 - 22	1.9	2.02
		23 - 27	1.5	1.79
2	Kubus Beton	1 - 11	2.3	2,73
		12 - 22	1.9	2.06
		23 - 27	1.5	1.82

#### 4.10.12. Perlindungan Gerusan di Kaki (Toe Protection)

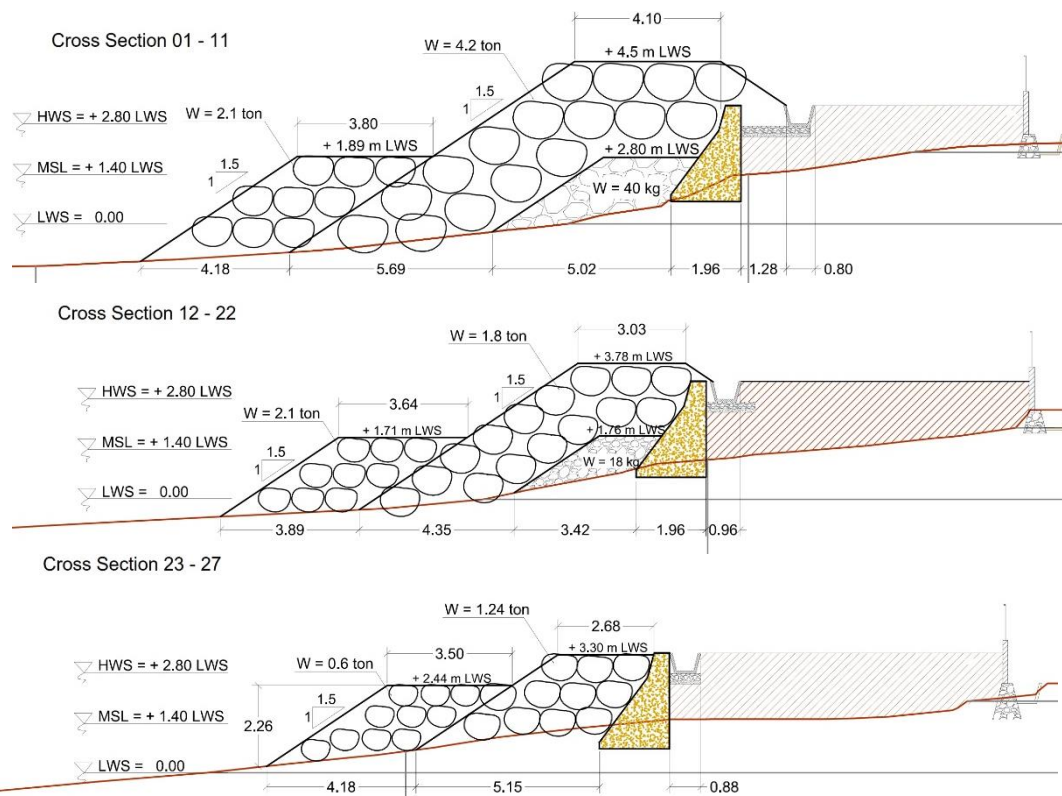
Fungsi utama dari Toe Protection adalah melindungi kaki bangunan dari gerusan yang terutama oleh aktivitas gelombang, sehingga struktur Toe Protection harus mampu menahan kondisi dinamis gelombang dan berfungsi maksimal sebagai pelindung kaki bangunan. Adapun struktur Toe Protection dapat dilihat pada tabel 4.41.

Tabel 4.41. Struktur Toe Protection Bangunan Eksisting

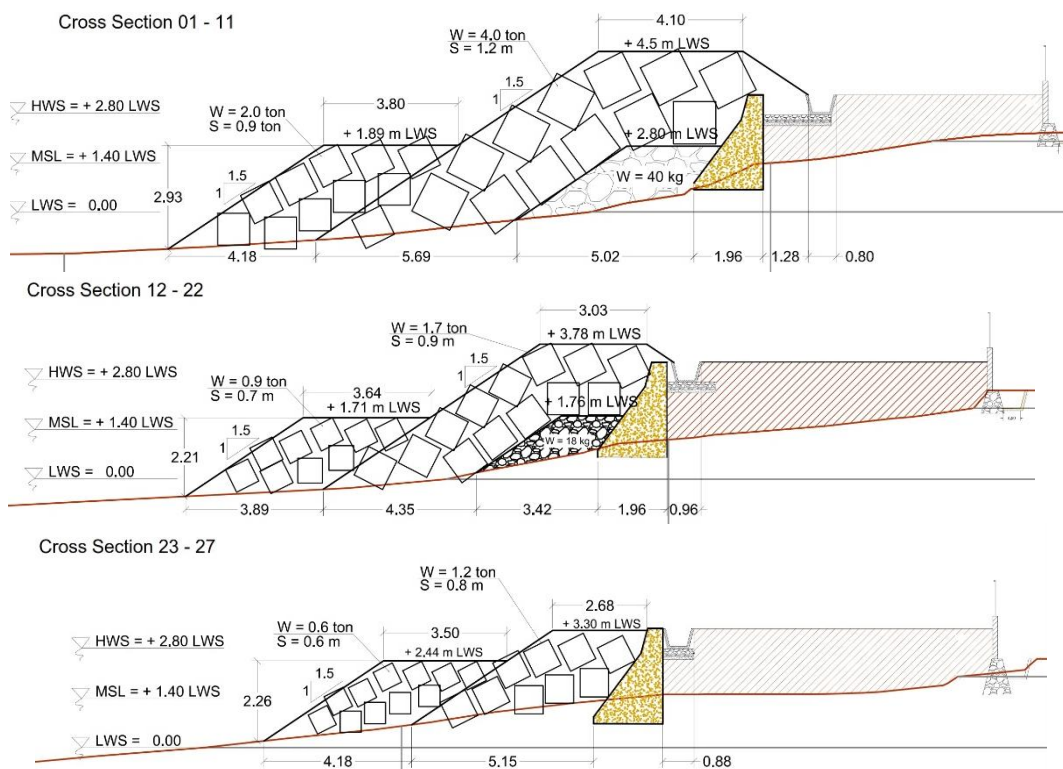
No .	Jenis Material	Cross Section	Kedalaman	Struktur Pelindung Kaki Perbaikan Bangunan Eksisting			
				Wtoe (ton)	Dtoe (m)	Btoe	ttoe
1	Batu	1 - 11	2.3	2.1	1.1	3.2	2.1
		12 - 22	1.9	0.9	0.9	2.4	1.6
		23 - 27	1.5	0.6	0.8	2.1	1.4
2	Kubus Beton	1 - 11	2.3	2.0	0.9	3.3	2.16
		12 - 22	1.9	0.86	0.7	2.5	1.63
		23 - 27	1.5	0.59	0.6	2.2	1.14

#### 4.10.13. Gambar Desain Bangunan Alternatif

Berdasarkan hasil analisis data dan perencanaan, maka penggambaran desain rinci dapat dilakukan. Adapun gambar-gambar desain rinci perencanaan perbaikan bangunan eksisting *Fuel Terminal Serui* dapat dilihat pada gambar 4.44 dan gambar 4.45.



Gambar 4.44. Layout Potongan Perbaikan Bangunan Eksisting Material Tumpukan Batu



Gambar 4.45. Layout Potongan Perbaikan Bangunan Eksisting Material Kubus Beton

## KESIMPULAN

### 5.1. Kesimpulan

Berdasarkan hasil penelitian yang dilakukan dapat disimpulkan beberapa hal sebagai berikut:

1. Karakteristik gelombang di perairan terminal bahan bakar Serui terbagi menjadi dua jenis. Pada Gambar 4.9 dan Gambar 4.10 terlihat bahwa daerah ortogonal yang melewati daerah dangkal sebelum menuju ke garis pantai secara signifikan menurunkan tinggi gelombang setelah melewati daerah dangkal tersebut, berbeda dengan orthogonal gelombang langsung dari perairan dalam menuju ke pantai, dimana tidak terjadi perubahan tinggi gelombang dari laut dalam hingga mencapai area surfzone.
2. Secara umum tinggi gelombang di perairan Fuel Terminal Serui pada bulan Desember 2020 berkisar 0.3-0.4 m, dimana gelombang relatif tenang, dan overtopping yang terjadi disebabkan oleh geometri dan jenis bangunan pelindung pantai eksisting, sehingga tinggi gelombang menjadi 2-3 kali lipat yang merusak fasilitas bangunan lain ketika menabrak bangunan eksisting dan elevasi puncak yang relatif rendah terhadap muka air pasang.
3. Berdasarkan hasil pemodelan dan perhitungan teoritis pada kondisi pasang tertinggi timestep (67) adalah 0.1-0.04 m/s dan surut terendah timestep (49) adalah 0.1-0.02 m/s. Kemudian berdasarkan hasil pemodelan pada kondisi pasang tertinggi timestep (67) dan surut terendah timestep (49) diperoleh transport sedimen dengan interval 0.0000016 - 0.0000024 m<sup>3</sup>/s/m yang hasilnya kurang lebih sama dengan perhitungan teoritis. Berdasarkan shield parameter dan simulasi selama 30 hari menunjukkan pergerakan sedimen dan perubahan morfologi disekitar bangunan eksisting dengan jenis gelombang pecah yang terjadi pada bangunan adalah tipe gelombang pecah *plunging* yaitu tipe pecah yang berpotensi menghasilkan gerusan yang besar.
4. Berdasarkan kondisi tersebut maka direkomendasikan alternatif penanggulangan yaitu modifikasi bangunan dengan dua jenis material yaitu batu alami dan batu buatan (kubus).

## 5.2. Saran

Dalam penelitian ini ada beberapa saran yang penulis dapat sampaikan agar penelitian penelitian lebih lanjut dapat dilakukan. Adapun saran dari peneliti sebagai berikut:

1. Pengukuran data gelombang dilapangan perlu dilakukan sehingga validasi gelombang dalam Pemodelan dapat dilakukan untuk mendapatka model yang lebih akurat.
2. Simulasi yang dilakukan lebih lama dan titik pengamatan yang akan dianalisa diperbanyak lagi sehingga interpretasi hasil terhadap area yang ditinjau semakin lebih detail.
3. Untuk menggunakan material tumpukan batu alam sebaiknya perlu diketahui ketersediaan dari kebutuhan material di sekitar area.

## DAFTAR PUSTAKA

- Amalia, R., Atmodjo, W., & Purwanto. (2014). Studi Refraksi dan Difraksi Gelombang pada Rencana Bangunan Pelabuhan di Tanjung Bonang, Kabupaten Rembang. *JOURNAL OSEANOGRAFI*, 3(4), 582–588. <http://ejournal-s1.undip.ac.id/index.php/jose>
- Azhar, R. M., Wurjanto, A., & Yuanita, N. (2011). Studi Pengamanan Pantai Tipe Pemecah Gelombang Tenggelam di Pantai Tanjung Kait. *Jurnal Program Magister Manajemen Pengelolaan Sumber Daya Air*, 10(1), 1–22.
- Bruce, T., Van der Meer, J. W., Franco, L. & Pearson, J. M. (2006) a comparison of overtopping performance of different rubble mound breakwater armour *In Proceedings of the 30th Conference on Coastal Engineering*, San Diego, CA, USA, 19 November 2006; Volume 5, pp. 4567–4579.
- CERC. (1984). *Shore Protection Manual: Vol. I (IV)*. US Army Coastal Engineer Research Center.
- Dalrino, & Utomo, K. S. (2011). Gerusan Lokal Di Kaki Struktur Impermeable Berdinding Miring. *Jurnal Teknik Sipil & Perencanaan*, 3(2), 101–112.
- DHI. (2014a). *Hydrodynamic Module Scientific Documentation*.
- DHI. (2014b). *Spectral Wave Module Scientific Documentation*.
- Di Leo, A., Dentale, F., Buccino, M., Tuozzo, S., & Pugliese Carratelli, E. (2022). Numerical Analysis of Wind Effect on Wave Overtopping on a Vertical Seawall. *Water (Switzerland)*, 14(23). <https://doi.org/10.3390/w14233891>
- Fang, K. Z., Yin, J. W., Liu, Z. B., Sun, J. W., & Zou, Z. L. (2014). Revisiting study on Boussinesq modeling of wave transformation over various reef profiles. *Water Science and Engineering*, 7(3), 306–318. <https://doi.org/10.3882/j.issn.1674-2370.2014.03.006>
- Fitri, A., Hashim, R., Abolfathi, S., & Maulud, K. N. A. (2019). Dynamics of sediment transport and erosion-deposition patterns in the locality of a detached low-crested breakwater on a cohesive coast. *Water (Switzerland)*, 11(8). <https://doi.org/10.3390/w11081721>
- Ghipari, A., Suntoyo, & Armono, H. D. (2012). Pemodelan Perubahan Morfologi Pantai Akibat Pengaruh Submerged Breakwater Berjenjang. *POMITS*, 1(1), 1–6.
- Hatta, M. P., Thaha, A., & Dharmawan, A. (2018). Pengaruh Kondisi Hidrodinamika Pantai Tarawang Terhadap Penentu Tipe Pengaman Pantai. *Jurnal Keteknikan Dan Sains (JUTEKS) – LPPM UNHAS*, 1(2).

- Husrin, S., & Prihantono, J. (2007). Simulasi Kondisi Hidro-Oseanografi Perairan Yapen-Worepen Teluk Cendrawasih Propinsi Papua. *Jurnal Segara*, 3(2), 81–96.
- Johnson, J. W., O' Brien, M. P., & Isaacs, J. D. (1948). *Graphical Construction of Wave Refraction Diagrams*. U.S. Navy Hydrographic Office.
- Kerpen, N. B., Schoonees, T., & Schlurmann, T. (2019). Wave overtopping of stepped revetments. *Water (Switzerland)*, 11(5). <https://doi.org/10.3390/w11051035>
- Lewis, C. D. (1982). *Industrial and business forecasting methods : a practical guide to exponential smoothing and curve fitting*. Butterworth Scientific.
- Liu, Z. (2001). *Sedimen Transport* (1<sup>st</sup> ed.). Aalborg Universitetsforlag.
- Mandler, P. G., & Kench, P. S. (2012). Analytical modelling of wave refraction and convergence on coral reef platforms: Implications for island formation and stability. *Geomorphology*, 159–160, 84–92. <https://doi.org/10.1016/j.geomorph.2012.03.007>
- Meilistya R.R, I., Sugianto, D. N., & Indrayanti, E. (2012). Kajian Arus Sejajar Pantai (Longshore Current) Akibat Pengaruh Transformasi Gelombang. *JOURNAL OF OCEANOGRAPHY*, 1(2), 128–138. <http://ejournal-s1.undip.ac.id/index.php/j>
- Oliveira, J. N. C., Oliveira, F. S. B. F., & Trigo-Teixeira, A. A. (2018, June 21). Modelling the beach morphodynamics in defence schemes of combined groyne fields and seawalls under storm conditions. *5as Jornadas de Engenharia Hidrográfica*.
- Oliveira, M. F., Oliveira, F. S. B. F., & Trigo-Teixeira, A. (2020). Modelling the morphodynamics in the vicinity of a submerged detached breakwater. *Journal of Integrated Coastal Zone Management*, 20(2), 131–143. <https://doi.org/10.5894/RGCI-N302>
- Owen, M. V. (1980). *Design of Sea walls allowing for wave overtopping*. Wallingford, UK : HR Wallingford, Report EX 924.
- Pratama, D. P., Atmodjo, W., Wirasatriya, A., Kunci:, K., Pecah, G., Pantai, A. S., Sedimen, T., Garis, P., & Marunda, P. (2023). Pengaruh Arus Sejajar Pantai (Longshore Current) Terhadap Proses Perubahan Garis Pantai di Pantai Marunda, Jakarta Utara. *Indonesian Journal of Oceanography*, 05(02), 108–117. <https://ejournal2.undip.ac.id/index.php/ijoce>
- Pratikto, W. A., Suntoyo, Solikhin, & Sambodho, K. (2014). *Struktur Pelindung Pantai*. PT. Media Saptakarya.



- Pratikto Widi Agoes, Armono Haryo Dwito, & Suntoyo. (1997). *Perencanaan Fasilitas Pantai dan Laut (I)*. BPFE-YOGYAKARTA.
- Pushidrosal (2020). *Peta Laut Indonesia*
- Puslantek-CoT Unhas (2020). Dokumen *DED Pembangunan Breakwater FUEL TERMINAL Masohi dan Serui*
- Rusu, E., Gonçalves, M., & Guedes Soares, C. (2011). Evaluation of the wave transformation in an open bay with two spectral models. *Ocean Engineering*, 38(16), 1763–1781. <https://doi.org/10.1016/j.oceaneng.2011.08.005>
- Sorensen, R. M. (2006). *Basic Coastal Engineering*. Springer Science+Business Media.
- Sugianto, D. N., & Andika, B. C. (2015). Transformasi Gelombang untuk Perencanaan Pelabuhan Hub Internasional. *ILMU KELAUTAN: Indonesian Journal of Marine Sciences*, 20(1), 9–22.
- Taylor-Burns, R., Nederhoff, K., Lacy, J. R., & Barnard, P. L. (2023). The influence of vegetated marshes on wave transformation in sheltered estuaries. *Coastal Engineering*, 184. <https://doi.org/10.1016/j.coastaleng.2023.104346>
- Triatmodjo, B. (2011). *Perencanaan Bangunan Pantai*. Beta Offset.
- Van Der Werf, I. M., & Van Gent, M. R. A. (2018). Wave overtopping over coastal structures with oblique wind and swell waves. *Journal of Marine Science and Engineering*, 6(4). <https://doi.org/10.3390/jmse6040149>
- Van Der Mer, J. W., & Stam, C.-J. M. (1992). Wave Run-up on Smooth and Rock Slope of Coastal Structure. *Journal of Waterway, Port, Coastal and Ocean Engineering*, 118(5), 534-550.
- Yuwono Nur., 1982. Teknik Pantai Vol 1 dan II, Biro Penerbit Keluarga Mahasiswa Teknik Sipil Fakultas Teknik UGM :Yogyakarta

## LAMPIRAN

Tabel Perhitungan Kondisi Transformasi Gelombang Orthogonal B  
Pasang Tertinggi (Timestep 67)

T	d	H <sub>0</sub>	a <sub>0</sub>	Sin a <sub>0</sub>	Cos a <sub>0</sub>	L <sub>0</sub>	C <sub>0</sub>	L	C	sin a	a	cos a	Kr	Ks	H'
4.2	37.38	0.50	5	0.09	1.00	27.54	6.56	27.54	6.56	0.09	5.00	1.00	1.00	0.50	37.38
	32.38	0.50	11	0.20	0.98	27.54	6.56	27.54	6.56	0.20	11.34	0.98	1.00	0.50	32.38
	27.38	0.50	18	0.31	0.95	27.54	6.56	27.54	6.56	0.31	17.99	0.95	1.00	0.50	27.38
	22.38	0.50	23	0.39	0.92	27.54	6.56	27.54	6.56	0.39	23.21	0.92	1.00	0.50	22.38
	17.38	0.50	32	0.53	0.85	27.54	6.56	27.52	6.55	0.53	31.68	0.85	1.00	0.50	17.38
	12.38	0.50	45	0.70	0.71	27.52	6.55	27.36	6.51	0.70	44.22	0.72	0.98	0.49	12.38
	7.38	0.49	51	0.78	0.63	27.36	6.51	26.03	6.20	0.74	47.54	0.68	0.94	0.44	7.38
	4.38	0.44	45	0.71	0.70	26.03	6.20	22.96	5.47	0.63	38.82	0.78	0.91	0.39	4.38
	7.38	0.39	4	0.08	1.00	22.96	5.47	26.03	6.20	0.09	4.89	1.00	0.96	0.37	7.38
	12.38	0.37	16	0.28	0.96	26.03	6.20	27.36	6.51	0.30	17.35	0.95	0.99	0.36	12.38
	17.38	0.36	19	0.33	0.94	27.36	6.51	27.52	6.55	0.33	19.39	0.94	0.99	0.36	17.38
	22.38	0.36	19	0.33	0.94	27.52	6.55	27.54	6.56	0.33	19.20	0.94	1.00	0.36	22.38
	27.38	0.36	20	0.35	0.94	27.54	6.56	27.54	6.56	0.35	20.45	0.94	1.00	0.36	27.38
	32.38	0.36	21	0.35	0.94	27.54	6.56	27.54	6.56	0.35	20.74	0.94	1.00	0.36	32.38
	37.38	0.36	21	0.36	0.93	27.54	6.56	27.54	6.56	0.36	20.88	0.93	1.00	0.36	37.38
	42.38	0.36	21	0.36	0.93	27.54	6.56	27.54	6.56	0.36	20.93	0.93	1.00	0.36	42.38
	47.38	0.36	21	0.36	0.93	27.54	6.56	27.54	6.56	0.36	21.04	0.93	1.00	0.36	47.38
	52.38	0.36	26	0.44	0.90	27.54	6.56	27.54	6.56	0.44	25.79	0.90	1.00	0.36	52.38
	52.38	0.36	29	0.48	0.88	27.54	6.56	27.54	6.56	0.48	28.95	0.88	1.00	0.36	52.38
	49.88	0.36	21	0.36	0.93	27.54	6.56	27.54	6.56	0.36	21.10	0.93	1.00	0.36	49.88
	47.38	0.36	34	0.55	0.83	27.54	6.56	27.54	6.56	0.55	33.69	0.83	1.00	0.36	47.38
	42.38	0.36	35	0.57	0.82	27.54	6.56	27.54	6.56	0.57	34.82	0.82	1.00	0.36	42.38
	37.38	0.36	38	0.61	0.79	27.54	6.56	27.54	6.56	0.61	37.66	0.79	1.00	0.36	37.38
	32.38	0.36	27	0.45	0.89	27.54	6.56	27.54	6.56	0.45	26.81	0.89	1.00	0.36	32.38
	27.38	0.36	48	0.74	0.67	27.54	6.56	27.54	6.56	0.74	47.93	0.67	1.00	0.36	27.38
	22.38	0.36	31	0.52	0.86	27.54	6.56	27.54	6.56	0.52	31.21	0.86	1.00	0.36	22.38
	17.38	0.36	40	0.65	0.76	27.54	6.56	27.52	6.55	0.65	40.29	0.76	1.00	0.36	17.38
	12.38	0.36	47	0.73	0.69	27.52	6.55	27.36	6.51	0.72	46.25	0.69	0.99	0.35	12.38
	7.38	0.35	35	0.58	0.82	27.36	6.51	26.03	6.20	0.55	33.22	0.84	0.94	0.33	7.38
	4.38	0.33	26	0.43	0.90	26.03	6.20	22.96	5.47	0.38	22.51	0.92	0.91	0.30	4.38
3.38	0.30	31	0.52	0.85	22.96	5.47	21.07	5.02	0.48	28.62	0.88	0.91	0.27	3.38	
2.63	0.27	27	0.45	0.89	21.07	5.02	19.20	4.57	0.41	24.41	0.91	0.92	0.24	2.63	

Tabel Perhitungan Transformasi Gelombang Orthogonal B  
Kondisi Surut Terendah (Timestep 49)

T	d	H <sub>0</sub>	a <sub>0</sub>	Sin a <sub>0</sub>	Cos a <sub>0</sub>	L <sub>0</sub>	C <sub>0</sub>	L	C	sin a	a	cos a	Kr	Ks	H'
4.2	34.90	0.50	5	0.09	1.00	27.54	6.56	27.54	6.56	0.09	5.00	1.00	1.00	1.00	0.50
	29.90	0.50	11	0.20	0.98	27.54	6.56	27.54	6.56	0.20	11.34	0.98	1.00	1.00	0.50
	24.90	0.50	18	0.31	0.95	27.54	6.56	27.54	6.56	0.31	17.99	0.95	1.00	1.00	0.50
	19.90	0.50	23	0.39	0.92	27.54	6.56	27.54	6.56	0.39	23.20	0.92	1.00	1.00	0.50
	14.90	0.50	32	0.53	0.85	27.54	6.56	27.48	6.54	0.52	31.63	0.85	1.00	0.99	0.50
	9.90	0.50	45	0.70	0.71	27.48	6.54	27.00	6.43	0.69	43.57	0.72	0.99	0.97	0.47
	4.90	0.47	65	0.91	0.42	27.00	6.43	23.71	5.65	0.80	52.76	0.61	0.84	0.91	0.36
	1.90	0.36	70	0.94	0.34	23.71	5.65	16.80	4.00	0.67	41.74	0.75	0.68	0.90	0.22
	4.90	0.22	4	0.08	1.00	16.80	4.00	23.71	5.65	0.11	6.09	0.99	1.00	0.96	0.21
	9.90	0.21	16	0.28	0.96	23.71	5.65	27.00	6.43	0.32	18.84	0.95	1.01	0.99	0.21
	14.90	0.21	19	0.33	0.94	27.00	6.43	27.48	6.54	0.34	19.63	0.94	1.00	0.98	0.21
	19.90	0.21	19	0.33	0.94	27.48	6.54	27.54	6.56	0.33	19.23	0.94	1.00	1.00	0.21
	24.90	0.21	20	0.35	0.94	27.54	6.56	27.54	6.56	0.35	20.45	0.94	1.00	1.00	0.21
	29.90	0.21	21	0.35	0.94	27.54	6.56	27.54	6.56	0.35	20.74	0.94	1.00	1.00	0.21
	34.90	0.21	21	0.36	0.93	27.54	6.56	27.54	6.56	0.36	20.88	0.93	1.00	1.00	0.21
	39.90	0.21	21	0.36	0.93	27.54	6.56	27.54	6.56	0.36	20.93	0.93	1.00	1.00	0.21
	44.90	0.21	21	0.36	0.93	27.54	6.56	27.54	6.56	0.36	21.04	0.93	1.00	1.00	0.21
	49.90	0.21	26	0.44	0.90	27.54	6.56	27.54	6.56	0.44	25.79	0.90	1.00	1.00	0.21
	49.90	0.21	29	0.48	0.88	27.54	6.56	27.54	6.56	0.48	28.95	0.88	1.00	1.00	0.21
	47.40	0.21	21	0.36	0.93	27.54	6.56	27.54	6.56	0.36	21.10	0.93	1.00	1.00	0.21
	44.90	0.21	34	0.55	0.83	27.54	6.56	27.54	6.56	0.55	33.69	0.83	1.00	1.00	0.21
	39.90	0.21	35	0.57	0.82	27.54	6.56	27.54	6.56	0.57	34.82	0.82	1.00	1.00	0.21
	34.90	0.21	38	0.61	0.79	27.54	6.56	27.54	6.56	0.61	37.66	0.79	1.00	1.00	0.21
	29.90	0.21	27	0.45	0.89	27.54	6.56	27.54	6.56	0.45	26.81	0.89	1.00	1.00	0.21

T	d	H <sub>0</sub>	a <sub>0</sub>	Sin a <sub>0</sub>	Cos a <sub>0</sub>	L <sub>0</sub>	C <sub>0</sub>	L	C	sin a	a	cos a	Kr	Ks	H'
	24.90	0.21	48	0.74	0.67	27.54	6.56	27.54	6.56	0.74	47.93	0.67	1.00	1.00	0.21
	19.90	0.21	31	0.52	0.86	27.54	6.56	27.54	6.56	0.52	31.20	0.86	1.00	1.00	0.21
	14.90	0.21	40	0.65	0.76	27.54	6.56	27.48	6.54	0.65	40.22	0.76	1.00	0.99	0.20
	9.90	0.20	47	0.73	0.69	27.48	6.54	27.00	6.43	0.71	45.55	0.70	0.99	0.97	0.19
	4.90	0.19	35	0.58	0.82	27.00	6.43	23.71	5.65	0.51	30.39	0.86	0.97	0.91	0.17
	1.90	0.17	26	0.43	0.90	23.71	5.65	16.80	4.00	0.31	17.91	0.95	0.97	0.90	0.15
	0.90	0.15	31	0.52	0.85	16.80	4.00	12.02	2.86	0.37	21.93	0.93	0.96	0.86	0.13
	0.15	0.13	27	0.45	0.89	12.02	2.86	4.99	1.19	0.19	10.85	0.98	0.95	1.10	0.13

Tabel Perhitungan Kondisi Transformasi Gelombang Orthogonal C  
Pasang Tertinggi (Timestep 67)

T	d	H <sub>0</sub>	a <sub>0</sub>	Sin a <sub>0</sub>	Cos a <sub>0</sub>	L <sub>0</sub>	C <sub>0</sub>	L	C	sin a	a	cos a	Kr	Ks	H'
4.2	37.38	0.50	15	0.26	0.97	27.54	6.56	27.54	6.56	0.26	14.79	0.97	1.00	1.00	0.50
	32.38	0.50	13	0.22	0.97	27.54	6.56	27.54	6.56	0.22	12.84	0.97	1.00	1.00	0.50
	27.38	0.50	26	0.44	0.90	27.54	6.56	27.54	6.56	0.44	26.42	0.90	1.00	1.00	0.50
	22.38	0.50	29	0.48	0.88	27.54	6.56	27.54	6.56	0.48	28.52	0.88	1.00	1.00	0.50
	17.38	0.50	35	0.58	0.81	27.54	6.56	27.52	6.55	0.58	35.45	0.81	1.00	1.00	0.50
	12.38	0.50	53	0.80	0.60	27.52	6.55	27.36	6.51	0.80	52.67	0.61	0.99	0.98	0.49
	7.38	0.49	23	0.39	0.92	27.36	6.51	26.03	6.20	0.37	21.79	0.93	1.00	0.94	0.45
	12.38	0.45	13	0.23	0.97	26.03	6.20	27.36	6.51	0.24	13.81	0.97	1.00	0.96	0.44
	17.38	0.44	11	0.20	0.98	27.36	6.51	27.52	6.55	0.20	11.43	0.98	1.00	0.99	0.43
	22.38	0.43	13	0.22	0.98	27.52	6.55	27.54	6.56	0.22	12.67	0.98	1.00	1.00	0.43
	27.38	0.43	13	0.22	0.97	27.54	6.56	27.54	6.56	0.22	12.86	0.97	1.00	1.00	0.43
	32.38	0.43	13	0.23	0.97	27.54	6.56	27.54	6.56	0.23	13.01	0.97	1.00	1.00	0.43
	37.38	0.43	13	0.23	0.97	27.54	6.56	27.54	6.56	0.23	13.01	0.97	1.00	1.00	0.43
	42.38	0.43	13	0.22	0.97	27.54	6.56	27.54	6.56	0.22	12.92	0.97	1.00	1.00	0.43
	47.38	0.43	13	0.22	0.98	27.54	6.56	27.54	6.56	0.22	12.76	0.98	1.00	1.00	0.43
	52.38	0.43	12	0.21	0.98	27.54	6.56	27.54	6.56	0.21	11.98	0.98	1.00	1.00	0.43
	52.38	0.43	10	0.17	0.99	27.54	6.56	27.54	6.56	0.17	9.87	0.99	1.00	1.00	0.43
	49.88	0.43	40	0.65	0.76	27.54	6.56	27.54	6.56	0.65	40.39	0.76	1.00	1.00	0.43
	47.38	0.43	53	0.80	0.60	27.54	6.56	27.54	6.56	0.80	53.24	0.60	1.00	1.00	0.43
	42.38	0.43	49	0.76	0.65	27.54	6.56	27.54	6.56	0.76	49.49	0.65	1.00	1.00	0.43
	37.38	0.43	47	0.73	0.69	27.54	6.56	27.54	6.56	0.73	46.64	0.69	1.00	1.00	0.43
	32.38	0.43	57	0.83	0.55	27.54	6.56	27.54	6.56	0.83	56.61	0.55	1.00	1.00	0.43
	27.38	0.43	28	0.48	0.88	27.54	6.56	27.54	6.56	0.48	28.39	0.88	1.00	1.00	0.43
	22.38	0.43	60	0.87	0.50	27.54	6.56	27.54	6.56	0.87	60.16	0.50	1.00	1.00	0.43
	17.38	0.43	47	0.73	0.69	27.54	6.56	27.52	6.55	0.73	46.60	0.69	1.00	1.00	0.43
	12.38	0.43	45	0.70	0.71	27.52	6.55	27.36	6.51	0.70	44.47	0.71	1.00	0.98	0.42
	7.38	0.42	45	0.70	0.71	27.36	6.51	26.03	6.20	0.67	41.91	0.74	0.98	0.99	0.41
	4.38	0.41	21	0.36	0.93	26.03	6.20	22.96	5.47	0.32	18.54	0.95	0.99	0.91	0.37
3.38	0.37	23	0.39	0.92	22.96	5.47	21.07	5.02	0.36	21.13	0.93	0.99	0.92	0.34	
2.63	0.34	4	0.07	1.00	21.07	5.02	19.20	4.57	0.06	3.64	1.00	1.00	0.92	0.31	

Tabel Perhitungan Transformasi Gelombang Orthogonal C  
Kondisi Surut Terendah (Timestep 49)

T	d	H <sub>0</sub>	a <sub>0</sub>	Sin a <sub>0</sub>	Cos a <sub>0</sub>	L <sub>0</sub>	C <sub>0</sub>	L	C	sin a	a	cos a	Kr	Ks	H'
4.2	34.90	0.50	15	0.26	0.97	27.54	6.56	27.54	6.56	0.26	14.79	0.97	1.00	1.00	0.50
	29.90	0.50	13	0.22	0.97	27.54	6.56	27.54	6.56	0.22	12.84	0.97	1.00	1.00	0.50
	24.90	0.50	26	0.44	0.90	27.54	6.56	27.54	6.56	0.44	26.42	0.90	1.00	1.00	0.50
	19.90	0.50	29	0.48	0.88	27.54	6.56	27.54	6.56	0.48	28.51	0.88	1.00	1.00	0.50
	14.90	0.50	35	0.58	0.81	27.54	6.56	27.48	6.54	0.58	35.40	0.82	1.00	0.99	0.50
	9.90	0.50	53	0.80	0.60	27.48	6.54	27.00	6.43	0.79	51.80	0.62	0.99	0.97	0.47
	4.90	0.47	23	0.39	0.92	27.00	6.43	23.71	5.65	0.34	20.05	0.94	0.99	0.91	0.42
	9.90	0.42	13	0.23	0.97	23.71	5.65	27.00	6.43	0.26	14.99	0.97	1.00	0.90	0.38
	14.90	0.38	11	0.20	0.98	27.00	6.43	27.48	6.54	0.20	11.57	0.98	1.00	0.98	0.37
	19.90	0.37	13	0.22	0.98	27.48	6.54	27.54	6.56	0.22	12.69	0.98	1.00	1.00	0.37
	24.90	0.37	13	0.22	0.97	27.54	6.56	27.54	6.56	0.22	12.86	0.97	1.00	1.00	0.37
	29.90	0.37	13	0.23	0.97	27.54	6.56	27.54	6.56	0.23	13.01	0.97	1.00	1.00	0.37
	34.90	0.37	13	0.23	0.97	27.54	6.56	27.54	6.56	0.23	13.01	0.97	1.00	1.00	0.37
	39.90	0.37	13	0.22	0.97	27.54	6.56	27.54	6.56	0.22	12.92	0.97	1.00	1.00	0.37
	44.90	0.37	13	0.22	0.98	27.54	6.56	27.54	6.56	0.22	12.76	0.98	1.00	1.00	0.37
	49.90	0.37	12	0.21	0.98	27.54	6.56	27.54	6.56	0.21	11.98	0.98	1.00	1.00	0.37
	49.90	0.37	10	0.17	0.99	27.54	6.56	27.54	6.56	0.17	9.87	0.99	1.00	1.00	0.37

T	d	H <sub>0</sub>	a <sub>0</sub>	Sin a <sub>0</sub>	Cos a <sub>0</sub>	L <sub>0</sub>	C <sub>0</sub>	L	C	sin a	a	cos a	Kr	Ks	H'
	47.40	0.37	40	0.65	0.76	27.54	6.56	27.54	6.56	0.65	40.39	0.76	1.00	1.00	0.37
	44.90	0.37	53	0.80	0.60	27.54	6.56	27.54	6.56	0.80	53.24	0.60	1.00	1.00	0.37
	39.90	0.37	49	0.76	0.65	27.54	6.56	27.54	6.56	0.76	49.49	0.65	1.00	1.00	0.37
	34.90	0.37	47	0.73	0.69	27.54	6.56	27.54	6.56	0.73	46.64	0.69	1.00	1.00	0.37
	29.90	0.37	57	0.83	0.55	27.54	6.56	27.54	6.56	0.83	56.61	0.55	1.00	1.00	0.37
	24.90	0.37	28	0.48	0.88	27.54	6.56	27.54	6.56	0.48	28.39	0.88	1.00	1.00	0.37
	19.90	0.37	60	0.87	0.50	27.54	6.56	27.54	6.56	0.87	60.15	0.50	1.00	1.00	0.37
	14.90	0.37	47	0.73	0.69	27.54	6.56	27.48	6.54	0.73	46.52	0.69	1.00	0.99	0.37
	9.90	0.37	45	0.70	0.71	27.48	6.54	27.00	6.43	0.69	43.82	0.72	0.99	0.97	0.35
	4.90	0.35	45	0.70	0.71	27.00	6.43	23.71	5.65	0.62	38.08	0.79	0.95	0.99	0.33
	1.90	0.33	21	0.36	0.93	23.71	5.65	16.80	4.00	0.26	14.80	0.97	0.98	0.91	0.30
	0.90	0.30	23	0.39	0.92	16.80	4.00	12.02	2.86	0.28	16.32	0.96	0.98	0.92	0.27
	0.15	0.27	4	0.07	1.00	12.02	2.86	4.99	1.19	0.03	1.66	1.00	1.00	0.92	0.25
	34.90	0.50	15	0.26	0.97	27.54	6.56	27.54	6.56	0.26	14.79	0.97	1.00	1.00	0.50
	29.90	0.50	13	0.22	0.97	27.54	6.56	27.54	6.56	0.22	12.84	0.97	1.00	1.00	0.50

Tabel Perhitungan Kondisi Transformasi Gelombang Orthogonal D  
Pasang Tertinggi (Timestep 67)

T	d	H <sub>0</sub>	a <sub>0</sub>	Sin a <sub>0</sub>	Cos a <sub>0</sub>	L <sub>0</sub>	C <sub>0</sub>	L	C	sin a	a	cos a	Kr	Ks	H'
	37.38	0.50	13	0.23	0.97	27.54	6.56	27.54	6.56	0.23	13.38	0.97	1.00	1.00	0.50
	32.38	0.50	26	0.43	0.90	27.54	6.56	27.54	6.56	0.43	25.51	0.90	1.00	1.00	0.50
	27.38	0.50	26	0.43	0.90	27.54	6.56	27.54	6.56	0.43	25.69	0.90	1.00	1.00	0.50
	22.38	0.50	42	0.67	0.74	27.54	6.56	27.54	6.56	0.67	42.41	0.74	1.00	1.00	0.50
	17.38	0.50	41	0.65	0.76	27.54	6.56	27.52	6.55	0.65	40.76	0.76	1.00	1.00	0.50
	12.38	0.50	49	0.75	0.66	27.52	6.55	27.36	6.51	0.75	48.41	0.66	1.00	0.98	0.49
	7.38	0.49	43	0.68	0.73	27.36	6.51	26.03	6.20	0.65	40.42	0.76	0.98	0.94	0.45
	12.38	0.45	7	0.12	0.99	26.03	6.20	27.36	6.51	0.13	7.34	0.99	1.00	0.99	0.44
	17.38	0.44	7	0.13	0.99	27.36	6.51	27.52	6.55	0.13	7.34	0.99	1.00	1.00	0.44
	22.38	0.44	8	0.15	0.99	27.52	6.55	27.54	6.56	0.15	8.40	0.99	1.00	1.00	0.44
	27.38	0.44	10	0.18	0.98	27.54	6.56	27.54	6.56	0.18	10.13	0.98	1.00	1.00	0.44
	32.38	0.44	12	0.20	0.98	27.54	6.56	27.54	6.56	0.20	11.71	0.98	1.00	1.00	0.44
	37.38	0.44	13	0.23	0.97	27.54	6.56	27.54	6.56	0.23	13.26	0.97	1.00	1.00	0.44
	42.38	0.44	15	0.25	0.97	27.54	6.56	27.54	6.56	0.25	14.50	0.97	1.00	1.00	0.44
4.2	47.38	0.44	15	0.27	0.96	27.54	6.56	27.54	6.56	0.27	15.38	0.96	1.00	1.00	0.44
	52.38	0.44	18	0.31	0.95	27.54	6.56	27.54	6.56	0.31	17.97	0.95	1.00	1.00	0.44
	57.38	0.44	18	0.31	0.95	27.54	6.56	27.54	6.56	0.31	18.22	0.95	1.00	1.00	0.44
	57.38	0.44	9	0.15	0.99	27.54	6.56	27.54	6.56	0.15	8.90	0.99	1.00	1.00	0.44
	52.38	0.44	59	0.86	0.51	27.54	6.56	27.54	6.56	0.86	59.08	0.51	1.00	1.00	0.44
	49.88	0.44	64	0.90	0.43	27.54	6.56	27.54	6.56	0.90	64.33	0.43	1.00	1.00	0.44
	47.38	0.44	44	0.69	0.72	27.54	6.56	27.54	6.56	0.69	43.72	0.72	1.00	1.00	0.44
	42.38	0.44	53	0.79	0.61	27.54	6.56	27.54	6.56	0.79	52.62	0.61	1.00	1.00	0.44
	37.38	0.44	44	0.69	0.72	27.54	6.56	27.54	6.56	0.69	43.81	0.72	1.00	1.00	0.44
	32.38	0.44	34	0.56	0.83	27.54	6.56	27.54	6.56	0.56	34.27	0.83	1.00	1.00	0.44
	27.38	0.44	49	0.75	0.66	27.54	6.56	27.54	6.56	0.75	48.89	0.66	1.00	1.00	0.44
	22.38	0.44	37	0.60	0.80	27.54	6.56	27.54	6.56	0.60	37.21	0.80	1.00	1.00	0.44
	17.38	0.44	32	0.53	0.85	27.54	6.56	27.52	6.55	0.53	31.81	0.85	1.00	1.00	0.44
	12.38	0.44	37	0.61	0.79	27.52	6.55	27.36	6.51	0.60	37.15	0.80	1.00	0.99	0.43
	7.38	0.43	39	0.62	0.78	27.36	6.51	26.03	6.20	0.59	36.38	0.81	0.99	0.94	0.40
	4.38	0.40	35	0.58	0.82	26.03	6.20	22.96	5.47	0.51	30.52	0.86	0.97	0.91	0.36

Tabel Perhitungan Transformasi Gelombang Orthogonal D  
Kondisi Surut Terendah (Timestep 49)

T	d	H <sub>0</sub>	a <sub>0</sub>	Sin a <sub>0</sub>	Cos a <sub>0</sub>	L <sub>0</sub>	C <sub>0</sub>	L	C	sin a	a	cos a	Kr	Ks	H'
	34.90	0.50	13	0.23	0.97	27.54	6.56	27.54	6.56	0.23	13.38	0.97	1.00	1.00	0.50
	29.90	0.50	26	0.43	0.90	27.54	6.56	27.54	6.56	0.43	25.51	0.90	1.00	1.00	0.50
	24.90	0.50	26	0.43	0.90	27.54	6.56	27.54	6.56	0.43	25.69	0.90	1.00	1.00	0.50
	19.90	0.50	42	0.67	0.74	27.54	6.56	27.54	6.56	0.67	42.40	0.74	1.00	1.00	0.50
4.2	14.90	0.50	41	0.65	0.76	27.54	6.56	27.48	6.54	0.65	40.69	0.76	1.00	0.99	0.50
	9.90	0.50	49	0.75	0.66	27.48	6.54	27.00	6.43	0.74	47.66	0.67	0.99	0.97	0.47
	4.90	0.47	43	0.68	0.73	27.00	6.43	23.71	5.65	0.60	36.77	0.80	0.96	0.92	0.41
	9.90	0.41	7	0.12	0.99	23.71	5.65	27.00	6.43	0.14	7.95	0.99	1.00	0.98	0.41
	14.90	0.41	7	0.13	0.99	27.00	6.43	27.48	6.54	0.13	7.43	0.99	1.00	0.98	0.40
	19.90	0.40	8	0.15	0.99	27.48	6.54	27.54	6.56	0.15	8.41	0.99	1.00	1.00	0.40

T	d	H <sub>0</sub>	a <sub>0</sub>	Sin a <sub>0</sub>	Cos a <sub>0</sub>	L <sub>0</sub>	C <sub>0</sub>	L	C	sin a	a	cos a	Kr	Ks	H'
	24.90	0.40	10	0.18	0.98	27.54	6.56	27.54	6.56	0.18	10.13	0.98	1.00	1.00	0.40
	29.90	0.40	12	0.20	0.98	27.54	6.56	27.54	6.56	0.20	11.71	0.98	1.00	1.00	0.40
	34.90	0.40	13	0.23	0.97	27.54	6.56	27.54	6.56	0.23	13.26	0.97	1.00	1.00	0.40
	39.90	0.40	15	0.25	0.97	27.54	6.56	27.54	6.56	0.25	14.50	0.97	1.00	1.00	0.40
	44.90	0.40	15	0.27	0.96	27.54	6.56	27.54	6.56	0.27	15.38	0.96	1.00	1.00	0.40
	49.90	0.40	18	0.31	0.95	27.54	6.56	27.54	6.56	0.31	17.97	0.95	1.00	1.00	0.40
	54.90	0.40	18	0.31	0.95	27.54	6.56	27.54	6.56	0.31	18.22	0.95	1.00	1.00	0.40
	54.90	0.40	9	0.15	0.99	27.54	6.56	27.54	6.56	0.15	8.90	0.99	1.00	1.00	0.40
	49.90	0.40	59	0.86	0.51	27.54	6.56	27.54	6.56	0.86	59.08	0.51	1.00	1.00	0.40
	47.40	0.40	64	0.90	0.43	27.54	6.56	27.54	6.56	0.90	64.33	0.43	1.00	1.00	0.40
	44.90	0.40	44	0.69	0.72	27.54	6.56	27.54	6.56	0.69	43.72	0.72	1.00	1.00	0.40
	39.90	0.40	53	0.79	0.61	27.54	6.56	27.54	6.56	0.79	52.62	0.61	1.00	1.00	0.40
	34.90	0.40	44	0.69	0.72	27.54	6.56	27.54	6.56	0.69	43.81	0.72	1.00	1.00	0.40
	29.90	0.40	34	0.56	0.83	27.54	6.56	27.54	6.56	0.56	34.27	0.83	1.00	1.00	0.40
	24.90	0.40	49	0.75	0.66	27.54	6.56	27.54	6.56	0.75	48.89	0.66	1.00	1.00	0.40
	19.90	0.40	37	0.60	0.80	27.54	6.56	27.54	6.56	0.60	37.20	0.80	1.00	1.00	0.40
	14.90	0.40	32	0.53	0.85	27.54	6.56	27.48	6.54	0.53	31.76	0.85	1.00	0.99	0.40
	9.90	0.40	37	0.61	0.79	27.48	6.54	27.00	6.43	0.60	36.64	0.80	0.99	0.97	0.38
	4.90	0.38	39	0.62	0.78	27.00	6.43	23.71	5.65	0.55	33.20	0.84	0.97	0.91	0.34
	1.90	0.34	35	0.58	0.82	23.71	5.65	16.80	4.00	0.41	24.07	0.91	0.95	0.96	0.30
	0.90	0.30	40	0.65	0.76	16.80	4.00	12.02	2.86	0.46	27.69	0.89	0.93	1.02	0.29
	0.15	0.29	34	0.56	0.83	12.02	2.86	4.99	1.19	0.23	13.52	0.97	0.92	1.44	0.38

Tabel Perhitungan Kondisi Transformasi Gelombang Orthogonal E  
Pasang Tertinggi (Timestep 67)

T	d	H <sub>0</sub>	a <sub>0</sub>	Sin a <sub>0</sub>	Cos a <sub>0</sub>	L <sub>0</sub>	C <sub>0</sub>	L	C	sin a	a	cos a	Kr	Ks	H'
	37.38	0.50	21	0.36	0.93	27.54	6.56	27.54	6.56	0.36	20.99	0.93	1.00	1.00	0.50
	32.38	0.50	29	0.48	0.88	27.54	6.56	27.54	6.56	0.48	28.71	0.88	1.00	1.00	0.50
	27.38	0.50	38	0.61	0.79	27.54	6.56	27.54	6.56	0.61	37.60	0.79	1.00	1.00	0.50
	22.38	0.50	30	0.51	0.86	27.54	6.56	27.54	6.56	0.51	30.40	0.86	1.00	1.00	0.50
	17.38	0.50	46	0.72	0.70	27.54	6.56	27.52	6.55	0.72	45.84	0.70	1.00	1.00	0.50
	12.38	0.50	42	0.67	0.74	27.52	6.55	27.36	6.51	0.67	41.82	0.75	1.00	0.98	0.49
	12.38	0.49	9	0.15	0.99	27.36	6.51	27.36	6.51	0.15	8.51	0.99	1.00	0.98	0.48
	17.38	0.48	3	0.05	1.00	27.36	6.51	27.52	6.55	0.05	3.02	1.00	1.00	0.99	0.48
	22.38	0.48	3	0.04	1.00	27.52	6.55	27.54	6.56	0.04	2.52	1.00	1.00	1.00	0.48
	27.38	0.48	3	0.06	1.00	27.54	6.56	27.54	6.56	0.06	3.38	1.00	1.00	1.00	0.48
	32.38	0.48	5	0.08	1.00	27.54	6.56	27.54	6.56	0.08	4.80	1.00	1.00	1.00	0.48
	37.38	0.48	6	0.11	0.99	27.54	6.56	27.54	6.56	0.11	6.16	0.99	1.00	1.00	0.48
	42.38	0.48	7	0.12	0.99	27.54	6.56	27.54	6.56	0.12	7.10	0.99	1.00	1.00	0.48
	47.38	0.48	7	0.13	0.99	27.54	6.56	27.54	6.56	0.13	7.48	0.99	1.00	1.00	0.48
	52.38	0.48	6	0.11	0.99	27.54	6.56	27.54	6.56	0.11	6.03	0.99	1.00	1.00	0.48
4.2	57.38	0.48	1	0.02	1.00	27.54	6.56	27.54	6.56	0.02	0.87	1.00	1.00	1.00	0.48
	57.38	0.48	27	0.46	0.89	27.54	6.56	27.54	6.56	0.46	27.15	0.89	1.00	1.00	0.48
	54.88	0.48	22	0.38	0.92	27.54	6.56	27.54	6.56	0.38	22.39	0.92	1.00	1.00	0.48
	52.38	0.48	70	0.94	0.35	27.54	6.56	27.54	6.56	0.94	69.76	0.35	1.00	1.00	0.48
	47.38	0.48	62	0.88	0.47	27.54	6.56	27.54	6.56	0.88	62.12	0.47	1.00	1.00	0.48
	42.38	0.48	56	0.83	0.56	27.54	6.56	27.54	6.56	0.83	55.60	0.56	1.00	1.00	0.48
	37.38	0.48	46	0.72	0.70	27.54	6.56	27.54	6.56	0.72	45.73	0.70	1.00	1.00	0.48
	32.38	0.48	22	0.37	0.93	27.54	6.56	27.54	6.56	0.37	21.95	0.93	1.00	1.00	0.48
	27.38	0.48	50	0.76	0.64	27.54	6.56	27.54	6.56	0.76	49.86	0.64	1.00	1.00	0.48
	22.38	0.48	38	0.61	0.79	27.54	6.56	27.54	6.56	0.61	37.84	0.79	1.00	1.00	0.48
	17.38	0.48	42	0.67	0.74	27.54	6.56	27.52	6.55	0.67	42.17	0.74	1.00	1.00	0.48
	12.38	0.48	41	0.65	0.76	27.52	6.55	27.36	6.51	0.65	40.53	0.76	1.00	0.99	0.47
	7.38	0.47	35	0.58	0.81	27.36	6.51	26.03	6.20	0.55	33.48	0.83	0.99	0.94	0.43
	4.38	0.43	34	0.56	0.83	26.03	6.20	22.96	5.47	0.49	29.34	0.87	0.98	0.91	0.39
	3.38	0.39	27	0.45	0.89	22.96	5.47	21.07	5.02	0.41	24.28	0.91	0.99	0.92	0.35

Tabel Perhitungan Transformasi Gelombang Orthogonal E  
Kondisi Surut Terendah (Timestep 49)

T	d	H <sub>0</sub>	a <sub>0</sub>	Sin a <sub>0</sub>	Cos a <sub>0</sub>	L <sub>0</sub>	C <sub>0</sub>	L	C	sin a	a	cos a	Kr	Ks	H'
4.2	34.90	0.50	21	0.36	0.93	27.54	6.56	27.54	6.56	0.36	20.99	0.93	1.00	1.00	0.50
	29.90	0.50	29	0.48	0.88	27.54	6.56	27.54	6.56	0.48	28.71	0.88	1.00	1.00	0.50
	24.90	0.50	38	0.61	0.79	27.54	6.56	27.54	6.56	0.61	37.60	0.79	1.00	1.00	0.50

T	d	H <sub>0</sub>	a <sub>0</sub>	Sin a <sub>0</sub>	Cos a <sub>0</sub>	L <sub>0</sub>	C <sub>0</sub>	L	C	sin a	a	cos a	Kr	Ks	H'
	19.90	0.50	30	0.51	0.86	27.54	6.56	27.54	6.56	0.51	30.39	0.86	1.00	1.00	0.50
	14.90	0.50	46	0.72	0.70	27.54	6.56	27.48	6.54	0.72	45.76	0.70	1.00	0.99	0.50
	9.90	0.50	42	0.67	0.74	27.48	6.54	27.00	6.43	0.66	41.22	0.75	0.99	0.97	0.48
	9.90	0.48	9	0.15	0.99	27.00	6.43	27.00	6.43	0.15	8.51	0.99	1.00	0.96	0.45
	14.90	0.45	3	0.05	1.00	27.00	6.43	27.48	6.54	0.05	3.05	1.00	1.00	0.98	0.45
	19.90	0.45	3	0.04	1.00	27.48	6.54	27.54	6.56	0.04	2.52	1.00	1.00	1.00	0.45
	24.90	0.45	3	0.06	1.00	27.54	6.56	27.54	6.56	0.06	3.38	1.00	1.00	1.00	0.45
	29.90	0.45	5	0.08	1.00	27.54	6.56	27.54	6.56	0.08	4.80	1.00	1.00	1.00	0.45
	34.90	0.45	6	0.11	0.99	27.54	6.56	27.54	6.56	0.11	6.16	0.99	1.00	1.00	0.45
	39.90	0.45	7	0.12	0.99	27.54	6.56	27.54	6.56	0.12	7.10	0.99	1.00	1.00	0.45
	44.90	0.45	7	0.13	0.99	27.54	6.56	27.54	6.56	0.13	7.48	0.99	1.00	1.00	0.45
	49.90	0.45	6	0.11	0.99	27.54	6.56	27.54	6.56	0.11	6.03	0.99	1.00	1.00	0.45
	54.90	0.45	1	0.02	1.00	27.54	6.56	27.54	6.56	0.02	0.87	1.00	1.00	1.00	0.45
	54.90	0.45	27	0.46	0.89	27.54	6.56	27.54	6.56	0.46	27.15	0.89	1.00	1.00	0.45
	52.40	0.45	22	0.38	0.92	27.54	6.56	27.54	6.56	0.38	22.39	0.92	1.00	1.00	0.45
	49.90	0.45	70	0.94	0.35	27.54	6.56	27.54	6.56	0.94	69.76	0.35	1.00	1.00	0.45
	44.90	0.45	62	0.88	0.47	27.54	6.56	27.54	6.56	0.88	62.12	0.47	1.00	1.00	0.45
	39.90	0.45	56	0.83	0.56	27.54	6.56	27.54	6.56	0.83	55.60	0.56	1.00	1.00	0.45
	34.90	0.45	46	0.72	0.70	27.54	6.56	27.54	6.56	0.72	45.73	0.70	1.00	1.00	0.45
	29.90	0.45	22	0.37	0.93	27.54	6.56	27.54	6.56	0.37	21.95	0.93	1.00	1.00	0.45
	24.90	0.45	50	0.76	0.64	27.54	6.56	27.54	6.56	0.76	49.86	0.64	1.00	1.00	0.45
	19.90	0.45	38	0.61	0.79	27.54	6.56	27.54	6.56	0.61	37.83	0.79	1.00	1.00	0.45
	14.90	0.45	42	0.67	0.74	27.54	6.56	27.48	6.54	0.67	42.10	0.74	1.00	0.99	0.44
	9.90	0.44	41	0.65	0.76	27.48	6.54	27.00	6.43	0.64	39.96	0.77	0.99	0.99	0.43
	4.90	0.43	35	0.58	0.81	27.00	6.43	23.71	5.65	0.51	30.62	0.86	0.97	0.94	0.40
	1.90	0.40	34	0.56	0.83	23.71	5.65	16.80	4.00	0.39	23.17	0.92	0.95	0.91	0.34
	0.90	0.34	27	0.45	0.89	16.80	4.00	12.02	2.86	0.32	18.70	0.95	0.97	0.92	0.31
	0.15	0.31	20	0.34	0.94	12.02	2.86	4.99	1.19	0.14	8.01	0.99	0.98	0.93	0.28
	34.90	0.50	21	0.36	0.93	27.54	6.56	27.54	6.56	0.36	20.99	0.93	1.00	1.00	0.50
	29.90	0.50	29	0.48	0.88	27.54	6.56	27.54	6.56	0.48	28.71	0.88	1.00	1.00	0.50

Tabel Perhitungan Kondisi Transformasi Gelombang Orthogonal F  
Pasang Tertinggi (Timestep 67)

T	d	H <sub>0</sub>	a <sub>0</sub>	Sin a <sub>0</sub>	Cos a <sub>0</sub>	L <sub>0</sub>	C <sub>0</sub>	L	C	sin a	a	cos a	Kr	Ks	H'
	37.38	0.50	25	0.43	0.90	27.54	6.56	27.54	6.56	0.43	25.26	0.90	1.00	1.00	0.50
	32.38	0.50	27	0.45	0.89	27.54	6.56	27.54	6.56	0.45	26.58	0.89	1.00	1.00	0.50
	27.38	0.50	29	0.49	0.87	27.54	6.56	27.54	6.56	0.49	29.45	0.87	1.00	1.00	0.50
	22.38	0.50	44	0.69	0.72	27.54	6.56	27.54	6.56	0.69	43.92	0.72	1.00	1.00	0.50
	17.38	0.50	47	0.74	0.68	27.54	6.56	27.52	6.55	0.74	47.31	0.68	1.00	1.00	0.50
	12.38	0.50	58	0.84	0.53	27.52	6.55	27.36	6.51	0.84	57.12	0.54	0.99	0.98	0.49
	12.38	0.49	48	0.75	0.67	27.36	6.51	27.36	6.51	0.75	48.19	0.67	1.00	0.98	0.48
	17.38	0.48	38	0.62	0.78	27.36	6.51	27.52	6.55	0.63	38.71	0.78	1.00	0.99	0.48
	22.38	0.48	33	0.54	0.84	27.52	6.55	27.54	6.56	0.54	32.94	0.84	1.00	1.00	0.48
	27.38	0.48	32	0.54	0.84	27.54	6.56	27.54	6.56	0.54	32.36	0.84	1.00	1.00	0.48
	32.38	0.48	29	0.48	0.88	27.54	6.56	27.54	6.56	0.48	28.86	0.88	1.00	1.00	0.48
	37.38	0.48	27	0.45	0.89	27.54	6.56	27.54	6.56	0.45	26.51	0.89	1.00	1.00	0.48
	42.38	0.48	24	0.40	0.92	27.54	6.56	27.54	6.56	0.40	23.79	0.92	1.00	1.00	0.48
	47.38	0.48	17	0.29	0.96	27.54	6.56	27.54	6.56	0.29	16.58	0.96	1.00	1.00	0.48
	52.38	0.48	17	0.29	0.96	27.54	6.56	27.54	6.56	0.29	17.02	0.96	1.00	1.00	0.48
4.2	57.38	0.48	0	0.00	1.00	27.54	6.56	27.54	6.56	0.00	0.10	1.00	1.00	1.00	0.48
	57.38	0.48	29	0.48	0.88	27.54	6.56	27.54	6.56	0.48	28.95	0.88	1.00	1.00	0.48
	54.88	0.48	50	0.77	0.64	27.54	6.56	27.54	6.56	0.77	50.29	0.64	1.00	1.00	0.48
	52.38	0.48	47	0.73	0.68	27.54	6.56	27.54	6.56	0.73	46.95	0.68	1.00	1.00	0.48
	47.38	0.48	48	0.75	0.66	27.54	6.56	27.54	6.56	0.75	48.43	0.66	1.00	1.00	0.48
	42.38	0.48	41	0.65	0.76	27.54	6.56	27.54	6.56	0.65	40.77	0.76	1.00	1.00	0.48
	37.38	0.48	55	0.82	0.57	27.54	6.56	27.54	6.56	0.82	55.44	0.57	1.00	1.00	0.48
	32.38	0.48	51	0.78	0.63	27.54	6.56	27.54	6.56	0.78	51.29	0.63	1.00	1.00	0.48
	27.38	0.48	40	0.65	0.76	27.54	6.56	27.54	6.56	0.65	40.23	0.76	1.00	1.00	0.48
	22.38	0.48	10	0.17	0.99	27.54	6.56	27.54	6.56	0.17	9.53	0.99	1.00	1.00	0.48
	17.38	0.48	3	0.06	1.00	27.54	6.56	27.52	6.55	0.06	3.32	1.00	1.00	1.00	0.47
	12.38	0.47	8	0.13	0.99	27.52	6.55	27.36	6.51	0.13	7.57	0.99	1.00	0.99	0.47
	7.38	0.47	19	0.32	0.95	27.36	6.51	26.03	6.20	0.30	17.66	0.95	1.00	0.94	0.44
	4.38	0.44	2	0.04	1.00	26.03	6.20	22.96	5.47	0.03	1.84	1.00	1.00	0.91	0.40
	3.38	0.40	1	0.02	1.00	22.96	5.47	21.07	5.02	0.02	0.86	1.00	1.00	0.92	0.37

Tabel Perhitungan Transformasi Gelombang Orthogonal F  
Kondisi Surut Terendah (Timestep 49)

T	d	H <sub>0</sub>	a <sub>0</sub>	Sin a <sub>0</sub>	Cos a <sub>0</sub>	L <sub>0</sub>	C <sub>0</sub>	L	C	sin a	a	cos a	Kr	Ks	H'
4.2	34.90	0.50	25	0.43	0.90	27.54	6.56	27.54	6.56	0.43	25.26	0.90	1.00	1.00	0.50
	29.90	0.50	27	0.45	0.89	27.54	6.56	27.54	6.56	0.45	26.58	0.89	1.00	1.00	0.50
	24.90	0.50	29	0.49	0.87	27.54	6.56	27.54	6.56	0.49	29.45	0.87	1.00	1.00	0.50
	19.90	0.50	44	0.69	0.72	27.54	6.56	27.54	6.56	0.69	43.91	0.72	1.00	1.00	0.50
	14.90	0.50	47	0.74	0.68	27.54	6.56	27.48	6.54	0.73	47.23	0.68	1.00	0.99	0.50
	9.90	0.50	58	0.84	0.53	27.48	6.54	27.00	6.43	0.83	56.10	0.56	0.98	0.97	0.47
	9.90	0.47	48	0.75	0.67	27.00	6.43	27.00	6.43	0.75	48.19	0.67	1.00	0.97	0.45
	14.90	0.45	38	0.62	0.78	27.00	6.43	27.48	6.54	0.63	39.25	0.77	1.01	0.99	0.45
	19.90	0.45	33	0.54	0.84	27.48	6.54	27.54	6.56	0.54	32.99	0.84	1.00	1.00	0.45
	24.90	0.45	32	0.54	0.84	27.54	6.56	27.54	6.56	0.54	32.37	0.84	1.00	1.00	0.45
	29.90	0.45	29	0.48	0.88	27.54	6.56	27.54	6.56	0.48	28.86	0.88	1.00	1.00	0.45
	34.90	0.45	27	0.45	0.89	27.54	6.56	27.54	6.56	0.45	26.51	0.89	1.00	1.00	0.45
	39.90	0.45	24	0.40	0.92	27.54	6.56	27.54	6.56	0.40	23.79	0.92	1.00	1.00	0.45
	44.90	0.45	17	0.29	0.96	27.54	6.56	27.54	6.56	0.29	16.58	0.96	1.00	1.00	0.45
	49.90	0.45	17	0.29	0.96	27.54	6.56	27.54	6.56	0.29	17.02	0.96	1.00	1.00	0.45
	54.90	0.45	0	0.00	1.00	27.54	6.56	27.54	6.56	0.00	0.10	1.00	1.00	1.00	0.45
	54.90	0.45	29	0.48	0.88	27.54	6.56	27.54	6.56	0.48	28.95	0.88	1.00	1.00	0.45
	52.40	0.45	50	0.77	0.64	27.54	6.56	27.54	6.56	0.77	50.29	0.64	1.00	1.00	0.45
	49.90	0.45	47	0.73	0.68	27.54	6.56	27.54	6.56	0.73	46.95	0.68	1.00	1.00	0.45
	44.90	0.45	48	0.75	0.66	27.54	6.56	27.54	6.56	0.75	48.43	0.66	1.00	1.00	0.45
	39.90	0.45	41	0.65	0.76	27.54	6.56	27.54	6.56	0.65	40.77	0.76	1.00	1.00	0.45
	34.90	0.45	55	0.82	0.57	27.54	6.56	27.54	6.56	0.82	55.44	0.57	1.00	1.00	0.45
	29.90	0.45	51	0.78	0.63	27.54	6.56	27.54	6.56	0.78	51.29	0.63	1.00	1.00	0.45
	24.90	0.45	40	0.65	0.76	27.54	6.56	27.54	6.56	0.65	40.23	0.76	1.00	1.00	0.45
	19.90	0.45	10	0.17	0.99	27.54	6.56	27.54	6.56	0.17	9.53	0.99	1.00	1.00	0.45
	14.90	0.45	3	0.06	1.00	27.54	6.56	27.48	6.54	0.06	3.31	1.00	1.00	0.99	0.45
	9.90	0.45	8	0.13	0.99	27.48	6.54	27.00	6.43	0.13	7.48	0.99	1.00	0.99	0.44
	4.90	0.44	19	0.32	0.95	27.00	6.43	23.71	5.65	0.28	16.26	0.96	0.99	0.94	0.41
	1.90	0.41	2	0.04	1.00	23.71	5.65	16.80	4.00	0.03	1.48	1.00	1.00	0.91	0.38
	0.90	0.38	1	0.02	1.00	16.80	4.00	12.02	2.86	0.01	0.67	1.00	1.00	0.92	0.35
	0.15	0.35	3	0.04	1.00	12.02	2.86	4.99	1.19	0.02	1.05	1.00	1.00	0.93	0.32

Tabel Perhitungan Kondisi Transformasi Gelombang Orthogonal G  
Pasang Tertinggi (Timestep 67)

T	d	H <sub>0</sub>	a <sub>0</sub>	Sin a <sub>0</sub>	Cos a <sub>0</sub>	L <sub>0</sub>	C <sub>0</sub>	L	C	sin a	a	cos a	Kr	Ks	H'
4.2	37.38	0.50	22	0.37	0.93	27.54	6.56	27.54	6.56	0.37	21.68	0.93	1.00	0.23	0.50
	32.38	0.50	30	0.50	0.87	27.54	6.56	27.54	6.56	0.50	29.71	0.87	1.00	0.23	0.50
	27.38	0.50	44	0.70	0.72	27.54	6.56	27.54	6.56	0.70	44.08	0.72	1.00	0.23	0.50
	22.38	0.50	48	0.74	0.67	27.54	6.56	27.54	6.56	0.74	47.65	0.67	1.00	0.23	0.50
	17.38	0.50	56	0.82	0.57	27.54	6.56	27.52	6.55	0.82	55.50	0.57	1.00	0.23	0.50
	17.38	0.50	45	0.70	0.71	27.52	6.55	27.52	6.55	0.70	44.68	0.71	1.00	0.23	0.50
	22.38	0.50	40	0.64	0.77	27.52	6.55	27.54	6.56	0.64	39.95	0.77	1.00	0.23	0.50
	27.38	0.50	36	0.58	0.81	27.54	6.56	27.54	6.56	0.58	35.75	0.81	1.00	0.23	0.50
	32.38	0.50	30	0.50	0.87	27.54	6.56	27.54	6.56	0.50	30.05	0.87	1.00	0.23	0.50
	37.38	0.50	26	0.44	0.90	27.54	6.56	27.54	6.56	0.44	26.35	0.90	1.00	0.23	0.50
	42.38	0.50	21	0.36	0.93	27.54	6.56	27.54	6.56	0.36	21.39	0.93	1.00	0.23	0.50
	47.38	0.50	17	0.29	0.96	27.54	6.56	27.54	6.56	0.29	16.96	0.96	1.00	0.23	0.50
	52.38	0.50	15	0.27	0.96	27.54	6.56	27.54	6.56	0.27	15.42	0.96	1.00	0.23	0.50
	57.38	0.50	17	0.29	0.96	27.54	6.56	27.54	6.56	0.29	17.04	0.96	1.00	0.23	0.50
	57.38	0.50	45	0.70	0.71	27.54	6.56	27.54	6.56	0.70	44.63	0.71	1.00	0.23	0.50
	54.88	0.50	38	0.61	0.79	27.54	6.56	27.54	6.56	0.61	37.55	0.79	1.00	0.23	0.50
	52.38	0.50	42	0.67	0.74	27.54	6.56	27.54	6.56	0.67	41.94	0.74	1.00	0.23	0.50
	47.38	0.50	46	0.72	0.69	27.54	6.56	27.54	6.56	0.72	46.40	0.69	1.00	0.23	0.50
	42.38	0.50	47	0.73	0.68	27.54	6.56	27.54	6.56	0.73	46.89	0.68	1.00	0.23	0.50
	37.38	0.50	30	0.50	0.87	27.54	6.56	27.54	6.56	0.50	29.78	0.87	1.00	0.23	0.50
	32.38	0.50	3	0.05	1.00	27.54	6.56	27.54	6.56	0.05	2.65	1.00	1.00	0.23	0.50
	27.38	0.50	2	0.04	1.00	27.54	6.56	27.54	6.56	0.04	2.21	1.00	1.00	0.23	0.50
	22.38	0.50	2	0.04	1.00	27.54	6.56	27.54	6.56	0.04	2.17	1.00	1.00	0.23	0.50
	17.38	0.50	2	0.03	1.00	27.54	6.56	27.52	6.55	0.03	1.64	1.00	1.00	0.23	0.50
	12.38	0.50	1	0.02	1.00	27.52	6.55	27.36	6.51	0.02	1.14	1.00	1.00	0.23	0.49
	7.38	0.49	2	0.03	1.00	27.36	6.51	26.03	6.20	0.03	1.59	1.00	1.00	0.24	0.46
	4.38	0.46	7	0.12	0.99	26.03	6.20	22.96	5.47	0.10	5.99	0.99	1.00	0.27	0.42
	3.38	0.42	30	0.50	0.87	22.96	5.47	21.07	5.02	0.46	27.37	0.89	0.99	0.30	0.38
	2.63	0.38	44	0.69	0.73	21.07	5.02	19.20	4.57	0.63	38.86	0.78	0.96	0.33	0.34

Tabel Perhitungan Transformasi Gelombang Orthogonal G  
Kondisi Surut Terendah (Timestep 49)

T	d	H <sub>0</sub>	a <sub>0</sub>	Sin a <sub>0</sub>	Cos a <sub>0</sub>	L <sub>0</sub>	C <sub>0</sub>	L	C	sin a	a	cos a	Kr	Ks	H'
4.2	34.90	0.50	22	0.37	0.93	27.54	6.56	27.54	6.56	0.37	21.68	0.93	1.00	1.00	0.50
	29.90	0.50	30	0.50	0.87	27.54	6.56	27.54	6.56	0.50	29.71	0.87	1.00	1.00	0.50
	24.90	0.50	44	0.70	0.72	27.54	6.56	27.54	6.56	0.70	44.08	0.72	1.00	1.00	0.50
	19.90	0.50	48	0.74	0.67	27.54	6.56	27.54	6.56	0.74	47.64	0.67	1.00	1.00	0.50
	14.90	0.50	56	0.82	0.57	27.54	6.56	27.48	6.54	0.82	55.39	0.57	1.00	0.99	0.50
	14.90	0.50	45	0.70	0.71	27.48	6.54	27.48	6.54	0.70	44.68	0.71	1.00	0.99	0.49
	19.90	0.49	40	0.64	0.77	27.48	6.54	27.54	6.56	0.64	40.01	0.77	1.00	1.00	0.49
	24.90	0.49	36	0.58	0.81	27.54	6.56	27.54	6.56	0.58	35.76	0.81	1.00	1.00	0.49
	29.90	0.49	30	0.50	0.87	27.54	6.56	27.54	6.56	0.50	30.05	0.87	1.00	1.00	0.49
	34.90	0.49	26	0.44	0.90	27.54	6.56	27.54	6.56	0.44	26.35	0.90	1.00	1.00	0.49
	39.90	0.49	21	0.36	0.93	27.54	6.56	27.54	6.56	0.36	21.39	0.93	1.00	1.00	0.49
	44.90	0.49	17	0.29	0.96	27.54	6.56	27.54	6.56	0.29	16.96	0.96	1.00	1.00	0.49
	49.90	0.49	15	0.27	0.96	27.54	6.56	27.54	6.56	0.27	15.42	0.96	1.00	1.00	0.49
	54.90	0.49	17	0.29	0.96	27.54	6.56	27.54	6.56	0.29	17.04	0.96	1.00	1.00	0.49
	54.90	0.49	45	0.70	0.71	27.54	6.56	27.54	6.56	0.70	44.63	0.71	1.00	1.00	0.49
	52.40	0.49	38	0.61	0.79	27.54	6.56	27.54	6.56	0.61	37.55	0.79	1.00	1.00	0.49
	49.90	0.49	42	0.67	0.74	27.54	6.56	27.54	6.56	0.67	41.94	0.74	1.00	1.00	0.49
	44.90	0.49	46	0.72	0.69	27.54	6.56	27.54	6.56	0.72	46.40	0.69	1.00	1.00	0.49
	39.90	0.49	47	0.73	0.68	27.54	6.56	27.54	6.56	0.73	46.89	0.68	1.00	1.00	0.49
	34.90	0.49	30	0.50	0.87	27.54	6.56	27.54	6.56	0.50	29.78	0.87	1.00	1.00	0.49
	29.90	0.49	3	0.05	1.00	27.54	6.56	27.54	6.56	0.05	2.65	1.00	1.00	1.00	0.49
	24.90	0.49	2	0.04	1.00	27.54	6.56	27.54	6.56	0.04	2.21	1.00	1.00	1.00	0.49
	19.90	0.49	2	0.04	1.00	27.54	6.56	27.54	6.56	0.04	2.17	1.00	1.00	1.00	0.49
	14.90	0.49	2	0.03	1.00	27.54	6.56	27.48	6.54	0.03	1.64	1.00	1.00	0.99	0.49
	9.90	0.49	1	0.02	1.00	27.48	6.54	27.00	6.43	0.02	1.13	1.00	1.00	0.99	0.48
	4.90	0.48	2	0.03	1.00	27.00	6.43	23.71	5.65	0.03	1.47	1.00	1.00	0.94	0.45
	1.90	0.45	7	0.12	0.99	23.71	5.65	16.80	4.00	0.08	4.80	1.00	1.00	0.91	0.41
	0.90	0.41	30	0.50	0.87	16.80	4.00	12.02	2.86	0.36	21.00	0.93	0.96	0.92	0.36
	0.15	0.36	44	0.69	0.73	12.02	2.86	4.99	1.19	0.29	16.61	0.96	0.87	0.93	0.30

Tabel Perhitungan Kondisi Transformasi Gelombang Orthogonal H  
Pasang Tertinggi (Timestep 67)

T	d	H <sub>0</sub>	a <sub>0</sub>	Sin a <sub>0</sub>	Cos a <sub>0</sub>	L <sub>0</sub>	C <sub>0</sub>	L	C	sin a	a	cos a	Kr	Ks	H'
4.2	37.38	0.50	35	0.57	0.82	27.54	6.56	27.54	6.56	0.57	34.76	0.82	1.00	0.23	0.50
	32.38	0.50	44	0.70	0.72	27.54	6.56	27.54	6.56	0.70	44.26	0.72	1.00	0.23	0.50
	27.38	0.50	50	0.77	0.64	27.54	6.56	27.54	6.56	0.77	50.45	0.64	1.00	0.23	0.50
	22.38	0.50	60	0.87	0.50	27.54	6.56	27.54	6.56	0.87	60.00	0.50	1.00	0.23	0.50
	22.38	0.50	46	0.71	0.70	27.54	6.56	27.54	6.56	0.71	45.54	0.70	1.00	0.23	0.50
	27.38	0.50	36	0.58	0.81	27.54	6.56	27.54	6.56	0.58	35.72	0.81	1.00	0.23	0.50
	32.38	0.50	30	0.50	0.86	27.54	6.56	27.54	6.56	0.50	30.27	0.86	1.00	0.23	0.50
	37.38	0.50	30	0.50	0.86	27.54	6.56	27.54	6.56	0.50	30.19	0.86	1.00	0.23	0.50
	42.38	0.50	29	0.49	0.87	27.54	6.56	27.54	6.56	0.49	29.17	0.87	1.00	0.23	0.50
	47.38	0.50	23	0.39	0.92	27.54	6.56	27.54	6.56	0.39	23.01	0.92	1.00	0.23	0.50
	52.38	0.50	15	0.26	0.97	27.54	6.56	27.54	6.56	0.26	15.11	0.97	1.00	0.23	0.50
	57.38	0.50	15	0.25	0.97	27.54	6.56	27.54	6.56	0.25	14.59	0.97	1.00	0.23	0.50
	59.88	0.50	44	0.69	0.72	27.54	6.56	27.54	6.56	0.69	43.58	0.72	1.00	0.23	0.50
	57.38	0.50	51	0.78	0.63	27.54	6.56	27.54	6.56	0.78	51.22	0.63	1.00	0.23	0.50
	54.88	0.50	43	0.69	0.73	27.54	6.56	27.54	6.56	0.69	43.26	0.73	1.00	0.23	0.50
	52.38	0.50	36	0.58	0.81	27.54	6.56	27.54	6.56	0.58	35.50	0.81	1.00	0.23	0.50
	47.38	0.50	22	0.38	0.93	27.54	6.56	27.54	6.56	0.38	22.33	0.93	1.00	0.23	0.50
	42.38	0.50	1	0.02	1.00	27.54	6.56	27.54	6.56	0.02	1.33	1.00	1.00	0.23	0.50
	37.38	0.50	9	0.15	0.99	27.54	6.56	27.54	6.56	0.15	8.91	0.99	1.00	0.23	0.50
	32.38	0.50	30	0.50	0.87	27.54	6.56	27.54	6.56	0.50	29.81	0.87	1.00	0.23	0.50
	27.38	0.50	47	0.73	0.68	27.54	6.56	27.54	6.56	0.73	47.29	0.68	1.00	0.23	0.50
	22.38	0.50	37	0.60	0.80	27.54	6.56	27.54	6.56	0.60	37.13	0.80	1.00	0.23	0.50
	17.38	0.50	13	0.23	0.97	27.54	6.56	27.52	6.55	0.23	13.08	0.97	1.00	0.23	0.50
	12.38	0.50	11	0.19	0.98	27.52	6.55	27.36	6.51	0.19	11.14	0.98	1.00	0.23	0.52
	7.38	0.49	19	0.33	0.94	27.36	6.51	26.03	6.20	0.32	18.44	0.95	1.00	0.24	0.60
	4.38	0.46	22	0.38	0.92	26.03	6.20	22.96	5.47	0.34	19.71	0.94	0.99	0.27	0.72
	2.63	0.43	27	0.46	0.89	22.96	5.47	19.20	4.57	0.38	22.64	0.92	0.98	0.33	0.82



Tabel Perhitungan Transformasi Gelombang Orthogonal H  
Kondisi Surut Terendah (Timestep 49)

T	d	H <sub>0</sub>	a <sub>0</sub>	Sin a <sub>0</sub>	Cos a <sub>0</sub>	L <sub>0</sub>	C <sub>0</sub>	L	C	sin a	a	cos a	Kr	Ks	H'
4.2	34.90	0.50	35	0.57	0.82	27.54	6.56	27.54	6.56	0.57	34.76	0.82	1.00	1.00	0.50
	29.90	0.50	44	0.70	0.72	27.54	6.56	27.54	6.56	0.70	44.26	0.72	1.00	1.00	0.50
	24.90	0.50	50	0.77	0.64	27.54	6.56	27.54	6.56	0.77	50.45	0.64	1.00	1.00	0.50
	19.90	0.50	60	0.87	0.50	27.54	6.56	27.54	6.56	0.87	59.99	0.50	1.00	1.00	0.50
	19.90	0.50	46	0.71	0.70	27.54	6.56	27.54	6.56	0.71	45.54	0.70	1.00	1.00	0.50
	24.90	0.50	36	0.58	0.81	27.54	6.56	27.54	6.56	0.58	35.73	0.81	1.00	1.00	0.50
	29.90	0.50	30	0.50	0.86	27.54	6.56	27.54	6.56	0.50	30.27	0.86	1.00	1.00	0.50
	34.90	0.50	30	0.50	0.86	27.54	6.56	27.54	6.56	0.50	30.19	0.86	1.00	1.00	0.50
	39.90	0.50	29	0.49	0.87	27.54	6.56	27.54	6.56	0.49	29.17	0.87	1.00	1.00	0.50
	44.90	0.50	23	0.39	0.92	27.54	6.56	27.54	6.56	0.39	23.01	0.92	1.00	1.00	0.50
	49.90	0.50	15	0.26	0.97	27.54	6.56	27.54	6.56	0.26	15.11	0.97	1.00	1.00	0.50
	54.90	0.50	15	0.25	0.97	27.54	6.56	27.54	6.56	0.25	14.59	0.97	1.00	1.00	0.50
	57.40	0.50	44	0.69	0.72	27.54	6.56	27.54	6.56	0.69	43.58	0.72	1.00	1.00	0.50
	54.90	0.50	51	0.78	0.63	27.54	6.56	27.54	6.56	0.78	51.22	0.63	1.00	1.00	0.50
	52.40	0.50	43	0.69	0.73	27.54	6.56	27.54	6.56	0.69	43.26	0.73	1.00	1.00	0.50
	49.90	0.50	36	0.58	0.81	27.54	6.56	27.54	6.56	0.58	35.50	0.81	1.00	1.00	0.50
	44.90	0.50	22	0.38	0.93	27.54	6.56	27.54	6.56	0.38	22.33	0.93	1.00	1.00	0.50
	39.90	0.50	1	0.02	1.00	27.54	6.56	27.54	6.56	0.02	1.33	1.00	1.00	1.00	0.50
	34.90	0.50	9	0.15	0.99	27.54	6.56	27.54	6.56	0.15	8.91	0.99	1.00	1.00	0.50
	29.90	0.50	30	0.50	0.87	27.54	6.56	27.54	6.56	0.50	29.81	0.87	1.00	1.00	0.50
	24.90	0.50	47	0.73	0.68	27.54	6.56	27.54	6.56	0.73	47.29	0.68	1.00	1.00	0.50
	19.90	0.50	37	0.60	0.80	27.54	6.56	27.54	6.56	0.60	37.12	0.80	1.00	1.00	0.50
	14.90	0.50	13	0.23	0.97	27.54	6.56	27.48	6.54	0.23	13.06	0.97	1.00	0.99	0.49
	9.90	0.49	11	0.19	0.98	27.48	6.54	27.00	6.43	0.19	11.01	0.98	1.00	0.99	0.49
	4.90	0.49	19	0.33	0.94	27.00	6.43	23.71	5.65	0.29	16.98	0.96	0.99	0.94	0.45
	1.90	0.45	22	0.38	0.92	23.71	5.65	16.80	4.00	0.27	15.72	0.96	0.98	0.91	0.41
	0.15	0.41	27	0.46	0.89	16.80	4.00	4.99	1.19	0.14	7.86	0.99	0.95	0.92	0.35

Tabel Perhitungan Kondisi Transformasi Gelombang Orthogonal I  
Pasang Tertinggi (Timestep 67)

T	d	H <sub>0</sub>	a <sub>0</sub>	Sin a <sub>0</sub>	Cos a <sub>0</sub>	L <sub>0</sub>	C <sub>0</sub>	L	C	sin a	a	cos a	Kr	Ks	H'
4.2	44.88	0.50	46	0.72	0.69	27.54	6.56	27.54	6.56	0.72	46.03	0.69	1.00	1.00	0.50
	42.38	0.50	68	0.93	0.37	27.54	6.56	27.54	6.56	0.93	68.42	0.37	1.00	1.00	0.50
	47.38	0.50	32	0.53	0.85	27.54	6.56	27.54	6.56	0.53	31.77	0.85	1.00	1.00	0.50
	52.38	0.50	11	0.20	0.98	27.54	6.56	27.54	6.56	0.20	11.47	0.98	1.00	1.00	0.50
	57.38	0.50	5	0.08	1.00	27.54	6.56	27.54	6.56	0.08	4.55	1.00	1.00	1.00	0.50
	62.38	0.50	6	0.11	0.99	27.54	6.56	27.54	6.56	0.11	6.32	0.99	1.00	1.00	0.50
	67.38	0.50	56	0.83	0.56	27.54	6.56	27.54	6.56	0.83	56.04	0.56	1.00	1.00	0.50
	62.38	0.50	44	0.69	0.72	27.54	6.56	27.54	6.56	0.69	43.95	0.72	1.00	1.00	0.50
	57.38	0.50	17	0.30	0.95	27.54	6.56	27.54	6.56	0.30	17.27	0.95	1.00	1.00	0.50
	52.38	0.50	9	0.15	0.99	27.54	6.56	27.54	6.56	0.15	8.69	0.99	1.00	1.00	0.50
	47.38	0.50	7	0.12	0.99	27.54	6.56	27.54	6.56	0.12	6.68	0.99	1.00	1.00	0.50
	42.38	0.50	8	0.14	0.99	27.54	6.56	27.54	6.56	0.14	8.01	0.99	1.00	1.00	0.50
	37.38	0.50	9	0.16	0.99	27.54	6.56	27.54	6.56	0.16	9.29	0.99	1.00	1.00	0.50
	32.38	0.50	9	0.16	0.99	27.54	6.56	27.54	6.56	0.16	9.11	0.99	1.00	1.00	0.50
	27.38	0.50	11	0.18	0.98	27.54	6.56	27.54	6.56	0.18	10.59	0.98	1.00	1.00	0.50
	22.38	0.50	10	0.00	1.00	27.54	6.56	27.54	6.56	0.00	0.00	1.00	1.00	1.00	0.50
	17.38	0.50	10	0.00	1.00	27.54	6.56	27.52	6.55	0.00	0.00	1.00	1.00	1.00	0.50
	12.38	0.50	10	0.00	1.00	27.52	6.55	27.36	6.51	0.00	0.00	1.00	1.00	0.98	0.49
	7.38	0.49	10	0.00	1.00	27.36	6.51	26.03	6.20	0.00	0.00	1.00	1.00	0.94	0.46
	4.38	0.46	10	0.00	1.00	26.03	6.20	22.96	5.47	0.00	0.00	1.00	1.00	0.89	0.41

Tabel Perhitungan Transformasi Gelombang Orthogonal I  
Kondisi Surut Terendah (Timestep 49)

T	d	H <sub>0</sub>	a <sub>0</sub>	Sin a <sub>0</sub>	Cos a <sub>0</sub>	L <sub>0</sub>	C <sub>0</sub>	L	C	sin a	a	cos a	Kr	Ks	H'
4.2	42.40	0.50	46	0.72	0.69	27.54	6.56	27.54	6.56	0.72	46.03	0.69	1.00	1.00	0.50
	39.90	0.50	68	0.93	0.37	27.54	6.56	27.54	6.56	0.93	68.42	0.37	1.00	1.00	0.50
	44.90	0.50	32	0.53	0.85	27.54	6.56	27.54	6.56	0.53	31.77	0.85	1.00	1.00	0.50
	49.90	0.50	11	0.20	0.98	27.54	6.56	27.54	6.56	0.20	11.47	0.98	1.00	1.00	0.50
	54.90	0.50	5	0.08	1.00	27.54	6.56	27.54	6.56	0.08	4.55	1.00	1.00	1.00	0.50
	59.90	0.50	6	0.11	0.99	27.54	6.56	27.54	6.56	0.11	6.32	0.99	1.00	1.00	0.50
	64.90	0.50	56	0.83	0.56	27.54	6.56	27.54	6.56	0.83	56.04	0.56	1.00	1.00	0.50
	59.90	0.50	44	0.69	0.72	27.54	6.56	27.54	6.56	0.69	43.95	0.72	1.00	1.00	0.50
	54.90	0.50	17	0.30	0.95	27.54	6.56	27.54	6.56	0.30	17.27	0.95	1.00	1.00	0.50
	49.90	0.50	9	0.15	0.99	27.54	6.56	27.54	6.56	0.15	8.69	0.99	1.00	1.00	0.50
	44.90	0.50	7	0.12	0.99	27.54	6.56	27.54	6.56	0.12	6.68	0.99	1.00	1.00	0.50
	39.90	0.50	8	0.14	0.99	27.54	6.56	27.54	6.56	0.14	8.01	0.99	1.00	1.00	0.50
	34.90	0.50	9	0.16	0.99	27.54	6.56	27.54	6.56	0.16	9.29	0.99	1.00	1.00	0.50
	29.90	0.50	9	0.16	0.99	27.54	6.56	27.54	6.56	0.16	9.11	0.99	1.00	1.00	0.50
	24.90	0.50	11	0.18	0.98	27.54	6.56	27.54	6.56	0.18	10.59	0.98	1.00	1.00	0.50
	19.90	0.50	10	0.17	0.98	27.54	6.56	27.54	6.56	0.17	10.00	0.98	1.00	1.00	0.50
	14.90	0.50	10	0.17	0.98	27.54	6.56	27.48	6.54	0.17	9.98	0.98	1.00	0.99	0.50
	9.90	0.50	10	0.17	0.98	27.48	6.54	27.00	6.43	0.17	9.82	0.99	1.00	0.967	0.48
	4.90	0.48	10	0.17	0.98	27.00	6.43	23.71	5.65	0.15	8.77	0.99	1.00	0.914	0.44
	1.90	0.44	10	0.17	0.98	23.71	5.65	16.80	4.00	0.12	7.07	0.99	1.00	0.96	0.42

Perhitungan Kala Ulang Validasi Gelombang Orthogonal A Kondisi Pasang (Timestep 67)

Point	Jarak	Kedalaman	H		MAPE
			Model	Analisis	
Point1	0	32.38	0.50	0.50	0.01
Point2	90	17.38	0.49	0.50	0.01
Point3	160	7.38	0.48	0.45	0.06
Point4	750	7.38	0.40	0.39	0.04
Point5	840	12.38	0.40	0.37	0.07
Point6	900	42.38	0.39	0.37	0.06
Point7	1120	49.88	0.37	0.37	0.01
Point8	1300	42.38	0.35	0.37	0.04
Point9	1600	27.38	0.32	0.37	0.14
Point10	1650	22.38	0.32	0.37	0.15
Point11	1680	17.38	0.32	0.37	0.16
Point12	1730	12.38	0.31	0.36	0.16
Point13	1760	7.38	0.31	0.34	0.10
Point14	1800	4.38	0.30	0.31	0.02
Point15	1830	3.38	0.29	0.28	0.05
Point16	1870	2.63	0.29	0.25	0.13
<b>Rata-rata</b>					<b>7.5%</b>

Perhitungan Kala Ulang Validasi Gelombang Orthogonal A Kondisi Surut (Timestep 49)

Point	Jarak	Kedalaman	H		MAPE
			Model	Analisis	
Point1	0	29.90	0.51	0.50	0.01
Point2	90	14.90	0.50	0.50	0.00
Point3	160	4.90	0.48	0.41	0.13
Point4	750	4.90	0.26	0.15	0.41
Point5	840	9.90	0.25	0.14	0.45
Point6	900	39.90	0.18	0.14	0.26
Point7	1120	47.40	0.19	0.14	0.29
Point8	1300	39.90	0.13	0.14	0.02
Point9	1600	24.90	0.13	0.14	0.05
Point10	1650	19.90	0.13	0.14	0.06
Point11	1680	14.90	0.13	0.14	0.05
Point12	1730	9.90	0.11	0.13	0.13
Point13	1760	4.90	0.11	0.12	0.02
Point14	1800	1.90	0.12	0.11	0.12
Point15	1830	0.90	0.12	0.11	0.09
<b>Rata-rata</b>					<b>14.0%</b>

Perhitungan Kala Ulang Validasi Gelombang Orthogonal B Kondisi Pasang (Timestep 67)

Point	Jarak	Kedalaman	H		MAPE
			Model	Analisis	
Point1	0	32	0.51	0.50	0.01
Point2	110	17	0.49	0.50	0.01
Point3	210	7	0.48	0.44	0.07
Point4	730	7	0.42	0.37	0.12
Point5	820	12	0.42	0.36	0.13
Point6	885	42	0.42	0.36	0.13
Point7	1160	50	0.40	0.36	0.09
Point8	1400	42	0.38	0.36	0.05
Point9	1670	27	0.35	0.36	0.03
Point10	1740	22	0.35	0.36	0.05
Point11	1800	17	0.34	0.36	0.06
Point12	1830	12	0.33	0.35	0.06
Point13	1860	7	0.33	0.33	0.01
Point14	1900	4	0.32	0.30	0.06
Point15	1925	3	0.31	0.27	0.14
Point16	1950	3	0.31	0.24	0.20
<b>Rata-rata</b>					<b>7.6%</b>

Perhitungan Kala Ulang Validasi Gelombang Orthogonal B Kondisi Surut (Timestep 49)

Point	Jarak	Kedalaman	H		MAPE
			Model	Analisis	
Point1	0	30	0.51	0.50	0.01
Point2	110	15	0.49	0.50	0.01
Point3	210	5	0.45	0.36	0.19
Point4	730	5	0.26	0.21	0.21
Point5	820	10	0.25	0.21	0.18
Point6	885	40	0.24	0.21	0.16
Point7	1160	47	0.21	0.21	0.02
Point8	1400	40	0.19	0.21	0.08
Point9	1670	25	0.17	0.21	0.22
Point10	1740	20	0.17	0.21	0.22
Point11	1800	15	0.16	0.20	0.27
Point12	1830	10	0.16	0.19	0.24
Point13	1860	5	0.15	0.17	0.13
Point14	1900	1.9	0.15	0.15	0.03
Point15	1925	0.9	0.13	0.13	0.05
<b>Rata-rata</b>					<b>15.9%</b>

Perhitungan Kala Ulang Validasi Gelombang Orthogonal C Kondisi Pasang (Timestep 67)

Point	Jarak	Kedalaman	H		MAPE
			Model	Analisis	
Point1	0	32	0.51	0.50	0.01
Point2	130	17	0.49	0.50	0.01
Point3	260	7	0.48	0.45	0.05
Point4	780	12	0.46	0.44	0.06
Point5	1180	42	0.46	0.44	0.06
Point6	1240	50	0.45	0.43	0.04
Point7	1500	42	0.44	0.43	0.02
Point8	1800	27	0.44	0.43	0.01
Point9	1850	22	0.44	0.43	0.01
Point10	1900	17	0.43	0.43	0.00
Point11	1930	12	0.43	0.43	0.01
Point12	1950	7.4	0.42	0.42	0.01
Point13	2000	4.4	0.40	0.41	0.01
Point14	2030	3.4	0.40	0.37	0.08
Point15	2040	2.6	0.40	0.34	0.15
<b>Rata-rata</b>					<b>3.6%</b>

Perhitungan Kala Ulang Validasi Gelombang Orthogonal C Kondisi Surut (Timestep 49)

Point	Jarak	Kedalaman	H		MAPE
			Model	Analisis	
Point1	0	30	0.51	0.50	0.01
Point2	130	15	0.49	0.50	0.02
Point3	260	5	0.47	0.42	0.09
Point4	780	10	0.45	0.38	0.15
Point5	1180	40	0.43	0.38	0.11
Point6	1240	47	0.43	0.37	0.13
Point7	1500	40	0.40	0.37	0.06
Point8	1800	25	0.38	0.37	0.02
Point9	1850	20	0.35	0.37	0.08
Point10	1900	15	0.33	0.37	0.13
Point11	1930	10	0.34	0.37	0.10
Point12	1950	5	0.32	0.35	0.11
Point13	2000	2	0.32	0.33	0.02
Point14	2030	0.90	0.31	0.30	0.04
Point15	2040	0.15	0.25	0.27	0.06
<b>Rata-rata</b>					<b>7.7%</b>

Perhitungan Kala Ulang Validasi Gelombang Orthogonal D Kondisi Pasang (Timestep 67)

Point	Jarak	Kedalaman	H		MAPE
			Model	Analisis	
Point1	0	32	0.51	0.50	0.01
Point2	160	17	0.50	0.50	0.00
Point3	230	12	0.49	0.49	0.01
Point4	350	7	0.47	0.45	0.05
Point5	750	12	0.48	0.44	0.07
Point6	810	42	0.48	0.44	0.07
Point7	1300	50	0.47	0.44	0.05
Point8	1585	42	0.45	0.44	0.02
Point9	1885	27	0.45	0.44	0.02
Point10	1937	22	0.46	0.44	0.03
Point11	1973	17	0.45	0.44	0.02
Point12	1998	12	0.44	0.43	0.01
Point13	2023	7	0.42	0.40	0.05
Point14	2057	4	0.40	0.36	0.11
Point15	2086	3	0.36	0.32	0.12
<b>Rata-rata</b>					<b>4.2%</b>

Perhitungan Kala Ulang Validasi Gelombang Orthogonal D Kondisi Surut (Timestep 49)

Point	Jarak	Kedalaman	H		MAPE
			Model	Analisis	
Point1	0	30	0.50	0.50	0%
Point2	160	15	0.49	0.50	0%
Point3	230	10	0.48	0.47	2%
Point4	350	5	0.46	0.41	9%
Point5	750	10	0.43	0.41	5%
Point6	810	40	0.43	0.40	7%
Point7	1300	47	0.42	0.40	4%
Point8	1585	40	0.38	0.40	5%
Point9	1885	25	0.38	0.40	4%
Point10	1937	20	0.39	0.40	3%
Point11	1973	15	0.38	0.40	5%
Point12	1998	10	0.36	0.38	6%
Point13	2023	5	0.36	0.34	6%
Point14	2057	2	0.35	0.30	13%
Point15	2086	1	0.32	0.29	10%
<b>Rata-rata</b>					<b>5.9%</b>

Perhitungan Kala Ulang Validasi Gelombang Orthogonal E Kondisi Pasang (Timestep 67)

Point	Jarak	Kedalaman	H		MAPE
			Model	Analisis	
Point1	0	32	0.51	0.50	0.01
Point2	214	17	0.50	0.50	0.01
Point3	321	12	0.49	0.49	0.00
Point4	713	12	0.50	0.48	0.03
Point5	774	42	0.49	0.48	0.03
Point6	1317	52	0.48	0.48	0.01
Point7	1687	42	0.48	0.48	0.00
Point8	1934	27	0.48	0.48	0.00
Point9	1992	22	0.47	0.48	0.01
Point10	2029	17	0.47	0.48	0.01
Point11	2053	12	0.46	0.47	0.01
Point12	2075	7	0.46	0.43	0.05
Point13	2100	4	0.44	0.39	0.12
Point14	2117	3	0.44	0.35	0.20
Point15	2127	2.6	0.43	0.33	0.23
<b>Rata-rata</b>					<b>5.0%</b>

Perhitungan Kala Ulang Validasi Gelombang Orthogonal E Kondisi Surut (Timestep 49)

Point	Jarak	Kedalaman	H		MAPE
			Model	Analisis	
Point1	0	30	0.51	0.50	0.02
Point2	214	15	0.50	0.50	0.01
Point3	321	10	0.48	0.48	0.01
Point4	713	10	0.48	0.45	0.06
Point5	774	40	0.47	0.45	0.06
Point6	1317	50	0.46	0.45	0.02
Point7	1687	40	0.44	0.45	0.01
Point8	1934	25	0.44	0.45	0.02
Point9	1992	20	0.43	0.45	0.03
Point10	2029	15	0.43	0.44	0.03
Point11	2053	10	0.42	0.43	0.03
Point12	2075	5	0.41	0.40	0.04
Point13	2100	2	0.40	0.34	0.14
Point14	2117	1	0.38	0.31	0.19
Point15	2127	0.15	0.27	0.28	0.03
<b>Rata-rata</b>					<b>4.6%</b>

Perhitungan Kala Ulang Validasi Gelombang Orthogonal F Kondisi Pasang (Timestep 67)

Point	Jarak	Kedalaman	H		MAPE
			Model	Analisis	
Point1	0	32	0.51	0.50	0.01
Point2	258	17	0.50	0.50	0.01
Point3	374	12	0.49	0.49	0.01
Point4	628	12	0.50	0.48	0.05
Point5	705	42	0.50	0.48	0.05
Point6	1264	55	0.49	0.48	0.04
Point7	1742	42	0.49	0.48	0.03
Point8	1982	27	0.49	0.48	0.02
Point9	2016	22	0.49	0.48	0.02
Point10	2037	17	0.48	0.47	0.02
Point11	2056	12	0.47	0.47	0.01
Point12	2079	7	0.46	0.44	0.05
Point13	2111	4	0.45	0.40	0.11
Point14	2120	3	0.44	0.37	0.17
Point15	2126	2.6	0.44	0.34	0.22
<b>Rata-rata</b>					<b>5.4%</b>

Perhitungan Kala Ulang Validasi Gelombang Orthogonal F Kondisi Surut (Timestep 49)

Point	Jarak	Kedalaman	H		MAPE
			Model	Analisis	
Point1	0	30	0.51	0.50	0.02
Point2	258	15	0.50	0.50	0.01
Point3	374	10	0.48	0.47	0.03
Point4	628	10	0.49	0.45	0.08
Point5	705	40	0.50	0.45	0.08
Point6	1264	52	0.48	0.45	0.06
Point7	1742	40	0.47	0.45	0.04
Point8	1982	25	0.47	0.45	0.03
Point9	2016	20	0.47	0.45	0.03
Point10	2037	15	0.46	0.45	0.03
Point11	2056	10	0.44	0.44	0.00
Point12	2079	5	0.43	0.41	0.04
Point13	2111	2	0.43	0.38	0.12
Point14	2120	1	0.43	0.35	0.19
Point15	2126	0.15	0.42	0.32	0.23
<b>Rata-rata</b>					<b>6.7%</b>

Perhitungan Kala Ulang Validasi Gelombang Orthogonal G Kondisi Pasang (Timestep 67)

Point	Kedalaman	H		MAPE
		Model	Analisis	
Point1	32	0.51	0.50	0.01
Point2	17	0.50	0.50	0.01
Point3	42	0.50	0.50	0.02
Point4	57	0.50	0.50	0.01
Point5	42	0.50	0.50	0.00
Point6	27	0.50	0.50	0.00
Point7	22	0.50	0.50	0.00
Point8	17	0.50	0.50	0.00
Point9	12	0.49	0.49	0.00
Point10	7	0.48	0.46	0.04
Point11	4	0.46	0.42	0.10
Point12	3	0.45	0.38	0.17
<b>Rata-rata</b>				<b>3.1%</b>

Perhitungan Kala Ulang Validasi Gelombang Orthogonal G Kondisi Surut (Timestep 49)

Point	Kedalaman	H		MAPE
		Model	Analisis	
Point1	30	0.51	0.50	0.02
Point2	15	0.50	0.50	0.01
Point3	40	0.50	0.49	0.02
Point4	55	0.50	0.49	0.02
Point5	40	0.49	0.49	0.00
Point6	25	0.49	0.49	0.00



Point	Kedalaman	H		MAPE
		Model	Analisis	
Point7	20	0.49	0.49	0.00
Point8	15	0.49	0.49	0.00
Point9	10	0.47	0.48	0.02
Point10	5	0.46	0.45	0.02
Point11	2	0.44	0.41	0.07
Point12	1	0.40	0.36	0.09
<b>Rata-rata</b>				<b>2.3%</b>

Perhitungan Kala Ulang Validasi Gelombang Orthogonal H Kondisi Pasang (Timestep 67)

Point	Kedalaman	H		MAPE
		Model	Analisis	
Point1	32	0.51	0.50	0.01
Point2	17	0.50	0.50	0.01
Point3	42	0.50	0.50	0.02
Point4	57	0.50	0.50	0.01
Point5	42	0.50	0.50	0.00
Point6	27	0.50	0.50	0.00
Point7	22	0.50	0.50	0.00
Point8	17	0.50	0.50	0.00
Point9	12	0.49	0.49	0.00
Point10	7	0.48	0.46	0.04
Point11	4	0.46	0.42	0.10
<b>Rata-rata</b>				<b>3.1%</b>

Perhitungan Kala Ulang Validasi Gelombang Orthogonal H Kondisi Surut (Timestep 49)

Point	Kedalaman	H		MAPE
		Model	Analisis	
Point1	30	0.507	0.50	0.01
Point2	40	0.507	0.50	0.02
Point3	57	0.504	0.50	0.01
Point4	40	0.499	0.50	0.00
Point5	25	0.497	0.50	0.00
Point6	20	0.494	0.50	0.01
Point7	15	0.489	0.49	0.01
Point8	10	0.476	0.49	0.02
Point9	5	0.475	0.45	0.04
Point10	2	0.470	0.41	0.14
Point11	0.15	0.454	0.35	0.22
<b>Rata-rata</b>				<b>4.4%</b>

Perhitungan Kala Ulang Validasi Gelombang Orthogonal I Kondisi Pasang (Timestep 67)

Point	Kedalaman	H		MAPE
		Model	Analisis	
Point1	42	0.51	0.50	0.02
Point2	67	0.51	0.50	0.01
Point3	42	0.50	0.50	0.00
Point4	32	0.50	0.50	0.00
Point5	27	0.48	0.50	0.03
Point6	22	0.48	0.50	0.03
Point7	17	0.48	0.50	0.03
Point8	12	0.48	0.49	0.02
Point9	7	0.47	0.46	0.02
Point10	4	0.46	0.41	0.12
<b>Rata-rata</b>				<b>2.9%</b>

Perhitungan Kala Ulang Validasi Gelombang Orthogonal I Kondisi Surut (Timestep 49)

Point	Kedalaman	H		MAPE
		Model	Analisis	
Point1	40	0.50	0.50	0.00
Point2	65	0.50	0.50	0.00
Point3	40	0.50	0.50	0.00
Point4	30	0.50	0.50	0.00
Point5	25	0.48	0.50	0.04
Point6	20	0.48	0.50	0.03
Point7	15	0.48	0.50	0.03
Point8	10	0.48	0.48	0.01
Point9	5	0.47	0.44	0.07
Point10	2	0.47	0.42	0.11
<b>Rata-rata</b>				<b>2.9%</b>

Perhitungan Kala Ulang Gelombang Arah Barat

BARAT														
m	H <sub>sm</sub>	P	y <sub>m</sub>	H <sub>sm</sub> x y <sub>m</sub>	ym <sup>2</sup>	A	B	Ĥ <sub>sm</sub>	H <sub>sm</sub> - Ĥ <sub>sm</sub>	a1	a2	κ	c	ε
1	1.70	0.97	3.57	6.07	12.73	0.14	1.26	1.74	-0.04	0.64	9	0.93	0	1.33
2	1.54	0.92	2.52	3.87	6.34			1.60	-0.06					
3	1.54	0.87	1.99	3.07	3.98			1.53	0.01					
4	1.48	0.82	1.64	2.41	2.68			1.48	-0.01					
5	1.47	0.77	1.36	2.00	1.85			1.44	0.03					
6	1.42	0.72	1.13	1.61	1.27			1.41	0.01					
7	1.39	0.67	0.93	1.29	0.86			1.39	0.00					
8	1.378	0.62	0.75	1.04	0.57			1.36	0.02					
9	1.35	0.57	0.59	0.80	0.35			1.34	0.01					
10	1.35	0.52	0.44	0.59	0.19			1.32	0.03					
11	1.34	0.48	0.30	0.39	0.09			1.30	0.04					
12	1.329	0.43	0.16	0.21	0.02			1.28	0.05					
13	1.32	0.38	0.02	0.03	0.00			1.26	0.06					
14	1.32	0.33	-0.11	-0.15	0.01			1.25	0.07					
15	1.24	0.28	-0.25	-0.31	0.06			1.23	0.01					
16	1.21	0.23	-0.40	-0.48	0.16			1.21	0.00					
17	1.18	0.18	-0.55	-0.65	0.30			1.19	-0.01					
18	1.11	0.13	-0.72	-0.80	0.52			1.16	-0.05					
19	1.105	0.08	-0.94	-1.04	0.88			1.13	-0.03					
20	0.97	0.03	-1.28	-1.23	1.63			1.09	-0.12					
Jumlah	26.73	10.00	11.14	18.72	34.49	26.73	0.00							

Arah	BARAT						
Kala Ulang	yr	H <sub>sr</sub>	a	σ <sub>nr</sub>	σ <sub>Hs</sub>	σ <sub>r</sub>	H
2	0.37	1.31	0.769	0.235	0.1712	0.04	1.31
5	1.50	1.46	0.769	0.369	0.1712	0.06	1.46
10	2.25	1.57	0.769	0.495	0.1712	0.08	1.57
25	3.20	1.69	0.769	0.666	0.1712	0.11	1.69
50	3.90	1.79	0.769	0.797	0.1712	0.14	1.79
100	4.60	1.88	0.769	0.929	0.1712	0.16	1.88

Perhitungan Kala Ulang Gelombang Arah Barat Daya

BARAT DAYA														
m	H <sub>m</sub>	P	y <sub>m</sub>	H <sub>m</sub> x y <sub>m</sub>	ym <sup>2</sup>	A	B	Ĥ <sub>sm</sub>	H <sub>sm</sub> - Ĥ <sub>sm</sub>	a1	a2	κ	c	ε
1	0.43	0.9722	3.567	1.52687	12.73	0.051517	0.260555	0.44434	-0.02	0.64	9	0.93	0	1.33
2	0.42	0.9225	2.517	1.044533	6.34			0.390221	0.02					
3	0.40	0.8728	1.994	0.789796	3.98			0.363302	0.03					
4	0.38	0.8231	1.636	0.613564	2.68			0.344845	0.03					
5	0.32	0.7734	1.359	0.43884	1.85			0.330548	-0.01					
6	0.30	0.7237	1.129	0.342012	1.27			0.318705	-0.02					
7	0.30	0.6740	0.930	0.281762	0.86			0.308461	-0.01					
8	0.28	0.6243	0.752	0.213704	0.57			0.29932	-0.02					
9	0.28	0.5746	0.590	0.165283	0.35			0.290965	-0.01					
10	0.278	0.5249	0.439	0.122059	0.19			0.283174	-0.01					
11	0.26	0.4751	0.296	0.078024	0.09			0.27578	-0.01					
12	0.252	0.4254	0.157	0.039591	0.02			0.268648	-0.02					
13	0.25	0.3757	0.021	0.005239	0.00			0.261656	-0.02					
14	0.24	0.3260	-0.114	-0.02735	0.01			0.254683	-0.01					
15	0.24	0.2763	-0.252	-0.06039	0.06			0.247591	-0.01					
16	0.236	0.2266	-0.395	-0.09322	0.16			0.240205	0.00					
17	0.235	0.1769	-0.549	-0.12907	0.30			0.232259	0.00					
18	0.23	0.1272	-0.724	-0.16858	0.52			0.22328	0.01					
19	0.23	0.0775	-0.939	-0.215	0.88			0.212188	0.02					
20	0.23	0.0278	-1.276	-0.28833	1.63			0.194829	0.03					
Jumlah	5.79	10.00	11.14	4.68	34.49			5.79	0.0000					

Arah	BARAT DAYA						
Kala Ulang	y <sub>r</sub>	H <sub>sr</sub>	a	σ <sub>nr</sub>	σ <sub>Hs</sub>	σ <sub>r</sub>	H
2	0.37	0.28	0.769	0.235	0.0653	0.02	0.28
5	1.50	0.34	0.769	0.369	0.0653	0.02	0.34
10	2.25	0.38	0.769	0.495	0.0653	0.03	0.38
25	3.20	0.43	0.769	0.666	0.0653	0.04	0.43
50	3.90	0.46	0.769	0.797	0.0653	0.05	0.46
100	4.60	0.50	0.769	0.929	0.0653	0.06	0.50

Perhitungan Kala Ulang Gelombang Arah Selatan

SELATAN														
m	H <sub>sm</sub>	P	y <sub>m</sub>	H <sub>sm</sub> x y <sub>m</sub>	ym <sup>2</sup>	A	B	Ĥ <sub>sm</sub>	H <sub>sm</sub> - Ĥ <sub>sm</sub>	a1	a2	κ	c	ε
1	0.43	0.9722	3.567	1.548274	12.73	0.046121	0.21876	0.44434	-0.01	0.64	9	0.93	0	1.33
2	0.36	0.9225	2.517	0.916169	6.34			0.390221	-0.03					
3	0.30	0.8728	1.994	0.602319	3.98			0.363302	-0.06					
4	0.26	0.8231	1.636	0.422132	2.68			0.344845	-0.09					
5	0.26	0.7734	1.359	0.34917	1.85			0.330548	-0.07					
6	0.25	0.7237	1.129	0.276545	1.27			0.318705	-0.07					
7	0.24	0.6740	0.930	0.225038	0.86			0.308461	-0.07					
8	0.24	0.6243	0.752	0.17909	0.57			0.29932	-0.06					
9	0.24	0.5746	0.590	0.1399	0.35			0.290965	-0.05					
10	0.23	0.5249	0.439	0.101862	0.19			0.283174	-0.05					
11	0.23	0.4751	0.296	0.067089	0.09			0.27578	-0.05					
12	0.22	0.4254	0.157	0.035034	0.02			0.268648	-0.05					
13	0.22	0.3757	0.021	0.004619	0.00			0.261656	-0.05					
14	0.21	0.3260	-0.114	-0.02416	0.01			0.254683	-0.04					
15	0.21	0.2763	-0.252	-0.05309	0.06			0.247591	-0.04					
16	0.21	0.2266	-0.395	-0.08177	0.16			0.240205	-0.03					
17	0.20	0.1769	-0.549	-0.1093	0.30			0.232259	-0.03					
18	0.20	0.1272	-0.724	-0.14326	0.52			0.22328	-0.03					
19	0.20	0.0775	-0.939	-0.18307	0.88			0.212188	-0.02					
20	0.19	0.0278	-1.276	-0.24495	1.63			0.194829	0.00					
Jumlah	4.89	10.00	11.14	4.03	34.49			5.79	-0.8960					

Arah	SELATAN						
Kala Ulang	yr	H <sub>sr</sub>	a	σ <sub>nr</sub>	σ <sub>Hs</sub>	σ <sub>r</sub>	H
2	0.37	0.24	0.769	0.235	0.0601	0.01	0.24
5	1.50	0.29	0.769	0.369	0.0601	0.02	0.29
10	2.25	0.32	0.769	0.495	0.0601	0.03	0.32
25	3.20	0.37	0.769	0.666	0.0601	0.04	0.37
50	3.90	0.40	0.769	0.797	0.0601	0.05	0.40
100	4.60	0.43	0.769	0.929	0.0601	0.06	0.43

Perhitungan Kala Ulang Periode Gelombang menggunakan fungsi kelandaian gelombang

(Hs Max)			(Ts Max)			Nilai $a = H/gT^2$			$T = (H/ag)^{0.5}$		
Barat	Barat Daya	Selatan	Barat	Barat Daya	Selatan	Barat	Barat Daya	Selatan	Barat	Barat Daya	Selatan
1.35	0.28	0.20	5.83	11.76	11.79	0.0041	0.0002	0.0001	7.01	3.21	2.66
1.70	0.42	0.21	5.90	6.16	9.42	0.0050	0.0011	0.0002	7.86	3.88	2.77
1.54	0.38	0.36	5.67	10.07	3.92	0.0049	0.0004	0.0024	7.47	3.69	3.63
1.48	0.25	0.23	5.71	6.22	2.44	0.0046	0.0006	0.0040	7.32	2.98	2.90
1.34	0.24	0.19	5.48	6.23	6.13	0.0045	0.0006	0.0005	6.96	2.95	2.64
1.18	0.30	0.20	5.29	6.24	8.60	0.0043	0.0008	0.0003	6.54	3.32	2.69
0.97	0.26	0.26	5.56	6.20	2.41	0.0032	0.0007	0.0045	5.92	3.10	3.06
1.11	0.28	0.25	5.52	3.45	2.52	0.0037	0.0024	0.0039	6.34	3.18	2.98
1.42	0.28	0.26	5.65	2.86	2.61	0.0045	0.0035	0.0039	7.18	3.19	3.05
1.32	0.40	0.23	5.33	8.89	2.72	0.0047	0.0005	0.0031	6.92	3.79	2.87
1.54	0.23	0.21	6.02	9.32	2.43	0.0043	0.0003	0.0037	7.47	2.86	2.77
1.35	0.24	0.22	5.59	2.67	2.66	0.0044	0.0034	0.0031	6.99	2.92	2.80
1.39	0.43	0.21	5.50	4.40	2.43	0.0047	0.0023	0.0036	7.10	3.94	2.74
1.24	0.24	0.20	5.77	2.41	2.29	0.0038	0.0042	0.0038	6.70	2.93	2.68
1.21	0.30	0.30	5.44	3.46	6.21	0.0042	0.0026	0.0008	6.62	3.32	3.31
1.11	0.23	0.24	5.70	2.58	2.54	0.0035	0.0035	0.0038	6.33	2.88	2.94
1.38	0.32	0.43	5.77	6.03	3.76	0.0042	0.0009	0.0031	7.07	3.42	3.97
1.32	0.24	0.24	5.60	6.17	2.64	0.0043	0.0006	0.0035	6.92	2.95	2.93
1.33	0.25	0.24	5.24	6.17	6.21	0.0049	0.0007	0.0006	6.95	3.02	2.96
1.47	0.23	0.22	5.72	2.58	2.46	0.0046	0.0036	0.0038	7.30	2.91	2.85
						Rata-rata			0.003		

Perhitungan Transformasi Gelombang Pecah dan Gelombang Rencana Arah Barat

T	d	H <sub>0</sub>	a <sub>0</sub>	Sin a <sub>0</sub>	Cos a <sub>0</sub>	L <sub>0</sub>	C <sub>0</sub>	L	C	sin a	a	cos a	Kr	Ks	H'	H' <sub>0</sub>	H'/gT <sup>2</sup>	m (slope)	H <sub>b</sub> /H' <sub>0</sub>	H <sub>b</sub>	a	b	db/hb	H <sub>b</sub>	HD
8.1	40.00	1.79	34	0.56	0.83	102.44	12.65	101.03	12.47	0.55	33.47	0.83	1.00	0.97	1.74	1.78	0.003	0.1	1.5	2.68	37.21	1.37	<b>2.21</b>	<b>107.1</b>	107.1
8.1	30.00	1.78	34	0.56	0.83	102.44	12.65	98.13	12.12	0.54	32.39	0.84	0.99	0.95	1.67	1.77	0.003	0.1	1.5	2.65	37.21	1.37	<b>2.19</b>	<b>65.6</b>	65.6
8.1	20.00	1.77	34	0.56	0.83	102.44	12.65	90.45	11.17	0.49	29.59	0.87	0.98	0.92	1.58	1.73	0.003	0.1	1.5	2.59	37.21	1.37	<b>2.13</b>	<b>42.6</b>	42.6
8.1	19.00	1.73	34	0.56	0.83	102.44	12.65	89.24	11.02	0.49	29.15	0.87	0.97	0.92	1.54	1.68	0.003	0.1	1.5	2.52	37.21	1.37	<b>2.07</b>	<b>39.3</b>	39.3
8.1	18.00	1.68	34	0.56	0.83	102.44	12.65	87.91	10.85	0.48	28.68	0.88	0.97	0.91	1.49	1.64	0.003	0.1	1.65	2.70	37.21	1.37	<b>2.23</b>	<b>40.1</b>	40.1
8.1	17.50	1.64	34	0.56	0.83	102.44	12.65	87.21	10.77	0.48	28.43	0.88	0.97	0.91	1.45	1.59	0.002	0.1	1.65	2.62	37.21	1.37	<b>2.16</b>	<b>37.8</b>	37.8
8.1	15.00	1.59	34	0.56	0.83	102.44	12.65	83.18	10.27	0.45	27.01	0.89	0.96	0.91	1.40	1.53	0.002	0.1	1.65	2.53	37.21	1.37	<b>2.07</b>	<b>31.1</b>	31.1
8.1	10.00	1.53	34	0.56	0.83	102.44	12.65	71.99	8.89	0.39	23.14	0.92	0.95	0.93	1.36	1.45	0.002	0.1	1.65	2.40	37.21	1.37	<b>1.96</b>	<b>19.6</b>	19.6
8.1	5.00	1.45	34	0.56	0.83	102.44	12.65	53.82	6.64	0.29	17.08	0.96	0.93	1.03	1.39	1.35	0.002	0.1	1.65	2.23	37.21	1.37	<b>1.81</b>	<b>9.0</b>	9.0
8.1	3.00	1.35	34	0.56	0.83	102.44	12.65	42.59	5.26	0.23	13.44	0.97	0.92	1.13	1.41	1.25	0.002	0.1	1.65	2.06	37.21	1.37	<b>1.66</b>	<b>5.0</b>	5.0
8.1	2.60	1.25	34	0.56	0.83	102.44	12.65	39.82	4.92	0.22	12.55	0.98	0.92	1.16	1.34	1.15	0.002	0.1	1.65	1.90	37.21	1.37	<b>1.51</b>	<b>3.9</b>	3.9
8.1	2.30	1.15	34	0.56	0.83	102.44	12.65	37.57	4.64	0.21	11.83	0.98	0.92	1.20	1.27	1.06	0.002	0.1	1.65	1.75	37.21	1.37	<b>1.38</b>	<b>3.2</b>	3.2
8.1	1.90	1.06	34	0.56	0.83	102.44	12.65	34.29	4.23	0.19	10.79	0.98	0.92	1.25	1.21	0.97	0.002	0.1	1.65	1.61	37.21	1.37	<b>1.26</b>	<b>2.4</b>	2.4
8.1	1.50	0.97	34	0.56	0.83	102.44	12.65	30.59	3.78	0.17	9.61	0.99	0.92	1.31	1.17	0.89	0.001	0.1	2	1.79	37.21	1.37	<b>1.42</b>	<b>2.1</b>	2.1
8.1	1.00	0.89	34	0.56	0.83	102.44	12.65	25.11	3.10	0.14	7.88	0.99	0.91	1.44	1.18	0.82	0.001	0.1	2	1.63	37.21	1.37	<b>1.29</b>	<b>1.3</b>	1.3
8.1	0.50	0.82	34	0.56	0.83	102.44	12.65	17.85	2.20	0.10	5.59	1.00	0.91	1.70	1.27	0.75	0.001	0.1	2	1.49	37.21	1.37	<b>1.17</b>	<b>0.6</b>	1.3
8.1	0.25	0.75	34	0.56	0.83	102.44	12.65	12.65	1.56	0.07	3.96	1.00	0.91	2.02	1.37	0.68	0.001	0.1	2	1.36	37.21	1.37	<b>1.06</b>	<b>0.3</b>	1.4
8.1	0.10	0.68	34	0.56	0.83	102.44	12.65	8.01	0.99	0.04	2.51	1.00	0.91	2.53	1.57	0.62	0.001	0.1	2	1.24	37.21	1.37	<b>0.96</b>	<b>0.1</b>	1.6
8.1	0.05	0.62	34	0.56	0.83	102.44	12.65	5.67	0.70	0.03	1.77	1.00	0.91	3.01	1.70	0.56	0.001	0.1	2	1.13	37.21	1.37	<b>0.87</b>	<b>0.0</b>	1.7

Perhitungan Transformasi Gelombang Pecah dan Gelombang Rencana Arah Barat Daya

T	d	H <sub>0</sub>	a <sub>0</sub>	Sin a <sub>0</sub>	Cos a <sub>0</sub>	L <sub>0</sub>	C <sub>0</sub>	L	C	sin a	a	cos a	Kr	Ks	H'	H' <sub>0</sub>	H'/gT <sup>2</sup>	m (slope)	H <sub>b</sub> /H' <sub>0</sub>	H <sub>b</sub>	a	b	db/hb	H <sub>b</sub>	HD
5.9	40.00	0.46	13	0.22	0.97	54.35	9.21	54.34	9.21	0.22	13.00	0.97	1.00	1.00	0.46	0.46	0.001	0.1	1.5	0.69	37.21	1.37	<b>0.53</b>	<b>21.4</b>	21.4
5.9	30.00	0.46	13	0.22	0.97	54.35	9.21	54.25	9.19	0.22	12.97	0.97	1.00	0.99	0.46	0.46	0.001	0.1	1.5	0.69	37.21	1.37	<b>0.53</b>	<b>16.0</b>	16.0
5.9	20.00	0.46	13	0.22	0.97	54.35	9.21	53.38	9.05	0.22	12.76	0.98	1.00	0.97	0.45	0.46	0.001	0.1	1.5	0.69	37.21	1.37	<b>0.53</b>	<b>10.7</b>	10.7
5.9	19.00	0.46	13	0.22	0.97	54.35	9.21	53.15	9.01	0.22	12.71	0.98	1.00	0.96	0.44	0.46	0.001	0.1	1.5	0.69	37.21	1.37	<b>0.53</b>	<b>10.1</b>	10.1
5.9	18.00	0.46	13	0.22	0.97	54.35	9.21	52.86	8.96	0.22	12.64	0.98	1.00	0.96	0.44	0.46	0.001	0.1	1.5	0.69	37.21	1.37	<b>0.53</b>	<b>9.6</b>	9.6
5.9	17.50	0.46	13	0.22	0.97	54.35	9.21	52.70	8.93	0.22	12.60	0.98	1.00	0.96	0.44	0.46	0.001	0.1	1.5	0.69	37.21	1.37	<b>0.53</b>	<b>9.3</b>	9.3
5.9	15.00	0.46	13	0.22	0.97	54.35	9.21	51.60	8.75	0.21	12.33	0.98	1.00	0.94	0.43	0.46	0.001	0.1	1.5	0.69	37.21	1.37	<b>0.53</b>	<b>8.0</b>	8.0
5.9	10.00	0.46	13	0.22	0.97	54.35	9.21	47.24	8.01	0.20	11.28	0.98	1.00	0.92	0.42	0.46	0.001	0.1	1.5	0.69	37.21	1.37	<b>0.53</b>	<b>5.3</b>	5.3
5.9	5.00	0.46	13	0.22	0.97	54.35	9.21	37.32	6.33	0.15	8.89	0.99	0.99	0.94	0.43	0.45	0.001	0.1	1.5	0.68	37.21	1.37	<b>0.53</b>	<b>2.6</b>	2.6
5.9	3.00	0.45	13	0.22	0.97	54.35	9.21	30.15	5.11	0.12	7.17	0.99	0.99	1.01	0.45	0.45	0.001	0.1	1.5	0.67	37.21	1.37	<b>0.52</b>	<b>1.6</b>	1.6
5.9	2.60	0.45	13	0.22	0.97	54.35	9.21	28.30	4.80	0.12	6.73	0.99	0.99	1.03	0.46	0.45	0.001	0.1	1.65	0.73	37.21	1.37	<b>0.57</b>	<b>1.5</b>	1.5
5.9	2.30	0.45	13	0.22	0.97	54.35	9.21	26.78	4.54	0.11	6.36	0.99	0.99	1.05	0.46	0.44	0.001	0.1	1.65	0.73	37.21	1.37	<b>0.57</b>	<b>1.3</b>	1.3
5.9	1.90	0.44	13	0.22	0.97	54.35	9.21	24.54	4.16	0.10	5.83	0.99	0.99	1.09	0.48	0.44	0.001	0.1	1.65	0.72	37.21	1.37	<b>0.56</b>	<b>1.1</b>	1.1
5.9	1.50	0.44	13	0.22	0.97	54.35	9.21	21.98	3.72	0.09	5.22	1.00	0.99	1.14	0.49	0.43	0.001	0.1	1.65	0.71	37.21	1.37	<b>0.55</b>	<b>0.8</b>	0.8
5.9	1.00	0.43	13	0.22	0.97	54.35	9.21	18.12	3.07	0.08	4.30	1.00	0.99	1.25	0.53	0.43	0.001	0.1	1.65	0.70	37.21	1.37	<b>0.55</b>	<b>0.5</b>	0.5
5.9	0.50	0.43	13	0.22	0.97	54.35	9.21	12.94	2.19	0.05	3.07	1.00	0.99	1.46	0.62	0.42	0.001	0.1	1.65	0.70	37.21	1.37	<b>0.54</b>	<b>0.3</b>	0.6
5.9	0.25	0.42	13	0.22	0.97	54.35	9.21	9.20	1.56	0.04	2.18	1.00	0.99	1.73	0.72	0.42	0.001	0.1	1.65	0.69	37.21	1.37	<b>0.53</b>	<b>0.1</b>	0.7
5.9	0.10	0.42	13	0.22	0.97	54.35	9.21	5.83	0.99	0.02	1.38	1.00	0.99	2.16	0.89	0.41	0.001	0.1	1.65	0.68	37.21	1.37	<b>0.52</b>	<b>0.1</b>	0.9



Perhitungan Transformasi Gelombang Pecah dan Gelombang Rencana Arah Barat Selatan

T	d	H <sub>0</sub>	a <sub>0</sub>	Sin a <sub>0</sub>	Cos a <sub>0</sub>	L <sub>0</sub>	C <sub>0</sub>	L	C	sin a	a	cos a	Kr	Ks	H'	H' <sub>0</sub>	H'/gT <sup>2</sup>	m (slope)	H <sub>b</sub> /H' <sub>0</sub>	H <sub>b</sub>	a	b	db/hb	H <sub>b</sub>	HD
3.8	40.00	0.40	58	0.85	0.53	22.55	5.93	22.55	5.93	0.85	58.00	0.53	1.00	1.00	0.40	0.40	0.003	0.1	1.5	0.60	37.21	1.37	<b>0.50</b>	<b>24.0</b>	24.0
3.8	30.00	0.40	58	0.85	0.53	22.55	5.93	22.55	5.93	0.85	58.00	0.53	1.00	1.00	0.40	0.40	0.003	0.1	1.5	0.60	37.21	1.37	<b>0.50</b>	<b>14.9</b>	14.9
3.8	20.00	0.40	58	0.85	0.53	22.55	5.93	22.54	5.93	0.85	58.00	0.53	1.00	1.00	0.40	0.40	0.003	0.1	1.5	0.60	37.21	1.37	<b>0.50</b>	<b>9.9</b>	9.9
3.8	19.00	0.40	58	0.85	0.53	22.55	5.93	22.54	5.93	0.85	58.00	0.53	1.00	1.00	0.40	0.40	0.003	0.1	1.5	0.60	37.21	1.37	<b>0.50</b>	<b>9.4</b>	9.4
3.8	18.00	0.40	58	0.85	0.53	22.55	5.93	22.54	5.93	0.85	57.99	0.53	1.00	1.00	0.40	0.40	0.003	0.1	1.5	0.60	37.21	1.37	<b>0.50</b>	<b>8.9</b>	8.9
3.8	17.50	0.40	58	0.85	0.53	22.55	5.93	22.54	5.93	0.85	57.99	0.53	1.00	1.00	0.40	0.40	0.003	0.1	1.5	0.60	37.21	1.37	<b>0.50</b>	<b>8.7</b>	8.7
3.8	15.00	0.40	58	0.85	0.53	22.55	5.93	22.53	5.93	0.85	57.96	0.53	1.00	1.00	0.40	0.40	0.003	0.1	1.5	0.60	37.21	1.37	<b>0.50</b>	<b>7.4</b>	7.4
3.8	10.00	0.40	58	0.85	0.53	22.55	5.93	22.38	5.89	0.84	57.34	0.54	0.99	0.98	0.39	0.40	0.003	0.1	1.5	0.59	37.21	1.37	<b>0.49</b>	<b>4.9</b>	4.9
3.8	5.00	0.40	58	0.85	0.53	22.55	5.93	20.53	5.40	0.77	50.55	0.64	0.91	0.92	0.33	0.36	0.003	0.1	1.5	0.54	37.21	1.37	<b>0.44</b>	<b>2.2</b>	2.2
3.8	3.00	0.36	58	0.85	0.53	22.55	5.93	17.74	4.67	0.67	41.85	0.74	0.84	0.92	0.28	0.31	0.002	0.1	1.5	0.46	37.21	1.37	<b>0.37</b>	<b>1.1</b>	1.1
3.8	2.60	0.31	58	0.85	0.53	22.55	5.93	16.87	4.44	0.63	39.38	0.77	0.83	0.92	0.23	0.25	0.002	0.1	1.65	0.42	37.21	1.37	<b>0.33</b>	<b>0.9</b>	0.9
3.8	2.30	0.25	58	0.85	0.53	22.55	5.93	16.11	4.24	0.61	37.31	0.80	0.82	0.93	0.19	0.21	0.001	0.1	1.65	0.34	37.21	1.37	<b>0.27</b>	<b>0.6</b>	0.6
3.8	1.90	0.21	58	0.85	0.53	22.55	5.93	14.95	3.93	0.56	34.22	0.83	0.80	0.95	0.16	0.17	0.001	0.1	1.65	0.27	37.21	1.37	<b>0.21</b>	<b>0.4</b>	0.4
3.8	1.50	0.17	58	0.85	0.53	22.55	5.93	13.56	3.57	0.51	30.66	0.86	0.78	0.98	0.13	0.13	0.001	0.1	1.65	0.21	37.21	1.37	<b>0.16</b>	<b>0.2</b>	0.2
3.8	1.00	0.13	58	0.85	0.53	22.55	5.93	11.35	2.99	0.43	25.27	0.90	0.77	1.04	0.10	0.10	0.001	0.1	1.65	0.16	37.21	1.37	<b>0.12</b>	<b>0.1</b>	0.1
3.8	0.50	0.10	58	0.85	0.53	22.55	5.93	8.22	2.16	0.31	18.01	0.95	0.75	1.20	0.09	0.07	0.001	0.1	1.65	0.12	37.21	1.37	<b>0.09</b>	<b>0.05</b>	0.1
3.8	0.25	0.07	58	0.85	0.53	22.55	5.93	5.88	1.55	0.22	12.78	0.98	0.74	1.40	0.08	0.05	0.000	0.1	1.65	0.09	37.21	1.37	<b>0.07</b>	<b>0.02</b>	0.1
3.8	0.10	0.05	58	0.85	0.53	22.55	5.93	3.75	0.99	0.14	8.10	0.99	0.73	1.74	0.07	0.04	0.000	0.1	1.65	0.07	37.21	1.37	<b>0.05</b>	<b>0.005</b>	0.1

Perhitungan Dimensi Breakwater menggunakan kubus dan batu

<b>Kubus</b>																	
T	Elevasi (DWL)	d	Kemiringan Pantai (m)	Lo	L	Ho	Hb	HD	tan $\alpha$	$\xi$	Ru/H (Batu)	Ru	$\rho_s$	$\rho_w$	$\Delta$	db	Kondisi Gelombang
8.1	0.5	2.3	0.1	87.21	83.18	1.27	3.18	3.18	0.625	0.64	0.351	1.12	2400	1025	1.3	1.18	Tidak Pecah
8.1	0.9	1.9	0.1	90.45	87.21	1.21	2.40	2.40	0.625	0.64	0.349	0.84	2400	1025	1.3	1.18	Tidak Pecah
8.1	1.3	1.5	0.1	95.16	90.45	1.17	2.12	2.12	0.625	0.64	0.352	0.75	2400	1025	1.3	1.18	Tidak Pecah
Penempatan	Jumlah Lapis (n)	Jumlah Butir (n)	KD	k $\Delta$	W (ton)	S (m)	B	t	Stoe (m)	ds	Btoe (ton)	Wtoe (ton)	ttoe (ton)	Ru	Fb	Elevasi Puncak	Berat inti (kg)
Acak	2	3	5	1.15	4.01	1.2	4.09	2.73	0.90		3.8	2.00	2.73	1.74	0.50	4.54	40
Acak	2	3	5	1.15	1.72	0.9	3.09	2.06	0.70		3.6	0.86	2.06	1.37	0.50	3.8	17
Acak	2	3	5	1.15	1.19	0.8	2.73	1.82	0.60		3.5	0.59	1.82	1.27	0.50	3.3	12

<b>Batu</b>																	
T	Elevasi (DWL)	d	Kemiringan Pantai (m)	Lo	L	Ho	Hb	HD	tan $\alpha$	$\xi$	Ru/H (Batu)	Ru	$\rho_s$	$\rho_w$	$\Delta$	db	Kondisi Gelombang
8.1	0.5	2.3	0.1	87.21	83.18	1.27	3.18	3.18	0.625	0.64	0.35	1.12	2650	1025	1.59	1.18	Tidak Pecah
8.1	0.9	1.9	0.1	90.45	87.21	1.21	2.40	2.40	0.625	0.64	0.35	0.84	2650	1025	1.59	1.18	Tidak Pecah
8.1	1.3	1.5	0.1	95.16	90.45	1.17	2.12	2.12	0.625	0.64	0.35	0.75	2650	1025	1.59	1.18	Tidak Pecah
Penempatan	Jumlah Lapis (n)	Jumlah Butir (n)	KD	k $\Delta$	W (ton)	S (m)	B	t	Stoe (m)	ds	Btoe (ton)	Wtoe (ton)	ttoe (ton)	Ru	Fb	Elevasi Puncak	Berat inti (kg)
Acak	2	3	3.2	1.15	4.19	1.4	<b>4.02</b>	2.68	1.10		3.8	2.09	2.68	1.74	0.50	4.54	42
Acak	2	3	3.2	1.15	1.80	1.1	<b>3.03</b>	2.02	0.90		3.6	0.90	2.02	1.37	0.50	3.8	18
Acak	2	3	3.2	1.15	1.24	1.0	<b>2.68</b>	1.79	0.80		3.5	0.62	1.79	1.27	0.50	3.3	12

## BIODATA PENULIS



Ahmad Azwar Mas'ud M, merupakan anak pertama dari tiga bersaudara yang dilahirkan di Ujung Pandang pada tanggal 17 Maret 1997 dari pasangan Mas'ud Muchtar dan Juli Asri Djafar. Pendidikan Sarjana ditempuh di Departemen Teknik Kelautan, Fakultas Teknik - Universitas Hasanuddin (Unhas) dan lulus pada tahun 2020. Kemudian melanjutkan Pendidikan Magister pada tahun 2022 dengan bidang keahlian Teknik Pantai dan Pelabuhan pada Program Pascasarjana Departemen Teknik Kelautan, Fakultas Teknologi Kelautan - Institut Teknologi Sepuluh Nopember (FTK-ITS). sebelumnya penulis aktif di berbagai project dan penelitian kerjasama dengan beberapa instansi baik swasta maupun pemerintahan terkait perencanaan pantai dan kepelabuhanan sembari menjadi asisten dosen di Departemen Teknik Kelautan Unhas. Kemudian selama menjalani pendidikan magister, penulis saat ini juga bekeja di PT PAL Indonesia yang merupakan salah satu BUMN di bidang industri pertahanan khusus matra laut. Hingga pada awal tahun 2024 penulis menyelesaikan studinya dengan mengangkat studi kasus hidrodinamika pantai dan transportasi sedimen.