



TUGAS AKHIR (RC184803)

**PERENCANAAN REKLAMASI SERTA DETAIL
BREAKWATER PADA TERSUS GALANGAN
KAPAL PACIRAN, KABUPATEN LAMONGAN**

FIANY DARA NOVELITA
NRP 03111645000027

Dosen Pembimbing
Ir. Dyah Iriani W, M.Sc.
Cahaya Buana, S.T, M.T.

DEPARTEMEN TEKNIK SIPIL
Fakultas Teknik Sipil, Lingkungan, dan Kebumihan
Institut Teknologi Sepuluh Nopember
Surabaya 2018



TUGAS AKHIR–RC184803

**PERENCANAAN REKLAMASI SERTA DETAIL
BREAKWATER PADA TERSUS GALANGAN
KAPAL PACIRAN, KABUPATEN LAMONGAN**

FIANY DARA NOVELITA
NRP 3111645000027

Dosen Pembimbing I:
Ir. Dyah Iriani Widyastuti, M.Sc.

Dosen Pembimbing II:
Cahya Buana, ST., MT

DEPARTEMEN TEKNIK SIPIL
Fakultas Teknik Sipil, Lingkungan, dan Kebumihan
Institut Teknologi Sepuluh Nopember
Surabaya
2018



FINAL PROJECT–RC184803

**RECLAMATION AND BREAKWATER'S DETAIL
DESIGN FOR PACIRAN SHIPYARD, LAMONGAN
DISTRICT**

FIANY DARA NOVELITA
NRP 3111645000027

Consultancy Lecturer I:
Ir. Dyah Iriani Widyastuti, M.Sc.

Consultancy Lecturer II:
Cahya Buana, ST., MT

DEPARTEMEN OF CIVIL ENGINEERING
Civil, Enviromental, and Geo Engineering Faculty
Institut Teknologi Sepuluh Nopember
Surabaya
2018

**PERENCANAAN REKLAMASI SERTA DETAIL
BREAKWATER PADA TERSUS GALANGAN
KAPAL PACIRAN, KABUPATEN LAMONGAN**

TUGAS AKHIR

Diajukan Untuk Memenuhi Salah Satu Syarat
Memperoleh Gelar Sarjana Teknik
pada
Program Studi S-1 Lintas Jalur Departemen Teknik Sipil
Fakultas Teknik Sipil, Lingkungan, dan Kebumihan
Institut Teknologi Sepuluh Nopember

Oleh :

FIANY DARA NOVELITA
NRP. 311164500027

Disetujui oleh Pembimbing Tugas Akhir :

Ir. Dyah Iriani W. MSc(Pembimbing I)

Cahaya Buana, ST, MT(Pembimbing II)



**SURABAYA
NOVEMBER, 2018**

PERENCANAAN REKLAMASI SERTA DETAIL BREAKWATER PADA TERSUS GALANGAN KAPAL PACIRAN, KABUPATEN LAMONGAN

Nama Mahasiswa : Fiany Dara Novelita
NRP : 311164500027
Departemen : Teknik Sipil FTSLK-ITS
Dosen Pembimbing : 1. Ir. Dyah Iriani W, M.Sc
2. Cahya Buana, S.T., M.T

ABSTRAK

Pertumbuhan kapal di Indonesia tergolong cukup pesat. Pada tahun 2012, menurut data Ikatan Perusahaan Industri Kapal dan Lepas Pantai Indonesia (Iperindo) kebutuhan reparasi dan perawatan kapal di Indonesia mencapai 7,5 – 8 juta gross ton kapal per bulan. Sedangkan jumlah dok dan galangan kapal di Indonesia mencapai sekitar 30 unit saja dengan kapasitas 7 juta GT/tahun. Oleh karenanya dirasa perlu direncanakan galangan kapal baru. Rencana galangan kapal baru berada di Desa Tunggul Kecamatan Paciran, Kabupaten Lamongan. Pantai Utara Jawa di wilayah Propinsi Jawa Timur. Mengacu pada masterplan, dalam tugas akhir ini akan merencanakan reklamasi dan struktur breakwater untuk galangan kapal tersebut.

Dalam perencanaan tersus galangan kapal ini diharapkan mampu melayani kapal dengan berat maksimum 10000 DWT. Reklamasi direncanakan menggunakan material sirtu pilihan yang pelaksanaannya dilakukan dari daratan menuju laut. Timbunan reklamasi dilakukan pada kedalaman maksimal -4 mLWS hingga mencapai elevasi +4 mLWS dengan luasan 20.08 Ha. Untuk breakwater ini direncanakan menggunakan tipe rubble mound

dengan armour layer berupa batu limestone yang datangkan dari darat yang kemudian dituang ke arah laut. Breakwater ini dibangun dari elevasi +4.5 mLWS hingga kedalaman -8 mLWS. Biaya total yang dibutuhkan untuk membangun reklamasi dan breakwater ini adalah sebesar Rp. 578,489,189,000.00.

Kata kunci : Tersus, Galangan Kapal, Reklamasi, Rubble Mound, Paciran

RECLAMATION AND BREAKWATER'S DETAIL DESIGN FOR PACIRAN SHIPYARD, LAMONGAN DISTRICT

Student's Name : Fiany Dara Novelita
Student's Registry Number : 3111645000027
Departement : Teknik Sipil FTSLK-ITS
Consultancy Lecturers : 1. Ir. Dyah Iriani W, M.Sc
2. Cahya Buana,S.T., M.T.

ABSTRACT

The growth of ships in Indonesia is quite rapid. In 2012, according to data from Ikatan Perusahaan Industri Kapal dan Lepas Pantai Indonesia (Iperindo), in Indonesia, number of ship repairs and maintenance necessary reached 7.5 - 8 million gross tons of ships per month. While the number of docks and shipyards in Indonesia reaches around 30 units with a capacity of 7 million GT per year. Therefore planning the new shipyards is needed. The new shipyard plan is in Tunggul Village, Paciran , Lamongan district, North Java coast in East Java Province. Referring to the development masterplan, in this final, project reclamation and breakwater structures for the shipyard.

These designs are expected to be able to serve ships with a maximum weight of 10000 DWT. Material of reclamation designed using sirtu at a maximum depth of -4 mLWS to reach +4 mLWS elevation. For this breakwater, it is planned to use the rubble mound type with the armor layer form of limestone stone which imported from the surrounding land and then poured towards the sea. This breakwater is built from an elevation of +4.5 mLWS to a

depth of -8 mLWS. The total cost needed to build this reclamation and breakwater is Rp. 569,980,714,000.

Keywords: *Tersus, Shipyard, Reclamation, Rubble Mound, Paciran*

KATA PENGANTAR

Puji dan syukur penulis panjatkan atas ke hadirat Allah SWT. Yang senantiasa melimpahkan rahmat dan karunia-Nya, sehingga penulis dapat menyelesaikan tugas akhir yang berjudul Perencanaan Reklamasi Serta Detail Breakwater pada Tersus Galangan Kapal Paciran, Kabupaten Lamongan.

Penulis menyadari bahwa dalam penulisan tugas akhir ini masih terdapat banyak kekurangan. Dalam penyelesaian tugas akhir ini penulis dibantu oleh berbagai pihak. Oleh karena itu, penulis ingin mengucapkan terima kasih sebesar-besarnya kepada :

1. Kedua orang tua penulis yang selalu mendukung dan mendoakan agar tugas akhir ini segera selesai.
2. Ir. Dyah Iriana Widyastuti, MSc dan Cahya Buana, ST., MT. selaku dosen pembimbing, yang selalu memberikan arahan dan bimbingan dalam penyusunan tugas akhir ini.
3. Seluruh dosen pengajar dan staff jurusan Teknik Sipil.
4. Kepada kedua adik penulis yang selalu menghibur saat sedang bosan.
5. Teman - teman penulis, pelabuhan squad yang saling menyemangati, serta pihak-pihak lain yang telah banyak membantu yang tidak bisa disebutkan satu persatu.

Akhir kata penulis berharap agar laporan ini dapat bermanfaat dan dapat memberikan sumbangan ilmu pembaca pada khususnya. Penulis mengharapkan kritik dan saran demi perbaikan dimasa yang akan datang. Atas segala perhatiannya, penulis mengucapkan terima kasih.

Surabaya, November 2018

Penulis

DAFTAR ISI

LEMBAR PENGESAHAN.....	iii
ABSTRAK	iv
ABSTRACT	vi
KATA PENGANTAR.....	viii
DAFTAR ISI.....	ix
DAFTAR GAMBAR.....	xii
DAFTAR TABEL.....	xv
BAB I PENDAHULUAN.....	1
1.1 Latar Belakang.....	1
1.2 Rumusan Masalah	1
1.3 Tujuan Penulisan	2
1.4 Manfaat Penulisan	2
1.5 Lokasi Perencanaan.....	2
1.6 Lingkup Pekerjaan	5
1.7 Batasan Masalah	5
1.8 Diagram Alir	6
BAB II TINJAUAN PUSTAKA.....	9
2.1 Umum.....	9
2.2 Analisa Data	9
2.2.1 Data Bathymetri.....	9
2.2.2 Data Arus	9
2.2.3 Pasang surut.....	10
2.2.4 Angin	13
2.2.3 Gelombang.....	13
2.2.5 Tanah	23
2.3 Evaluasi <i>Layout</i> Perairan	24
2.3.1 Alur Masuk.....	24
2.3.2 Kolam Putar	26
2.4 Perencanaan Reklamasi	27
2.4.1 Material Reklamasi.....	27
2.4.2 <i>Settlement</i>	28
2.4.3 Perencanaan Tinggi Timbunan Awal	31

2.4.4	Waktu Konsolidasi.....	32
2.4.5	Timbunan Bertahap.....	32
2.4.6	Stabilitas Reklamasi.....	33
2.5	Perencanaan <i>Breakwater</i>	35
2.5.1	Refraksi Gelombang	35
2.5.2	Difraksi Gelombang.....	38
2.5.1	Layout Breakwater.....	40
2.5.2	Dimensi Breakwater	41
2.5.3	Stabilitas <i>Breakwater</i>	44
BAB III PENGUMPULAN DAN ANALISA DATA.....		45
3.1	Umum.....	45
3.2	Data Bathymetri.....	45
3.3	Data Arus.....	46
3.4	Data Pasang Surut	46
3.5	Data Angin.....	49
3.6	Peramalan Gelombang	51
3.6.1	Panjang Fetch.....	51
3.6.2	Tinggi Gelombang pada Laut Dalam Berdasarkan Data Kecepatan Angin Maksimum Tahun 2013- 2017	54
3.6.4	Refraksi Gelombang	58
3.6.3	Tinggi Gelombang Berdasarkan Periode Ulang	70
3.7	Data Tanah	75
3.7.1	Data Tanah Dasar.....	75
3.7.2	Data Material Timbunan.....	80
BAB IV EVALUASI LAYOUT PERAIRAN.....		83
4.1	Umum.....	83
4.2	Data Kapal.....	83
4.3	Layout Masterplan.....	83
4.3.1	Area Penjangkaran (<i>Anchorage Area</i>)	85
4.3.2	Alur Masuk (<i>Entrance Channel</i>).....	85
4.3.3	Kolam Putar (<i>Turning Basin</i>)	85
4.4	Kajian Perencanaan Layout Perairan	85
4.4.1	Area Penjangkaran (<i>Anchorage Area</i>).....	85

4.4.2	Alur Masuk (<i>Entrance Channel</i>)	86
4.4.3	Kolam Putar (<i>Turning Basin</i>)	86
4.5	Evaluasi <i>Layout Perairan</i>	87
BAB V PERENCANAAN REKLAMASI		89
5.1	Umum	89
5.2	Data perencanaan Reklamasi.....	89
5.2.1	Material Reklamasi.....	89
5.2.2	Elevasi dan Tinggi Rencana	89
5.3	Perhitungan Besar Pemampatan (<i>Settlement</i>)	91
5.3.1	Penurunan Konsolidasi Primer (<i>Primary Consolidation Settlement</i>).....	91
5.3.2	Penurunan Segera (<i>Immmediate Settlement</i>).....	94
5.3.3	Penurunan Total (S_{tot})	97
5.3.4	Penurunan Akibat Timbunan Bertahap	100
5.4	Penentuan Tinggi Timbunan Awal.....	103
5.5	Perhitungan Waktu Konsolidasi.....	106
5.7	Stabilitas Reklamasi	107
5.7.1	Stabilitas Terhadap <i>Puncture Failure</i>	107
5.7.2	Stabilitas Terhadap Sliding.....	109
BAB VI PERENCANAAN BREAKWATER		113
6.1	Umum	113
6.2	Difraksi <i>Layout Masterplan</i>	113
6.3	Evaluasi <i>Layout Breakwater Masterplan</i>	116
6.4	Perencanaan <i>Layout Breakwater</i>	117
6.5	Perencanaan <i>Cross Section Breakwater</i>	119
6.5.1	Berat Unit Amour	119
6.5.2	Tebal Lapisan	122
6.5.3	Lebar Puncak Breakwater.....	123
6.6	Elevasi Puncak <i>Breakwater</i>.....	124
6.6.1	Transmisi Gelombang	124
6.6.2	<i>Settlement</i>	124
6.6.3	Beda Pasang Surut.....	124
6.6.4	Elevasi Puncak	124
6.7	Stabilitas <i>Breakwater</i>	125
6.7.1	<i>Settlement</i>	125

6.7.2	<i>Puncture Failure</i>	130
6.7.3	<i>Sliding</i>	131
BAB VII METODE PELAKSANAAN DAN RENCANA		
	ANGGARAN BIAYA	135
7.1	Umum	135
7.2.	Pekerjaan Persiapan	135
7.3	Pelaksanaan Reklamasi	135
	7.3.1 Pemasangan Tanggul Reklamasi	135
	7.3.2 Pemasangan <i>Instrument Soil Monitoring</i>	136
	7.3.3 Pekerjaan Timbunan Reklamasi	136
7.4	Metode Pelaksanaan <i>Breakwater</i>	137
	7.4.1 Core layer.....	137
	7.4.2 Toe Berm	137
	7.4.3 Secondary Layer	137
	7.4.4 Primary Layer	138
7.5	Rencana Anggaran Biaya	138
	7.5.1 Harga Material, Upah Pekerja, dan Sewa Alat	138
	7.5.2 Analisa Harga Satuan.....	140
	7.5.3 Rencana Anggaran Biaya.....	142
BAB VIII KESIMPULAN		
8.1	Umum	145
8.2	Perencanaan Reklamasi	145
8.3	Perencanaan <i>Breakwater</i>	146
8.4	Rencana Anggaran Biaya	147

DAFTAR GAMBAR

Gambar 1. 1	Lokasi Studi.....	3
Gambar 1. 2	Lokasi Tersus Galangan Kapal.....	4
Gambar 1. 3	Master plan Galangan Kapal Baru.....	5
Gambar 1. 4	Diagram Alir Pengerjaan Tugas Akhir.....	6
Gambar 2. 1	Tipe Pasang Surut.....	12
Gambar 2. 2	Hubungan kecepatan angin di darat dan di laut.	14
Gambar 2. 3	Contoh peramalan fetch.....	16
Gambar 2. 4	Diagram Tegangan Tanah Akibat Beban <i>Surcharge</i>	31
Gambar 2. 5	Sliding Rotasional pada Timbunan.....	34
Gambar 2. 6	Puncture Failure Pada Timbunan.....	35
Gambar 2. 7	Koefisien Daya Dukung (N_c) vs B/H.....	36
Gambar 2. 8	Refraksi Gelombang Pada Kontur Lurus Dan Sejajar.....	37
Gambar 2. 9	Konvergensi dan Divergensi Energi Gelombang 38	38
Gambar 2. 10	Difraksi Gelombang di Belakang Rintangannya.....	40
Gambar 3. 1	Peta Bathymetri Perairan Paciran.....	47
Gambar 3. 2	Potongan Melintang bathymetri Perairan Paciran	48
Gambar 3. 3	Grafik Pasang Surut.....	49
Gambar 3. 4	Windrose Data Angin Stasiun Pengamatan A. Yani Semarang.....	51
Gambar 3. 5	Fetch Arah Barat Laut.....	52
Gambar 3. 6	Fetch Arah Utara.....	52
Gambar 3. 7	Fetch Arah Timur Laut.....	53
Gambar 3. 8	Peta Geologi Perairan Paciran.....	76
Gambar 3. 9	Keterangan Peta Geologi.....	77
Gambar 3. 10	Grafik Plastisitas Cassagrande.....	79
Gambar 4. 1	Layout Perairan Masterplan Tersus Galangan Kapal.....	84
Gambar 5. 1	Sketsa Timbunan Reklamasi.....	89
Gambar 5. 2	Layout Pengembangan Tersus.....	90

Gambar 5. 3	Sketsa Tebal Lapisan untuk Perhitungan σ_o	91
Gambar 5. 4	Sketsa Setengah Geometri Timbunan.....	93
Gambar 5. 5	Grafik Pemampatan Tanah Akibat Timbunan Bertahap.....	103
Gambar 5. 6	Grafik Hubungan Antara Hinitial dengan Hfinal	105
Gambar 5. 7	Grafik Hubungan $H_{initial}$ dengan <i>Settlement</i>	106
Gambar 5. 8	Grafik Daya Dukung.....	109
Gambar 5. 9	Sliding pada Timbunan Reklamasi	110
Gambar 5. 10	SF Terhadap Sliding	111
Gambar 6. 1	Titik yang Ditinjau untuk Perhitungan Difraksi	114
Gambar 6. 2	Diagram Difraksi dengan $B/L=1.78$	115
Gambar 6. 3	Layout Breakwater Masterplan dan Layout Turning Basin	116
Gambar 6. 4	Layout Breakwater Baru.....	118
Gambar 6. 5	Diagram Difraksi dengan $B/L=1.64$	118
Gambar 6. 6	Titik Layout Breakwater Baru yang Ditinjau Untuk Perhitungan Difraksi	120
Gambar 7. 1	Penimbunan Material <i>Core Layer</i> dengan Menggunakan <i>Dump Truck</i>	137
Gambar 7. 2	Perapian Puncak Secondary Layer.....	138

DAFTAR TABEL

Tabel 2. 1	Penabelan Fetch Efektif	17
Tabel 2. 2	Persamaan Analisa Tinggi Gelombang	18
Tabel 2. 3	Penabelan Tinggi dan Periode Gelombang di Laut Dalam	19
Tabel 2. 4	Tinggi Gelombang Maksimum Tiap Tahun	20
Tabel 2. 5	Perhitungan Periode Ulang Gelombang Menggunakan Metode Weibul	20
Tabel 2. 6	Tinggi Gelombang Berdasarkan Periode Ulang dengan Metode Weibul	22
Tabel 2. 7	Korelasi Nilai SPT	24
Tabel 2. 8	Kebutuhan ukuran alur masuk.....	24
Tabel 2. 9	Kedalaman Perairan	26
Tabel 2. 10	Panjang Alur Masuk.....	26
Tabel 3. 1	Konstanta Harmonik	49
Tabel 3. 2	Distribusi Fekkuensi Data Angin Stasiun A. Yani, Semarang Tahun 2006-2015	50
Tabel 3. 3	Kecepatan Angin Maksimum Tahunan Stasiun A. Yani, Semarang	50
Tabel 3. 4	Perhitungan <i>Fetch</i> Efektif	55
Tabel 3. 5	Analisa Tinggi Gelombang dengan Menggunakan Metode SBM.....	57
Tabel 3. 6	Ho Tahun 2013 - 2017	59
Tabel 3. 7	Perhitungan Refraksi Gelombang Arah Timur Laut Tahun 2013.....	62
Tabel 3. 8	Perhitungan Refraksi Gelombang Arah Timur Laut Tahun 2014.....	62
Tabel 3. 9	Perhitungan Refraksi Gelombang Arah Timur Laut Tahun 2015.....	63
Tabel 3. 10	Perhitungan Refraksi Gelombang Arah Timur Laut Tahun 2016.....	63
Tabel 3. 11	Perhitungan Refraksi Gelombang Arah Timur Laut Tahun 2017.....	64

Tabel 3. 12	Perhitungan Refraksi Gelombang Arah Utara Tahun 2013.....	64
Tabel 3. 13	Perhitungan Refraksi Gelombang Arah Utara Tahun 2014.....	65
Tabel 3. 14	Perhitungan Refraksi Gelombang Arah Utara Tahun 2015.....	65
Tabel 3. 15	Perhitungan Refraksi Gelombang Arah Utara Tahun 2016.....	66
Tabel 3. 16	Perhitungan Refraksi Gelombang Arah Utara Tahun 2017.....	66
Tabel 3. 17	Perhitungan Refraksi Gelombang Arah Barat Laut Tahun 2013.....	67
Tabel 3. 18	Perhitungan Refraksi Gelombang Arah Barat Laut Tahun 2014.....	67
Tabel 3. 19	Perhitungan Refraksi Gelombang Arah Barat Laut Tahun 2015.....	68
Tabel 3. 20	Perhitungan Refraksi Gelombang Arah Barat Laut Tahun 2016.....	68
Tabel 3. 21	Perhitungan Refraksi Gelombang Arah Barat Laut Tahun 2017.....	69
Tabel 3. 22	Tinggi Gelombang Setelah Refraksi pada -8 mLWS	70
Tabel 3. 23	Perhitungan Regresi linear	71
Tabel 3. 24	Koefisien untuk Menghitung Deviasi Standar	73
Tabel 3. 25	Batas interval Keyakinan Prediksi Tinggi Gelombang	73
Tabel 3. 26	Tinggi Gelombang pada kedalaman -8 mLWS Arah Timur Laut dengan Periode Ulang 50 Tahun	74
Tabel 3. 27	Tinggi Gelombang pada kedalaman -8 mLWS Arah Utara dengan Periode Ulang 50 Tahun	75
Tabel 3. 28	Tinggi Gelombang pada kedalaman -8 mLWS Arah Barat Laut dengan Periode Ulang 50 Tahun.....	75

Tabel 3. 29	Hasil <i>Soil Investigation</i> di Desa Tunggul, Kecamatan Paciran.....	76
Tabel 3. 30	Korelasi SPT dan Korelasinya	78
Tabel 3. 31	Parameter γ Dan ϕ Tanah Dasar.....	78
Tabel 3. 32	Parameter Tanah e , C_c , dan C_s	79
Tabel 4. 1	Hasil Evaluasi Layout Perairan	87
Tabel 5. 1	Perhitungan Penurunan Konsolidasi Primer dengan $H_{imb} = 4m$	95
Tabel 5. 2	Perhitungan Penurunan Konsolidasi Primer dengan $H_{imb} = 6m$	95
Tabel 5. 3	Perhitungan Penurunan Konsolidasi Primer dengan $H_{imb} = 8m$	95
Tabel 5. 4	Perhitungan Penurunan Konsolidasi Primer dengan $H_{imb} = 10m$	96
Tabel 5. 5	Perhitungan Penurunan Konsolidasi Primer dengan $H_{imb} = 12m$	96
Tabel 5. 6	Perhitungan Penurunan Segera dengan $H_{imb} = 4m$	98
Tabel 5. 7	Perhitungan Penurunan Segera dengan $H_{imb} = 6m$	98
Tabel 5. 8	Perhitungan Penurunan Segera dengan $H_{imb} = 8m$	98
Tabel 5. 9	Perhitungan Penurunan Segera dengan $H_{imb} = 10m$	99
Tabel 5. 10	Perhitungan Penurunan Segera dengan $H_{imb} =$ $12m$	99
Tabel 5. 11	Total Penurunan yang Terjadi	99
Tabel 5. 12	Perhitungan $H_{initial}$ dan H_{final}	104
Tabel 5. 13	Derajat Konsolidasi Berdasarkan Waktu	108
Tabel 6. 1	Tinggi Gelombang Setelah Difraksi.....	116
Tabel 6. 2	Tinggi Gelombang Setelah Difraksi pada Layout Breakwater Baru.....	119
Tabel 6. 3	Nilai K_d dari Berbagai Jenis Armour Unit.....	121
Tabel 6. 4	Berat Unit Armour pada Setiap Lapisan Breakwater	122
Tabel 6. 5	Nilai n dan $k\Delta$ dari Berbagai Jenis Armour	122

Tabel 6. 6	Tebal Lapisan Armour Layer Breakwater	123
Tabel 6. 7	perhitungan Primary Consolidation Settlement Breakwater.....	129
Tabel 6. 8	Perhitungan Immediate Settlement Breakwater ..	129
Tabel 7. 1	Daftar Harga Material	139
Tabel 7. 2	Daftar Harga Sewa Alat	139
Tabel 7. 3	Daftar Upah Tenaga Kerja	139
Tabel 7. 4	Analisa Harga Satuan	140
Tabel 7. 5	Rencana Anggaran Biaya	142
Tabel 7. 6	Rekapitulasi Anggaran Total	143
Tabel 8. 1	Berat <i>Armour unit</i> Setiap Bagian	146
Tabel 8. 2	Tebal Lapisan Breakwater setiap Bagian	147
Tabel 8. 3	Rekapitulasi Anggaran Total	147

BAB I

PENDAHULUAN

1.1 Latar Belakang

Pertumbuhan kapal di Indonesia tergolong cukup pesat. Menurut Kementerian Perhubungan mencatat jumlah kapal komersial nasional per Februari 2014 mencapai 13.326 unit atau meningkat 120% dari Mei 2005. Pada tahun 2012, menurut data Ikatan Perusahaan Industri Kapal dan Lepas Pantai Indonesia (Iperindo) kebutuhan reparasi dan perawatan kapal di Indonesia mencapai 7,5 – 8 juta gross ton kapal per bulan. Sedangkan jumlah dok dan galangan kapal di Indonesia memiliki kapasitas 7 juta GT/tahun. Oleh karenanya galangan kapal untuk pembuatan kapal baru juga masih dibutuhkan dan ditingkatkan jumlahnya.

Dirasa perlu direncanakan galangan kapal baru. Rencana galangan kapal baru berada di Desa Tunggul Kecamatan Paciran, Kabupaten Lamongan. Pantai Utara Jawa di wilayah Propinsi Jawa Timur. Hal ini disebabkan besarnya volume lalu lintas kapal di laut Jawa dan akan memudahkan bagi kapal untuk merapat dan nantinya melaut kembali. Lahan yang digunakan untuk galangan tersebut adalah lahan reklamasi. Letak galangan kapal tersebut berada pada pantai utara jawa, sehingga dirasa perlu untuk merencanakan breakwater. Hal ini dimaksudkan agar kapal yang memasuki galangan kapal tersebut aman dari gelombang. Mengacu pada masterplan, penulis akan merencanakan reklamasi dan struktur *breakwater* untuk galangan kapal tersebut. Diharapkan mampu memenuhi kebutuhan akan fasilitas perawatan, perbaikan dan dok untuk pembuatan kapal-kapal baru.

1.2 Rumusan Masalah

Adapun rumusan masalah yang akan dikemukakan dalam tugas akhir ini antara lain:

- a. Lahan yang digunakan untuk galangan kapal baru di Paciran menggunakan lahan reklamasi. Sehingga perlu perencanaan reklamasi seluas ± 20 Ha, termasuk talud.

- b. Dibutuhkan perairan yang tenang sepanjang tahun untuk keamanan dan kestabilan kapal yang akan masuk ke dalam galangan. Diperlukan perencanaan *breakwater* untuk melindungi perairan dari pengaruh gelombang dari laut dalam.
- c. Reklamasi akan dilaksanakan hingga kedalaman -4 m LWS, sehingga perlu adanya perencanaan yang efisien dalam metode pelaksanaan serta perlu adanya perhitungan anggaran biaya dalam perencanaannya. Selain itu perlu adanya perencanaan *breakwater* yang efisien dalam metode pelaksanaan serta perlu adanya perhitungan anggaran biaya dalam perencanaannya

1.3 Tujuan Penulisan

Tujuan dari penulisan ini antara lain:

- a. Mampu merencanakan timbunan reklamasi seluas ± 20 Ha.
- b. Mampu merencanakan detail *breakwater* yang mampu melindungi dari pengaruh gelombang dari laut dalam.
- c. Mampu merencanakan metode pelaksanaan untuk reklamasi dan detail *breakwater*, serta merencanakan anggaran biaya.

1.4 Manfaat Penulisan

Adapun manfaat dari penulisan ini sebagai referensi untuk perencanaan reklamasi dan detail *breakwater* di paciran, Lamongan.

1.5 Lokasi Perencanaan

Galangan kapal baru direncanakan berada di pantai utara Jawa desa Tunggul, Kecamatan Paciran, Kabupaten Lamongan. Untuk lebih rincinya, lokasi perencanaan dapat dilihat pada Gambar 1. 1 dan Gambar 1. 2, serta perencanaan galangan kapal dapat dilihat pada Gambar 1. 3.

Lokasi rencana tersus galangan kapal bagian barat berbatasan langsung dengan dermaga ASDP. Untuk bagian selatan dan bagian timur berbatasan dengan pemukiman dan pabrik pemrosesan udang. Adapun koordinat batas lahan tersus galangan kapal dapat dilihat pada Tabel 1. 1.

Tabel 1. 1 Koordinat Batas Lahan Tersus Galangan Kapal

BATAS AREAL PT TRD		
10	6°52'5,71"	112°22'6,82"
11	6°52'4,17"	112°22'1,91"
12	6°52'0,31"	112°22'3,58"
13	6°52'1,68"	112°22'8,73"

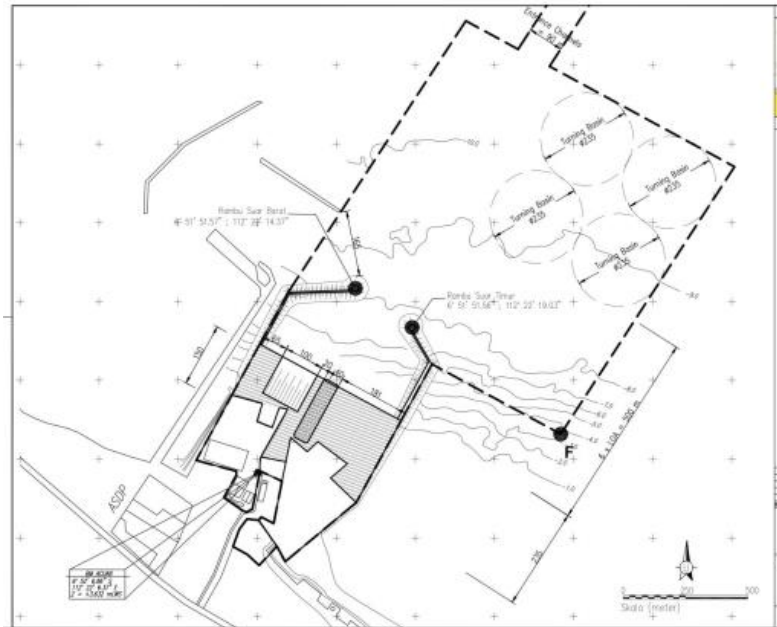


Gambar 1. 1 Lokasi Studi

Sumber: google earth



Gambar 1. 2 Lokasi Tersus Galangan Kapal
Sumber: google earth



Gambar 1. 3 Master plan Galangan Kapal Baru

Sumber: LPPM ITS

1.6 Lingkup Pekerjaan

Lingkup pekerjaan yang nantinya akan dikerjakan dalam tugas akhir ini adalah :

- a. Evaluasi *layout* perairan
- b. Perencanaan reklamasi dan perbaikan tanah bila diperlukan
- c. Perencanaan detail *breakwater*
- d. Metode pelaksanaan reklamasi dan *breakwater*
- e. Analisa anggaran biaya

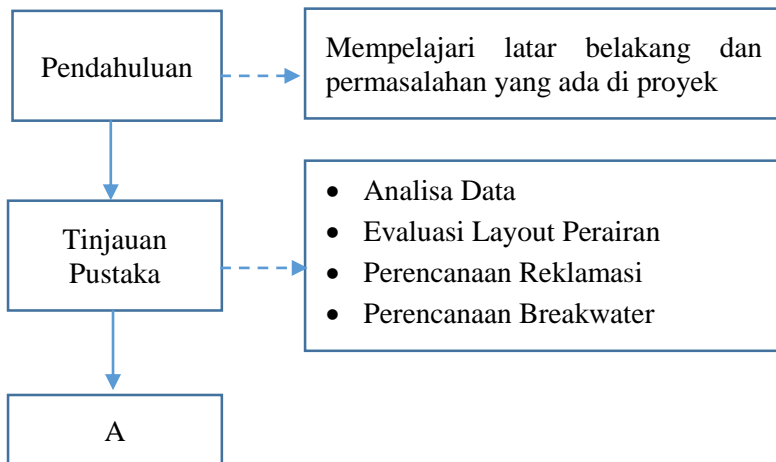
1.7 Batasan Masalah

Batasan-batasan masalah yang nantinya akan digunakan dalam penulisan tugas akhir ini adalah:

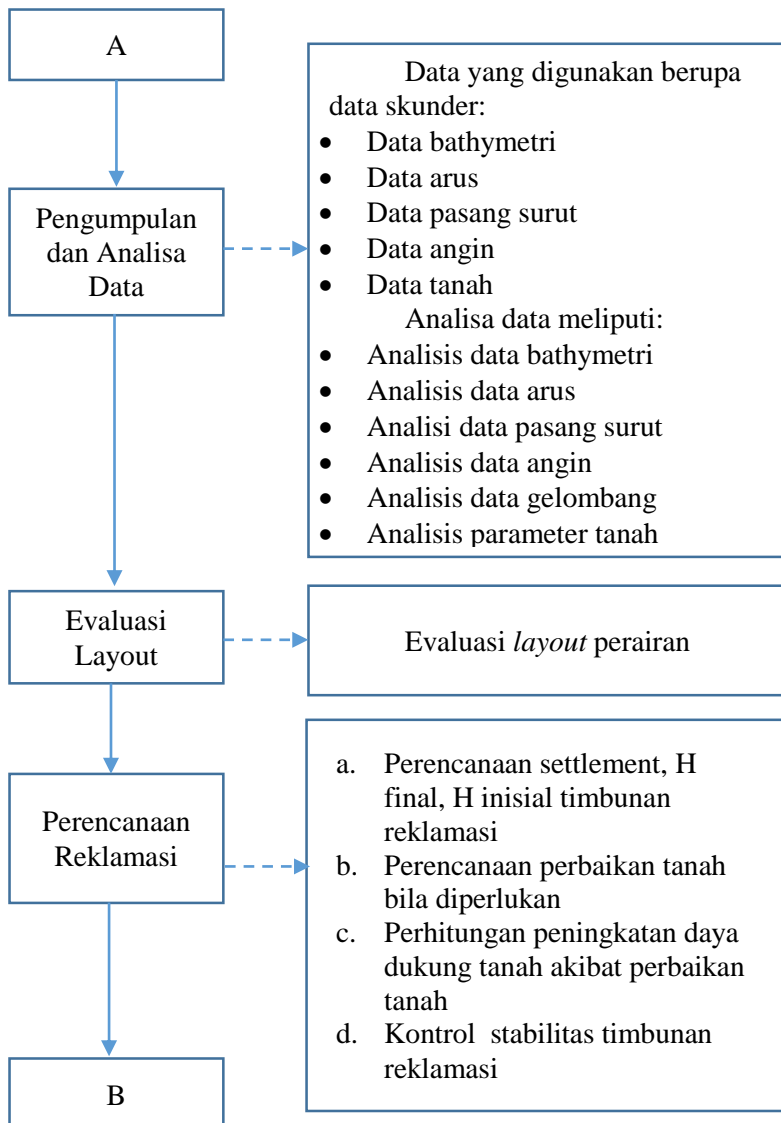
- a. Data yang digunakan adalah data skunder
- b. Lokasi *quarry* sudah ditentukan
- c. Tidak membahas masalah sedimentasi.
- d. Tidak membahas saran bantu navigasi pealayaran (SBNP)
- e. Pembahasan hanya dikhususkan pada perencanaan layout perairan, perncanaan reklamasi, dan perencanaan breakwater.

1.8 Diagram Alir

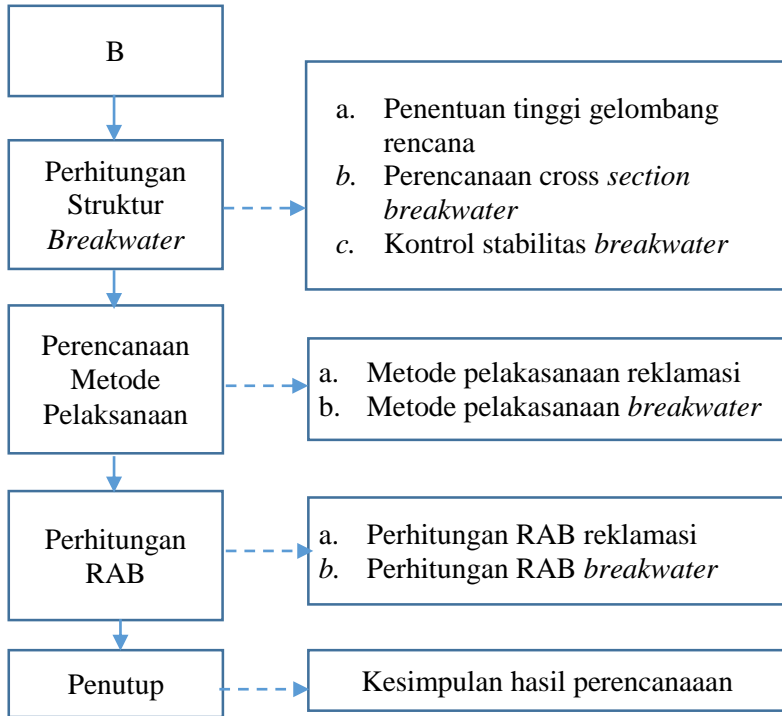
Adapun langkah-langkah yang akan dikerjakan tersaji pada gambar 1.3



Gambar 1. 4 Diagram Alir Pengerjaan Tugas Akhir



Gambar 1. 4 Diagram Alir Pengerjaan Tugas Akhir (lanjutan)



Gambar 1. 4 Diagram Alir Pengerjaan Tugas Akhir (lanjutan)

BAB II

TINJAUAN PUSTAKA

2.1 Umum

Menurut PP 61 Tahun 2009 Bab I Pasal 1 “pelabuhan adalah tempat yang terdiri atas daratan dan/atau perairan dengan batas-batas tertentu sebagai tempat kegiatan pemerintahan dan kegiatan perusahaan yang dipergunakan sebagai tempat kapal bersandar, naik turun penumpang, dan/atau tempat bongkar muat barang, berupa terminal dan tempat berlabuh kapal yang dilengkapi dengan fasilitas keselamatan dan keamanan pelayaran dan kegiatan penunjang pelabuhan serta sebagai tempat perpindahan intra dan antar modal transportasi.

2.2 Analisa Data

2.2.1 Data Bathymetri

Peta Bathymetri berfungsi untuk mengetahui kedalaman kontur dasar laut yang diukur dari posisi 0.00 m LWS . Hasil dari peta bathymetri ini akan digunakan untuk :

- a. Mengetahui kedalaman tanah dasar laut untuk kemudian dapat digunakan untuk merencanakan kedalaman perairan yang aman bagi kapal rencana.
- b. Menentukan posisi yang tepat untuk lokasi dermaga dan fasilitas-fasilitas dermaga.
- c. Mengetahui daerah-daerah yang berbahaya untuk berlabuhnya kapal sehingga dapat diantisipasi dengan pemberian tanda.

2.2.2 Data Arus

Arus dapat terjadi oleh beberapa sebab meliputi adanya perbedaan muka tanah dibawah air, perbedaan level muka air, perbedaan kerapatan/densitas air dan juga perbedaan suhu air. Pada umumnya arus yang terjadi di sepanjang pantai merupakan arus

yang terjadi akibat perbedaan muka air pasang surut satu lokasi dengan lokasi yang lain, sehingga kondisi pasang surut suatu lokasi sangat dipengaruhi oleh kondisi pasang surut lokasi tersebut itu pula. Data arus ini dalam perencanaan pelabuhan digunakan untuk menghindari pengaruh tekanan arus yang arahnya tegak lurus terhadap kapal (*cross current*) sehingga kapal dapat melakukan manuver dengan mudah dan aman. Sedangkan pada pelabuhan yang berada di sungai, data arus digunakan untuk menghitung debit air, intrusi laut, *sediment transport* arah membeloknya delta sungai, dsb.

Salah satu metode untuk mendapatkan kecepatan arus adalah dengan menggunakan alat *currentmeter*. Pengambilan data dilakukan sedikitnya di tiga titik secara bersamaan agar poala arus yang ada dapat terwakili. Setiap pengukuran dilakukan dalam tiga pengamatan, yaitu pada kedalaman 0,2d, 0,6d dan 0,8d dimana d adalah kedalaman perairan pada posisi pengukuran.

Analisis data yang dilakukan untuk mengetahui kecepatan dan arah arus maksimum yang terjadi. Analisis data ini bertujuan untuk mengetahui tekanan arus serta kelayakannya untuk kapal berlabuh. Dalam perencanaan disyaratkan kecepatan maksimum dalam *Thoressen Handbook Standard* halaman 65 yaitu arus maksimum sebesar 3 knot atau 1,5 m/s pada 0° dan 180°.

2.2.3 Pasang surut

Pasang surut laut merupakan suatu fenomena pergerakan naik turunnya permukaan air laut secara berkala yang diakibatkan oleh kombinasi gaya gravitasi dan gaya tarik menarik dari benda-benda astronomi terutama oleh matahari dan bulan terhadap bumi. Besarnya gaya gravitasi berbanding lurus dengan dengan massa benda tetapi berbanding terbalik terhadap jarak kedua benda. Selain faktor astronomi tersebut, faktor *non*-astronomi yang memengaruhi pasang surut terutama di perairan semi tertutup seperti teluk adalah bentuk garis pantai dan topografi dasar perairan.

Puncak gelombang disebut pasang tinggi dan lembah gelombang disebut pasang rendah. Sedangkan rentang pasang surut adalah beda jarak vertikal antara pasang tinggi dan pasang rendah. Ketika posisi matahari, bumi dan bulan berada pada satu garis lurus, terjadi pasang tinggi yang sangat tinggi dan pasang rendah yang sangat rendah. Peristiwa tersebut disebut pasang purnama (*spring tide*) yang terjadi saat bulan purnama dan bulan baru. Namun ketika posisi matahari, bumi dan bulan membentuk sudut siku, akan terjadi pasang tinggi yang rendah dan pasang rendah yang tinggi. Kejadian ini disebut pasang perbani (*neap tide*)

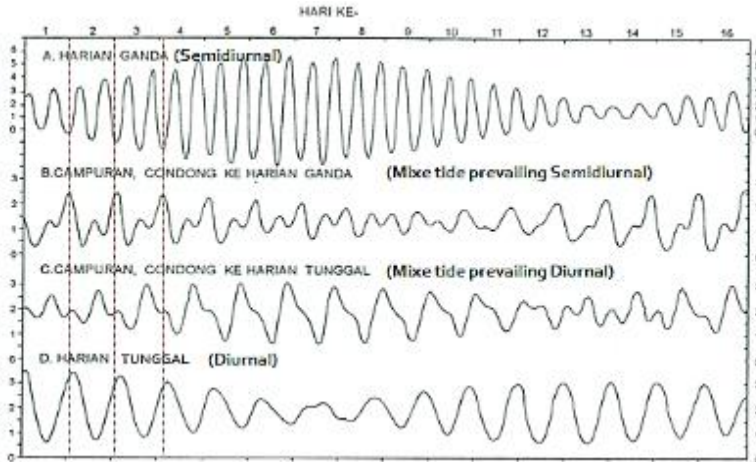
Dalam perencanaan pelabuhan, data pasang surut digunakan untuk mengetahui elevasi tertinggi dan terendah. Umumnya nilai elevasi tertinggi atau elevasi muka air pasang digunakan untuk menentukan tinggi dermaga atau *breakwater*. Sedangkan nilai elevasi terendah atau muka air surut digunakan untuk menentukan alur kedalaman dalam pelayaran. Untuk perencanaan tugas akhir, data pasang surut dapat diperoleh dengan pengukuran langsung maupun dengan melihat dokumen data sekunder dari lembaga yang mengeluarkan data pasang surut tersebut.

Pada suatu daerah dapat terjadi sekali atau dua kali pasang surut dalam satu hari dengan tipe pasang surut yang berbeda di tiap daerah. Bentuk dari pasang surut ini secara umum dapat dibedakan menjadi tiga tipe, yaitu:

- Pasang surut harian tunggal (*diurnal*), bila terjadi satu kali pasang dan satu kali surut dalam sehari sehingga dalam satu periode pasang surut berlangsung sekitar 24 jam 50 menit.
- Pasang surut harian ganda (*semi diurnal*), bila terjadi dua kali pasang dan dua kali surut dalam sehari sehingga dalam satu periode pasang surut berlangsung sekitar 12 jam 24 menit.
- Pasang surut harian campuran (*mixed*), pada tipe ini terdapat dua kecenderungan pasang surut, yaitu pasang

surut yang lebih dominan pada tipe tunggal dan pasang surut yang lebih dominan pada tipe ganda.

Perbedaan dari ketiga tipe pasang surut tersebut dapat dilihat pada Gambar 2. 1.



Gambar 2. 1 Tipe Pasang Surut

Diperlukan juga suatu elevasi yang ditetapkan berdasarkan data pasang surut karena elevasi muka air laut selalu berubah-ubah. Penetapan elevasi ini digunakan untuk pedoman dalam perencanaan suatu pelabuhan. Elevasi penting yang perlu diketahui sebagai hasil analisis data pasang surut yaitu:

- Tipe pasang surut yang dapat dilihat dari periode dan keteraturannya.
- LWS (*Low water Spring*) adalah hasil perhitungan elevasi muka air rata-rata terendah yang dicapai pada saat air surut.
- MSL (*Mean Sea Level*) adalah elevasi rata-rata muka air pada kedudukan pertengahan antara muka air terendah dan tertinggi. Elevasi ini digunakan sebagai referensi untuk elevasi di daratan.

- HWS (*High Water Spring*) adalah elevasi rata-rata muka air tertinggi yang dicapai pada saat air pasang.

2.2.4 Angin

Angin adalah sirkulasi udara yang kurang lebih sejajar dengan permukaan bumi yang bergerak dari daerah bertekanan udara tinggi menuju daerah bertekanan udara rendah. Angin merupakan unsur dominan yang membentuk gelombang. Angin dapat menyebabkan permukaan air laut yang tenang mengalami gangguan sehingga menimbulkan riak gelombang kecil. Komponen data angin mencakup distribusi arah dan kecepatan angin.

Data angin yang digunakan adalah minimal data angin lima tahun untuk dapat mempelajari pola yang terjadi yang disajikan dalam bentuk tabel. Data dapat diperoleh dari stasiun meteorologi terdekat yang berada di bandar udara maupun hasil dari analisa ulang data angin yang sudah ada, bila diperlukan pengukuran langsung digunakan peralatan anemometer. Data yang diperoleh biasanya sudah terklarifikasikan sehingga pengolahan data lebih mudah dan data dibagi berdasarkan distribusi kecepatan dan arah angin serta prosentasenya atau lebih dikenal dengan diagram mawar angin (*wind rose*). Fungsi dari data angin tersebut diantaranya:

- Analisis perhitungan gelombang.
- Informasi distribusi kecepatan dan arah angin yang terjadi di lokasi perencanaan pelabuhan.
- Perencanaan beban horizontal pada kapal.

2.2.3 Gelombang

a. Koreksi kecepatan angin

Pengukuran angin dapat dilakukan di daratan maupun di lautan. Namun dalam persamaan-persamaan pembangkitan gelombang, data angin yang digunakan adalah yang ada di atas permukaan laut. Untuk itu, apabila pengukuran angin dilakukan di da-

ratu, data kecepatan yang didapat harus dikoreksi. Data tersebut dikoreksi dengan menggunakan persamaan:

$$R_L = \frac{U_w}{U_L} \quad (2.1)$$

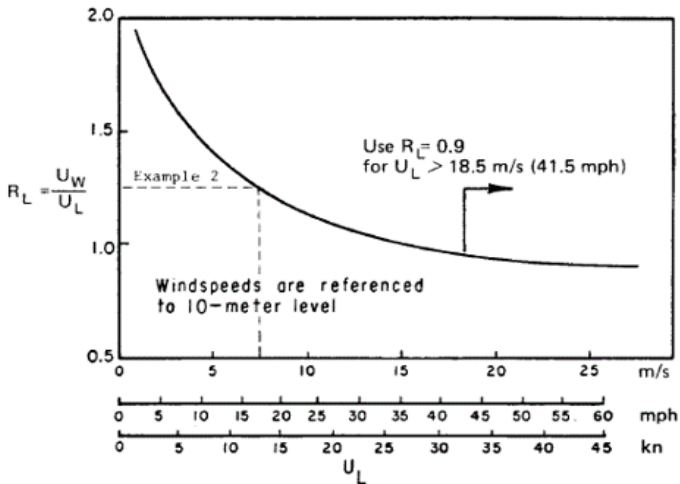
dimana :

R_L = faktor koreksi terhadap kecepatan angin di darat

U_w = kecepatan angin di atas permukaan laut (m/dt)

U_L = kecepatan angin di atas daratan (m/dt)

Grafik hubungan antara kecepatan angin di darat dan di laut dapat dilihat pada Gambar 2. 2.



Gambar 2. 2 Hubungan kecepatan angin di darat dan di laut.

Sumber: *Technical Standards and Commentaries for Port and Harbour Facilities in Japan, 2002*

Sedangkan apabila pengukuran dilakukan di atas laut dengan menggunakan kapal yang sedang bergerak, data kecepatan angin perlu dikoreksi menggunakan persamaan berikut:

$$U = 2,16 \cdot U_s^{7/9} \quad (2.2)$$

dimana:

U = kecepatan angin terkoreksi (m/dt)

U_s = kecepatan angin yang diukur oleh kapal (m/s)

Setelah kecepatan angin dikoreksi, kemudian kecepatan angin dikonversikan terhadap faktor tegangan angin. Hal ini dilakukan karena dalam perumusan dan grafik pembangkit gelombang terdapat variabel U_A yang merupakan faktor tegangan angin. Konversi tersebut dilakukan dengan persamaan berikut:

$$U_A = 0,71 \cdot U^{1,23} \quad (2.3)$$

dimana :

U = kecepatan angin dalam m/dt

U_A = faktor tegangan angin

b. Fetch

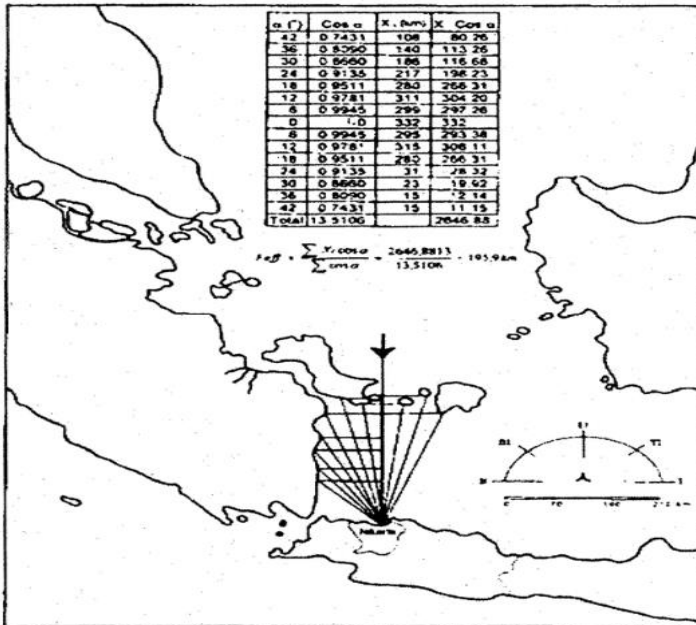
Di dalam peramalan gelombang berdasarkan dari data angin, terdapat beberapa hal yang perlu diperhatikan, yaitu kecepatan angin, arah angin, panjang daerah pembangkit gelombang (*fetch*) dan lama hembusan angin pada *fetch*. Fetch dibatasi oleh bentuk daratan yang mengelilingi laut. Jarak fetch adalah jarak tanpa halangan diatas air dimana gelombang dibangkitkan oleh angin dan memiliki arah dan kecepatan yang konstan. Contoh peramalan *fetch* dapat dilihat pada Gambar 2.2. Sedangkan *fetch* efektif diperoleh dengan persamaan:

$$F_{\text{eff}} = \frac{\sum(X_i \cdot \cos\alpha_i)}{\sum\cos\alpha_i} \quad (2.4)$$

dimana :

- F_{eff} = *fetch* rata-rata efektif
 X_i = panjang segmen *fetch* yang diukur dari titik observasi gelombang ke ujung akhir *fetch*
 α_i = deviasi pada kedua sisi arah angin dengan menggunakan penambahan 6° sampai sudut 42° pada kedua sisi dari arah angin.

Contoh peramalan *fetch* dapat dilihat pada Gambar 2. 3



Gambar 2. 3 Contoh peramalan *fetch*
 Sumber : *Shore Protection Manual, 1984*

Untuk mendapatkan panjang *fetch* efektif dapat dibuatkan penabelan seperti pada Tabel 2. 1. Langkah-langkah pembuatannya sebagai berikut :

Tabel 2. 1 Penabelan Fetch Efektif

α	$\cos \alpha$	X_i			$X_i \cos \alpha$		
		BL	U	TL	BL	U	TL

- Kolom 1, Pada kolom pertama yaitu kolom α , tentukan besarnya sudut yang ditinjau antara jalur fetch dengan arah angin, dengan menggunakan pertambahan 6^0 sampai sudut sebesar 42^0 pada kedua sisi dari arah angin.
- Kolom 2, Pada kolom kedua, dihitung besarnya $\cos \alpha$ baik dari arah kanan dan kiri jalur fetch. Setelah itu jumlahkan semua $\cos \alpha$.

$$\sum \cos \alpha = x$$
- Kolom 3, Kolom ketiga ini berupa panjang segmen fetch yang diukur dari titik observasi ke ujung akhir fetchnya. Pengukuran panjang ini dilakukan pada ketiga arah yang paling berpengaruh.
- Kolom 4, Kolom keempat ini berupa perhitungan kolom ketiga berupa panjang segmen fetch yang diukur dikalikan kolom kedua berupa nilai dari $\cos \alpha$. Setelah dihitung semuanya lalu dijumlahkan dalam tiap arah yang berpengaruh. Apabila sudah dihitung total dari $\sum x_i \cos \alpha$ dari setiap arah (BL, U, TL) lalu dihitung panjang fetch efektifnya sesuai persamaan yang sudah dijelaskan sebelumnya

c. Tinggi dan Periode Gelombang

Besarnya tinggi dan periode gelombang dilaut dalam ini didapatkan dari hasil analisis data angin yang didapatkan dari Badan Meteorologi Klimatologi dan Geofisika dengan panjang fetch efektif yang sudah diperhitungkan sebelumnya. Perhitungan tinggi gelombang yang terjadi di laut dalam menggunakan metode

Sverdrup Munk Bretschneider (SMB) yang telah dimodifikasi (*Shore Protection Manual, 1984*).

Metode tersebut terdapat 2 klasifikasi perhitungan yaitu berdasarkan *Fetch Limited* dan *Fully Developed*. Suatu daerah dengan *fetch* tak terbatas atau melebihi *fetch* maksimum (*fetch* maksimum = 200 km) dapat menghasilkan gelombang dengan periode dan tinggi rata-rata tertentu. Tinggi gelombang pada kondisi tersebut tidak dapat bertambah terus dan mencapai maksimum. Hal ini dikarenakan pada saat energi yang didapat dari angin seimbang dengan energi yang hilang karena adanya turbulensi maupun pecahnya gelombang. Keadaan ini disebut *fully developed* (Yuwono, 1982).

Adapun persamaan-persamaan untuk menganalisa tinggi dan periode gelombang berdasarkan metode SMB yang telah dimodifikasi tersaji pada Tabel 2. 2

Tabel 2. 2 Persamaan Analisa Tinggi Gelombang

<i>Dimensionles</i>	<i>Metric Units</i>	
	H(m), T(s), U _A (m/s), F(m), t(s)	H(m), T(s), U _A (m/s), F(m), t(hr)
Fetch Limited (F,U)		
$\frac{g \cdot H_{m_0}}{U_A^2} = 1,6 \times 10^{-3} \left(\frac{g \cdot F}{U_A^2}\right)^{1/2}$	$H_{m_0} = 5,112 \times 10^{-4} \cdot U_A \cdot F^{1/2}$	$H_{m_0} = 1,616 \times 10^{-2} \cdot U_A \cdot F^{1/2}$
$\frac{g \cdot T_m}{U_A} = 2,857 \times 10^{-1} \left(\frac{g \cdot F}{U_A^2}\right)^{1/3}$	$T_m = 6,238 \times 10^{-2} \cdot (U_A \cdot F)^{1/3}$	$T_m = 6,238 \times 10^{-1} \cdot (U_A \cdot F)^{1/3}$
$\frac{g \cdot t}{U_A} = 6,88 \times 10 \cdot \left(\frac{g \cdot F}{U_A^2}\right)^{2/3}$	$t = 3,215 \times 10 \cdot \left(\frac{F^2}{U_A}\right)^{1/3}$	$t = 8,93 \times 10^{-1} \cdot \left(\frac{F^2}{U_A}\right)^{1/3}$

Tabel 2. 2 Persamaan Analisa Tinggi Gelombang

<i>fully Developed</i>		
$\frac{g \cdot H_{m_0}}{U_A^2} = 2,433 \times 10^{-1}$	$H_{m_0} = 2,482 \times 10^{-2} \cdot U_A^2$	$H_{m_0} = 2,482 \times 10^{-2} \cdot U_A^2$
$\frac{g \cdot T_m}{U_A} = 8,134$	$T_m = 8,308 \times 10^{-1} \cdot U_A$	$T_m = 8,308 \times 10^{-1} \cdot U_A$
$\frac{g \cdot t}{U_A} = 7,15 \times 10^4$	$t = 7,296 \times 10^3 \cdot U_A$	$t = 2,027 \cdot U_A$
$g = 9.8 \text{ m/s}^2$		

Untuk mempermudah perhitungan dapat digunakan seperti Tabel 2. 3. Berikut ini merupakan runtutan cara membuat tabel tersebut :

Tabel 2. 3 Penabelan Tinggi dan Periode Gelombang di Laut Dalam

Tahun	Bulan	Kec Max		Arah		R _T	R _L	U _w	U _A	Fetch	Ket	t _L	H _{SOL}	T _{oL}
		(knot)	(m/s)	(°)	Mata Angin					(km)				

Keterangan :

- a. Kolom 1, urutan tahun berdasarkan data angin yang didapat, minimal 10 tahun.
- b. Kolom 2, urutan bulan pengamatan berdasarkan tahun.
- c. Kolom 3, kecepatan maksimum dari tiap bulan pada tahun tertentu sesuai dengan data yang didapat. Kecepatan yang didapat biasanya dalam satuan knot.
- d. Kolom 4, sama dengan kolom 3 tetapi kecepatan angin dalam satuan m/s.
- e. Kolom 5, arah datangnya angin maksimum dalam sudut.
- f. Kolom 6, sama dengan kolom 5 namun klasifikasi arah datangnya angin berdasarkan arah mata angin.
- g. Kolom 7, faktor koreksi terhadap suhu
- h. Kolom 8, faktor koreksi terhadap ketinggian pencatatan kecepatan data angin di darat dan di laut.

- i. Kolom 9, kecepatan angin (kolom 4) dikalikan Faktor-faktor koreksi (Kolom 6 dan 7) R_T (Gambar 2. 2) dan R_L (Gambar 2. 2).

Gelombang yang dihitung sebelumnya merupakan tinggi gelombang pada laut dalam yang datanya merupakan hasil analisis dari kecepatan dan arah angin yang telah tercatat beberapa tahun secara urut sebelum breakwater atau pelabuhan dibuat. Untuk menentukan tinggi gelombang rencana ini, maka hasil tinggi gelombang yang didapat sebelumnya dihitung menggunakan fungsi distribusi probabilitas. Metode probabilitas yang digunakan dalam tugas akhir ini yaitu metode Weibull. Berikut ini merupakan penabelan langkah-langkah pengerjaannya serta penjelasannya, dapat dilihat pada Tabel 2. 4 dan

Tabel 2. 5.

Tabel 2. 4 Tinggi Gelombang Maksimum Tiap Tahun

Tahun	H (m)	t (jam)	Arah (°)

Tabel 2. 5 Perhitungan Periode Ulang Gelombang Menggunakan Metode Weibul

No Urut	H_{sm}	P	y_m	$H_{sm} \cdot y_m$	y_m^2	$(H_{sm} - H_r)^2$	\hat{H}_{sm}	$H_{sm} - \hat{H}_{sm}$	$(H_{sm} - \hat{H}_{sm})^2$

Langkah-langkah perhitungan Tabel 2. 4:

1. Kolom1, nomor urut tinggi gelombang signifikan selama 10 tahun.
2. Kolom 2, data gelombang yang diurutkan dari besar ke kecil berdasarkan kolom 1.

3. Kolom 3, nilai $P(H_s \leq H_{sm})$ yang dihitung berdasarkan persamaan

$$P(H_s \leq H_{sm}) = 1 + \frac{m-0.2 - \frac{0.27}{\sqrt{k}}}{N_T + 0.2 + \frac{0.27}{\sqrt{k}}} \quad (2.5)$$

Keterangan :

$P(H_s \leq H_{sm})$	=	Probabilitas tinggi gelombang dengan nilai tertentu yang tidak di lampau
H_s	=	Tinggi Gelombang representatif
H_{sm}	=	Tinggi Gelombang dengan nilai tertentu
N_T	=	Jumlah kejadian gelombang selama pencatatan
K	=	Parameter bentuk untuk Weibul

4. Kolom 4, nilai Y_m dihitung menggunakan persamaan :

$$Y_m = [-\ln\{1 - F(H_s \leq H_{sm})\}]^{1/k} \quad (2.6)$$

5. Kolom 5, kolom 2 dikalikan dengan kolom 4,

$$H_{sm} * Y_m$$

6. Kolom 6, kolom 4 dikuadratkan, y_m^2 . Kolom 5 dan 6 ini digunakan untuk analisis regresi linier guna menghitung parameter A dan B.

$$A = \frac{n \sum H_{sm} y_m - \sum H_{sm} \sum Y_m}{n \sum Y_m^2 - (\sum Y_m)^2} \quad (2.7)$$

$$B = \hat{H}_{sm} - A \hat{Y}_m \quad (2.8)$$

Dengan :

\hat{H}_{sm} = Rata-rata tinggi gelombang dengan nilai tertentu

\hat{Y}_m = Rata-rata y_m

7. Kolom 7, digunakan untuk menghitung deviasi standard gelombang signifikan (σ_{Hs}).

8. Kolom 8, perkiraan tinggi gelombang yang dihitung dengan persamaan regresi linier yang dihasilkan oleh,

$$H_{sm} = A \cdot y_m + B \quad (2.9)$$

9. Kolom 9, kolom 2 dikurangi kolom 8. Setelah itu dapat dihitung besarnya deviasi standard gelombang signifikan

$$\sigma_{Hs} = \left[\frac{1}{N-1} \sum_1^N (Hsm - Hmsm)^2 \right]^{1/2} \quad (2.10)$$

Tabel 2. 6 Tinggi Gelombang Berdasarkan Periode Ulang dengan Metode Weibul

Periode ulang	y_r	H_{sr}	σ_{nr}	σ_r	$H_s - 1.28\sigma_r$	$H_s + 1.28\sigma_r$
(Tahun)	(Tahun)	(m)			(m)	(m)

Langkah-langkah perhitungan Tabel 2. 6

1. Kolom 1, urutan periode ulang yang akan dihitung
2. Kolom 2, menghitung fungsi distribusi probabilitas tiap periode ulang.

$$Y_r = [\ln(L \cdot T_r)]^{1/k} \quad (2.11)$$

$$L = \frac{N_T}{K} \quad (2.12)$$

Dengan:

T_r = Periode ulang

K = Panjang data

L = Rerata jumlah kejadian per tahun

3. Kolom 3, perhitungan tinggi gelombang signifikan untuk tiap periode ulang.

$$H_{sr} = A \cdot y_r + B \quad (2.13)$$

4. Kolom 4

$$\sigma_{nr} = \frac{1}{\sqrt{N}} [1 + \alpha(y_r - c + \varepsilon \cdot \ln v)^2]^{1/2} \quad (2.14)$$

Dengan σ_{nr} adalah Standar deviasi yang dinormalkan dari tinggi gelombang signifikan dengan periode ulang (T_r)

5. Kolom 5

$$\sigma_r = \sigma_{nr} \times \sigma_{Hs} \quad (2.15)$$

Dengan σ_r adalah Kesalahan standard dari tinggi gelombang signifikan dengan periode ulang (T_r). Pada perhitungan ini digunakan interval keyakinan sebesar 80%.

6. Kolom 6, kolom 3 dikurangi dengan 1.28 dikali kolom 5.

$$H_{sr} - 1.28 \times \sigma_r$$

7. Kolom 7, kolom 3 ditambah dengan 1.28 dikali kolom 5.

$$H_{sr} + 1.28 \times \sigma_r$$

2.2.5 Tanah

Dalam Perencanaan pelabuhan, survey data tanah digunakan untuk mengetahui kondisi tanah yang akan digunakan untuk perencanaan struktur bawah *breakwater* dan perencanaan reklamasi. Data tanah ini dapat diperoleh dengan melakukan pengeboran dengan mesin bor di beberapa titik yang ditinjau. Selain itu dilakukan

uji SPT, dimana dalam uji SPT ini didapatkan nilai N-SPT untuk mengetahui kedalaman tanah keras serta sifat daya dukung setiap kedalaman.

Apabila data tanah yang didapatkan hanya terdapat data SPT, maka perlu dilakukan korelasi nilai SPT untuk mendapat parameter tanah yang lain. Untuk mendapatkan korelasi N-SPT dengan sudut geser dalam dan kepadatan tanah pasir dapat dilihat pada Tabel 2. 7.

Tabel 2. 7 Korelasi Nilai SPT

		Cohesionless Soil / Sol Pulvérulent				
N	(blows)	0 - 3	4 - 10	11 - 30	31 - 50	> 50
γ	(KN/m ³)	-	12 - 16	14 - 18	16 - 20	18 - 23
ϕ	(°)	-	25 - 32	28 - 36	30 - 40	> 35
State		Very Loose	Loose	Medium	Dense	Very Dense
Dr	(%)	0 - 15	15 - 35	35 - 65	65 - 85	85 - 100
		Cohesive Soil / Sol Cohérent				
N	(blows)	< 4	4 - 6	6 - 15	16 - 25	> 25
γ	(KN/m ³)	14 - 18	16 - 18	16 - 18	16 - 20	> 20
q_u	(kPa)	< 25	20 - 50	30 - 60	40 - 200	> 100
Consistency		Very Soft	Soft	Medium	Stiff	Hard

Sumber: Perencanaan Pondasi Dalam

2.3 Evaluasi *Layout* Perairan

2.3.1 Alur Masuk

Alur masuk (*entrance channel*) berawal dari mulut pelabuhan hingga kapal mulai berputar. Parameter yang harus diketahui mencakup panjang alur masuk, lebar dan kedalaman alur masuk. Perumusan kebutuhan panjang alur masuk dapat dilihat pada Tabel 2. 8.

Tabel 2. 8 Kebutuhan ukuran alur masuk

Author/originator	Double-way channel	One-way channel	Literature name
Keinosuke Honda	$7.2B \sim 8.2B$	$4.6B \sim 5.1B$	General Theory of Ship Manuevering (in Japanese)
Akira Iwai	$8B \sim 10B$	$5B \sim 6B$	Basics of Ship Manuevering in Bays and Harbors - Controllability and Ship Manuevering for Entering Basins - (in Japanese)
United Nations Conference on Trade and Development	$7B + 30$ (m)	$5B$	Port Development: A Handbook for Planners in Developing Countries
Joint Working Group PIANC and IAPH, in cooperation with IMPA and IALA	$4.2B \sim 14.2B$	$1.9B \sim 7.2B$	Approach Channels: A Guide for Design
Gregory P. Tshinker	$6.2B \sim 9.0B$	$3.6B \sim 6.0B$	Handbook of Port and Harbor Engineering

Sumber : Technical Standart and Commentaries for Port and Harbour Facilities in Japan, 2002

Selain dari tabel diatas, untuk lebar alur masuk standar dapat ditentukan melalui ketentuan yang ada dalam Keputusan Menteri Perhubungan Nomor KM 54 Tahun 2002 dibawah ini :

- A = $W \times L$
- W = $9B + 30$ Meter
- A = Luas Areal Alur
- W = Lebar Alur
- L = Panjang Alur Pemanduan dan Penundaan di Dalam DLKR
- B = Lebar Kapal Maksimum

Untuk kedalaman alur masuk dapat ditentukan berdasarkan Tabel 2. 9.

Tabel 2. 9 Kedalaman Perairan

Penentuan draft kapal	Keterangan
1,15 draft kapal	Perairan tenang
1,2 draft kapal	Perairan terbuka bergelombang

Sumber : *Technical Standards for Port and Harbour Facilities in Japan, 2002*

Untuk panjang alur masuk dapat ditentukan berdasarkan Tabel 2. 10.

Tabel 2. 10 Panjang Alur Masuk

Lokasi	Ukuran	Keterangan
Panjang Alur (Stopping distance)	7 * LOA	± 10.000 DWT, 16 knots
	18 * LOA	± 200.000 DWT, 16 knots
	1 * LOA	± 10.000 DWT, 5 knots
	3 * LOA	± 200.000 DWT, 5 knots
	5 * LOA	Kapal ballast/kosong

Sumber : *Technical Standards for Port and Harbour Facilities in Japan, 2002*

2.3.2 Kolam Putar

Kolam putar (*turning basin*), berada di ujung alur masuk atau dapat diletakkan di sepanjang alur bila alurnya panjang ($>S_d$). Kapal diharapkan bermanuver pada kecepatan rendah (mendekati nol) atau dipandu. Areal yang disediakan dibatasi dengan bentuk lingkaran berdiameter (D_b). Kedalaman perairan dapat disamakan dengan alur masuk.

$D_b = 3 \text{ LOA}$ (kapal bermanuver tanpa dipandu)

$D_b = 2 \text{ LOA}$ (kapal bermanuver dengan dipandu)

Dalam Keputusan Menteri Perhubungan Nomor KM 54 Tahun 2002 diatur ketentuan untuk *turning basin* adalah sebagai berikut :

Luas Areal Pindah Labuh Kapal Jumlah Lokasi $\times \pi \times D/4$

$D > 3 L$

D : Diameter Areal Kolam Putar

L : Panjang Kapal Maksimum

Untuk kebutuhan kedalaman *Turning Basin*, sebagai berikut:

$D = 1.1 \times \text{Draft}$

2.4 Perencanaan Reklamasi

Reklamasi menurut definisinya adalah pekerjaan penimbunan tanah dengan skala volume dan luasan yang sangat besar, pada suatu kawasan dan lahan yang relatif masih kosong dan berair, misalnya di kawasan pantai, daerah rawa-rawa, suatu lokasi di laut, di tengah sungai yang lebar, ataupun di daratan.

2.4.1 Material Reklamasi

Pada umumnya material reklamasi menggunakan tanah disekitar area reklamasi, baik yang di daratan maupun yang diambil dari dasar laut. Dengan persyaratan material timbunan tidak boleh berupa pasir halus berbutir homogen 100% atau material yang memiliki kandungan lempung $\geq 20\%$. Timbunan reklamasi di dalam laut dengan material pasir halus berbutir homogen 100% akan mengalami *liquefaction* saat terjadi gempa seismik. *Liquefaction* adalah naiknya harga tegangan pori (u) hingga sama dengan nilai tegangan *overburden* (σ_o), sehingga mengakibatkan tegangan efektifnya (σ) sama dengan nol. Untuk timbunan reklamasi di dalam laut dengan material dengan kandungan lempung $\geq 20\%$, akan mengakibatkan instabilitas didalam timbunan reklamasi tersebut akibat dari kembang susut yang besar, *settlement* yang

besar, partikel tanah mudah bergerak, dll). Apabila kondisi-kondisi diatas terjadi pada timbunan reklamasi, maka tanah timbunan reklamasi akan runtuh atau *rupture*.

Persyaratan teknis yang biasa digunakan dalam merencanakan sebuah timbunan reklamasi menurut Wahyudi (1997) adalah sebagai berikut:

- Berupa tanah pasir bercampur kerikil dan sedikit lanau.
- Bersih dan bebas dari bahan organis dan kotoran.
- Mempunyai diameter maksimum butiran = 20 cm.
- Memiliki persentase material berdimensi halus (lebih kecil dari 0.08 mm) adalah kurang dari 20%.
- Mempunyai Relative Density (D_r) minimum sebesar 80% untuk zona diatas permukaan air pasang dan minimum 60% untuk zona dibawah muka air pasang.
- Memiliki permeabilitas (k) minimum = 1×10^{-5} m/s.

2.4.2 *Settlement*

Adalah penurunan atau deformasi yang terjadi akibat pembebanan di permukaan tanah. Besarnya penurunan tanah total dapat dihitung sesuai dengan rumus berikut.

$$S_t = S_i + S_{CP} + S_{CS} + S_{lat} \quad (2.16)$$

Dengan:

S_t = penurunan total

S_i = immediate settlement

S_{CP} = consolidation primary settlement

S_{CS} = consolidation secondary settlement

S_{lat} = penurunan akibat pergerakan tanah lateral

Penurunan tanah akibat reklamasi pada umumnya mengabaikan penurunan akibat *secondary settlement* (S_{CS}) dan akibat pergerakan tanah lateral (S_{lat}) (wahyudi, 1997)

a. *Immediate Settlement (Si)*

Menurut Biarez (1973) dalam Wahyudi (1997) disajikan metode perhitungan besarnya penurunan tanah segera (*short term condition*) dari suatu lapisan tanah ditentukan dengan persamaan:

$$s_i = q \sum \frac{h_i}{E'_i} \quad (2.17)$$

Dimana:

q = tegangan yang bekerja pada permukaan tanah

h_i = tebal lapisan tanah ke-i

E' i = modulus oedometrik pada lapisan ke-i.

b. *Consolidation Primary Settlement (S_{CP})*

Besar penurunan akibat primary consolidation tergantung dari sejarah tanahnya, apakah tergolong *normally consolidated* (NC) atau *overconsolidated* (OC).

Apabila tergolong kondisi *normally consolidated*, menggunakan perhitungan sebagai berikut.

$$S_{cp} = \frac{c_c H}{1+e_0} \log \left(1 + \frac{\Delta\sigma}{\sigma'_{o}} \right) \quad (2.18)$$

Sedangkan untuk *overconsolidated* menggunakan perhitungan sebagai berikut.

Untuk $\sigma'_{o} + \Delta\sigma \leq \sigma'_c$

$$S_{cp} = \frac{c_s H}{1+e_0} \log \left(1 + \frac{\Delta\sigma}{\sigma'_{o}} \right) \quad (2.19)$$

Dan untuk $\sigma'_{o} + \Delta\sigma > \sigma'_c$

$$S_{cp} = \frac{c_s H}{1+e_0} \log \left(\frac{\sigma'_c}{1+e_0} \right) + \frac{c_c H}{1+e_0} \log \left(\frac{\sigma'_{o} + \Delta\sigma}{\sigma'_c} \right) \quad (2.20)$$

Dengan

H	=	tebal lapisan lempung
e_o	=	angka pori awal
C_c	=	compression index
C_s	=	swelling index
$\Delta\sigma$	=	besar tegangan di permukaan tanah (<i>surcharge</i>)
σ'_o	=	tegangan <i>overburden</i>
σ'_c	=	tegangan prakonsolidasi

Surcharge yang dimaksud adalah besarnya beban yang bekerja diatas permukaan tanah asli dalam satuan tegangan. Diagram tegangan tanah akibat *surcharge* dapat dilihat pada Gambar 2. 4. Besar tegangan *surcharge* dapat dihitung menggunakan persamaan berikut.

$$\Delta\sigma' = \frac{q}{\pi} \times \left[\left(\frac{B_1+B_2}{B_2} \right) \times (\alpha_1 + \alpha_2) - \left(\frac{B_1}{B_2} \times \alpha_2 \right) \right] \quad (2. 21)$$

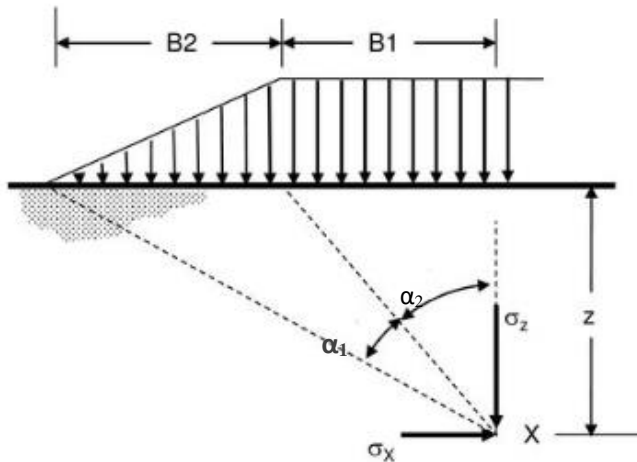
Dimana:

q	=	beban timbunan (t/m^2)
B_1	=	$\frac{1}{2}$ lebar timbunan (m)
B_2	=	panjang proyeksi horizontal kemiringan timbunan (m)

$$\alpha_1 = \tan^{-1} \left(\frac{B_1+B_2}{B_2} \right) - \tan^{-1} \left(\frac{B_1}{z} \right) \text{ (radian)}$$

$$\alpha_2 = \tan^{-1} \left(\frac{B_1}{z} \right) \text{ (radian)}$$

nilai $\Delta\sigma'$ yang didapatkan akibat dari $\frac{1}{2}$ timbunan, maka untuk mendapatkan nilai tegangan *surcharge* akibat timbunan keseluruhan perlu dikalikan 2.



Gambar 2. 4 Diagram Tegangan Tanah Akibat Beban *Surcharge*
Sumber: Modul Ajar Perbaikan Tanah, 2012

2.4.3 Perencanaan Tinggi Timbunan Awal

Tinggi timbunan pada saat pelaksanaan fisik tidaklah sama dengan tinggi timbunan rencana. Tinggi timbunan total pada saat pelaksanaan penimbunan haruslah lebih tinggi lagi, yaitu dengan memperhatikan adanya penurunan tanah asli (*settlement*) yang akan terjadi sebagai akibat adanya timbunan tersebut. Penentuan tinggi timbunan awal untuk pelaksanaan fisik dapat dihitung menggunakan persamaan berikut.

$$H_{initial} = \frac{q + [(S_{tot} + H_w)(\gamma_{timb} - \gamma'_{timb})]}{\gamma_{timb}} \quad (2.22)$$

2.4.4 Waktu Konsolidasi

Lama Konsolidasi Menurut Terzaghi dalam Das (1990), lamanya waktu konsolidasi dapat ditentukan dengan menggunakan persamaan:

$$t = \frac{T_v(H_{dr})^2}{C_v} \quad (2.23)$$

Dimana:

t = lama konsolidasi

T_v = faktor waktu

H_{dr} = panjang aliran air tanah yang dialirkan

C_v = koefisien konsolidasi vertical

a. Faktor Waktu (T_v)

Faktor waktu T_v adalah merupakan fungsi langsung dari derajat konsolidasi ($U\%$) dan bentuk dari distribusi tegangan pori (u) di dalam tanah (aliran satu arah atau dua arah). Harga faktor waktu dan derajat konsolidasi dapat dinyatakan dengan satu hubungan yang sederhana.

Untuk $U = 0$ sampai dengan 60% ,

$$T_v = \frac{\pi}{4} x \left(\frac{U\%}{100} \right)^2 \quad (2.24)$$

b. Koefisien Konsolidasi Vertikal (C_v)

Koefisien konsolidasi vertical C_v , diperoleh dari grafik korelasi antara besarnya penurunan tanah dengan waktu (t), berdasarkan hasil konsolidasi Oedometric test.

$$C_v = \frac{0.197 \left(\frac{H}{2} \right)^2}{t_{50}} \quad (2.25)$$

2.4.5

Tegangan akan mengalami perubahan akibat adanya penahanan timbunan. Setiap tahap timbunan akan mendistribusikan tegangan yang berbeda-beda ke tanah dasar. Per-

hitungan distribusi tegangan per tahap ($\Delta\sigma_n$) ketika derajat konsolidasi (U) = 100% menggunakan persamaan. Perubahan tegangan (σ_n') dapat dihitung dengan menambahkan distribusi tegangan per tahap ($\Delta\sigma_n$) pada tegangan sebelumnya seperti pada persamaan berikut.

$$\sigma_n' = \sum_n^0 \sigma_0 + \Delta\sigma_1 + \dots + \Delta\sigma_n \quad (2. 26)$$

Untuk peninjauan penambahan tegangan yang berubah berdasarkan derajat konsolidasi tahapan timbunan (U_i) masing-masing dapat dihitung menggunakan persamaan berikut.

$$\Delta\sigma_{nU_i} = \left[\left(\frac{\sigma_n'}{\sigma_{n-1}'} \right)^{U_i} x \sigma_{n-1} \right] - \sigma_{n-1} \quad (2. 27)$$

Daya dukung tanah dasar dapat meningkat akibat dari penambahan beban timbunan yang diletakkan secara bertahap. Peningkatan daya dukung tanah akibat pemampatan dapat dihitung dengan persamaan menurut Ardana dan Mochtar sebagai berikut.

- Untuk $PI < 120\%$
 $C_{u_{baru}} = 0.0737 + (0.1899 - 0.0016 PI) x \sigma'$ (2. 28)

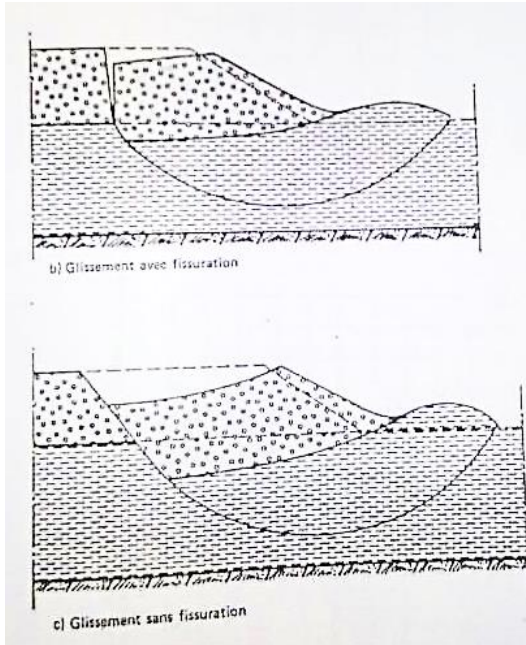
- Untuk $PI \geq 120\%$
 $C_{u_{baru}} = 0.0737 + (0.0454 - 0.00004 PI) x \sigma'$ (2. 29)

2.4.6 Stabilitas Reklamasi

a. Stabilitas Terhadap *Sliding*

Kontrol *sliding* pada timbunan reklamasi perlu dilakukan untuk mengetahui apakah timbunan reklamasi yang direncanakan tersebut sudah aman terhadap kemungkinan bahaya longsor

rotasional (*sliding*). Pada saat ini banyak dipakai program komputer untuk perhitungan stabilitas lereng terhadap *sliding*.

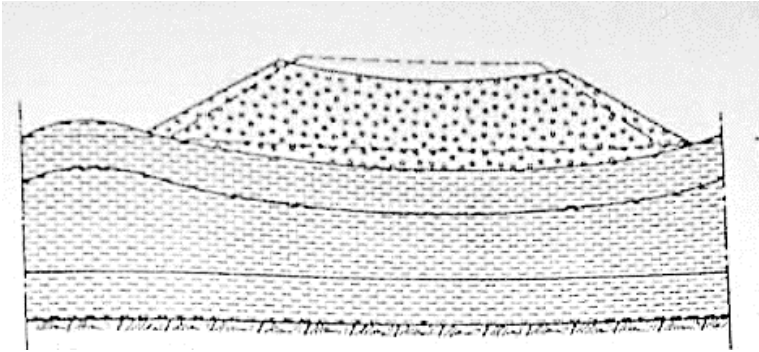


Gambar 2. 5 Sliding Rotasional pada Timbunan
 Sumber: Teknik Reklamasi, 1997

b. Stabilitas Terhadap *Puncture Failure*

Kontrol stabilitas terhadap *puncture failure* ini berfungsi untuk mengetahui kondisi tanah di bawah timbunan akan ambles atau tidak bila diberi beban timbunan tersebut. Prinsipnya dapat dianalogikan dengan perhitungan daya dukung pondasi dangkal di kondisi *short term*. Sehingga didapatkan nilai *safety factor* (SF) menggunakan persamaan berikut.

$$SF = \frac{\text{kekuatan penahan}}{\text{kekuatan penggerak}}$$



Gambar 2. 6 Puncture Failure Pada Timbunan
 Sumber: Teknik Reklamasi, 1997

Apabila timbunan reklamasi memiliki lebar yang relatif sangat besar bila dibandingkan dengan tebal lapisan *compressible soil* maka menggunakan persamaan berikut.

$$SF = \frac{C_u \times N_c}{\gamma \times H_{timb}} \quad (2.30)$$

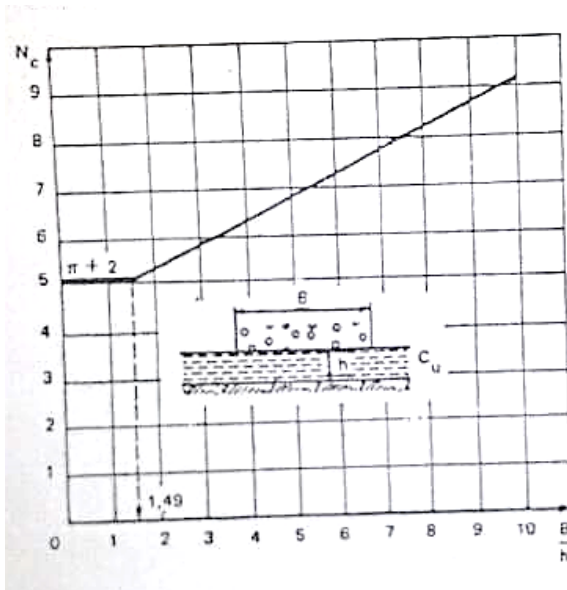
Koefisien N_c bergantung pada B/H sesuai dengan grafik pada Gambar 2. 7. Nilai SF yang disyaratkan adalah lebih besar dari 1.2. Bila timbunan terendam air, maka $\gamma = \gamma'$.

2.5 Perencanaan *Breakwater*

2.5.1 Refraksi Gelombang

Kecepatan rambat gelombang tergantung pada kedalaman air dimana gelombang menjalar. Apabila cepat rambat gelombang berkurang dengan kedalaman, panjang gelombang juga berkurang secara linier. Variasi cepat rambat gelombang terjadi di sepanjang garis puncak gelombang yang bergerak dengan membentuk suatu sudut terhadap garis kedalaman laut, karena bagian dari gelombang di laut dalam bergerak lebih cepat daripada bagian di laut yang lebih dangkal. Variasi tersebut menyebabkan puncak gelombang

membelok dan berusaha untuk sejajar dengan garis kontur dasar laut.



Gambar 2. 7 Koefisien Daya Dukung (N_c) vs B/H

Sumber: *Teknik Reklamasi, 1997*

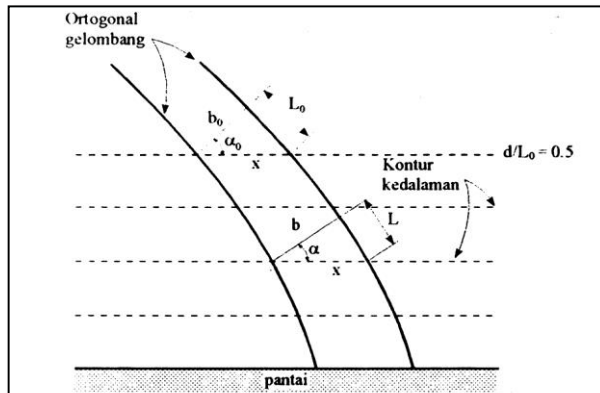
Refraksi dan pendangkalan gelombang (*wave shoaling*) akan dapat menentukan tinggi gelombang di suatu tempat berdasarkan karakteristik gelombang datang (Gambar 2. 8). Refraksi mempunyai pengaruh yang cukup besar terhadap tinggi dan arah gelombang serta distribusi energi gelombang di sepanjang pantai.

Perubahan arah gelombang karena refraksi tersebut menghasilkan konvergensi (pengucupan) atau divergensi (penyebaran) energi gelombang (Gambar 2. 9) dan mempengaruhi energi gelombang yang terjadi di suatu tempat di daerah pantai.

Anggapan-anggapan yang digunakan dalam studi refraksi adalah sebagai berikut ini.

- a. Energi gelombang antara dua ortogonal adalah konstan.

- b. Arah penjalaran gelombang tegak lurus pada puncak gelombang, yaitu dalam arah ortogonal gelombang.
- c. Cepat rambat gelombang yang mempunyai periode tertentu di suatu tempat hanya tergantung pada kedalaman di tempat tersebut.
- d. Perubahan topografi dasar adalah berangsur-angsur.
- e. Gelombang mempunyai puncak yang panjang, periode konstan, amplitudo kecil dan monokromatik.
- f. Pengaruh arus, angin dan refleksi dari pantai dan perubahan topografi dasar laut diabaikan.



Gambar 2. 8 Refraksi Gelombang Pada Kontur Lurus Dan Sejajar
Sumber: Shore Protection Manual, 1984

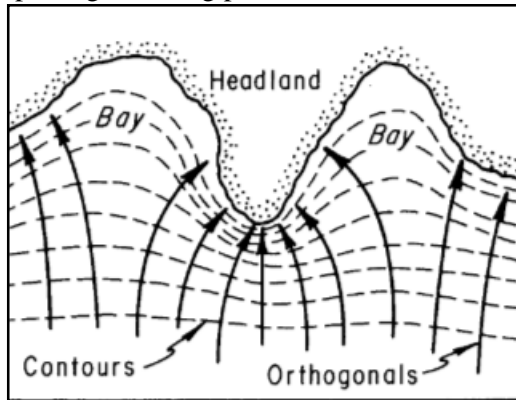
Apabila ditinjau gelombang di laut dalam dan di suatu titik yang ditinjau, maka :

$$\sin \alpha = \left(\frac{c}{c_0} \right) \sin \alpha_0 \quad (2.31)$$

dimana :

- $\alpha_0 =$ sudut antara puncak gelombang dengan kontur dasar
 $\alpha =$ sudut yang sama diukur saat garis puncak gelombang melintasi kontur dasar

- C_0 = kecepatan gelombang pada kontur pertama
 C = kecepatan gelombang pada kontur kedua



Gambar 2. 9 Konvergensi dan Divergensi Energi Gelombang
 Sumber : *Shore Protection Manual, 1984*

Seperti terlihat dalam gambar 2.4, jarak antara ortogonal di laut dalam dan disuatu titik adalah b_0 dan b . Apabila kontur dasar laut adalah lurus dan sejajar maka jarak x di titik 0 dan di titik berikutnya adalah sama sehingga :

$$x = \frac{b_0}{\cos \alpha_0} = \frac{b}{\cos \alpha}$$

maka koefisien refraksi (K_r) adalah :

$$K_r = \sqrt{\frac{b_0}{b}} = \sqrt{\frac{\cos \alpha_0}{\cos \alpha}} \quad (2.32)$$

2.5.2 Difraksi Gelombang

Apabila gelombang datang terhalang oleh suatu rintangan seperti pemecah gelombang atau pulau, maka gelombang tersebut akan membelok di sekitar ujung rintangan dan masuk di daerah terlindung di belakangnya. Difraksi terjadi ketika terdapat perbedaan energi gelombang yang tajam di sepanjang puncak gelombang. Pada awalnya kondisi di daerah yang terlindung

penghalang cukup tenang (tidak terdapat gelombang), saat gelombang melintasi penghalang. Perairan yang jauh dari penghalang akan memiliki energi lebih banyak (energi gelombang awal) dibandingkan perairan di belakang penghalang yang semula tenang (tidak ada energi karena tidak ada gelombang), terjadilah proses pemindahan energi di panjang puncak gelombang tersebut ke arah daerah yang terlindung bangunan pantai.

Transfer energi ke daerah terlindung menyebabkan terbentuknya gelombang di daerah tersebut, meskipun tidak sebesar gelombang di luar daerah terlindung. Garis puncak gelombang di belakang rintangan membelok dan mempunyai bentuk busur lingkaran dengan pusatnya pada ujung rintangan. Dianggap bahwa kedalaman air adalah konstan. Apabila tidak maka selain difraksi juga terjadi refraksi gelombang. Biasanya tinggi gelombang berkurang di sepanjang puncak gelombang menuju daerah terlindung.

Persamaan tinggi gelombang akibat pengaruh difraksi gelombang dapat dilihat dalam persamaan $H_A = K' \cdot H_P$ (2. 33) yang merupakan penyelesaian matematis untuk difraksi cahaya. K' merupakan koefisien difraksi yang merupakan perbandingan antara tinggi gelombang di titik yang terletak di daerah terlindung dan tinggi gelombang datang. Nilai K' untuk θ , β , r/L dapat dicari melalui diagram difraksi yang dikembangkan oleh Wiegel, 1962 dengan berbagai macam sudut antara puncak gelombang terhadap pemecah gelombang yang terdapat di shore protection manual.

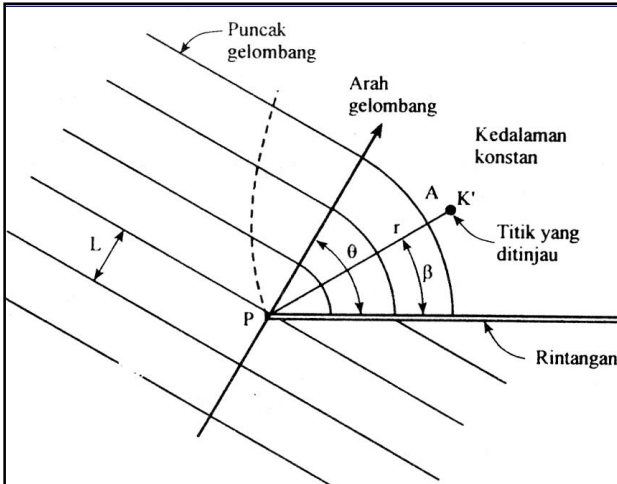
$$H_A = K' \cdot H_P \quad (2. 33)$$

Dengan :

H_A = Tinggi gelombang yang ditinjau (m)

H_P = Tinggi gelombang di ujung rintangan (m)

K' = Koefisien difraksi



Gambar 2. 10 Difraksi Gelombang di Belakang Rintang
 Sumber : *Shore Protection Manual, 1984*

2.5.1 Layout Breakwater

Perencanaan *layout* ini untuk merencanakan *layout* terhadap besar dan arah gelombang datang sehingga didapatkan arah pintu, lebar pintu dan alur pelayarannya. Sehingga *layout* yang sudah direncanakan dapat melayani kapal secara aman dan nyaman di areal pelabuhan.

Bentuk *Layout breakwater* dapat ditentukan dari beberapa faktor :

- a. Tinggi, arah, dan frekuensi dari gelombang yang datang, serta kondisi lingkungan alam lainnya, direkomendasikan agar posisi mulut berada pada arah datang gelombang tinggi dengan frekuensi terendah.
- b. Lebar dan posisi mulut serta efek defraksi yang terjadi, direkomendasikan lebar mulut sesuai kebutuhan lebar alur tanpa ada penambahan sebab besaran faktor defraksi bergantung pada lebar mulut ini.

- c. Rencana elevasi puncak dari struktur *breakwater*, apakah *submerged* (terendam), *overtopping* (lidah gelombang melampaui puncak *breakwater*); *non-overtopping* (lidah gelombang tidak melampaui puncak *breakwater*). Penentuan elevasi yang dipilih bergantung biaya yang tersedia, kesibukan lalu lintas dan kegiatan di pelabuhan, dan fungsi dari *breakwater*, serta gaya gelombang atau gaya alam yang terjadi. Untuk fungsi sebagai penangkis gelombang, umumnya digunakan *overtopping* karena relatif murah, dan tidak terlalu tinggi.
- d. Arah dan kecepatan arus, hal ini akan menentukan panjang kaki *breakwater*.
- e. Biaya pembangunan dan biaya perawatannya perlu dipilih yang paling murah.

2.5.2 Dimensi Breakwater

a. Elevasi puncak

Elevasi puncak *breakwater* dihitung berdasarkan kenaikan (*run-up*) gelombang yang tergantung pada karakteristik gelombang dan beda pasang surut di masing-masing lokasi. Elevasi puncak *breakwater* dapat dihitung dengan rumus :

$$El. \text{ Permukaan} = \text{Beda Pasang surut} + \text{Run up} \text{ atau} \\ \text{transmisi gelombang} + \text{settlement} \quad (2.34)$$

Pada umumnya *breakwater* yang diterapkan berupa struktur *overtopping*, agar ekonomis meskipun akan terlmpas air pada bagian permukaan *breakwater*. Dan hal ini dapat diterapkan bila di sisi pelabuhan tidak terdapat struktur yang membutuhkan perlindungan. Untuk itu tinggi struktur dapat ditetapkan dengan memperhatikan besaran transmisi gelombang yang terjadi dimana tinggi gelombang yang diharapkan akan terjadi di sisi pelabuhan

maksimum 80 cm. Elevasi permukaan terhadap muka air tertinggi HWS, Z_c :

$$\begin{array}{ll} Z_c > \frac{3}{4} H_i & \text{untuk gelombang minor} \\ Z_c = 0 & \text{Bila } H_t = 0,5 H_i \\ Z_c > -1/2 H_i & \text{Bila } H_t = 3/4 H_i \end{array}$$

Perhitungan Z_c tersebut perlu ditambah dengan alokasi untuk settlement tanah. Berdasar perhitungan elevasi dan keseluruhan penampang selanjutnya perlu dihaluskan dengan menyesuaikan terhadap posisi *breakwater* pada berbagai posisi kedalaman perairan.

b. Lebar *Breakwater*

Lebar puncak juga tergantung pada limpasan yang diijinkan. Selain itu, lebar puncak juga harus cukup lebar untuk keperluan operasi peralatan pada waktu pelaksanaan dan perbaikan. Lebar puncak *breakwater* dapat dihitung dengan rumus berikut :

$$B = n k\Delta \left(\frac{W}{\gamma r}\right)^{1/3} \quad (2.35)$$

Dengan :

B: lebar puncak

n : jumlah *armour unit* tiap lapisan

$k\Delta$: koefisien lapis

W : berat butir *armour unit*

γr : berat jenis *armour unit*

c. Berat Unit Lapisan *Breakwater*

Berat unit *Armour* dapat dihitung dengan rumus berikut :

$$W = \frac{\gamma r H^3}{k_D(Sr-1)^3 \cot\theta} \quad (2.36)$$

Dimana

$$Sr = \frac{\gamma r}{\gamma a}$$

Dengan :

- W : berat butir pelindung
 γr : berat jenis *armour*
 γa : berat jenis air laut
H : tinggi gelombang rencana
 Θ : sudut kemiringan sisi *breakwater*
 K_D : koefisien stabilitas

d. Jumlah Unit pada Lapisan *Breakwater*

Tebal lapis pelindung dari sebuah *breakwater* dapat dihitung dengan menggunakan rumus berikut ini :

$$t = n k \Delta \left(\frac{W}{\gamma r} \right)^{1/3} \quad (2.37)$$

Sedangkan jumlah *armour unit* yang dibutuhkan dalam perencanaan ini dapat dihitung menggunakan rumus berikut:

$$N = A n k \Delta \left(1 - \frac{p}{100} \right) \left(\frac{\gamma t}{W} \right)^{2/3} \quad (2.38)$$

Dengan :

- t : tebal lapis pelindung
n : jumlah unit *armour* dalam lapis pelindung
 $k\Delta$: koefisien lapis
A : luas permukaan
P : porositas rerata lapis pelindung
N : jumlah *armour unit* untuk satuan luas permukaan A
 γt : berat jenis *armour*

2.5.3 Stabilitas *Breakwater*

Stabilitas breakwater pada tipe *rubble mound* ini harus ditinjau berdasarkan *sliding* rotasional, *settlement*, serta *puncture failure*. Perhitungan stabilitas pada breakwater sama dengan perhitungan stabilitas pada reklamasi. Untuk perhitungan stabilitas terhadap *sliding* dan *puncture failure* dapat dilihat pada sub-bab 2.4.6. sedangkan untuk *settlement* yang terjadi dapat dilihat pada sub-bab 2.4.2.

BAB III

PENGUMPULAN DAN ANALISA DATA

3.1 Umum

Perencanaan reklamasi dan *breakwater* ini berada di pantai utara Jawa tepatnya berada di Desa Tunggul, Kecamatan Paciran, Kabupaten Lamongan, Propinsi Jawa Timur. Sebelum dilakukan perencanaan reklamasi serta evaluasi *layout* dan perencanaan detail struktur *breakwater* maka perlu adanya pengumpulan serta analisa data. Data-data yang dianalisa merupakan data sekunder.

3.2 Data Bathymetri

Peta *Bathymetri* merupakan peta yang menunjukkan kontur permukaan dasar laut dari posisi 0.00 mLWS. Dalam tugas akhir ini menggunakan hasil survey *bathymetri* yang dilakukan oleh tim dari LPPM ITS menggunakan peralatan echo sounder. Peta *bathymetri* dapat dilihat pada Gambar 3. 1 dan potongan melintang dari peta bathymetri tersebut dapat dilihat pada Gambar 3. 2.

Dari data yang didapat terlihat bahwa kondisi kedalaman pada sekitar wilayah pantai utara Jawa di Paciran, Kabupaten Lamongan memiliki kemiringan dasar laut yang bervariasi untuk setiap kedalamannya. Kemiringan rata-rata dasar laut untuk setiap kedalamannya adalah 1:30, sehingga kondisi dasar laut dapat dikategorikan cukup curam. Untuk kebutuhan kapal, diperlukan kedalaman minimal -5 m dengan jarak rata-rata 1.1 km dari garis pantai untuk alur masuk / *entrance channel*. Kebutuhan kedalaman untuk alur masuk akan semakin jauh apabila kearah timur. Titik *benchmark* yang digunakan pada koordinat 651201.8017 E, 9240564.2122 N, serta pada elevasi +3.63 mLWS.

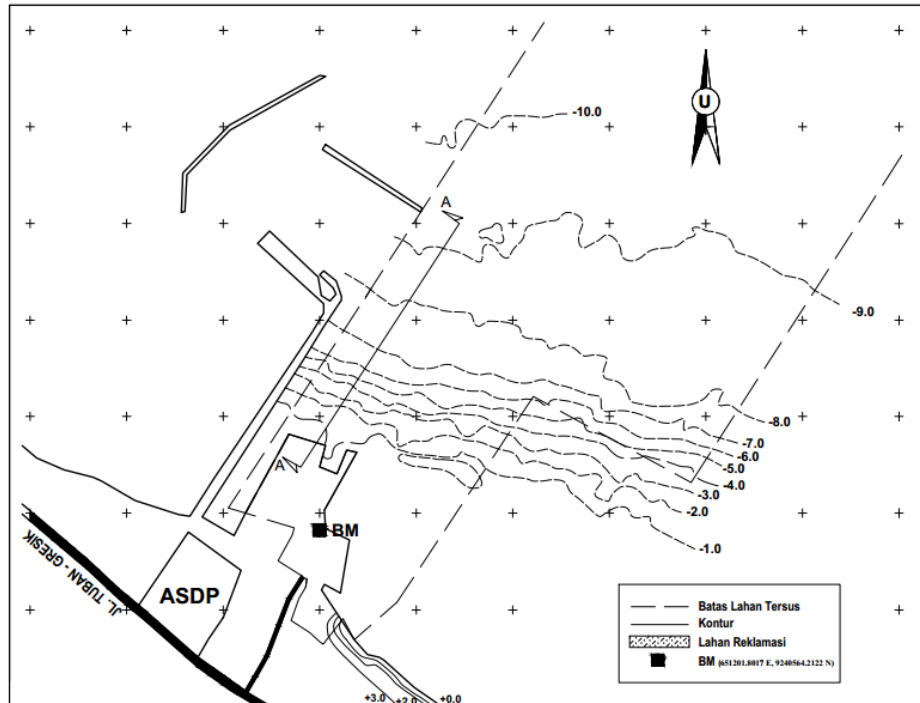
3.3 Data Arus

Data arus yang digunakan dalam tugas akhir kali ini adalah data yang di peroleh dari tim LPPM ITS. Kecepatan rata-rata arus pada wilayah perairan 0.1083 m/dt, kecepatan arus maksimum yang diizinkan adalah 3 knot atau 1.5 m/det berdasarkan *Thoressen Handbook Standard*. Pergerakan arah arus cenderung bolak-balik, dimana pada saat pasang arah arus cenderung dari arah Timur ke arah barat. Sedangkan saat surut cenderung dari arah barat ke timur. Pengaruh arus tidak signifikan.

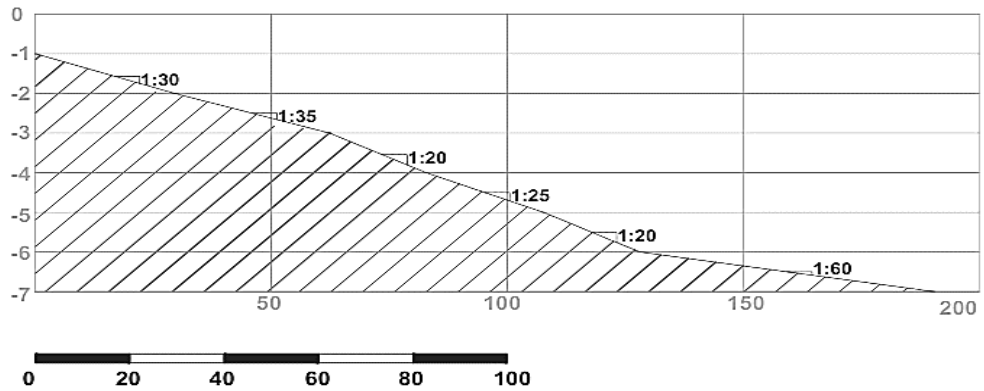
3.4 Data Pasang Surut

Data pasang surut yang digunakan merupakan hasil survey yang dilakukan oleh tim dari LPPM ITS. Lokasi pengamatan secara detail berada di Desa Tunggul, Kecamatan Paciran, Kabupaten Lamongan, Propinsi Jawa Timur, data pasang surut yang diperoleh selama 15 (lima belas) hari dari tanggal 22 Juni 2016 sampai dengan 6 Juli 2016, dengan Interval waktu pengamatan setiap 30 menit. Hasil pengukuran dapat dilihat pada Gambar 3. 3.

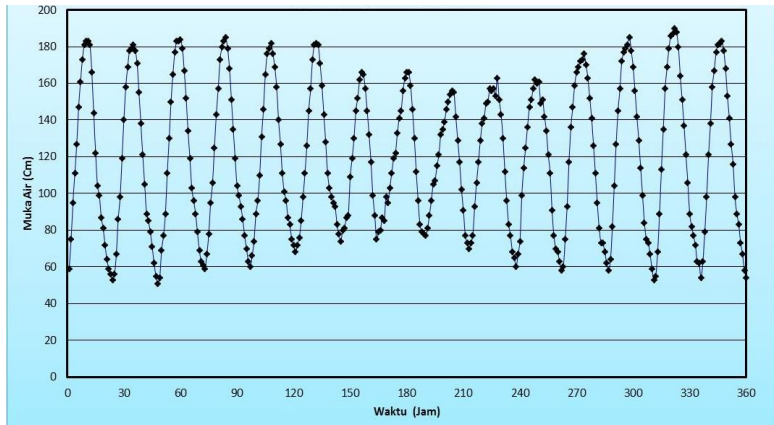
Dari grafik tersebut, dilakukan analisa oleh tim LPPM ITS menggunakan metoda *Harmonic British Admiralty* dengan menghitung konstanta harmonis pasang surut dan didapatkan 9 konstanta harmonik sebagaimana pada Tabel 3. 1.



Gambar 3. 1 Peta Bathymetri Perairan Paciran
Sumber: LPPM ITS, 2016



Gambar 3. 2 Potongan Melintang bathymetri Perairan Paciran



Gambar 3. 3 Grafik Pasang Surut

Sumber: LPPM ITS, 2016

Tabel 3. 1 Konstanta Harmonik

A (cm)	S0	M2	S2	N2	K1	O1	M4	MS4	K2	P1
	119	9	2	1	45	9	2	1	0	15
go	0	245	305	214	1	22	35	175	305	1

Sumber: LPPM ITS, 2016

Dari analisa yang dilakukan oleh Tim LPPM ITS, didapatkan hasil analisa sebagai berikut:

- Type pasang surut bersifat harian tunggal (*Diurnal Tide*)
- Beda pasang surut 1.3 m diatas mLWS
- Elevasi HWS (High Water Spring) pada +0.7 mLWS
- Elevasi LWS (Low Water Spring) pada -0.6 mLWS

3.5 Data Angin

Data angin yang diasumsikan mewakili daerah Paciran yaitu Badan Meteorologi, Klimatologi, dan Geofisika (BMKG) Stasiun Pengamatan A. Yani, Semarang yang dikumpulkan dari tahun 2013 hingga 2017 (5 tahun). Penyajian data angin pada penulisan laporan tugas akhir ini

dalam bentuk tabel frekuensi kejadian Tabel 3. 2), *wind rose* (Gambar 3. 4) untuk memberikan arah angin dominan, serta kecepatan angin maksimum tahun 2013 s/d 2017 (Tabel 3. 3).

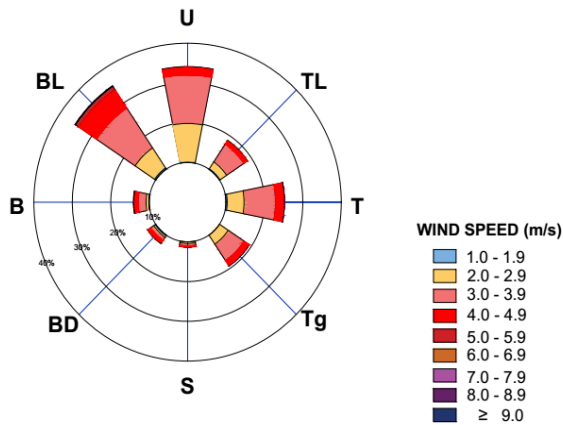
Tabel 3. 2 Distribusi Fekuensi Data Angin Stasiun A. Yani, Semarang Tahun 2006-2015

Kecepatan			Arah Angin								Jumlah
(m/s)			U	TL	T	Tg	S	BD	B	BL	
1.0	-	1.9	0.2%	0.1%	0.3%	0.0%	0.0%	0.1%	0.1%	0.3%	1.0%
2.0	-	2.9	9.6%	2.1%	4.4%	2.7%	0.4%	0.5%	0.7%	6.1%	26.6%
3.0	-	3.9	12.2%	5.4%	8.2%	5.0%	0.6%	1.0%	2.1%	12.1%	46.6%
4.0	-	4.9	1.9%	0.9%	2.0%	1.4%	0.2%	0.7%	0.9%	5.5%	13.4%
5.0	-	5.9	0.2%	0.1%	0.2%	0.1%	0.0%	0.1%	0.1%	1.0%	1.8%
6.0	-	6.9	0.0%	0.1%	0.0%	0.0%	0.0%	0.1%	0.1%	0.1%	0.3%
7.0	-	7.9	0.0%	0.0%	0.0%	0.0%	0.0%	0.0%	0.0%	0.1%	0.1%
8.0	-	8.9	0.0%	0.0%	0.1%	0.1%	0.1%	0.0%	0.1%	0.0%	0.3%
	≥	9.00	0.0%	0.0%	0.0%	0.0%	0.0%	0.0%	0.0%	0.0%	0.0%
SUB TOTAL			24.1%	8.5%	15.2%	9.3%	1.3%	2.4%	4.1%	25.2%	90.0%
MISSING			10.0%								10.0%
TOTAL			100%								

Tabel 3. 3 Kecepatan Angin Maksimum Tahunan Stasiun A. Yani, Semarang

TAHUN	KEC. ANGIN MAKSIMUM (m/s)							
	U	TL	T	Tg	S	BD	B	BL
2013	4.5	4.0	5.0	4.5	4.0	3.0	6.0	7.5
2014	4.5	4.0	4.5	4.0	3.0	6.0	6.0	4.0
2015	5.0	4.0	5.0	8.0	2.0	1.0	4.5	5.0
2016	4.0	3.5	4.5	5.0	4.0	2.5	4.0	6.0
2017	5.5	6.5	8.5	4.0	3.0	3.5	8.5	5.0

Dari data angin diatas diketahui bahwa angin dominan yang terjadi pada Stasiun A. Yani, Semarang pada tahun 2013-2017 adalah angin yang berhembus dari barat laut dengan frekuensi kejadian sebesar 25.2%.



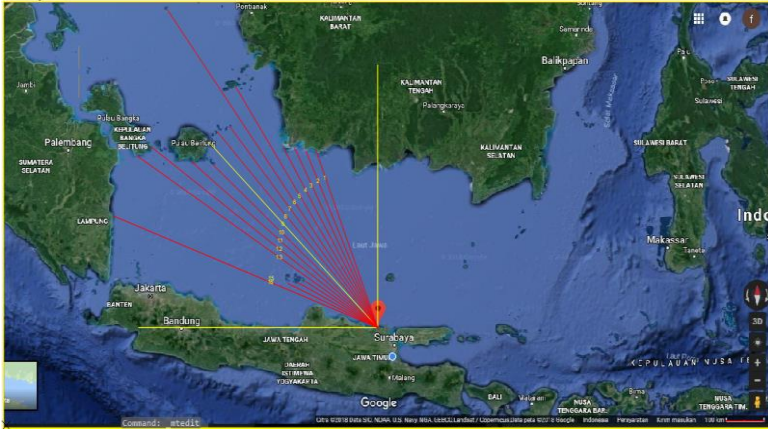
Gambar 3. 4 Windrose Data Angin Stasiun Pengamatan A. Yani Semarang

3.6 Peramalan Gelombang

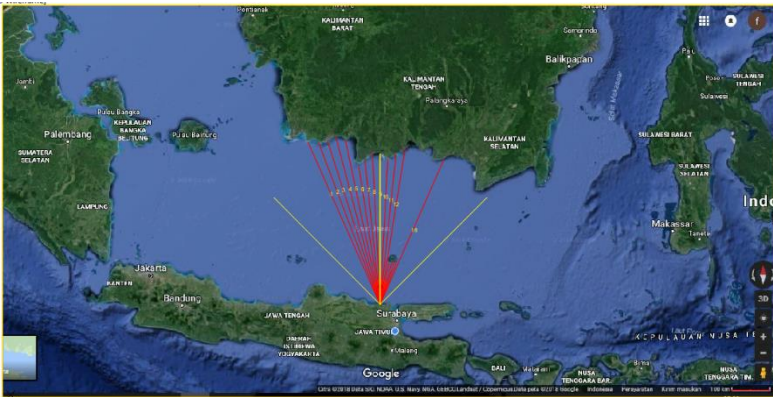
3.6.1 Panjang Fetch

Penentuan besaran Fetch efektif yang merupakan jarak tak terhalang/bebas di atas permukaan air laut sebagai daerah pembangkit gelombang yang ditimbulkan oleh angin pada waktu tertentu dengan arah dan kecepatan yang tidak berubah. Orientasi pantai Paciran menghadap ke utara, maka arah angin atau gelombang yang berpengaruh pada perhitungan fetch adalah barat laut, utara dan timur laut. Sedangkan untuk arah barat, barat daya, selatan, tenggara dan timur tidak perlu diperhitungkan karena merupakan daratan dan bukan merupakan bangkitan gelombang.

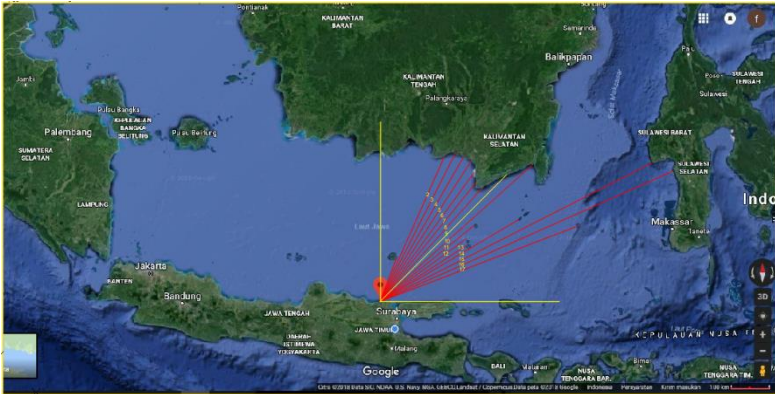
Perhitungan panjang *fetch* disini menggunakan media bantu citra satelit dari *google earth*. Dengan ditarik garis panjang melalui Pantai Utara Tuban, panjang *fetch* efektif dengan daerah bangkitan Barat Laut, Utara, dan Timur Laut dapat dilihat melalui Gambar 3. 5 sampai Gambar 3. 7.



Gambar 3. 5 Fetch Arah Barat Laut
Sumber: google earth



Gambar 3. 6 Fetch Arah Utara
Sumber: google earth



Gambar 3. 7 Fetch Arah Timur Laut

Sumber: google earth

Untuk mendapatkan fetch efektif dari arah barat laut dilakukan perhitungan sebagai berikut.

1. Menarik garis lurus dari pantai ke arah angin datang (Barat Laut) hingga menabrak pulau, mengukur panjang garis tersebut (X_i). Garis ini menjadi acuan dengan $\alpha = 0^\circ$. Sehingga di dapatkan,
 $X_0 = 619.00 \text{ km}$; $\alpha = 0^\circ$

2. Menarik garis dari pantai dengan sudut 3° hingga 24° terhadap acuan dengan interval 3° dari setiap garisnya. Pengukuran garis tersebut dilakukan pada posisi kanan dan kiri dari acuan.

$$X_1 = 455.25 \text{ km} ; \alpha = 24^\circ$$

$$X_2 = 461.93 \text{ km} ; \alpha = 21^\circ$$

$$X_3 = 483.22 \text{ km} ; \alpha = 18^\circ$$

3. Mengkalikan setiap panjang garis dengan nilai $\cos \alpha$.

$$X_1 \cos \alpha = 455.25 \text{ km} \times \cos 24^\circ$$

$$X_2 \cos \alpha = 461.93 \text{ km} \times \cos 21^\circ$$

$$X_3 \cos \alpha = 483.22 \text{ km} \times \cos 18^\circ$$

Menghitung panjang fetch efektif untuk setiap arah datangnya angin yang berpengaruh menggunakan rumus 2.4 pada bab 2. Adapun hasil perhitungan panjang fetch efektif untuk setiap arah datangnya angin yang berpengaruh tersaji pada Tabel 3. 4. Dari tabel tersebut, maka panjang *fetch* efektif dari masing-masing arah yang berpengaruh adalah sebagai berikut:

- Arah Barat Laut = 597 km
- Arah Utara = 333 km
- Arah Timur Laut = 456 km

3.6.2 Tinggi Gelombang pada Laut Dalam Berdasarkan Data Kecepatan Angin Maksimum Tahun 2013-2017

Metode Sverdrup Munk Bretschneider (SMB) yang telah dimodifikasi, *Shore Protection Manual*, 1984 terdapat 2 indikator yang menentukan tinggi dan periode gelombang laut dalam, yaitu panjang *fetch* efektif dan kecepatan angin. Kecepatan angin yang digunakan adalah kecepatan angin maksimum dengan arah angin yang berpengaruh terhadap lokasi breakwater yaitu arah barat laut, utara, dan timur laut. Perhitungan tinggi dan periode gelombang adalah sebagai berikut.

Tabel 3. 4 Perhitungan *Fetch* Efektif

No	α	$\cos \alpha$	Xi			Xi $\cos \alpha$		
			timur laut	utara	barat Laut	timur laut	utara	barat Laut
1	24	0.914	122	461.93	455.25	111.45	421.99	415.89
2	21	0.934	415.05	455.25	461.93	387.48	425.01	431.25
3	18	0.951	435.94	449.24	483.22	414.60	427.25	459.57
4	15	0.966	436.69	452.97	500.39	421.81	437.54	483.34
5	12	0.978	438.32	438.64	685.75	428.74	429.05	670.76
6	9	0.988	417.32	367.72	941.12	412.18	363.19	929.53
7	6	0.995	400.38	380.58	619.51	398.19	378.50	616.12
8	3	0.999	398.36	392.54	629.83	397.81	392.00	628.97
9	0	1.000	468.91	392.54	619.00	468.91	392.54	619.00
10	3	0.999	537.30	378.42	583.45	536.56	377.90	582.65
11	6	0.995	316.99	392.54	629.83	315.25	390.39	626.38
12	9	0.988	279.56	410.33	735.29	276.12	405.28	726.24
13	12	0.978	268.84	113.13	758.12	262.97	110.66	741.55
14	15	0.966	420.56	114.09	768.78	406.23	110.20	742.58
15	18	0.951	799.47	114.39	233.62	760.34	108.79	222.19
16	21	0.934	837.58	122.00	257.87	781.95	113.90	240.74
17	24	0.914	533.84	415.05	747.03	487.69	379.17	682.45
	total	14.619				6669.15	4862.20	8720.87
			fetch efektif (km)			456.19	332.59	596.54
			fetch efektif (km)			456	333	597

- Tinggi gelombang laut dalam arah timur laut
 Kec. Maks 2013, $U_5 = 8.0$ knots
 $= 4.0$ m/s
 Kec. Pada +10 mLWS $= U_z \times (10/Z)^{1/7}$
 $= 4.0$ m/s $\times (10/5)^{1/7}$
 $= 4.4$ m/s
 Kor. Temperatur, RT = 1.10
 Kor. Lokasi, RL = 1.50
 $U = 4.4$ m/s $\times 1.1 \times 1.5$
 $= 7.3$ m/s
 $U_a = 0.71 \times U^{1.23}$
 $= 0.71 \times 7.3^{1.23}$
 $= 8.1$ m/s
 Fetch efektif > fetch maks
 597 km > 200 km, menggunakan analisa *fully developed*.

$$H_0 = 2,482 \times 20^{-2} \cdot U_A^2$$

$$H_0 = 2,482 \times 20^{-2} \cdot 8.1^2$$

$$H_0 = 1.6 \text{ m}$$

$$T = 8,308 \times 10^{-1} \cdot U_A$$

$$T = 8,308 \times 10^{-1} \cdot 8.1 \text{ m/s}$$

$$T = 7 \text{ s}$$

Pada Tabel 3. 5 tersaji hasil perhitungan tinggi gelombang dan periode gelombang pada laut dalam setiap tahunnya dengan arah datangnya angin yang berpengaruh terhadap breakwater.

Tabel 3. 5 Analisa Tinggi Gelombang dengan Menggunakan Metode SBM

tahun	arah	fetch	kec. Max		keterangan	U ₁₀	faktor koreksi		U	Ua	Ho	To
		km	knots	m/s		m/s	RT	RL	(m/s)	(m/s)	(m)	(S)
2013	timur laut	456	8.0	4.0	fully develop	4.4	1.1	1.50	7.3	8.1	1.6	7
	utara	333	9.0	4.5	fully develop	5	1.1	1.48	8.1	9.4	2.2	8
	barat laut	597	14.0	7.0	fully develop	7.7	1.1	1.25	10.6	12.9	4.2	11
2014	timur laut	456	8.0	4.0	fully develop	4.4	1.1	1.50	7.3	8.1	1.6	7
	utara	333	9.0	4.5	fully develop	5	1.1	1.48	8.1	9.4	2.2	8
	barat laut	597	8.0	4.0	fully develop	4.4	1.1	1.50	7.3	8.1	1.6	7
2015	timur laut	456	8.0	4.0	fully develop	4.4	1.1	1.50	7.3	8.1	1.6	7
	utara	333	10.0	5.0	fully develop	5.5	1.1	1.40	8.5	9.8	2.4	8
	barat laut	597	10.0	5.0	fully develop	5.5	1.1	1.40	8.5	9.8	2.4	8
2016	timur laut	456	7.0	3.5	fully develop	3.9	1.1	1.85	7.9	9.1	2.0	8
	utara	333	8.0	4.0	fully develop	4.4	1.1	1.50	7.3	8.1	1.6	7
	barat laut	597	12.0	6.0	fully develop	6.6	1.1	1.30	9.4	11.2	3.1	9
2017	timur laut	456	13.0	6.5	fully develop	7.2	1.1	1.35	10.7	13.1	4.3	11
	utara	333	11.0	5.5	fully develop	6.1	1.1	1.28	8.6	10.0	2.5	8
	barat laut	597	10.0	5.0	fully develop	5.5	1.1	1.40	8.5	9.8	2.4	8

Setelah tinggi gelombang maksimum selama 5 tahun didapatkan, maka selanjutnya dilakukan perhitungan refraksi gelombang hingga kedalaman -8 mLWS.

3.6.4 Refraksi Gelombang

Refraksi terjadi karena adanya pengaruh perubahan kedalaman laut. Dimana di laut transisi dan di laut dangkal puncak gelombang akan menjalar dengan lebih lambat dan dengan panjang gelombang yang lebih kecil di daerah yang lebih dangkal, (Triatmojo, 1999). Akibat dari peristiwa tersebut garis puncak gelombang akan membelok dan berusaha untuk sejajar dengan garis kedalam laut.

Perhitungan refraksi pertama kali yang harus dilakukan adalah menentukan sudut garis puncak gelombang dengan kontur dasar pantai (θ_0). Dari pemetaan bathymetri didapatkan bahwa kontur dasar laut perairan di daerah paciran tidak beraturan, maka untuk mempermudah perhitungan dilakukan penyederhanaan garis kontur pantai dengan menarik garis kontur rata-rata. Garis rata-rata ini dibuat berdasarkan asumsi yang mendekati keadaan kontur sebenarnya. Sehingga perhitungan refraksi gelombang adalah sebagai berikut. Tinggi gelombang yang digunakan dalam perhitungan refraksi ini menggunakan tinggi gelombang pada laut dalam yang telah didapatkan pada sub bab sebelumnya. Tinggi gelombang dan periode gelombang pada laut dalam tahun 2013 – 2017 dapat dilihat pada Tabel 3. 6.

Tabel 3. 6 Ho Tahun 2013 - 2017

TAHUN	ARAH	Ho	To
		(m)	(s)
2013	Timur Laut	1.6	7
	Utara	2.2	8
	Barat Laut	4.2	11
2014	Timur Laut	1.6	7
	Utara	2.2	8
	Barat Laut	1.6	7
2015	Timur Laut	1.6	7
	Utara	2.4	8
	Barat Laut	2.4	8
2016	Timur Laut	2.0	8
	Utara	1.6	7
	Barat Laut	3.1	9
2017	Timur Laut	4.3	11
	Utara	2.5	8
	Barat Laut	2.4	8

Adapun perhitungan refraksi sebagai berikut.

- Gelombang Arah Timur Laut tahun 2013

$$H_o = 1.6 \text{ m}$$

$$T_o = 7 \text{ s}$$

$$\alpha_o = 65^\circ$$

kedalaman yang ditinjau mulai dari kedalaman -10 m hingga -4 m. sehingga dilakukan perhitungan sebagai berikut.

$$d = 10 \text{ m}$$

$$L_o = 1.56 \times T^2$$

$$L_o = 1.56 \times 7^2 = 66 \text{ m}$$

$$d/L_o = 10 \text{ m} / 66 \text{ m} = 0.152$$

Dari nilai d/L_o dapat dicari beberapa parameter menggunakan tabel C-1 dari SPM 1984. Parameter-parameter tersebut adalah sebagai berikut.

$$\begin{aligned} \frac{d}{L_o} &= 0.152 \\ \frac{d}{L} &= 0.219 \\ \frac{\tanh 2\pi d}{L} &= 0.880 \end{aligned}$$

Karena $0.5 > d/L > 0.04$, maka tipe perairan pada kedalaman -10 m adalah perairan transisi. Untuk analisa selanjutnya menggunakan tipe perairan transisi.

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

$$L = \frac{9.81 \times 7^2}{2\pi} \times 0.880 = 57.8 \text{ m}$$

$$\begin{aligned} C_1 &= \frac{L_o}{T} \\ &= \frac{66 \text{ m}}{7 \text{ s}} = 10.12 \text{ m/s} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} C_2 &= \frac{L}{T} \\ &= \frac{57.8 \text{ m}}{7 \text{ s}} = 8.91 \text{ m/s} \end{aligned}$$

Dapat dicari sudut datang gelombang pada kedalaman selanjutnya akibat pembelokan.

$$\begin{aligned}\sin \alpha &= \frac{C_1}{C_2} \sin \alpha_1 \\ &= \frac{10.12 \text{ m/s}}{8.91 \text{ m/s}} \sin 65^\circ = 0.245\end{aligned}$$

$$\alpha = 53^\circ$$

Maka koef. Refraksi didapatkan sebagai berikut.

$$\begin{aligned}K_r &= \sqrt{\frac{\cos \alpha_1}{\cos \alpha_2}} \\ &= \sqrt{\frac{\cos 65^\circ}{\cos 53^\circ}} \\ &= 0.837\end{aligned}$$

Selain K_r , Koefisien pendangkalan, K_s , mempengaruhi perhitungan refraksi. K_s didapatkan dari tabel c-1, SPM 1984, sehingga nilai K_s adalah sebagai berikut.

$$K_s = 0.9167$$

Maka tinggi gelombang akibat refraksi dapat dicari menggunakan persamaan sebagai berikut.

$$\begin{aligned}H' &= K_s K_r H \\ &= 0.837 \times 0.9167 \times 1.6 \text{ m} \\ &= 1.3 \text{ m}\end{aligned}$$

Hasil perhitungan refraksi gelombang dapat dilihat pada Tabel 3. 7 s/d Tabel 3. 21.

Tabel 3. 7 Perhitungan Refraksi Gelombang Arah Timur Laut Tahun 2013

α_1	Ho	T	Lo	d	d/L ₀	d/L	$\frac{\tanh 2\pi d/L}{L}$	C ₁	L	C ₂	sin α_2	α_2	Kr	Ks	H	db	
65	1.6	6.48	66	10	0.152	0.219	0.880	10.12	57.8	8.91	0.798	53	0.837	0.9167	1.3	1.6	normal
53	1.3	6.48	66	9	0.137	0.203	0.854	8.91	56.1	8.65	0.774	51	0.976	0.9137	1.1	1.4	normal
51	1.1	6.48	66	8	0.122	0.187	0.825	8.65	54.1	8.35	0.748	48	0.976	0.9132	1.0	1.3	normal
48	1.0	6.48	66	7	0.107	0.171	0.791	8.35	51.9	8.00	0.716	46	0.976	0.9156	0.9	1.1	normal
46	0.9	6.48	66	6	0.091	0.155	0.750	8.00	49.2	7.59	0.679	43	0.975	0.9223	0.8	1.0	normal
43	0.8	6.48	66	5	0.076	0.138	0.698	7.59	45.8	7.07	0.633	39	0.973	0.9362	0.7	0.9	normal
39	0.7	6.48	66	4	0.061	0.121	0.639	7.07	41.9	6.47	0.579	35	0.975	0.9576	0.7	0.9	normal
35	0.7	6.48	66	3	0.046	0.102	0.567	6.47	37.2	5.74	0.514	31	0.975	0.9958	0.7	0.9	normal
31	0.7	6.48	66	2	0.030	0.822	0.475	5.74	37.2	5.74	0.514	31	1.000	1.069	0.7	0.9	normal
31	0.7	6.48	66	1	0.015	0.561	0.339	5.74	37.2	5.74	0.514	31	1.000	1.24	0.9	1.1	pecah

Tabel 3. 8 Perhitungan Refraksi Gelombang Arah Timur Laut Tahun 2014

α_1	Ho	T	Lo	d	d/L ₀	d/L	$\frac{\tanh 2\pi d/L}{L}$	C ₁	L	C ₂	sin α_2	α_2	Kr	Ks	H	Gelombang Pecah	
																db	ket
65	1.6	6.48	66	10	0.152	0.219	0.880	10.12	57.8	8.91	0.798	53	0.837	0.9167	1.3	1.6	normal
53	1.3	6.48	66	9	0.137	0.203	0.854	8.91	56.1	8.65	0.774	51	0.976	0.9137	1.1	1.4	normal
51	1.1	6.48	66	8	0.122	0.187	0.825	8.65	54.1	8.35	0.748	48	0.976	0.9132	1.0	1.3	normal
48	1.0	6.48	66	7	0.107	0.171	0.791	8.35	51.9	8.00	0.716	46	0.976	0.9156	0.9	1.1	normal
46	0.9	6.48	66	6	0.091	0.155	0.750	8.00	49.2	7.59	0.679	43	0.975	0.9223	0.8	1.0	normal
43	0.8	6.48	66	5	0.076	0.138	0.698	7.59	45.8	7.07	0.633	39	0.973	0.9362	0.7	0.9	normal
39	0.7	6.48	66	4	0.061	0.121	0.639	7.07	41.9	6.47	0.579	35	0.975	0.9576	0.7	0.9	normal
35	0.7	6.48	66	3	0.046	0.104	0.580	6.47	38.1	5.87	0.526	32	0.979	0.979	0.7	0.8	normal
32	0.7	6.48	66	2	0.030	0.087	0.521	5.87	34.2	5.28	0.472	28	0.982	1.0004	0.6	0.8	normal
28	0.6	6.48	66	1	0.015	0.069	0.462	5.28	30.3	4.68	0.419	25	0.985	1.0218	0.6	0.8	normal
25	0.6	6.48	66	0.8	0.012	0.052	0.403	4.68	26.5	4.08	0.365	21	0.988	1.0432	0.7	0.9	pecah

Tabel 3. 9 Perhitungan Refraksi Gelombang Arah Timur Laut Tahun 2015

α_1	Ho	T	Lo	d	d/L ₀	d/L	$\frac{\tanh 2\pi d/L}{}$	C ₁	L	C ₂	sin α_2	α_2	Kr	Ks	H	Gelombang Pecah	
																db	ket
65	1.6	6.48	66	10	0.152	0.219	0.880	10.12	57.8	8.91	0.798	53	0.837	0.9167	1.3	1.6	normal
53	1.3	6.48	66	9	0.137	0.203	0.854	8.91	56.1	8.65	0.774	51	0.976	0.9137	1.1	1.4	normal
51	1.1	6.48	66	8	0.122	0.187	0.825	8.65	54.1	8.35	0.748	48	0.976	0.9132	1.0	1.3	normal
48	1.0	6.48	66	7	0.107	0.171	0.791	8.35	51.9	8.00	0.716	46	0.976	0.9156	0.9	1.1	normal
46	0.9	6.48	66	6	0.091	0.155	0.750	8.00	49.2	7.59	0.679	43	0.975	0.9223	0.8	1.0	normal
43	0.8	6.48	66	5	0.076	0.138	0.698	7.59	45.8	7.07	0.633	39	0.973	0.9362	0.7	0.9	normal
39	0.7	6.48	66	4	0.061	0.121	0.639	7.07	41.9	6.47	0.579	35	0.975	0.9576	0.7	0.9	normal
35	0.7	6.48	66	3	0.046	0.104	0.580	6.47	38.1	5.87	0.526	32	0.979	0.979	0.7	0.8	normal
32	0.7	6.48	66	2	0.030	0.087	0.521	5.87	34.2	5.28	0.472	28	0.982	1.0004	0.6	0.8	normal
28	0.6	6.48	66	1	0.015	0.069	0.462	5.28	30.3	4.68	0.419	25	0.985	1.0218	0.6	0.8	normal
25	0.6	6.48	66	0.8	0.012	0.052	0.403	4.68	26.5	4.08	0.365	21	0.988	1.0432	0.7	0.9	pecah

Tabel 3. 10 Perhitungan Refraksi Gelombang Arah Timur Laut Tahun 2016

α_1	Ho	T	Lo	d	d/L ₀	d/L	$\frac{\tanh 2\pi d/L}{}$	C ₁	L	C ₂	sin α_2	α_2	Kr	Ks	H	Gelombang Pecah	
																db	ket
65	2.0	7.23	82	10	0.122	0.192	0.835	11.29	68.2	9.43	0.757	49	0.804	0.913	1.5	1.9	normal
49	1.5	7.23	82	9	0.110	0.178	0.808	9.43	66.0	9.12	0.732	47	0.980	0.914	1.3	1.7	normal
47	1.3	7.23	82	8	0.098	0.649	0.776	9.12	66.0	9.12	0.732	47	1.000	0.918	1.2	1.6	normal
47	1.2	7.23	82	7	0.086	0.151	0.740	9.12	60.5	8.36	0.671	42	0.959	0.926	1.1	1.4	normal
42	1.1	7.23	82	6	0.073	0.138	0.698	8.36	57.0	7.89	0.633	39	0.979	0.936	1.0	1.3	normal
39	1.0	7.23	82	5	0.061	0.123	0.649	7.89	53.0	7.33	0.588	36	0.979	0.955	0.9	1.2	normal
36	0.9	7.23	82	4	0.049	0.108	0.591	7.33	48.3	6.68	0.536	32	0.979	0.984	0.9	1.2	normal
32	0.9	7.23	82	3	0.037	0.092	0.545	6.68	44.5	6.15	0.494	30	0.985	1.030	0.9	1.2	normal
30	0.9	7.23	82	2	0.024	0.739	0.433	6.15	44.5	6.15	0.494	30	1.000	1.104	1.0	1.3	normal
30	1.0	7.23	82	1	0.012	0.051	0.323	6.15	26.3	3.64	0.292	17	0.954	1.288	1.2	1.6	pecah

Tabel 3. 11 Perhitungan Refraksi Gelombang Arah Timur Laut Tahun 2017

α_1	Ho	T	Lo	d	d/L ₀	d/L	$\frac{\tanh 2\pi d/L}{L}$	C ₁	L	C ₂	sin α_2	α_2	Kr	Ks	H	Gelombang Pecah	
																db	ket
65	3.3	9.20	132	10	0.076	0.120	0.636	14.37	84.1	9.14	0.576	35	0.719	0.9607	2.3	2.9	normal
35	2.3	9.20	132	9	0.068	0.112	0.607	9.14	80.2	8.72	0.550	33	0.989	0.9752	2.2	2.8	normal
33	2.2	9.20	132	8	0.061	0.105	0.579	8.72	76.6	8.33	0.525	32	0.991	0.9907	2.2	2.8	normal
32	2.2	9.20	132	7	0.053	0.097	0.545	8.33	72.1	7.83	0.494	30	0.989	1.013	2.2	2.8	normal
30	2.2	9.20	132	6	0.045	0.089	0.507	7.83	67.0	7.28	0.459	27	0.989	1.042	2.2	2.9	normal
27	2.2	9.20	132	5	0.038	0.081	0.469	7.28	62.0	6.74	0.425	25	0.991	1.075	2.4	3.0	normal
25	2.4	9.20	132	4	0.030	0.071	0.421	6.74	55.6	6.04	0.381	22	0.989	1.125	2.6	3.4	normal
22	2.6	9.20	132	3	0.023	0.062	0.371	6.04	49.1	5.33	0.336	20	0.991	1.189	3.1	4.0	pecah

Tabel 3. 12 Perhitungan Refraksi Gelombang Arah Utara Tahun 2013

α_1	Ho	T	Lo	d	d/L ₀	d/L	$\frac{\tanh 2\pi d/L}{L}$	C ₁	L	C ₂	sin α_2	α_2	Kr	Ks	H	Gelombang Pecah	
																db	ket
68	2.2	7	86.9	10	0.115	0.183	0.817	11.65	71.0	9.51	0.757	49	0.757	0.9134	1.5	1.9	normal
49	1.5	7	86.9	9	0.104	0.170	0.789	9.51	68.6	9.19	0.731	47	0.978	0.9158	1.3	1.7	normal
47	1.3	7	86.9	8	0.092	0.157	0.757	9.19	65.8	8.82	0.702	45	0.978	0.9209	1.2	1.6	normal
45	1.2	7	86.9	7	0.081	0.145	0.720	8.82	62.6	8.39	0.668	42	0.978	0.9297	1.1	1.4	normal
42	1.1	7	86.9	6	0.069	0.131	0.678	8.39	58.9	7.90	0.628	39	0.978	0.9433	1.0	1.3	normal
39	1.0	7	86.9	5	0.058	0.119	0.623	7.90	54.2	7.26	0.578	35	0.976	0.9624	1.0	1.2	normal
35	1.0	7	86.9	4	0.046	0.104	0.575	7.26	50.0	6.70	0.533	32	0.982	0.9932	0.9	1.2	normal
32	0.9	7	86.9	3	0.035	0.089	0.507	6.70	44.0	5.90	0.470	28	0.979	1.042	1.0	1.2	normal
28	1.0	7	86.9	2	0.023	0.071	0.421	5.90	36.6	4.90	0.390	23	0.979	1.125	1.1	1.3	normal
23	1.1	7	86.9	1	0.012	0.050	0.302	4.90	26.3	3.52	0.280	16	0.979	1.049	1.1	1.4	pecah

Tabel 3. 13 Perhitungan Refraksi Gelombang Arah Utara Tahun 2014

α_1	Ho	T	Lo	d	d/L ₀	d/L	$\frac{\tanh 2\pi d/L}{L}$	C ₁	L	C ₂	sin α_2	α_2	Kr	Ks	H	Gelombang Pecah	
																db	ket
68	2.2	6	65.6	10	0.152	0.183	0.817	10.12	53.6	8.27	0.757	49	0.757	0.9134	1.5	1.9	normal
49	1.5	6	65.6	9	0.137	0.170	0.789	8.27	51.7	7.98	0.731	47	0.978	0.9158	1.3	1.7	normal
47	1.3	6	65.6	8	0.122	0.157	0.757	7.98	49.6	7.66	0.702	45	0.978	0.9209	1.2	1.6	normal
45	1.2	6	65.6	7	0.107	0.145	0.720	7.66	47.2	7.29	0.668	42	0.978	0.9297	1.1	1.4	normal
42	1.1	6	65.6	6	0.091	0.131	0.678	7.29	44.5	6.86	0.628	39	0.978	0.9433	1.0	1.3	normal
39	1.0	6	65.6	5	0.076	0.119	0.623	6.86	40.9	6.31	0.578	35	0.976	0.9624	1.0	1.2	normal
35	1.0	6	65.6	4	0.061	0.104	0.575	6.31	37.7	5.82	0.533	32	0.982	0.9932	0.9	1.2	normal
32	0.9	6	65.6	3	0.046	0.089	0.507	5.82	33.2	5.13	0.470	28	0.979	1.042	1.0	1.2	normal
28	1.0	6	65.6	2	0.030	0.071	0.421	5.13	27.6	4.26	0.390	23	0.979	1.125	1.1	1.3	normal
23	1.1	6	65.6	1	0.015	0.050	0.302	4.26	19.8	3.06	0.280	16	0.979	1.049	1.1	1.4	pecah

Tabel 3. 14 Perhitungan Refraksi Gelombang Arah Utara Tahun 2015

α_1	Ho	T	Lo	d	d/L ₀	d/L	$\frac{\tanh 2\pi d/L}{L}$	C ₁	L	C ₂	sin α_2	α_2	Kr	Ks	H	Gelombang Pecah	
																db	ket
68	2.4	8	95.9	10	0.104	0.268	0.780	12.23	74.8	9.55	0.724	46	0.737	0.9164	1.6	2.1	normal
46	1.6	8	95.9	9	0.094	0.157	0.757	9.55	72.5	9.26	0.702	45	0.984	0.902	1.4	1.8	normal
45	1.4	8	95.9	8	0.083	0.145	0.723	9.26	69.3	8.84	0.670	42	0.980	0.929	1.3	1.7	normal
42	1.3	8	95.9	7	0.073	0.134	0.687	8.84	65.8	8.40	0.637	40	0.981	0.9391	1.2	1.5	normal
40	1.2	8	95.9	6	0.063	0.122	0.646	8.40	61.9	7.90	0.599	37	0.981	0.952	1.1	1.4	normal
37	1.1	8	95.9	5	0.052	0.110	0.599	7.90	57.5	7.33	0.556	34	0.981	0.9793	1.1	1.4	normal
34	1.1	8	95.9	4	0.042	0.973	0.545	7.33	57.5	7.33	0.556	34	1.000	1.013	1.1	1.4	normal
34	1.1	8	95.9	3	0.031	0.083	0.480	7.33	46.0	5.88	0.445	26	0.964	1.064	1.1	1.4	normal
26	1.1	8	95.9	2	0.021	0.066	0.393	5.88	37.7	4.81	0.365	21	0.981	1.159	1.3	1.6	normal
21	1.3	8	95.9	1	0.010	0.046	0.282	4.81	27.0	3.45	0.261	15	0.982	1.35	1.7	2.2	pecah

Tabel 3. 15 Perhitungan Refraksi Gelombang Arah Utara Tahun 2016

α_1	Ho	T	Lo	d	d/L ₀	d/L	$\frac{\tanh 2\pi d/L}{2\pi d/L}$	C ₁	L	C ₂	sin α_2	α_2	Kr	Ks	H	Gelombang Pecah	
																db	ket
68	1.6	6	65.6	10	0.152	0.219	0.880	10.12	57.8	8.91	0.816	55	0.805	0.9167	1.2	1.6	normal
55	1.2	6	65.6	9	0.137	0.203	0.854	8.91	56.1	8.65	0.792	52	0.973	0.9137	1.1	1.4	normal
52	1.1	6	65.6	8	0.122	0.187	0.825	8.65	54.1	8.35	0.765	50	0.973	0.9132	1.0	1.2	normal
50	1.0	6	65.6	7	0.107	0.171	0.791	8.35	51.9	8.00	0.733	47	0.973	0.9156	0.9	1.1	normal
47	0.9	6	65.6	6	0.091	0.155	0.750	8.00	49.2	7.59	0.695	44	0.973	0.9223	0.8	1.0	normal
44	0.8	6	65.6	5	0.076	0.138	0.698	7.59	45.8	7.07	0.647	40	0.971	0.9362	0.7	0.9	normal
40	0.7	6	65.6	4	0.061	0.121	0.639	7.07	41.9	6.47	0.593	36	0.973	0.9591	0.6	0.8	normal
36	0.6	6	65.6	3	0.046	0.102	0.567	6.47	37.2	5.74	0.526	32	0.973	0.975	0.6	0.8	normal
32	0.6	6	65.6	2	0.030	0.082	0.475	5.74	31.1	4.80	0.440	26	0.973	1.069	0.6	0.8	normal
26	0.6	6	65.6	1	0.015	0.056	0.339	4.80	22.2	3.43	0.314	18	0.972	1.240	0.8	1.0	normal
18	0.8	6	65.6	0.5	0.008	0.040	0.292	3.43	19.2	2.96	0.271	16	0.993	1.435	1.1	1.4	pecah

Tabel 3. 16 Perhitungan Refraksi Gelombang Arah Utara Tahun 2017

α_1	Ho	T	Lo	d	d/L ₀	d/L	$\frac{\tanh 2\pi d/L}{2\pi d/L}$	C ₁	L	C ₂	sin α_2	α_2	Kr	Ks	H	Gelombang Pecah	
																db	ket
68	2.5	8.0	99.2	10	0.101	0.167	0.780	12.45	77.4	9.71	0.724	46	0.737	0.9169	1.7	2.1	normal
46	1.7	8.0	99.2	9	0.091	0.156	0.752	9.71	74.6	9.36	0.697	44	0.981	0.9218	1.5	1.9	normal
44	1.5	8.0	99.2	8	0.081	0.145	0.720	9.36	71.4	8.96	0.668	42	0.981	0.9297	1.4	1.8	normal
42	1.4	8.0	99.2	7	0.071	0.133	0.638	8.96	63.3	7.94	0.592	36	0.961	0.9411	1.3	1.6	normal
36	1.3	8.0	99.2	6	0.060	0.121	0.646	7.94	64.1	8.04	0.599	37	1.003	0.9576	1.2	1.5	normal
37	1.2	8.0	99.2	5	0.050	0.109	0.595	8.04	59.1	7.41	0.552	34	0.980	0.9815	1.2	1.5	normal
34	1.2	8.0	99.2	4	0.040	0.962	0.540	7.41	59.1	7.41	0.552	34	1.000	1.016	1.2	1.5	normal
34	1.2	8.0	99.2	3	0.030	0.620	0.371	7.41	59.1	7.41	0.552	34	1.000	1.189	1.4	1.8	normal
34	1.4	8.0	99.2	2	0.020	0.661	0.392	7.41	59.1	7.41	0.552	34	1.000	1.159	1.6	2.1	pecah

Tabel 3. 17 Perhitungan Refraksi Gelombang Arah Barat Laut Tahun 2013

α_1	Ho	T	Lo	d	d/L ₀	d/L	$\frac{\tanh 2\pi d/L}{L}$	C ₁	L	C ₂	sin α_2	α_2	Kr	Ks	H	Gelombang Pecah	
																db	ket
23	4.2	10	166.0	10	0.060	0.108	0.591	16.10	98.2	9.52	0.231	13	0.973	0.9837	4.0	5.1	normal
13	4.0	10	166.0	9	0.054	0.102	0.567	9.52	94.1	9.12	0.221	13	0.999	0.9985	4.0	5.1	normal
13	4.0	10	166.0	8	0.048	0.095	0.537	9.12	89.1	8.65	0.210	12	0.999	1.019	4.0	5.2	normal
12	4.0	10	166.0	7	0.042	0.089	0.507	8.65	84.1	8.16	0.198	11	0.999	1.042	4.2	5.4	normal
11	4.2	10	166.0	6	0.036	0.082	0.475	8.16	78.8	7.64	0.185	11	0.999	1.046	4.4	5.6	normal
11	4.4	10	166.0	5	0.030	0.074	0.433	7.64	71.9	6.97	0.169	10	0.999	1.111	4.9	6.2	pecah

Tabel 3. 18 Perhitungan Refraksi Gelombang Arah Barat Laut Tahun 2014

α_1	Ho	T	Lo	d	d/L ₀	d/L	$\frac{\tanh 2\pi d/L}{L}$	C ₁	L	C ₂	sin α_2	α_2	Kr	Ks	H	Gelombang Pecah	
																db	ket
23	1.6	6	65.6	10	0.152	0.219	0.880	10.12	57.8	8.91	0.344	20	0.990	0.9167	1.5	1.9	normal
20	1.5	6	65.6	9	0.137	0.203	0.854	8.91	56.1	8.65	0.334	20	0.998	0.9137	1.4	1.7	normal
20	1.4	6	65.6	8	0.122	0.187	0.825	8.65	54.1	8.35	0.322	19	0.998	0.9132	1.2	1.6	normal
19	1.2	6	65.6	7	0.107	0.171	0.791	8.35	51.9	8.00	0.309	18	0.998	0.9156	1.1	1.4	normal
18	1.1	6	65.6	6	0.091	0.155	0.750	8.00	49.2	7.59	0.293	17	0.997	0.9223	1.0	1.3	normal
17	1.0	6	65.6	5	0.076	0.138	0.698	7.59	45.8	7.07	0.273	16	0.997	0.9362	1.0	1.2	normal
16	1.0	6	65.6	4	0.061	0.121	0.639	7.07	41.9	6.47	0.250	14	0.997	0.9576	0.9	1.2	normal
14	0.9	6	65.6	3	0.046	0.102	0.567	6.47	37.2	5.74	0.221	13	0.996	0.999	0.9	1.2	normal
13	0.9	6	65.6	2	0.030	0.082	0.475	5.74	31.1	4.80	0.185	11	0.996	1.069	1.0	1.3	normal
11	1.0	6	65.6	1	0.015	0.056	0.339	4.80	22.2	3.43	0.132	8	0.996	1.240	1.2	1.6	pecah

Tabel 3. 19 Perhitungan Refraksi Gelombang Arah Barat Laut Tahun 2015

α_1	Ho	T	Lo	d	d/L ₀	d/L	$\frac{\tanh 2\pi d/L}{L}$	C ₁	L	C ₂	sin α_2	α_2	Kr	Ks	H	Gelombang Pecah	
																db	ket
23	2.4	8	95.9	10	0.104	0.168	0.784	12.23	75.2	9.60	0.306	18	0.983	0.9164	2.2	2.8	normal
18	2.2	8	95.9	9	0.094	0.157	0.757	9.60	72.5	9.26	0.296	17	0.998	0.9209	2.0	2.5	normal
17	2.0	8	95.9	8	0.083	0.145	0.722	9.26	69.2	8.83	0.282	16	0.998	0.929	1.8	2.4	normal
16	1.8	8	95.9	7	0.073	0.134	0.687	8.83	65.8	8.40	0.268	16	0.998	0.9401	1.7	2.2	normal
16	1.7	8	95.9	6	0.063	0.122	0.646	8.40	61.9	7.90	0.252	15	0.998	0.952	1.6	2.1	normal
15	1.6	8	95.9	5	0.052	0.110	0.599	7.90	57.5	7.33	0.234	14	0.998	0.9793	1.6	2.1	normal
14	1.6	8	95.9	4	0.042	0.973	0.545	7.33	57.5	7.33	0.234	14	1.000	1.013	1.6	2.1	normal
14	1.6	8	95.9	3	0.031	0.083	0.480	7.33	46.0	5.88	0.188	11	0.995	1.064	1.7	2.2	normal
11	1.7	8	95.9	2	0.021	0.066	0.393	5.88	37.7	4.81	0.154	9	0.997	1.159	2.0	2.5	pecah

Tabel 3. 20 Perhitungan Refraksi Gelombang Arah Barat Laut Tahun 2016

α_1	Ho	T	Lo	d	d/L ₀	d/L	$\frac{\tanh 2\pi d/L}{L}$	C ₁	L	C ₂	sin α_2	α_2	Kr	Ks	H	Gelombang Pecah	
																db	ket
23	2.4	8	95.9	10	0.104	0.168	0.784	12.23	75.2	9.60	0.306	18	0.983	0.9164	2.2	2.8	normal
18	2.2	8	95.9	9	0.094	0.157	0.757	9.60	72.5	9.26	0.296	17	0.998	0.9209	2.0	2.5	normal
17	2.0	8	95.9	8	0.083	0.145	0.722	9.26	69.2	8.83	0.282	16	0.998	0.929	1.8	2.4	normal
16	1.8	8	95.9	7	0.073	0.134	0.687	8.83	65.8	8.40	0.268	16	0.998	0.9401	1.7	2.2	normal
16	1.7	8	95.9	6	0.063	0.122	0.646	8.40	61.9	7.90	0.252	15	0.998	0.952	1.6	2.1	normal
15	1.6	8	95.9	5	0.052	0.110	0.599	7.90	57.5	7.33	0.234	14	0.998	0.9793	1.6	2.1	normal
14	1.6	8	95.9	4	0.042	0.973	0.545	7.33	57.5	7.33	0.234	14	1.000	1.013	1.6	2.1	normal
14	1.6	8	95.9	3	0.031	0.083	0.480	7.33	46.0	5.88	0.188	11	0.995	1.064	1.7	2.2	normal
11	1.7	8	95.9	2	0.021	0.066	0.393	5.88	37.7	4.81	0.154	9	0.997	1.159	2.0	2.5	pecah

Tabel 3. 21 Perhitungan Refraksi Gelombang Arah Barat Laut Tahun 2017

α_1	Ho	T	Lo	d	d/L ₀	d/L	$\frac{\tanh 2\pi d/L}{2\pi d/L}$	C ₁	L	C ₂	sin α_2	α_2	Kr	Ks	H	Gelombang Pecah	
																db	ket
23	2.4	8	95.9	10	0.104	0.168	0.782	12.23	75.0	9.57	0.306	18	0.983	0.9166	2.2	2.8	normal
18	2.2	8	95.9	9	0.094	0.157	0.988	9.57	94.7	12.09	0.386	23	1.016	0.9214	2.0	2.6	normal
23	2.0	8	95.9	8	0.083	0.145	0.723	12.09	69.3	8.84	0.282	16	0.981	0.929	1.8	2.4	normal
16	1.8	8	95.9	7	0.073	0.134	0.687	8.84	65.8	8.40	0.268	16	0.998	0.9401	1.7	2.2	normal
16	1.7	8	95.9	6	0.063	0.122	0.646	8.40	61.9	7.90	0.252	15	0.998	0.9562	1.6	2.1	normal
15	1.6	8	95.9	5	0.052	0.110	0.599	7.90	57.5	7.33	0.234	14	0.998	0.9793	1.6	2.1	normal
14	1.6	8	95.9	4	0.042	0.973	0.545	7.33	57.5	7.33	0.234	14	1.000	1.013	1.6	2.1	normal
14	1.6	8	95.9	3	0.031	0.083	0.480	7.33	46.0	5.88	0.188	11	0.995	1.064	1.7	2.2	normal
11	1.7	8	95.9	2	0.021	0.066	0.393	5.88	37.7	4.81	0.154	9	0.997	1.159	2.0	2.6	pecah

3.6.3 Tinggi Gelombang Berdasarkan Periode Ulang.

Dalam metode ini prediksi dilakukan untuk memperkirakan tinggi gelombang dengan berbagai periode ulang dengan penentuan perilaku gelombang maksimum yang pernah terjadi untuk analisa selanjutnya. Prediksi tinggi gelombang dengan periode ulang tertentu menggunakan regresi linear, dengan persamaan 2.13.

Dengan komponen A dan B dihitung dengan regresi linear untuk tipe distribusi weibull. Untuk perhitungan menggunakan periode ulang, tinggi gelombang hasil refraksi hingga kedalaman -8 mLWS yang telah didapatkan pada sub bab sebelumnya yang tersaji pada Tabel 3. 22. Kemudian tinggi gelombang tersebut diurutkan dari terbesar ke terkecil.

Tabel 3. 22 Tinggi Gelombang Setelah Refraksi pada -8 mLWS

Tahun	H (m)		
	Timur Laut	Utara	Barat Laut
2013	1.0	1.2	4.0
2014	1.0	1.6	1.2
2015	1.0	1.3	1.8
2016	1.2	1.0	1.8
2017	2.2	1.4	1.8

- Tinggi gelombang arah timur laut

$$H_{01} = 3.31 \text{ m}$$

$$P(H_o \leq H_{om}) = 1 - \frac{m - 0.22 - \frac{0.27}{\sqrt{k}}}{N_T + 0.2 + \frac{0.23}{\sqrt{k}}}$$

$$N_T = \text{jumlah data} = 5$$

$$k = 2$$

$$P(H_o \leq H_{om}) = 1 - \frac{1 - 0.22 - \frac{0.27}{\sqrt{2}}}{5 + 0.2 + \frac{0.23}{\sqrt{2}}}$$

$$= 0.895$$

$$Y_m = \{-\ln(1 - P(H_o \leq H_{om}))\}^{1/k}$$

$$Y_m = \{-\ln(1 - 0.895)\}^{1/2}$$

$$= 1.834$$

Untuk mendapatkan koefisien A dan B dapat dilakukan dengan menabelkan perhitungan diatas seperti pada Tabel 3. 23.

Tabel 3. 23 Perhitungan Regresi linear

No. Urut	H	P	Ym	H.Ym	Ym ²
1	0.5	0.895	1.834	0.99	3.36
2	0.5	0.710	1.172	0.63	1.37
3	0.5	0.525	0.802	0.43	0.64
4	0.7	0.339	0.518	0.36	0.27
5	2.6	0.154	0.263	0.70	0.07
jumlah	4.96	2.62	4.59	3.12	5.72
rata-rata	0.99	0.52	0.92	0.62	1.14

Maka nilai koefisien A dan B dapat dihitung sebagai berikut.

$$A = \frac{n \cdot \sum H x Y_m - \sum H x \sum Y_m}{n \sum Y_m^2 - (\sum Y_m)^2}$$

$$A = \frac{5 \times 3.12 - 4.96 \times 4.59}{5 \times 5.72 - (4.59)^2} = -0.956$$

$$B = \overline{H} - A \cdot \overline{Y_m}$$

$$B = 0.99 - (-0.956) \times 0.92 = 1.871$$

Sehingga tinggi gelombang dengan periode ulang dapat dihitung menggunakan persamaan berikut.

$$H = A \cdot Y_r + B$$

Dimana

$$Y_r = \{\ln(L \times T_r)\}^{1/k}, \text{ dengan}$$

$$L = \frac{N_T}{K}$$

$$N_T = \text{jumlah data} = 5$$

$$K = \text{panjang data (tahun)} = 5$$

$$k = \text{koef. weibull} = 2, \text{ maka}$$

$$T_r = \text{periode ulang} = 2$$

$$Y_r = \left\{ \ln \left(\frac{5}{5} \times 2 \right) \right\}^{1/2} = 0.761$$

$$H' = -0.956 \times 0.761 + 1.871 = 1.143 \text{ m} \approx 1.1 \text{ m}$$

Mengingat tingkat ketidak pastian yang tinggi dalam prediksi tinggi gelombang laut dalam, maka perkiraan interval keyakinan sangat penting dalam analisis ini. Batas keyakinan sangat dipengaruhi oleh penyebaran data, sehingga nilainya bergantung pada deviasi standar. Deviasi standar dapat dihitung dengan rumus 2.14. Sebelumnya perlu dihitung beberapa parameter sebagai berikut.

$$\alpha = \alpha_1 \cdot e^{\alpha_2 \cdot N^{-1.3} + k \cdot \sqrt{-\ln \frac{N}{N_T}}}$$

Dimana koefisien-koefisien yang digunakan adalah seperti tabel dibawah.

Tabel 3. 24 Koefisien untuk Menghitung Deviasi Standar

Distribusi	α_1	α_2	k	c	ϵ
Fisher-Tippett Type I	0,64	9,00	0,93	0,00	1,33
Weibull (k = 0,75)	1,65	11,40	-0,63	0,00	1,15
Weibull (k = 1,00)	1,92	11,40	0,00	0,30	0,90
Weibull (k = 1,40)	2,05	11,40	0,69	0,40	0,72
Weibull (k = 2,00)	2,24	11,40	1,34	0,50	0,54

Sumber: OCDI, 2002

Sehingga standar deviasi dapat dihitung sebagai berikut.

$$\alpha = 2.24 x e^{11.4 x 5^{-1.3} + 2\sqrt{-\ln \frac{5}{5}}} = 9.146$$

$$\begin{aligned} \sigma_{nr} &= \frac{1}{\sqrt{5}} \left[1 + 9.146 (0.833 - 0.5 + 0.54 x \ln \frac{5}{5})^2 \right]^{1/2} \\ &= 0.569 \end{aligned}$$

Deviasi standar untuk prediksi tinggi gelombang perlu dicari kesalahan standarnya. Kesalahan standar ini yang nantinya akan menjadi batas interval keyakinan prediksi tinggi gelombang. Batas interval yang digunakan dapat dilihat pada Tabel 3. 25.

Tabel 3. 25 Batas interval Keyakinan Prediksi Tinggi Gelombang

Tingkat Keyakinan (%)	Batas Interval Keyakinan Terhadap:	Probabilitas Batas Atas Terlampaui (%)
80	1,28 σ_r	10,0
85	1,44 σ_r	7,5
90	1,65 σ_r	5,0
95	1,96 σ_r	2,5
99	2,58 σ_r	0,5

Sumber: Triatmojo, 1999

Dimana,

$$\sigma_r = \sigma_{nr} x \sigma H_s$$

$$\sigma_{H_s} = \left[\frac{1}{N-1} \sum_{i=1}^N (H_i - \overline{H})^2 \right]^{1/2}$$

$$\sigma_{H_s} = \left[\frac{1}{5-1} \times 2.07 \right]^{1/2} = 0.720$$

Maka,

$$\begin{aligned} \sigma_r &= 0.569 \times 0.720 = 0.410 \\ \text{batas atas } H_o &= H_o - 1.28 \sigma_r \\ &= 2.2 \text{ m} - 1.28 \times 0.042 \\ &= 2.221 \text{ m} \approx 2.2 \text{ m} \end{aligned}$$

Perhitungan prediksi tinggi gelombang laut dalam arah timur laut, utara, dan barat laut dengan menggunakan berbagai periode ulang. Direncanakan breakwater menggunakan periode ulang 50 tahun, maka prediksi tinggi gelombang pada laut dalam dengan periode ulang tersebut dapat dilihat pada Tabel 3. 26.

Tabel 3. 26 Tinggi Gelombang pada kedalaman -8 mLWS Arah Timur Laut dengan Periode Ulang 50 Tahun

Periode Ulang	Yr	H'	α	σ_{nr}	σ_r	H'+1.28 σ_r
(Tahun)	(Tahun)	(m)				(m)
2	0.761	1.2	9.146	0.569	0.120	1.3
5	1.426	1.7	9.146	1.330	0.280	2.0
10	1.863	2.0	9.146	1.897	0.400	2.5
20	2.268	2.3	9.146	2.432	0.512	2.9
50	2.768	2.7	9.146	3.099	0.653	3.5
100	3.126	2.9	9.146	3.579	0.754	3.9

Tabel 3. 27 Tinggi Gelombang pada kedalaman -8 mLWS Arah Utara dengan Periode Ulang 50 Tahun

Periode Ulang	Yr	H'	α	σ_{nr}	σ_r	H'+1.28 σ_r
(Tahun)	(Tahun)	(m)				(m)
2	0.761	1.5	9.146	0.569	0.206	1.8
5	1.426	1.8	9.146	1.330	0.482	2.4
10	1.863	1.9	9.146	1.897	0.688	2.8
20	2.268	2.1	9.146	2.432	0.881	3.2
50	2.768	2.2	9.146	3.099	1.123	3.7
100	3.126	2.4	9.146	3.579	1.297	4.0

Tabel 3. 28 Tinggi Gelombang pada kedalaman -8 mLWS Arah Barat Laut dengan Periode Ulang 50 Tahun

Periode Ulang	Yr	H'	α	σ_{nr}	σ_r	H'+1.28 σ_r
(Tahun)	(Tahun)	(m)				(m)
2	0.761	1.5	9.146	0.569	0.075	1.6
5	1.426	1.7	9.146	1.330	0.174	1.9
10	1.863	2.0	9.146	1.897	0.249	2.3
20	2.268	2.3	9.146	2.432	0.319	2.7
50	2.768	2.7	9.146	3.099	0.406	3.2
100	3.126	2.9	9.146	3.579	0.469	3.5

3.7 Data Tanah

3.7.1 Data Tanah Dasar

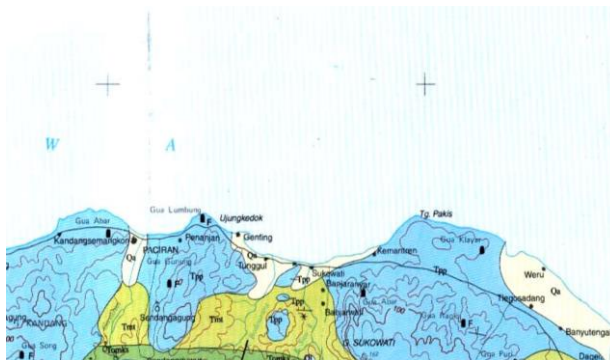
Data tanah yang digunakan didapat dari pekerjaan *soil investigation* di desa Tunggul, Kecamatan Paciran Kabupaten Lamongan yang dilakukan oleh tim LPPM ITS dengan pemboran inti hingga kedalaman 30 meter. Dari pengujian tersebut dapat dilihat pada tabel Tabel 3. 29.

Tabel 3. 29 Hasil *Soil Investigation* di Desa Tunggul, Kecamatan Paciran

Deskripsi	Depth	N-SPT
	(m)	
lempung berlanau	0	2
	-3	2
pasir berlanau	-5	4
	-15	50
	-23	19
	-25	50
Pasir padat / batuan gamping	-30	27

Dari data tersebut dapat diketahui tanah didominasi dengan pasir berlanau. Lapisan tanah keras berupa *limestone* yang porous. Berdasarkan Peta Geologi Lembar Tuban, daerah perairan paciran berupa batuan gamping atau *limestone* seperti pada Gambar 3. 8 s/d Gambar 3. 9.

Dalam data tanah yang dimiliki hanya terdapat data SPT sehingga perlu dilakukan korelasi nilai SPT untuk mendapat parameter tanah yang lain dengan menggunakan korelasi dari Bowles dan Biarez & Favre seperti pada Tabel 3. 30.



Gambar 3. 8 Peta Geologi Perairan Paciran

Sumber: Hartono dan Suharsono, 1997

KETERANGAN
EXPLANATION

Qa	<p>ALUVIUM PANTAI : Terutama endapan dataran pantai, pada muara sungai tercampur dengan endapan aluvium yang terdiri dari lempung, lanau, pasir, dan kerikil</p> <p><i>COASTAL ALLUVIUM : Mainly coastal plain deposits and at the confluence of river, mixed with river alluvium-consists of clay, silts, sands, and gravels</i></p>
Qr	<p>ALUVIUM SUNGAI : Endapan dataran banjir dari Bengawan Solo; terdiri dari lumpur, lanau, pasir, kerikil dan kerakal</p> <p><i>RIVER ALLUVIUM : Floodplain deposits of Solo River consists of muds, silts, sands, gravels and pebbles.</i></p>
Qc	<p>KOLUVIUM : Bahan-bahan berasal dari rombakan Formasi Tuban dan Formasi Paciran</p> <p><i>COLLOVIUM : Materials derived from Tuban Formation and Paciran Formation</i></p>
Qi	<p>BATUGAMPING : Endapan cangkang-cangkang Ballanus yang teruraikan dan agak kompak</p> <p><i>LIMESTONE : Unconsolidated or slightly consolidated deposits of shells of Ballanus, a barnacle</i></p>
Qpk	<p>FORMASI KABUH : Batupasir gunungapi dan konglomerat; sukar dibedakan dari endapan dataran banjir Bengawan Solo</p> <p><i>KABUH FORMATION : Volcanic sandstone and conglomerate, difficult distinguish from floodplain deposits of Solo River</i></p>
Tpp	<p>FORMASI PACIRAN : Batugamping, batugamping dolomitan dan dolomit; putih, kelabu, coklat dan kemerah-merahan; organik dengan fragmen alga, koral, foraminifera besar, dan moluska; kerakal, lempungan berwarna coklat, mungkin mengandung fosfat, terdapat dibagian bawah, ketebalan diperkirakan 100 sampai 750 m.</p> <p><i>PACIRAN FORMATION : Limestone, dolomitic limestone and dolomite; white, grey, brown and pink; biogenic with fragments of algae, coral, larger foraminifers, and molluscs; pebbles, brown argillaceous, possibly phosphatic at base; thickness approximately 100 to 750 m.</i></p>

Gambar 3. 9 Keterangan Peta Geologi
Sumber: Hartono dan Suharsono, 1997

Tabel 3. 30 Korelasi SPT dan Korelasinya

<i>Cohesionless Soil/Sol Pulvérulent</i>					
N (blows)	0 – 3	4 – 10	11 – 30	31 – 50	> 50
γ (KN/m ³)	-	12 – 16	14 – 18	16 – 20	18 – 23
\emptyset (°)	-	25 – 32	28 – 36	30 – 40	> 35
State	<i>Very Loose</i>	<i>Loose</i>	<i>Medium</i>	<i>Dense</i>	<i>Very Dense</i>
Dr (%)	0 - 15	15 - 35	35 - 65	65 - 85	85 - 100
<i>Cohesive Soil/Sol Cohérent</i>					
N (blows)	< 4	4 – 6	6 – 15	16 – 25	> 25
γ (KN/m ³)	14 – 18	16 – 18	16 – 18	16 – 20	> 20
q _u (kPa)	< 25	20 – 50	30 – 60	40 – 200	> 100
Consistency	<i>Very Soft</i>	<i>Soft</i>	<i>Medium</i>	<i>Stiff</i>	<i>Hard</i>

Sumber: Bowles, 1984

Dari tabel bowles diatas, didapatkan nilai γ_{dry} serta \emptyset pasir seperti pada Tabel 3. 31

Tabel 3. 31 Parameter γ Dan \emptyset Tanah Dasar

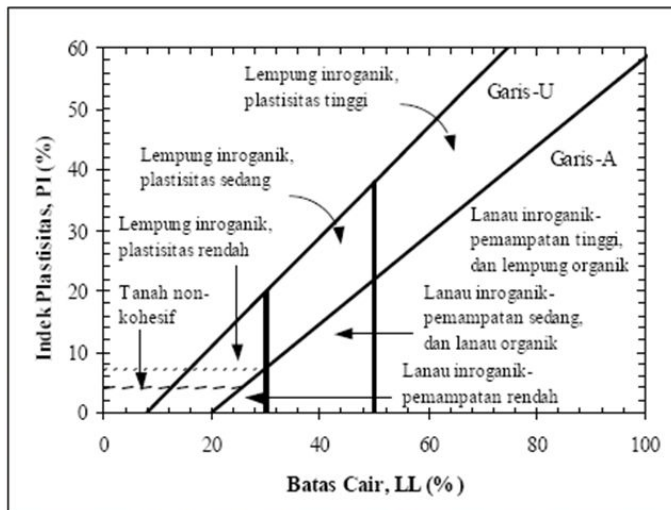
Depth (m)	Deskripsi	N	\emptyset	γ_{dry} T / m ³	
-3	lempung berlanau	2		1.10	
-5	pasir berlanau	lepas	4	14	1.20
-15		padat	50	22	2.00
-23		sedang	19	16	1.70
-25		padat	50	22	2.00
-30		sedang	27	17	1.80

Setelah didapatkan nilai γ_{sat} , parameter tanah berupa angka pori (e), compression index (Cc), dan swelling index (Cs) dapat dicari menggunakan tabel numerik parameter tanah dengan $G_s = 2,7$, berdasarkan Biarez & Favre. Parameter – parameter tanah tersebut dapat dilihat pada Tabel 3. 32

Tabel 3. 32 Parameter Tanah e, Cc, dan Cs

Deskripsi	γ sat kN / m ³	e	Cc	Cs	Cv	
					cm ² /s	
lempung berlanau	1.69	1.45	0.354	0.051	0.00060	
pasir berlanau	lepas	1.76	1.25	0.294	0.042	0.00070
	padat	2.23	0.35	0.024	0.003	0.10000
	sedang	2.07	0.59	0.096	0.014	0.00100
	padat	2.23	0.35	0.024	0.003	0.10000
	sedang	2.13	0.50	0.069	0.010	0.01000

Parameter lainnya yang dibutuhkan oleh lapisan tanah lempung adalah batas cair (LL) dan indeks plastisitas (PI). Untuk mencari nilai batas cair dapat menggunakan grafik plastisitas cassagrande dengan mengkorelasikan jenis tanah seperti pada gambar.



Gambar 3. 10 Grafik Plastisitas Cassagrande

Sumber: *Principles of Geotechnical Engineering, 1985*

Dari grafik diatas didapatkan nilai batas cair untuk tanah lempung anorganik berkisar diantara 15-50. Sehingga nilai LL yang digunakan adalah 30.

Berdasarkan pengujian yang dilakukan Casagrande, 1932, nilai PI untuk daerah diantara garis U dan garis A pada gambardapat dicari menggunakan persamaan sebagai berikut.

$$\begin{aligned} PI &= 0.9 (LL - 8) \\ &= 0.9 (30 - 8) = 19.8 \end{aligned}$$

3.7.2 Data Material Timbunan

Kondisi yang ideal untuk material reklamasi adalah dengan Relative density (D_r) timbunan minimum 80% dan prosentase material halus $\leq 20\%$. Dari kondisi tersebut dapat direncanakan material timbunan berupa sirtu pilihan serta dapat dicari nilai SPT menggunakan table 3.11. Sehingga didapatkan parameter tanah γ_{sat} , serta ϕ sebagai berikut.

D_r	= 80%
N-SPT	= 45
γ_{sat}	= 1.85 T/m ³
ϕ	= 30°
C	= 0
Prosentase material halus	= 12%

BAB IV

EVALUASI LAYOUT PERAIRAN

4.1 Umum

Perencanaan layout yang akan dilakukan pada bab ini hanya perencanaan fasilitas wilayah perairan saja karena breakwater direncanakan untuk melindungi layout perairan pelabuhan dari gelombang besar yang datang. Pada dasarnya prinsip perencanaan lokasi perairan adalah agar kapal dapat bernavigasi secara aman dan nyaman di areal pelabuhan, sehingga didapatkan layout pelabuhan yang paling efektif dan efisien.

Perhitungan perencanaan layout perairan akan menggunakan data kapal yang paling besar agar dapat memenuhi persyaratan sandar kapal sesuai dengan buku *Technical Standards and Commentaries for Port and Harbour Facilities in Japan* dipadukan dengan KM 54 tahun 2002.

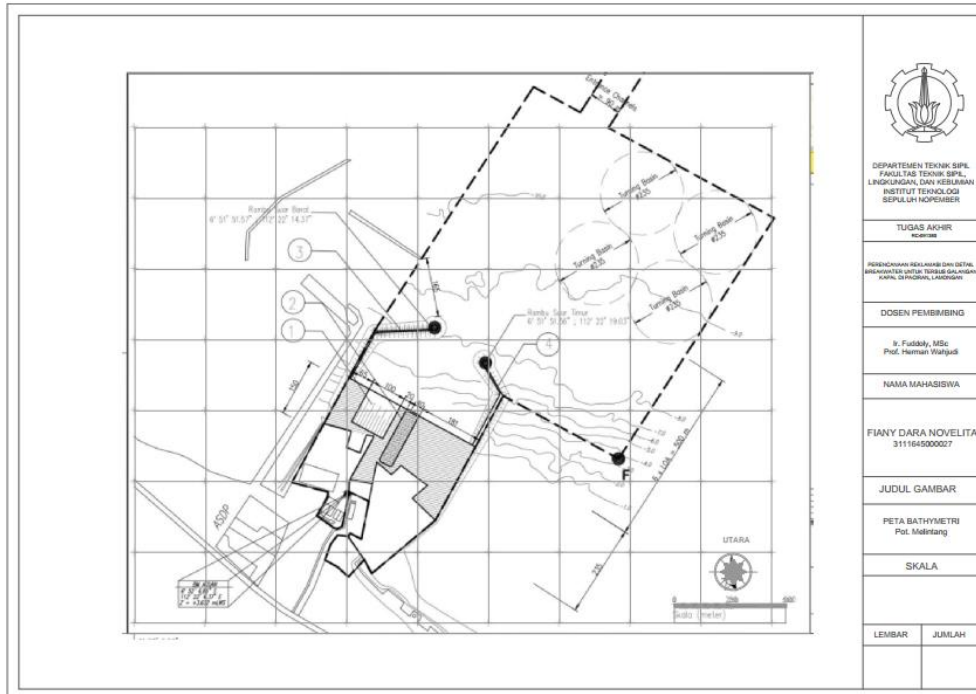
4.2 Data Kapal

Tersus ini direncanakan untuk dok dan galangan kapal dengan maksimum kapal berukuran 10000 DWT. Berikut ini merupakan data singkat mengenai kemungkinan kapal terbesar yang akan memasuki galangan kapal tersebut :

- DWT (Dead Weight Tonage) = 10000 ton
- LOA (Panjang kapal) = 137 m
- Lebar kapal (B) = 19.9 m
- Draft kapal (D) = 8.2 m
- Ballast draft = 2.7 m

4.3 Layout Masterplan

Berdasarkan masterplan pengembangan Tersus Galangan Kapal di Paciran, telah direncanakan layout perairan seperti pada Gambar 4. 1, dengan penjelasan pada sub bab dibawah.



DEPARTEMEN TEKNIK SIPIL
FAKULTAS TEKNIK SIPIL,
LINGKUNGAN, DAN KEBUMAHAN
INSTITUT TEKNOLOGI
SEPULUH NOPEMBER

TUGAS AKHIR
Kecamatan

REVISI DAN PERUBAHAN
MATERI, TERBUKA, DAN
KEMAHIRAN, LAGI

DOSIS PEMBIMBING

I. Fudhady, MSc
Prof. H. H. H. H.

NAMA MAHASISWA

FIANY DARA NOVELITA
3111645000027

JUDUL GAMBAR

PETA BATHYMETRI
Peta. M. M. M.

SKALA

LEMBAR	JUMLAH

Gambar 4. 1 Layout Perairan Masterplan Tersus Galangan Kapal
Sumber: LPPM ITS, 2016

4.3.1 Area Penjangkaran (*Anchorage Area*)

Pada perhitungan masterplan, anchorage area direncanakan mampu menampung kapal 2000 DWT sebanyak 4 unit. Kebutuhan jari-jari anchorage area direncanakan 200 m, dan kedalaman anchorage area adalah 5 meter.

4.3.2 Alur Masuk (*Entrance Channel*)

Berdasarkan masterplan, lebar alur masuk adalah 97 m, panjang alur yang direncanakan adalah 280 m, dan dengan kedalaman -5 m.

4.3.3 Kolam Putar (*Turning Basin*)

Dalam perencanaan masterplan, guna memenuhi kebutuhan manuver kapal disediakan kolam putar. Rencana diameter kolam putar adalah 160 m, dan dengan kedalaman -4 m sesuai dengan masterplan pengembangan Tersus Galangan Kapal ini.

4.4 Kajian Perencanaan Layout Perairan

Layout perairan dari masterplan perlu dikaji ulang berdasarkan perkiraan ukuran kapal terbesar yang akan memasuki Tersus ini. Kajian perencanaan layout perairan akan dibahas pada sub bab berikut.

4.4.1 Area Penjangkaran (*Anchorage Area*)

Areal penjangkaran di asumsikan dengan metoda swinging dan berada pada kondisi penjangkaran baik, kemudian anchorage areanya mampu menampung 1 unit kapal dengan muatan maksimum 10000 DWT atau maksimum 4 unit kapal dengan muatan 2000 DWT. Untuk layout dari anchorage area sebagai berikut

$$\begin{aligned} \text{Kedalaman} &= 1.5 \times \text{draft ballast} \\ &= 1.5 \times 2.7 \\ &= 4,1 \text{ m} \approx 5 \text{ m} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}\text{Radius} &= \text{LOA} + 6 D \\ &= 137 + 6 (2.7) \\ &= 153 \text{ m} \approx 155 \text{ m}\end{aligned}$$

4.4.2 Alur Masuk (*Entrance Channel*)

Kapal pada saat sudah masuk alur pelabuhan direncanakan dalam keadaan ballast dan dipandu oleh kapal pemandu, maka perhitungannya adalah sebagai berikut:

$$\begin{aligned}\text{Panjang alur} &= 5 \text{ LOA} \\ &= 5 (137) \\ &= 685 \text{ m}\end{aligned}$$

Perencanaan lebar alur masuk disesuaikan dengan tipe alur *one way channel* atau *double way channel*. Dalam perencanaan ini direncanakan tarsus ini akan menerima kunjungan hingga 142 kapal/ tahun, sehingga alur ini direncanakan dengan tipe *one-way channel*. Perhitungan lebar alur ini berdasarkan rumus pada tabel 2.8.

$$\begin{aligned}\text{Lebar alur} &= 6 \times B \\ &= 6 \times 19.9 \text{ m} \\ &= 119.4 \text{ m} \approx 120 \text{ m}\end{aligned}$$

Untuk menentukan kedalaman alur masuk pelabuhan ini, hal-hal yang harus diperhatikan adalah kecepatan kapal mendekati pelabuhan untuk perairan terbuka dan dalam keadaan ballast. Kedalaman minimum untuk kondisi perairan pada tarsus ini berupa perairan terbuka, maka kedalaman alur masuk ini adalah $1.2x \text{ draft}$. Sehingga kedalaman alur masuk adalah :

$$\begin{aligned}\text{Kedalaman} &= 1.2 \times \text{draft ballast} \\ &= 1.2 \times 2.7 \text{ m} \\ &= 4 \text{ m} \approx 4 \text{ m}\end{aligned}$$

4.4.3 Kolam Putar (*Turning Basin*)

Kapal direncanakan dipandu dengan bantuan kapal pandu, maka perhitungannya adalah sebagai berikut:

$$\begin{aligned}\text{Diameter kolam} &= 3 \times \text{LOA} \\ &= 3 (137\text{m})\end{aligned}$$

$$= 411 \text{ m} \approx 415 \text{ m}$$

Untuk kebutuhan kedalaman kolam putar, sebagai berikut.

$$\begin{aligned} D &= 1.1 \times \text{Draft ballast} \\ &= 1.1 \times 2.7 \text{ m} \\ &= 3.1 \text{ m} \approx 4 \text{ m} \end{aligned}$$

4.5 Evaluasi *Layout Perairan*

Perencanaan layout perairan untuk Tersus Galangan Kapal baik perencanaan dari masterplan maupun kajian ulang perencanaan layout perairan dapat disimpulkan di hasil evaluasi layout pada Tabel 4. 1.

Tabel 4. 1 Hasil Evaluasi Layout Perairan

no	Fasilitas Perairan	Tinjauan	0
			1
1	Anchorage Area	jumlah	4
		radius	1
		kedalaman	5
2	Alur Masuk (Entrance Channel)	Lebar	1
		Panjang	9
		Kedalaman	4
3	kolam putar (turning Basin)	diameter	4
		kedalaman	4

Halaman ini sengaja dikosongkan.

BAB V PERENCANAAN REKLAMASI

5.1 Umum

Untuk pengadaan lahan guna mendukung kegiatan pada Tersus Galangan Kapal, dilakukan reklamasi. Reklamasi direncanakan total luas lahan reklamasi ± 7.035 Ha (termasuk talud). Layout masterplan pengembangan tersus dapat dilihat pada Gambar 5. 2.

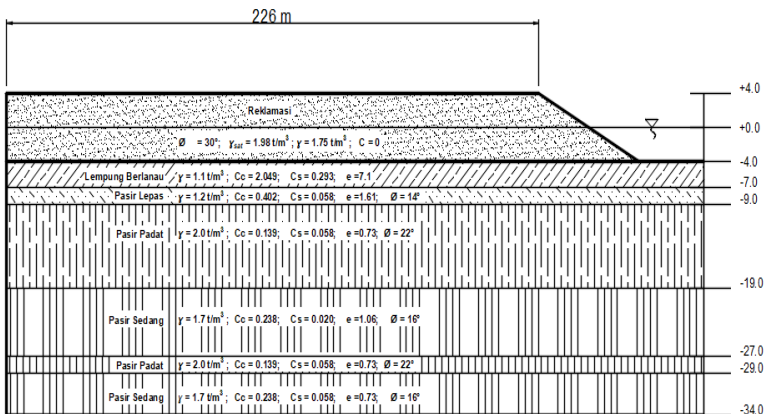
5.2 Data perencanaan Reklamasi

5.2.1 Material Reklamasi

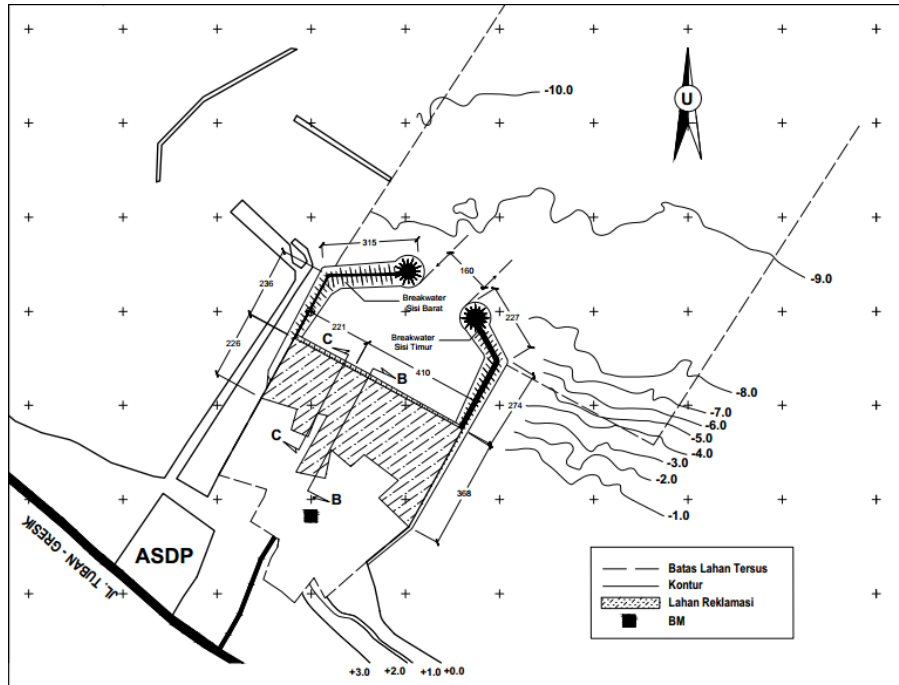
Material yang digunakan untuk reklamasi sesuai spesifikasi yang telah dibahas dalam Sub bab 3.7.2. berupa sirtu.

5.2.2 Elevasi dan Tinggi Rencana

Elevasi rencana timbunan berada pada +4 mLWS. Kedalaman sea bed maksimum adalah -4 mLWS, maka tinggi akhir timbunan yang direncanakan adalah 8 meter. Sketsa timbunan reklamasi dapat dilihat pada Gambar 5. 1.



Gambar 5. 1 Sketsa Timbunan Reklamasi



Gambar 5. 2 Layout Pengembangan Tersus

Sumber: LPPM ITS, 2016

5.3 Perhitungan Besar Pemampatan (*Settlement*)

Penurunan tanah atau *settlement* terjadi akibat adanya timbunan reklamasi perlu diperhitungkan agar tinggi timbunan akhir sesuai dengan tinggi timbunan yang direncanakan dan tidak berkurang akibat penurunan tanah yang terjadi.

5.3.1 Penurunan Konsolidasi Primer (*Primary Consolidation Settlement*)

- Tegangan *Overburden* Efektif (σ_o)

Tegangan overburden efektif adalah tegangan vertikal efektif dari tanah asli yang dapat dihitung sebagai berikut.

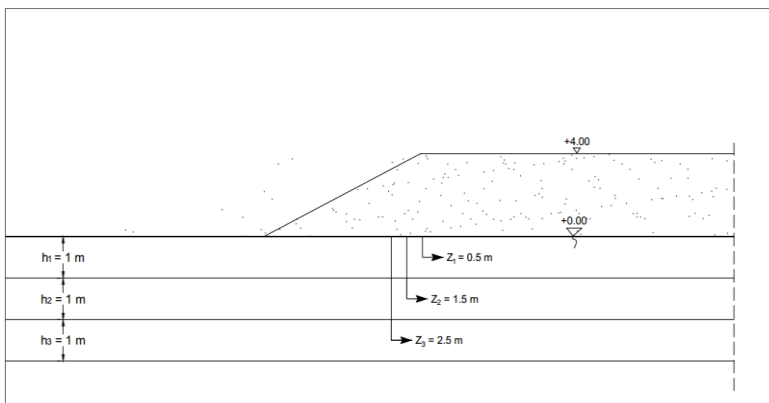
$$\sigma_o = \gamma' \cdot z$$

Dimana,

$$\gamma = \gamma_{\text{sat}} - \gamma_{\text{air}}$$

z = tebal lapisan yang ditinjau

Untuk sketsa tebal lapisan tanah yang ditinjau untuk perhitungan tegangan overburden efektif dapat dilihat pada Gambar 5. 3.



Gambar 5. 3 Sketsa Tebal Lapisan untuk Perhitungan σ_o

Dengan tinggi timbunan reklamasi 4.0 m, maka σ_o dapat dihitung sebagai berikut.

$$\gamma_{sat} = 1.69 \text{ t/m}^3$$

$$\gamma_{laut} = 1.03 \text{ t/m}^3$$

$$\gamma' = 0.66 \text{ t/m}^3$$

$$\begin{aligned}\sigma_{o1} &= \gamma' \times Z_1 \\ &= 0.66 \text{ t/m}^3 \times 0.5 \text{ m} \\ &= 0.333 \text{ t/m}^2\end{aligned}$$

$$\begin{aligned}\sigma_{o2} &= \gamma' \times Z_2 + \gamma' \times h_1 \\ &= 0.66 \text{ t/m}^3 \times 0.5 \text{ m} + 0.66 \text{ t/m}^3 \times 1 \text{ m} \\ &= 0.998 \text{ t/m}^2\end{aligned}$$

$$\begin{aligned}\sigma_{o3} &= \gamma' \times Z_3 + \gamma' \times h_1 + \gamma' \times h_2 \\ &= 0.66 \text{ t/m}^3 \times 0.5 \text{ m} + 2 (0.66 \text{ t/m}^3 \times 1 \text{ m}) \\ &= 1.663 \text{ t/m}^2\end{aligned}$$

- Distribusi Tegangan Akibat Beban Timbunan ($\Delta\sigma$)

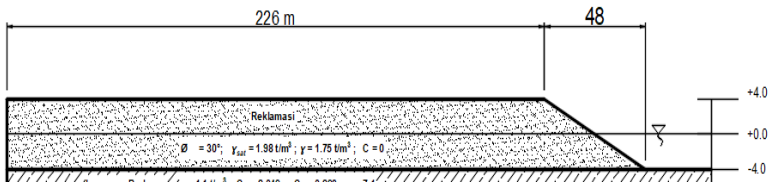
Besarnya penambahan tegangan ($\Delta\sigma$) akibat adanya beban timbunan pada muka tanah yang didistribusikan ke lapisan tanah dapat dihitung dengan rumus 2. 21.

Tinggi timbunan yang tidak terendam air adalah 4 m dan sketsa setengah geometri timbunan dapat dilihat pada Gambar 5. 4, sehingga perhitungan distribusi tegangan akibat beban timbunan sebagai berikut.

$$\begin{aligned}q &= H_{tdk \text{ terendam}} \times \gamma_{timb} + H_{terendam} \times \gamma'_{timb} \\ &= 0 \text{ m} \times 1.78 \text{ t/m}^3 + 4 \text{ m} \times (1.80 - 1.03) \text{ t/m}^3 \\ &= 7.12 \text{ t/m}^2\end{aligned}$$

$$\begin{aligned}\alpha_1 &= \tan^{-1} \left(\frac{228 \text{ m} + 16 \text{ m}}{0.5 \text{ m}} \right) - \tan^{-1} \left(\frac{228 \text{ m}}{16 \text{ m}} \right) \text{ (rad)} \\ &= 0.01^\circ\end{aligned}$$

$$\begin{aligned}\alpha_2 &= \tan^{-1} \left(\frac{228 \text{ m}}{0.5 \text{ m}} \right) \text{ (rad)} \\ &= 89.9^\circ\end{aligned}$$



Gambar 5. 4 Sketsa Setengah Geometri Timbunan

$$\Delta\sigma = \frac{10.42}{\pi} \left[\left(\frac{228 + 16}{16} \right) (0.01 + 89.9) - \left(\frac{228}{16} \right) (89.9) \right]$$

$$= 3.56 \text{ t/m}^2$$

- Penurunan Konsolidasi Primer (S_c)

Pada perencanaan tugas akhir ini menggunakan tanah overkonsolidasi karena mengalami fluktuasi muka air akibat pasang surut. Tinggi fluktuasi muka air ini sebesar 1.3 m. Perhitungan penurunan untuk jenis tanah ini dibedakan menjadi 2 tergantung dengan nilai $\sigma_o + \Delta\sigma$ dan nilai σ'_c . Nilai σ'_c dapat dihitung menggunakan cara sebagai berikut.

$$\sigma'_c = \sigma_o + H_{fluktuasi} \times \gamma_{laut}$$

$$= 0.333 \text{ t/m}^2 + 1.3 \text{ m} \times 1.03 \text{ t/m}^3$$

$$= 1.67 \text{ t/m}^2$$

$$\sigma_o + \Delta\sigma = 0.333 \text{ t/m}^2 + 3.56 \text{ t/m}^2$$

$$= 3.893 \text{ t/m}^2$$

Sehingga nilai $\sigma_o + \Delta\sigma > \sigma'_c$, nilai penurunan konsolidasi primer dapat dicari menggunakan 2. 20.

$$S_c = \left[\frac{C_s}{1 + e_0} \log \frac{\sigma'_c}{\sigma_o} + \frac{Cc}{1 + e_0} \log \frac{\sigma_o + 2\Delta\sigma}{\sigma'_c} \right] Z$$

$$= \left[\frac{0.051}{1 + 1.45} \log \frac{1.67}{0.333} + \frac{0.354}{1 + 1.45} \log \frac{0.333 + 3.893}{1.67} \right] 1$$

$$= 0.07 \text{ m}$$

Perhitungan penurunan konsolidasi primer ini dilakukan untuk setiap lapis pada lapisan tanah lempung. Adapun perhitungan penurunan ini di setiap lapisnya tersaji pada Tabel 5. 1. Jumlah penurunan konsolidasi primer untuk semua lapisan tanah lempung adalah sebesar 0.16 m.

Untuk perhitungan selanjutnya perlu dilakukan perhitungan penurunan konsolidasi primer untuk tinggi timbunan 6m s/d 12m yang tersaji pada Tabel 5. 2 hingga Tabel 5. 5.

5.3.2 Penurunan Segera (*Immediate Settlement*)

Penurunan segera hanya akan terjadi pada lapisan compressible soil. Lapisan compressible soil untuk tanah kohesif adalah untuk tanah dengan N-SPT < 30, sedangkan untuk tanah non kohesif akan mengalami pemampatan hingga konsistensinya rapat hingga sangat rapat (N-SPT > 31). Sehingga dalam perencanaan ini lapisan tanah yang ditinjau hingga kedalaman -15 m seperti pada Gambar 5. 1.

Untuk menghitung penurunan segera dari tanah yang berlapis-lapis menggunakan persamaan 2. 17. Dimana modulus oedometrik lapisan didapatkan menggunakan korelasi dari modulus Young (Wahyudi, 1997). Berikut cara mencari modulus oedometrik.

$$\begin{aligned} \text{Modulus Young (E)} &= 2000 \text{ kN/m}^2 \\ \text{Koef. Poisson } (\mu) &= 0.200 \end{aligned}$$

$$E = E' \left(1 - \frac{2\mu^2}{1 - \mu} \right)$$

$$2000 \text{ kN/m}^2 = E' \left(1 - \frac{2 \times 0.2^2}{1 - 0.2} \right)$$

$$E' = \frac{2000 \text{ kN/m}^2}{0.900} = 2222 \text{ kN/m}^2$$

Tabel 5. 1 Perhitungan Penurunan Konsolidasi Primer dengan $H_{\text{timb}} = 4\text{m}$

tebal lapisan	z	γ_{sat}	eo	Cc	Cs	σ_o	$\sigma_{\text{fluktuasi}}$	σ_c'	b1	b2	α_1	α_2	$\Delta\sigma$	$\sigma_o + 2\Delta\sigma$	Sc
(m)		(t/m^3)				(t/m^2)	(t/m^2)	(t/m^2)	(m)	(m)	($^\circ$)	($^\circ$)	(t/m^2)	(t/m^2)	m
1	0.5	1.69	1.45	0.354	0.051	0.333	1.33	1.67	226	16	0.01	89.9	3.560	3.8925	0.07
1	1.5	1.69	1.45	0.354	0.051	0.998	1.33	2.33	226	16	0.03	89.6	3.560	4.5575	0.05
1	2.5	1.69	1.45	0.354	0.051	1.663	1.33	2.995	226	16	0.04	89.4	3.560	5.2225	0.04
Sc total															0.16

Tabel 5. 2 Perhitungan Penurunan Konsolidasi Primer dengan $H_{\text{timb}} = 6\text{m}$

tebal lapisan	z	γ_{sat}	eo	Cc	Cs	σ_o	$\sigma_{\text{fluktuasi}}$	σ_c'	b1	b2	α_1	α_2	$\Delta\sigma$	$\sigma_o + \Delta\sigma$	Sc
(m)		(t/m^3)				(t/m^2)	(t/m^2)	(t/m^2)	(m)	(m)	($^\circ$)	($^\circ$)	(t/m^2)	(t/m^2)	m
1	0.5	1.69	1.45	0.354	0.051	0.333	1.33	1.67	228	24	0.01	89.9	4.385	4.7175	0.08
1	1.5	1.69	1.45	0.354	0.051	0.998	1.33	2.33	228	24	0.04	89.6	4.385	5.3825	0.06
1	2.5	1.69	1.45	0.354	0.051	1.663	1.33	2.995	228	24	0.06	89.4	4.385	6.0475	0.05
Sc total															0.19

Tabel 5. 3 Perhitungan Penurunan Konsolidasi Primer dengan $H_{\text{timb}} = 8\text{m}$

tebal lapisan	z	γ_{sat}	eo	Cc	Cs	σ_o	$\sigma_{\text{fluktuasi}}$	σ_c'	b1	b2	α_1	α_2	$\Delta\sigma$	$\sigma_o + \Delta\sigma$	Sc
(m)		(t/m^3)				(t/m^2)	(t/m^2)	(t/m^2)	(m)	(m)	($^\circ$)	($^\circ$)	(t/m^2)	(t/m^2)	m
1	0.5	1.69	1.45	0.354	0.051	0.333	1.33	1.67	228	24	0.01	89.9	5.210	5.5425	0.09
1	1.5	1.69	1.45	0.354	0.051	0.998	1.33	2.33	228	24	0.04	89.6	5.210	6.2075	0.07
1	2.5	1.69	1.45	0.354	0.051	1.663	1.33	2.995	228	24	0.06	89.4	5.210	6.8725	0.06
Sc total															0.22

Tabel 5. 4 Perhitungan Penurunan Konsolidasi Primer dengan $H_{iimb} = 10m$

tebal lapisan (m)	z	Υ_{sat}	eo	Cc	Cs	σ_o	$\sigma_{fluktuasi}$	σ_c'	b1	b2	$\alpha 1$	$\alpha 2$	$\Delta\sigma$	$\sigma_o + \Delta\sigma$	Sc
		(t/m^3)				(t/m^2)	(t/m^2)	(m)							
1	0.5	1.69	1.45	0.354	0.051	0.333	1.33	1.67	228	24	0.01	89.9	6.035	6.3675	0.10
1	1.5	1.69	1.45	0.354	0.051	0.998	1.33	2.33	228	24	0.04	89.6	6.035	7.0325	0.08
1	2.5	1.69	1.45	0.354	0.051	1.663	1.33	2.995	228	24	0.06	89.4	6.035	7.6975	0.06
Sc total															0.24

Tabel 5. 5 Perhitungan Penurunan Konsolidasi Primer dengan $H_{iimb} = 12m$

tebal lapisan (m)	z	Υ_{sat}	eo	Cc	Cs	σ_o	$\sigma_{fluktuasi}$	σ_c'	b1	b2	$\alpha 1$	$\alpha 2$	$\Delta\sigma$	$\sigma_o + \Delta\sigma$	Sc
		(t/m^3)				(t/m^2)	(t/m^2)	(m)							
1	0.5	1.69	1.45	0.354	0.051	0.333	1.33	1.67	228	24	0.01	89.9	6.860	7.1925	0.11
1	1.5	1.69	1.45	0.354	0.051	0.998	1.33	2.33	228	24	0.04	89.6	6.860	7.8575	0.08
1	2.5	1.69	1.45	0.354	0.051	1.663	1.33	2.995	228	24	0.06	89.4	6.860	8.5225	0.07
Sc total															0.26

Maka, penurunan segera (S_i) dapat dicari seperti berikut dengan nilai q seperti yang sudah di bahas pada sub bab 5.3.1.

$$\begin{aligned} S_i &= \frac{h_i}{E'_i} \\ &= 10.42 \text{ t/m}^2 \times \frac{3 \text{ m}}{2222 \text{ kN/m}^2} \\ &= 0.01 \text{ m} \end{aligned}$$

Untuk perhitungan penurunan segera di setiap lapisnya tersaji pada Tabel 5. 6. Jumlah penurunan segera yang terjadi pada semua lapisan tanahnya adalah sebesar 0.01 m.

Untuk perhitungan selanjutnya perlu dilakukan penurunan segera untuk tinggi timbunan reklamasi 6m s/d 12 m seperti pada Tabel 5. 7 s/d Tabel 5. 10.

5.3.3 Penurunan Total (S_{tot})

Total penurunan akibat beban timbunan reklamasi pada tanah dasar yang berlapis merupakan jumlah dari seluruh penurunan yang terjadi pada setiap lapisannya. Penurunan total yang terjadi dapat dihitung sebagai berikut.

$$\begin{aligned} S_{tot} &= S_c + S_i \\ &= 0.16 \text{ m} + 0.01 \text{ m} = 0.17 \text{ m} \end{aligned}$$

Total penurunan segera yang terjadi akibat tinggi timbunan 4 m s/d 12 m dapat dilihat pada Tabel 5. 11.

Tabel 5. 6 Perhitungan Penurunan Segera dengan $H_{\text{timb}} = 4\text{m}$

lapisan ke-	deskripsi tanah	hi	z	N-SPT	E	μ	$1-(2\mu/(1-\mu))$	E'	hi/E'i	Si
		(m)	(m)					(kN/m ²)		(m)
1	lempung lunak	3	-3	2	2000	0.2	0.900	2222	0.00135	0.01
2	pasir lepas	2	-5	4	15000	0.3	0.743	20192	0.00010	0.00
3	pasir padat	10	-15	50	40000	0.35	0.623	64198	0.00016	0.00
Si total										0.01

Tabel 5. 7 Perhitungan Penurunan Segera dengan $H_{\text{timb}} = 6\text{m}$

lapisan ke-	deskripsi tanah	hi	z	N-SPT	E	μ	$1-(2\mu/(1-\mu))$	E'	hi/E'i	Si
		(m)	(m)					(kN/m ²)		(m)
1	lempung lunak	3	-3	2	2000	0.2	0.900	2222	0.00135	0.01
2	pasir lepas	2	-5	4	15000	0.3	0.743	20192	0.00010	0.01
3	pasir padat	10	-15	50	40000	0.35	0.623	64198	0.00016	0.01
Si total										0.04

Tabel 5. 8 Perhitungan Penurunan Segera dengan $H_{\text{timb}} = 8\text{m}$

lapisan ke-	deskripsi tanah	hi	z	N-SPT	E	μ	$1-(2\mu/(1-\mu))$	E'	hi/E'i	Si
		(m)	(m)					(kN/m ²)		(m)
1	lempung lunak	3	-3	2	2000	0.2	0.900	2222	0.00135	0.01
2	pasir lepas	2	-5	4	15000	0.3	0.743	20192	0.00010	0.01
3	pasir padat	10	-15	50	40000	0.35	0.623	64198	0.00016	0.01
Si total										0.04

Tabel 5. 9 Perhitungan Penurunan Segera dengan $H_{\text{timb}} = 10\text{m}$

lapisan ke-	deskripsi tanah	hi	z	N-SPT	E	μ	$1-(2\mu/(1-\mu))$	E'	hi/E'i	Si
		(m)	(m)					(kN/m ²)		(m)
1	lempung lunak	3	-3	2	2000	0.2	0.900	2222	0.00135	0.02
2	pasir lepas	2	-5	4	15000	0.3	0.743	20192	0.00010	0.02
3	pasir padat	10	-15	50	40000	0.35	0.623	64198	0.00016	0.02
Si total										0.05

Tabel 5. 10 Perhitungan Penurunan Segera dengan $H_{\text{timb}} = 12\text{m}$

lapisan ke-	deskripsi tanah	hi	z	N-SPT	E	μ	$1-(2\mu/(1-\mu))$	E'	hi/E'i	Si
		(m)	(m)					(kN/m ²)		(m)
1	lempung lunak	3	-3	2	2000	0.2	0.900	2222	0.00135	0.02
2	pasir lepas	2	-5	4	15000	0.3	0.743	20192	0.00010	0.02
3	pasir padat	10	-15	50	40000	0.35	0.623	64198	0.00016	0.02
Si total										0.06

Tabel 5. 11 Total Penurunan yang Terjadi

H_{timbunan}	q_{timbunan}	S_c	S_i	S_{tot}
(m)	(t/m ²)	(m)	(m)	(m)
4	7.12	0.16	0.01	0.17
6	8.77	0.19	0.03	0.22
8	10.42	0.22	0.04	0.25
10	12.07	0.24	0.04	0.28
12	13.72	0.26	0.05	0.31

5.3.4 Penurunan Akibat Timbunan Bertahap

Dalam pelaksanaan di lapangan, timbunan diletakkan secara bertahap. Dalam perencanaan ini kecepatan penimbunan adalah sebesar 0.5 m/minggu. Sehingga tahapan yang dibutuhkan untuk mencapai tinggi timbunan setinggi 8.4 meter adalah sebagai berikut.

$$n = \frac{8.4 \text{ m}}{0.5 \text{ m/minggu}} = 17 \text{ minggu}$$

Pemampatan akibat penimbunan bertahap sesuai dengan perubahan tegangan akibat setiap tahap penimbunannya. Perhitungan pemampatan tersebut adalah sebagai berikut seperti berikut.

$$\begin{aligned} Z &= -0.5 \text{ m} \\ \sigma_0 &= 0.333 \text{ t/m}^2 \\ \sigma_c &= 1.665 \text{ t/m}^2 \\ \sigma_1 &= 0.745 \text{ t/m}^2 \end{aligned}$$

Dimana σ_1 adalah perubahan tegangan akibat timbunan tahap 1 dengan $U=100\%$. Selain harga perubahan tegangan, dibutuhkan parameter tanah sebagai berikut.

$$\begin{aligned} e_0 &= 1.45 \\ C_c &= 0.35 \\ C_s &= 0.051 \end{aligned}$$

Karena nilai $\sigma_1 \leq \sigma_c$, maka besarnya pemampatan tanah adalah sebagai berikut.

$$\begin{aligned} S_c &= \frac{H}{1 + e_0} \left[C_s \log \left(\frac{\sigma_1}{\sigma_0} \right) \right] \\ &= \frac{1 \text{ m}}{1 + 1.45} \left[0.051 \log \left(\frac{0.745 \text{ t/m}^2}{1.665 \text{ t/m}^2} \right) \right] \\ &= 0.02 \text{ m} \end{aligned}$$

Perubahan tegangan akibat penimbunan tahap 1 pada saat $z = -1.5$ m adalah sebagai berikut.

$$\begin{aligned} Z &= -1.5 \text{ m} \\ \sigma_0 &= 0.998 \text{ t/m}^2 \\ \sigma_c &= 2.330 \text{ t/m}^2 \\ \sigma_1 &= 2.408 \text{ t/m}^2 \end{aligned}$$

Karena nilai $\sigma_1 \geq \sigma_c$, maka besarnya pemampatan tanah adalah sebagai berikut.

$$\begin{aligned} S_c &= \frac{H}{1 + e_0} \left[C_c \log \left(\frac{\sigma_1}{\sigma_0} \right) \right] \\ &= \frac{1 \text{ m}}{1 + 1.45} \left[0.35 \log \left(\frac{0.745 \text{ t/m}^2}{1.665 \text{ t/m}^2} \right) \right] \\ &= 0.01 \text{ m} \end{aligned}$$

Perubahan tegangan akibat penimbunan tahap 1 pada saat $z = -2.5$ m adalah sebagai berikut.

$$\begin{aligned} Z &= -2.5 \text{ m} \\ \sigma_0 &= 1.663 \text{ t/m}^2 \\ \sigma_c &= 2.995 \text{ t/m}^2 \\ \sigma_1 &= 3.738 \text{ t/m}^2 \end{aligned}$$

Karena nilai $\sigma_1 \geq \sigma_c$, maka besarnya pemampatan tanah adalah sebagai berikut.

$$\begin{aligned} S_c &= \frac{H}{1 + e_0} \left[C_c \log \left(\frac{\sigma_1}{\sigma_0} \right) \right] \\ &= \frac{1 \text{ m}}{1 + 1.45} \left[0.35 \log \left(\frac{3.738 \text{ t/m}^2}{1.663 \text{ t/m}^2} \right) \right] \\ &= 0.02 \text{ m} \end{aligned}$$

Maka pemampatan total akibat penimbunan tahap ke-1 adalah sebagai berikut.

$$\begin{aligned} S_{c\ tot} &= (0.019 + 0.010 + 0.019)t/m^2 \\ &= 0.05\ m \end{aligned}$$

Pemampatan yang terjadi sesuai dengan derajat konsolidasi. Besarnya pemampatan perminggunya akibat penimbunan tahap-1 adalah sebagai berikut.

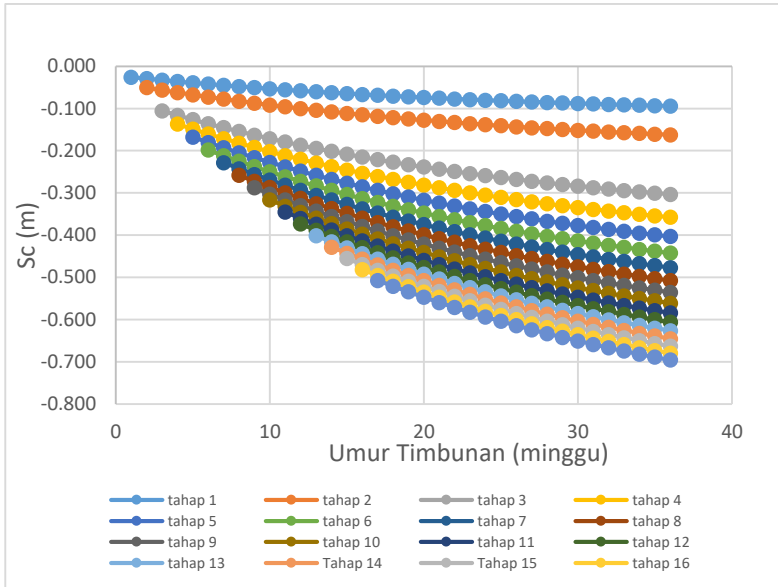
- Pada saat umur timbunan 1 minggu

$$\begin{aligned} S_{c\ kum} &= 0.12\ m \\ U_1 &= 22.09\% \\ S_{c1} &= 0.05\ m \times 0.1705 \\ &= 0.03\ m \end{aligned}$$

- Pada saat umur timbunan 2 minggu

$$\begin{aligned} S_{c\ kum} &= 0.20\ m \\ U_1 &= 25.13\% \\ S_{c1} &= 0.0205\ m \times 0.2525 \\ &= 0.03\ m \end{aligned}$$

Pemampatan tanah akibat penimbunan bertahap setiap minggunya dapat dilihat pada Gambar 5. 5.



Gambar 5. 5 Grafik Pemampatan Tanah Akibat Timbunan Bertahap

5.4 Penentuan Tinggi Timbunan Awal

Untuk mencapai tinggi timbunan yang sesuai rencana, diperlukan tinggi timbunan awal (H_{initial}). Kemudian tinggi timbunan awal akan mengalami penurunan, sehingga tinggi timbunan yang terjadi (H_{final}) merupakan hasil pengurangan dari tinggi timbunan awal dengan penurunan yang terjadi. Adapun perhitungannya menggunakan persamaan 2. 22. Dari perhitungan pada sub bab sebelumnya, didapatkan nilai-nilai sebagai berikut.

$$\begin{aligned}
 q &= 7.12 \text{ t/m}^2 \\
 S_{\text{tot}} &= 0.17 \text{ m} \\
 H_w &= H_{\text{timb}} - 4 \text{ m} = 0 \text{ m} \\
 Y_{\text{timb}} &= 1.78 \text{ t/m}^3 \\
 Y'_{\text{timb}} &= 0.83 \text{ t/m}^3
 \end{aligned}$$

Sehingga,

$$H_{initial} = \frac{7.12 \text{ t/m}^2 + [(0.17 + 0) \text{ m} \times (1.78 - 0.83) \text{ t/m}^3]}{1.78 \text{ t/m}^3}$$

$$= 4.1 \text{ m}$$

Tinggi timbunan awal akan mengalami penurunan sebesar S_{tot} , sehingga tinggi timbunan yang terjadi adalah sebagai berikut.

$$H_{final} = H_{initial} - S_{tot}$$

$$= 4.1 \text{ m} - 0.28 \text{ m}$$

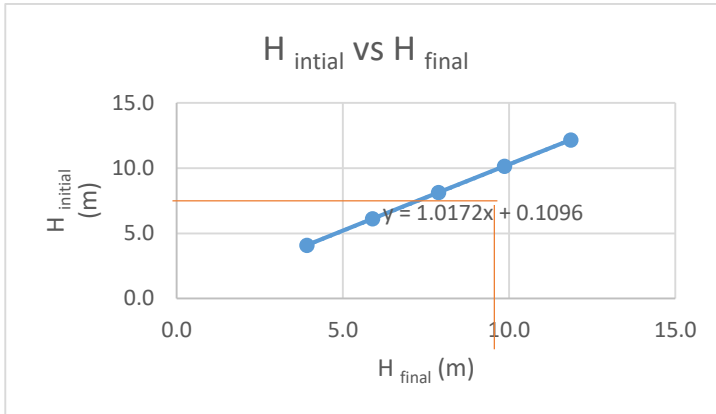
$$= 3.9 \text{ m}$$

Perlu dilakukan perhitungan tinggi awal timbunan dan tinggi timbunan yang terjadi untuk tinggi timbunan 6 m s/d 12 m untuk perhitungan selanjutnya. Hasil perhitungan tersaji pada Tabel 5. 12.

Tabel 5. 12 Perhitungan H_{initial} dan H_{final}

H _{timbunan} (m)	q _{timbunan} (t/m ²)	S _c (m)	S _i (m)	S _{tot} (m)	H _{initial} (m)	H _{final} (m)
4	7.12	0.16	0.01	0.17	4.1	3.9
6	8.77	0.19	0.03	0.22	6.1	5.9
8	10.42	0.22	0.04	0.25	8.1	7.9
10	12.07	0.24	0.04	0.28	10.2	9.9
12	13.72	0.26	0.05	0.31	12.2	11.9

Dari perhitungan tabel diatas, dapat dibuat grafik antara tinggi timbunan awal dengan tinggi timbunan yang terjadi seperti pada Gambar 5. 6. Grafik tersebut menghasilkan suatu persamaan garis lurus yang nantinya akan digunakan untuk mencari tinggi timbunan awal.



Gambar 5. 6 Grafik Hubungan Antara Hinitial dengan Hfinal

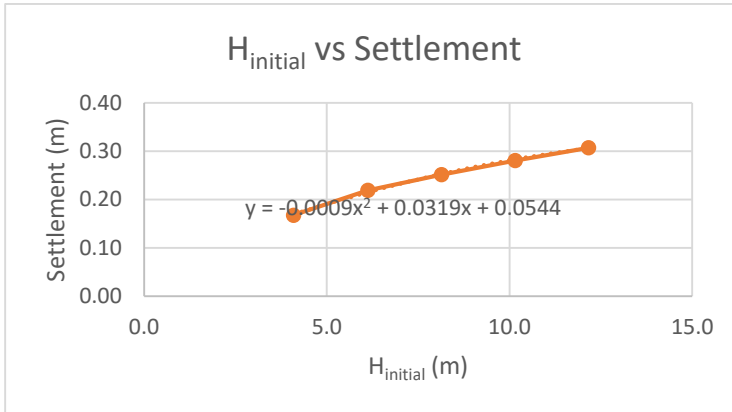
Sesuai dengan perencanaan, tinggi timbunan akhir (H_{final}) yang dibutuhkan adalah sebesar 8 m, maka tinggi timbunan awal dapat dicari menggunakan persamaan garis yang dihasilkan dari grafik hubungan diatas.

$$\begin{aligned} H_{\text{initial}} &= 1.02 H_{\text{final}} + 0.11 \\ &= 1.02 \times 8 \text{ m} - 0.11 \\ &= 8.26 \text{ m} \approx 8.3 \text{ m} \end{aligned}$$

Untuk mencari penurunan yang terjadi menggunakan grafik hubungan antara tinggi timbunan awal dengan penurunan seperti pada Gambar 5. 7.

Sehingga nilai penurunan yang terjadi dapat dihitung sebagai berikut.

$$\begin{aligned} S_{\text{tot}} &= -0.001 x^2 + 0.0319x + 0.054 \\ &= -0.001 (8.4)^2 + 0.0319 (8.4) + 0.054 \\ &= 0.25 \text{ m} \approx 0.3 \text{ m} \end{aligned}$$



Gambar 5. 7 Grafik Hubungan H_{initial} dengan *Settlement*

5.5 Perhitungan Waktu Konsolidasi

Tanah lempung mempunyai sifat permeabilitas yang kecil, sehingga kemampuan mengalirkan air relatif lambat. Hal ini yang menyebabkan air yang terdesak keluar dari lapisan tanah akibat penambahan beban timbunan membutuhkan waktu yang relatif lama. Waktu pemampatan yang dibutuhkan dapat dihitung menggunakan persamaan 2. 23.

Agar derajat konsolidasi (U) mencapai 80%, maka nilai faktor waktu (T_v) adalah 0.567 (Das, 1993). Dari perhitungan pada sub bab sebelumnya didapatkan data sebagai berikut.

$$\begin{aligned} C_v &= 0.0006 \text{ cm}^2/\text{s} \\ &= 0.0363 \text{ m}^2/\text{minggu} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} H_{dr} &= \frac{1}{2} H \\ &= \frac{1}{2} 3\text{m} = 1.5 \text{ m} \end{aligned}$$

Maka waktu yang dibutuhkan untuk pemampatan dengan derajat konsolidasi sebesar 80% adalah sebagai berikut.

$$t = \frac{0.567 (1.5 \text{ m})^2}{0.0363 \text{ m}^2/\text{minggu}}$$

$$= 35 \text{ minggu}$$

Karena waktu yang dibutuhkan untuk pemampatan relatif cepat, maka tidak diperlukan penggunaan PVD. Adapun besar derajat konsolidasi berdasarkan waktu dapat dilihat pada Tabel 5. 13.

5.7 Stabilitas Reklamasi

5.7.1 Stabilitas Terhadap *Puncture Failure*

Prinsipnya dapat dianalogikan dengan perhitungan daya dukung pondasi dangkal di kondisi *short term*. Untuk perhitungan safety factor (SF) dapat menggunakan persamaan 2.30. Dari perencanaan diatas didapatkan data-data sebagai berikut.

$$C_u = 12.5 \text{ KPa}$$

$$\gamma = 1.1 \text{ t/m}^3$$

$$H_{timb} = 8.4 \text{ m}$$

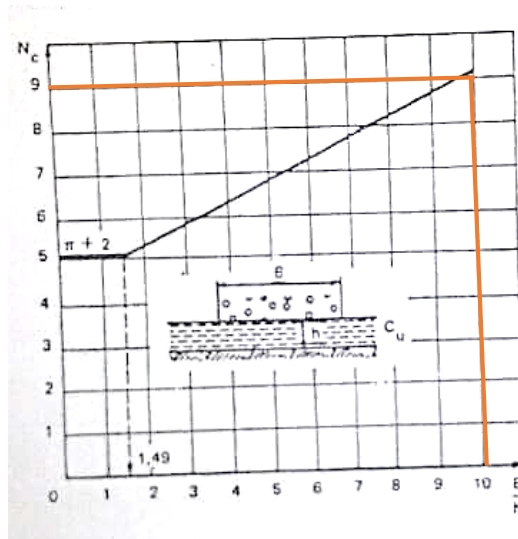
$$B = 226 \text{ m}$$

$$\frac{B}{H} = \frac{226 \text{ m}}{3 \text{ m}} = 75.33$$

Dengan menggunakan grafik daya dukung (Nc) vs B/H yang terdapat pada bab 2 (Gambar 5.8), maka didapatkan nilai Nc sebesar 9. Nilai *safety factor* (SF) terhadap *puncture failure* dapat dihitung sebagai berikut.

Tabel 5. 13 Derajat Konsolidasi Berdasarkan Waktu

t (minggu)	Tv	U (%)
1	0.02	22.09
2	0.03	25.13
3	0.05	28.05
4	0.06	30.86
5	0.08	33.55
6	0.10	36.15
7	0.11	38.64
8	0.13	41.03
9	0.15	43.33
10	0.16	45.55
11	0.18	47.67
12	0.19	49.71
13	0.21	51.67
14	0.23	53.56
15	0.24	55.37
16	0.26	57.11
17	0.27	58.79
18	0.29	60.40
19	0.31	61.94
20	0.32	63.43
21	0.34	64.85
22	0.35	66.22
23	0.37	67.54
24	0.39	68.81
25	0.40	70.03
26	0.42	71.20
27	0.44	72.32
28	0.45	73.40
29	0.47	74.44
30	0.48	75.44
31	0.50	76.39
32	0.52	77.32
33	0.53	78.20
34	0.55	79.05
35	0.56	79.87
36	0.58	80.65



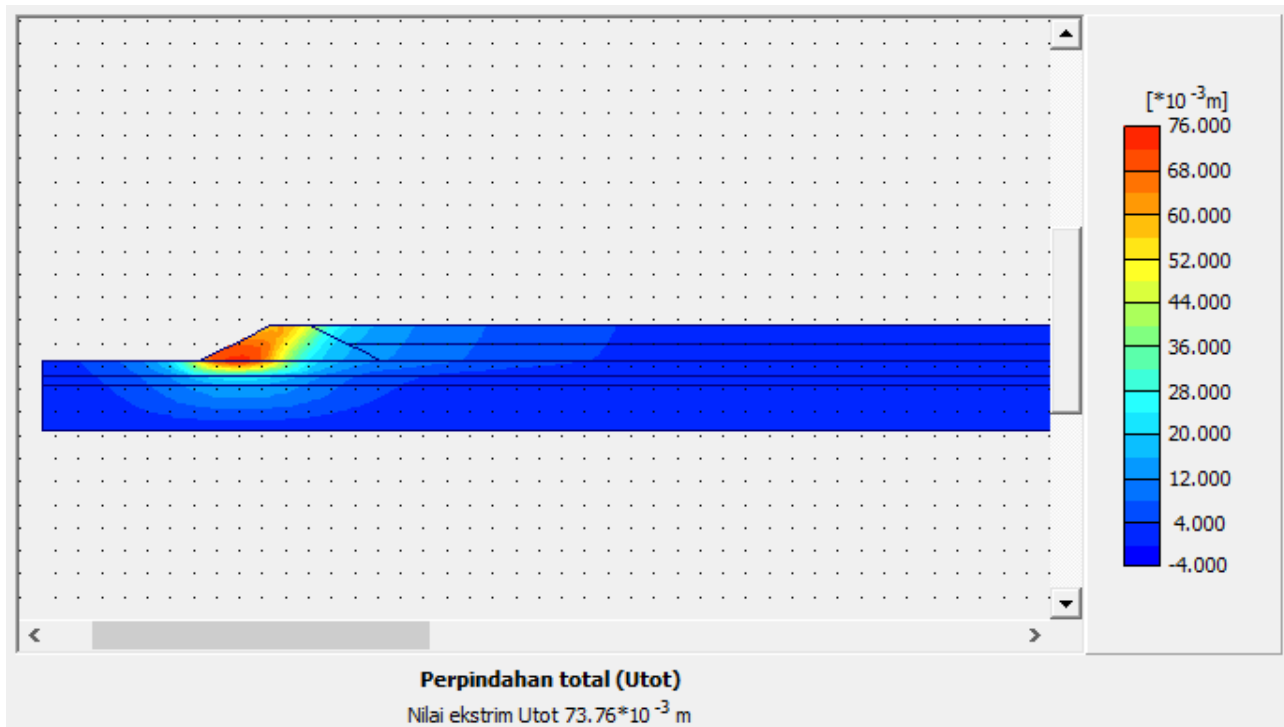
Gambar 5. 8 Grafik Daya Dukung

$$SF = \frac{12.5 \text{ KPa} \times 9}{1.1 \text{ t/m}^3 \times 8.4 \text{ m}} = 12.7$$

Nilai SF yang terjadi lebih dari SF yang disyaratkan, timbunan reklamasi aman terhadap *puncture failure*.

5.7.2 Stabilitas Terhadap Sliding

Kontrol *sliding* pada timbunan reklamasi perlu dilakukan untuk mengetahui apakah timbunan reklamasi yang direncanakan tersebut sudah aman terhadap kemungkinan bahaya longsor rotasional (*sliding*). Dalam pengecekan stabilitas ini menggunakan media bantu plaxis. SF yang dihasilkan setelah memodelkan timbunan menggunakan software tersebut adalah sebesar 1.242. Hal ini menunjukkan bahwa timbunan reklamasi masih aman terhadap sliding karena $SF > SF$ yang disyaratkan yaitu 1.2. adapun hasil dari program tersebut dapat dilihat pada gambar.



Gambar 5. 9 Sliding pada Timbunan Reklamasi

Umum | Parameter | Pengali | Tampilan

Tampilan
 Nilai masukan
 Nilai yang dicapai

Peningkatan faktor pengali

Mdisp: 0.0000
MloadA: 0.0000
MloadB: 0.0000
Mweight: 0.0000
Maccel: 0.0000
Msf: 0.1000

Faktor pengali total

Σ -Mdisp: 1.0000
 Σ -MloadA: 1.0000
 Σ -MloadB: 1.0000
 Σ -Mweight: 1.0000
 Σ -Maccel: 0.0000
 Σ -Msf: 1.2422

Berikutnya | Sisipkan | Hapus...

Identifikasi	No. tahap	Mulai dari	Perhitungan	Masukan pembebanan	Waktu	Air	Pert...	Terak
Tahap awal	0	0	N/A	N/A	0.00 ...	0	0	0
✓ SETTLEMENT	1	0	Analisa konsolidasi	Peningkatan faktor pengali	365....	0	346	645
✓ SF	2	1	Reduksi phi-c (UM+)	Peningkatan faktor pengali	0.00 ...	0	646	995
✓ SETTLEMENT?	3	0	Analisa plastis	Tahapan konstruksi	365....	0	996	1009
<Tahap 4>	4	0	Analisa konsolidasi	Tahapan konstruksi	365....	0		

Gambar 5. 10 SF Terhadap Sliding

Halaman ini sengaja dikosongkan.

BAB VI PERENCANAAN BREAKWATER

6.1 Umum

Breakwater yang digunakan dalam tugas akhir ini dipilih *breakwater* tipe *rubble mound* karena mereduksi gelombang yang datang. Berdasarkan *masterplan*, *breakwater* ini akan dibangun diperairan dangkal dengan kedalaman maksimum adalah -8 mLWS, sehingga tipe *rubble mound* dirasa efektif. Material *breakwater* yang digunakan menggunakan tumpukan batu kapur atau *lime stone* hasil peledakan lahan perbukitan disekitar lokasi Tersus dengan diameter dan berat memenuhi syarat dan kualitas batu sesuai spesifikasi yang dibutuhkan. Adapun material *breakwater* telah dibahas pada sub-bab 3.7.2. *Layout breakwater* sesuai dengan *Masterplan* Pengembangan Tersus dapat dilihat pada Gambar 5.2.

6.2 Difraksi Layout *Masterplan*

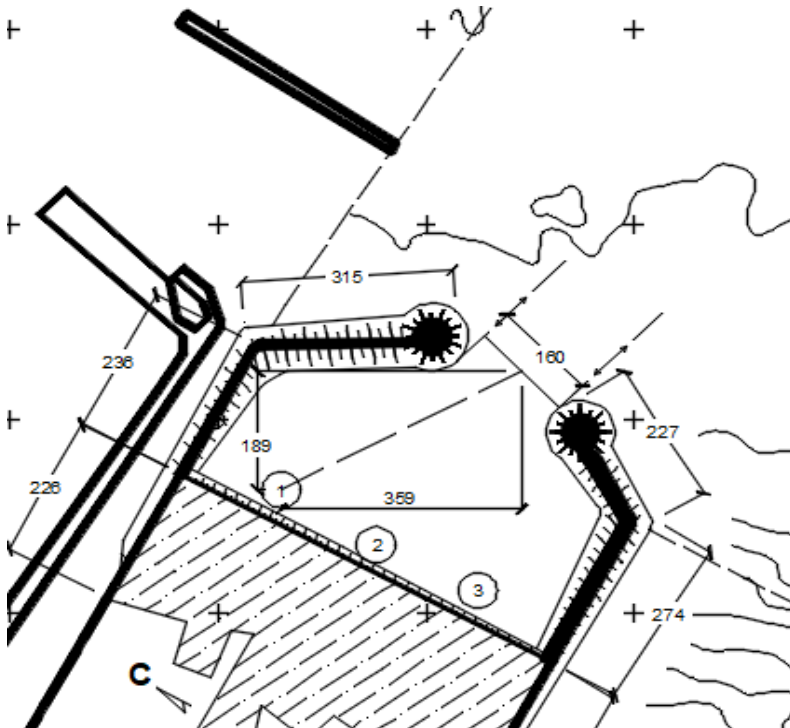
Tinggi gelombang pada laut dalam (H_0) yang telah didapatkan pada bab 3 akan mengalami refraksi hingga kedalaman -8 mLWS. Pada kedalaman -8 mLWS, gelombang bergerak melewati bangunan yang *impermeable*. Hal ini menyebabkan gelombang akan terdifraksi. Di-harapkan tinggi gelombang pada titik yang digunakan tidak melebihi persyaratan yang telah ditentukan. Tinggi gelombang untuk kapal dalam keadaan *ballast* yang di-ijinkan adalah 0.5 m.

Dari perhitungan refraksi pada sub bab 3.6.4 didapatkan data berikut.

$$\begin{aligned}d &= 8 \text{ m} \\H_{50} &= 3.7 \text{ m} \\T &= 9 \text{ s} \\L_0 &= 89 \text{ m}\end{aligned}$$

$$\begin{aligned}d/L_0 &= 0.054 \\d/L &= 0.08991 \text{ (spm, 1984)} \\L &= 89 \text{ m}\end{aligned}$$

Dari masterplan pengembangan Tersus, dengan meninjau titik 1 didapatkan data seperti pada Gambar 6. 1.



Gambar 6. 1 Titik yang Ditinjau untuk Perhitungan Difraksi

$$\begin{aligned} B &= 160 \text{ m} \\ x &= 359 \text{ m} \\ y &= 189 \text{ m} \end{aligned}$$

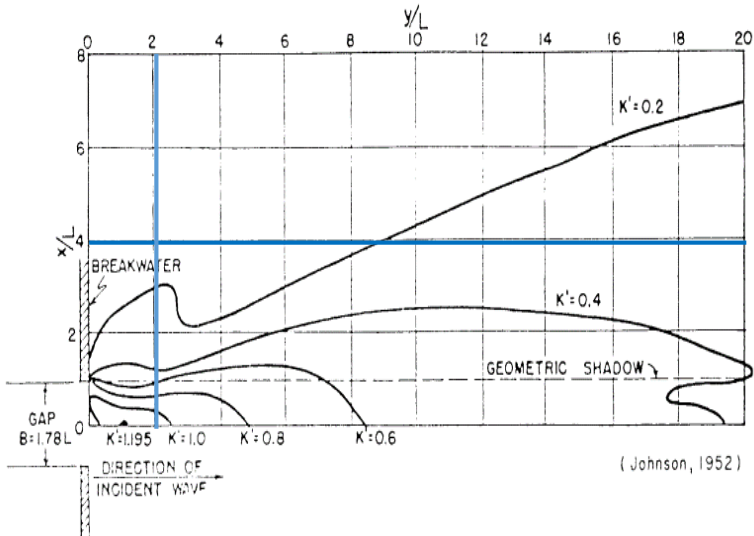
Sehingga koefisien difraksi dapat diperoleh menggunakan beberapa parameter sebagai berikut.

$$x/L = \frac{359 \text{ m}}{89 \text{ m}} = 4.0$$

$$y/L = \frac{189 \text{ m}}{89 \text{ m}} = 2.1$$

$$B/L = \frac{160 \text{ m}}{89 \text{ m}} = 1.80$$

Sehingga untuk mendapatkan koefisien difraksi menggunakan grafik koefisien difraksi dengan $B/L=1.78$ seperti pada Gambar 6. 2.



Gambar 6. 2 Diagram Difraksi dengan $B/L=1.78$

Sumber: SPM, 1984

Dari diagram diatas didapatkan koefisien difraksi, K' , sebesar 0.1. Sehingga tinggi gelombang setelah difraksi dapat dihitung sebagai berikut.

$$H'_1 = K' \times H_{50}$$

$$H'_1 = 0.2 \times 3.7 \text{ m} = 0.7 \text{ m}$$

Tinggi gelombang pada titik 1 yang telah terdifraksi akibat adanya breakwater adalah 0.4 m, maka tinggi

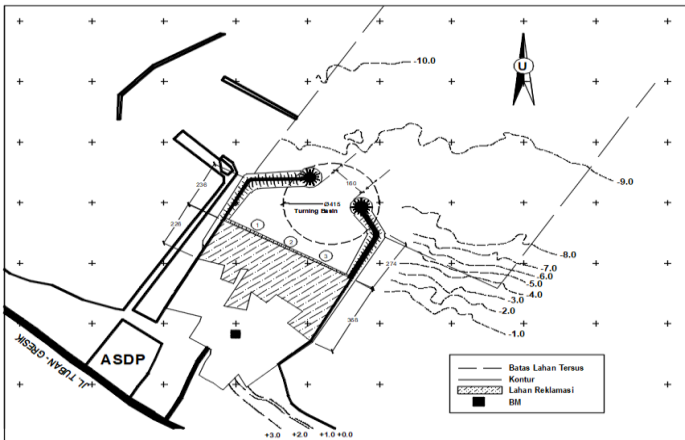
gelombang pada titik 1 masih diijinkan. Untuk perhitungan dengan meninjau titi 2 dan titik 3 tersaji pada Tabel 6. 1.

Tabel 6. 1 Tinggi Gelombang Setelah Difraksi

Titik	H_{50} (m)	T (s)	L (m)	x (m)	y (m)	x/L	y/L	K	H (m)
1	3.7	10	89	333	162	3.7	1.8	0.2	0.7
2	3.7	10	89	218	277	2.5	3.1	0.2	0.7
3	3.7	10	89	66	349	0.7	3.9	0.2	0.7

6.3 Evaluasi Layout Breakwater Masterplan

Memperhatikan arah bangkitan gelombang sekaligus besar frekuensi yang terjadi serta letak alur masuk kapal, maka celah atau mulut breakwater rencana sudah tepat berada pada arah utara dengan kondisi tinggi gelombang refraksi yang rendah serta frakuensi kejadiannya yang paling jarang dan sesuai dengan alur masuk kapal menuju tersus apabila dibandingkan dari arah bangkitan gelombang yang lain yaitu arah barat laut dan timur laut. Kedalaman celah atau mulut breakwater sudah berada pada kedalaman yang cukup untuk kapal memasuki area tersus, sedangkan lebar celah yang berkisar 160 meter sesuai dengan lebar celah minimum yaitu 120 meter.



Gambar 6. 3 Layout Breakwater Masterplan dan Layout Turning Basin

Akan tetapi letak kepala breakwater terletak pada area turning basin seperti pada Gambar 6. 3. Tinggi gelombang pada titik yang ditinjau (Gambar 6. 1) berhasil tereduksi dengan adanya breakwater dengan tinggi gelombang yang masih diijinkan.

6.4 Perencanaan Layout Breakwater

Pada penentuan *layout breakwater* baru, mulut *breakwater* tetap menghadap arah utara dimana frekuensi dan tinggi gelombang kecil.

Pada breakwater sisi barat, lengan breakwater diperpanjang sejauh 80 meter kemudian berbelok ke arah timur untuk kepala breakwater sejauh 322 meter. Untuk *breakwater* sisi timur, lengan breakwater diperpanjang sejauh 100 meter kemudian berbelok ke arah barat laut sepanjang 248 meter untuk kepala breakwater. Sehingga menghasilkan celah antar *breakwater* sepanjang 155 meter pada kedalaman -8.5 mLWS. Perpanjangan breakwater ini dimaksudkan agar *breakwater* tidak mengenai *turning basin area*. Penentuan *layout breakwater* baru dapat dilihat pada Gambar 6. 4.

Perhitungan tinggi setelah difraksi dengan menggunakan *layout breakwater* baru adalah sebagai berikut.

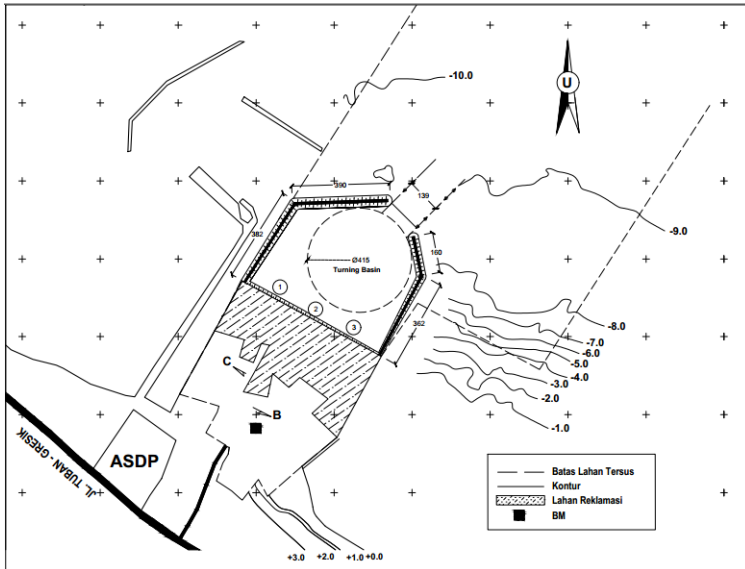
$$\begin{aligned} B &= 139 \text{ m} \\ x &= 494 \text{ m} \\ y &= 286 \text{ m} \end{aligned}$$

Sehingga koefisien difraksi dapat diperoleh menggunakan beberapa parameter sebagai berikut.

$$x/L = \frac{494 \text{ m}}{89 \text{ m}} = 5.5$$

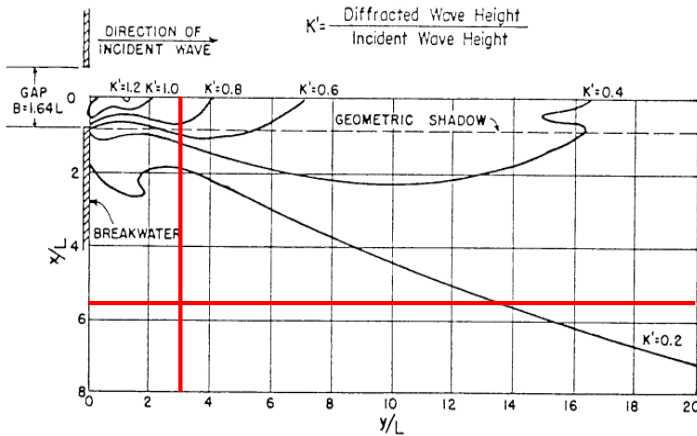
$$y/L = \frac{286 \text{ m}}{89 \text{ m}} = 3.2$$

$$\frac{B}{L} = \frac{39 \text{ m}}{89 \text{ m}} = 1.56$$



Gambar 6. 4 Layout Breakwater Baru

Sehingga untuk mendapatkan koefisien difraksi menggunakan grafik koefisien difraksi dengan $B/L=1.64$ seperti pada Gambar 6. 5.



Gambar 6. 5 Diagram Difraksi dengan $B/L=1.64$

Dari diagram diatas didapatkan koefisien difraksi, K' , sebesar 0.1. Sehingga tinggi gelombang setelah difraksi dapat dihitung sebagai berikut.

$$H'_1 = K' \times H_{50}$$

$$H'_1 = 0.1 \times 3.7 \text{ m} = 0.4 \text{ m}$$

Tinggi gelombang pada titik 1 yang telah terdifraksi akibat adanya breakwater dengan layout baru adalah 0.4 m, maka tinggi gelombang pada titik 1 masih diijinkan. Untuk perhitungan dengan meninjau titik 2 dan titik 3 tersaji pada Tabel 6. 2.

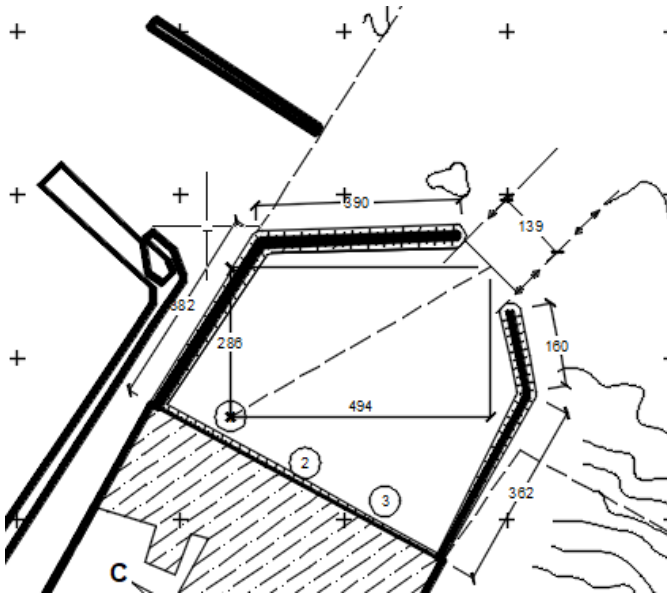
Tabel 6. 2 Tinggi Gelombang Setelah Difraksi pada Layout Breakwater Baru

Titik	H_{50} (m)	T (s)	L (m)	x (m)	y (m)	x/L	y/L	K	H (m)
1	3.7	10	89	492	286	5.5	3.2	0.1	0.4
2	3.7	4	89	353	374	4.0	4.2	0.2	0.7
3	3.7	4	89	201	446	2.3	5.0	0.1	0.4

6.5 Perencanaan Cross Section Breakwater

6.5.1 Berat Unit Armour

Pada perencanaan breakwater ini, lapis pelindung breakwater menggunakan *limestone* yang merupakan hasil peledakan lahan perbukitan di daerah sekitar tersus. Adapun berat jenis dari *limestone* (W_r) adalah 2.5 t/m^3 , (*The Rock Manual*, 2007). Berat unit armour yang akan dihitung pada primary layer, secondary layer, core layer, dan berm. Terdapat dua berat batuan yang akan mengisi core layer.



Gambar 6. 6 Titik Layout Breakwater Baru yang Ditinjau Untuk Perhitungan Difraksi

Untuk menghitung berat unit armour untuk primary layer dapat menggunakan persamaan 2.36 dengan mencari nilai S_r terlebih dahulu sebagai berikut.

$$S_r = \frac{W_r}{W_w}$$

$$= \frac{2.5 T/m^3}{1.03 T/m^3} = 2.43$$

Kemiringan lereng breakwater direncanakan 1:2, sehingga sudut kemiringan breakwater (Θ) adalah 26.57° . Selain itu koefisien stabilitas material tergantung pada fisik material (K_d) juga mempengaruhi berat unit armour untuk struktur pada kepala *breakwater* maupun pada lengan *breakwater*. K_d dapat dilihat pada Tabel 6. 3.

Sehingga berat unit armour pada struktur kepala breawater adalah sebagai berikut.

$$W = \frac{2.5 \text{ t/m}^3 \times (3.7 \text{ m})^3}{2.8 \times \cot 26.57^\circ \times (2.43 - 1)^3}$$

$$= 7.66 \text{ ton}$$

Sedangkan pada lengan breakwater, berdasarkan Tabel 6. 3 nilai K_d didapatkan sebesar 4.0. Maka berat unit Armour yang dibutuhkan untuk struktur lengan Breakwater adalah sebagai berikut

$$W = \frac{2.5 \text{ t/m}^3 \times (3.7 \text{ m})^3}{4.0 \times \cot 26.57^\circ \times (2.43 - 1)^3}$$

$$= 5.36 \text{ ton}$$

Tabel 6. 3 Nilai K_d dari Berbagai Jenis Armour Unit

Armor Units	n ³	Placement	Structure Trunk		Structure Head		
			K_D^2		K_D		Slope
			Breaking Wave	Nonbreaking Wave	Breaking Wave	Nonbreaking Wave	Cot θ
Quarrrystone	2	Random	1.2	2.4	1.1	1.9	1.5 to 3.0
Smooth rounded	>3	Random	1.6 ₄	3.2	1.4 ₄	2.3	5
Smooth rounded	1	Random		2.9		2.3	5
Rough angular	1	Random					
Rough angular	2	Random	2.0	4.0	1.6	2.8	2.0
					1.3	2.3	3.0
Rough angular	>3	Random	2.2	4.5	2.1	4.2	5
Rough angular	2	Special	5.8	7.0	5.3	6.4	5
Parallelepiped	2	Special	7.0 - 20.0	8.5 - 24.0	--	--	
Tetrapod and Quadripod	2	Random	7.0	8.0	5.0	6.0	1.5
					4.5	5.5	2.0
					3.5	4.0	3.0
Tribar	2	Random	9.0	10.0	8.3	9.0	1.5
					7.8	8.5	2.0
					6.0	6.5	3.0
Dolos	2	Random	15.8 ^B	31.8 ^B	8.0	16.0	2.0 ⁹
					7.0	14.0	3.0
Modified cube	2	Random	6.5	7.5	---	5.0	5
Hexapod	2	Random	8.0	9.5	5.0	7.0	5
Toskane	2	Random	11.0	22.0	--	--	5
Tribar	1	Uniform	12.0	15.0	7.5	8.5	5
Quarrrystone (K_{RR})							
Graded angular	-	Random	2.2	2.5	--	--	

Sumber: SPM, 1984

Berat unit armour untuk setiap lapisan baik pada struktur kepala breakwater maupun pada struktur lengan breakwater dapat dilihat pada Tabel 6. 4.

Tabel 6. 4 Berat Unit Armour pada Setiap Lapisan Breakwater

Lapisan Breakwater		Berat (ton)	
		Head Structure	Trunk Structure
Primary Layer	W	7.66	5.36
Secondary Layer	W/10	0.77	0.54
Core Layer	W/200	0.038	0.027
	W/4000	0.002	0.001
Berm	W/10	0.77	0.54

6.5.2 Tebal Lapisan

Tebal lapisan pada setiap lapisan armour dapat dihitung menggunakan persamaan 2.37.

Dengan jumlah lapis batu dalam lapisan (n) dan koefisien lapis (k_{Δ}) didapatkan dari Tabel 6. 5.

Tabel 6. 5 Nilai n dan k_{Δ} dari Berbagai Jenis Armour

Armor Unit	n	Placement	Layer Coefficient k_{Δ}	Porosity (P) %
Quarrystone (smooth) ¹	2	Random	1.02	38
Quarrystone (rough) ²	2	Random	1.00	37
Quarrystone (rough) ²	>3	Random	1.00	40
Quarrystone (parallepiped) ⁶	2	Special	--	27
Cube (modified) ¹	2	Random	1.10	47
Tetrapod ¹	2	Random	1.04	50
Quadripod ¹	2	Random	0.95	49
Hexipod ¹	2	Random	1.15	47
Tribar ¹	2	Random	1.02	54
Dolos ⁴	2	Random	0.94	56
Toskane ⁵	2	Random	1.03	52
Tribar ¹	1	Uniform	1.13	47
Quarrystone ⁷	Graded	Random	--	37

Sumber: SPM, 1984

Sehingga tebal primary layer adalah sebagai berikut.

$$t = 2 \times 1.0 \times \left(\frac{7.66 \text{ ton}}{2.5 \text{ t/m}^3} \right)^{1/3}$$

$$= 2.9 \text{ m}$$

Tebal setiap lapisan armour layer tersaji pada Tabel 6. 6.

Tabel 6. 6 Tebal Lapisan Armour Layer Breakwater

Lapisan Breakwater	tebal (m)	
	Head Structure	Trunk Structure
Primary Layer	2.9	2.6
Secondary Layer	1.4	1.2
Berm	1.4	1.2

6.5.3 Lebar Puncak Breakwater

Lebar puncak minimum adalah sama dengan lebar dari tiga butir batu pelindung yang disusun berdampingan. Selain itu lebar puncak juga harus menyesuaikan keperluan operasi peralatan pada waktu pelaksanaan dan perawatan. Adapun lebar puncak breakwater menggunakan persamaan 2.35.

Dimana nilai n yang digunakan adalah 3, serta nilai k_{Δ} sesuai pada Tabel 6. 5. Sehingga lebar puncak breakwater pada struktur kepala breakwater adalah sebagai berikut.

$$B = 3 \times 1.0 \times \left(\frac{7.66 \text{ ton}}{2.5 \text{ t/m}^3} \right)^{1/3}$$

$$= 4.36 \text{ m} \approx 4.4 \text{ m}$$

Lebar puncak pada struktur lengan breakwater adalah sebagai berikut.

$$B = 3 \times 1.0 \times \left(\frac{7.66 \text{ ton}}{2.5 \text{ t/m}^3} \right)^{1/3}$$

$$= 3.40 \text{ m}$$

Dalam pelaksanaannya direncanakan menggunakan dump truck dan alat – alat berat melalui daratan ke arah lautan, sehingga lebar puncak breakwater disesuaikan dengan kebutuhan operasional pelaksanaan sebesar 7.0

meter untuk struktur kepala breakwater dan 6.1 meter untuk struktur lengan breakwater.

6.6 Elevasi Puncak *Breakwater*

6.6.1 Transmisi Gelombang

Penentuan elevasi puncak breakwater berdasarkan boleh tidaknya terjadi limpasan (*overtopping*). Dalam perencanaan ini *nonovertopping breakwater* dihindari, sehingga perlu diperhitungkan transmisi gelombang. Direncanakan tinggi puncak breakwater, $Z_c > \frac{3}{4} H$, sehingga tinggi transmisi gelombang adalah sebagai berikut.

$$\begin{aligned} H_{50} &= 3.7 \text{ m} \\ H_t &= 0.5 \times H_{50} \\ &= 0.5 \times 3.7 \text{ m} \\ &= 1.85 \text{ m} \approx 2 \text{ m} \end{aligned}$$

6.6.2 *Settlement*

Breakwater memiliki beban yang sangat besar, sehingga tanah dasar akan mengalami *settlement*. Besarnya *settlement* diasumsikan sebesar 1 meter.

6.6.3 Beda Pasang Surut

Besarnya beda pasang surut telah dibahas pada bab 3 yaitu sebesar 1.3 meter.

6.6.4 Elevasi Puncak

Breakwater yang direncanakan akan mengalami penurunan pada tanah dasarnya (*settlement*) akibat beban breakwater yang besar. Besarnya *settlement* diasumsikan sebesar 1 meter. Selain dari *settlement*, elevasi puncak *breakwater* memperhitungkan besarnya beda pasang surut air laut dan *wave run up* yang telah dibahas pada bab dan sub bab sebelumnya. Sehingga elevasi *breakwater* adalah sebagai berikut.

$$\begin{aligned} \text{beda pasut} &= 1.3 \text{ m} \\ \text{transmisi gelombang} &= 2.0 \text{ m} \end{aligned}$$

$$\text{settlement} = 1.0 \text{ m}$$

$$\begin{aligned} \text{elevasi puncak} &= 1.3 \text{ m} + 2.0 \text{ m} + 1.0 \text{ m} \\ &= 4.3 \text{ m} \approx 4.5 \text{ m} \end{aligned}$$

6.7 Stabilitas *Breakwater*

6.7.1 *Settlement*

Settlement yang akan dihitung dalam laporan ini berada pada kedalaman -8 mLWS serta elevasi yang akan dicapai adalah +5 mLWS, maka tinggi timbunan breakwater adalah sebesar 11 meter. Perhitungan settlement yang terjadi pada breakwater sama seperti perhitungan settlement pada timbunan reklamasi dengan menggunakan material breakwater seperti pada sub-bab 3.7.2, sehingga perhitungan settlement yang terjadi adalah sebagai berikut.

a. *Primary Consolidation Settlement*

Untuk tinggi timbunan sebesar 11 meter dengan timbunan berada pada kedalaman -8 mLWS, besar tegangan *overburden* tanah yang ditinjau seperti pada gambar 5.2 sebagai berikut.

$$\gamma_{sat} = 1.69 \text{ t/m}^3$$

$$\gamma_{laut} = 1.03 \text{ t/m}^3$$

$$\gamma' = 0.66 \text{ t/m}^3$$

$$\begin{aligned} \sigma_{o1} &= \gamma' \times Z_1 \\ &= 0.66 \text{ t/m}^3 \times 0.5 \text{ m} \\ &= 0.333 \text{ t/m}^2 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \sigma_{o2} &= \gamma' \times Z_2 + \gamma' \times h_1 \\ &= 0.66 \text{ t/m}^3 \times 0.5 \text{ m} + 0.66 \text{ t/m}^3 \times 1 \text{ m} \\ &= 0.998 \text{ t/m}^2 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \sigma_{o3} &= \gamma' \times Z_3 + \gamma' \times h_1 + \gamma' \times h_2 \\ &= 0.66 \text{ t/m}^3 \times 0.5 \text{ m} + 2 (0.66 \text{ t/m}^3 \times 1 \text{ m}) \\ &= 1.663 \text{ t/m}^2 \end{aligned}$$

Besarnya penambahan tegangan ($\Delta\sigma$) akibat adanya beban timbunan pada muka tanah yang didistribusikan ke lapisan tanah dengan menggunakan parameter-parameter sebagai berikut.

$$\begin{aligned} q &= H_{tdk\ terendam} \times \gamma_{timb} + H_{terendam} \times \gamma'_{timb} \\ &= (13 - 8) m \times 2.5 t/m^3 + 8 m \times (2.5 - 1.03) t/m^3 \\ &= 24.3 t/m^2 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \alpha_1 &= \tan^{-1} \left(\frac{7.0 m + 17.5 m}{17.5 m} \right) - \tan^{-1} \left(\frac{7.0 m}{0.5 m} \right) \text{ (rad)} \\ &= 2.92^\circ \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \alpha_2 &= \tan^{-1} \left(\frac{7.0 m}{0.5 m} \right) \text{ (rad)} \\ &= 85.9^\circ \end{aligned}$$

Sehingga besarnya penambahan tegangan total ($2\Delta\sigma$) adalah sebagai berikut.

$$\begin{aligned} \Delta\sigma &= \frac{24.3}{\pi} \left[\left(\frac{7.0 + 17.5}{17.5} \right) (2.92 + 85.9) - \left(\frac{7.0}{17.5} \right) (85.9) \right] \\ &= 12.15 t/m^2 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} 2\Delta\sigma &= 2 \times 12.150 t/m^2 \\ &= 24.30 t/m^2 \end{aligned}$$

Untuk menghitung primary consolidation settlement perlu dihitung nilai $\sigma_o + \Delta\sigma$ dan σ_c' terlebih dahulu.

$$\begin{aligned} \sigma_c' &= \sigma_o + H_{fluktuasi} \times \gamma_{laut} \\ &= 0.333 t/m^2 + 1.3 m \times 1.03 t/m^3 \\ &= 1.67 t/m^2 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \sigma_o + 2\Delta\sigma &= 0.333 t/m^2 + 24.30 t/m^2 \\ &= 24.63 t/m^2 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 S_c &= \left[\frac{C_s}{1 + e_0} \log \frac{\sigma'_c}{\sigma_o} + \frac{Cc}{1 + e_0} \log \frac{\sigma_o + 2\Delta\sigma}{\sigma'_c} \right] Z \\
 &= \left[\frac{0.051}{1 + 1.45} \log \frac{1.67}{0.333} + \frac{0.354}{1 + 1.45} \log \frac{0.333 + 24.631}{1.67} \right] 1 \\
 &= 0.18 \text{ m}
 \end{aligned}$$

Perhitungan penurunan konsolidasi primer ini dilakukan untuk setiap lapis pada lapisan tanah lempung. Adapun perhitungan penurunan ini di setiap lapisnya tersaji pada Tabel 6. 7. Jumlah penurunan konsolidasi primer untuk semua lapisan tanah lempung adalah sebesar 0.48 m.

b. Immediate Settlement

Besar *immediate settlement* dengan timbunan setinggi 8 meter pada kedalaman -8 mLWS untuk lapisan tanah berlempung adalah sebagai berikut dengan lapisan tanah yang ditinjau seperti pada gambar 5.4.

$$\begin{aligned}
 E &= E' \left(1 - \frac{2\mu^2}{1 - \mu} \right) \\
 2000 \text{ kN/m}^2 &= E' \left(1 - \frac{2 \times 0.2^2}{1 - 0.2} \right) \\
 E' &= \frac{2000 \text{ kN/m}^2}{0.900} = 2222 \text{ kN/m}^2 \\
 S_i &= q \quad \times \quad \frac{h_i}{E'_i} \\
 &= 10.42 \text{ t/m}^2 \times \frac{3 \text{ m}}{2222 \text{ kN/m}^2} \\
 &= 0.02 \text{ m}
 \end{aligned}$$

Untuk perhitungan penurunan segera di setiap lapisnya tersaji pada Tabel 6. 8. Jumlah penurunan segera yang terjadi pada semua lapisan tanahnya adalah sebesar 0.03 m.

c. *Settlement total*

Total penurunan akibat beban timbunan reklamasi pada tanah dasar yang berlapis merupakan jumlah dari seluruh penurunan yang terjadi pada setiap lapisannya. Sehingga *settlement total* yang terjadi untuk tinggi timbunan breakwater adalah sebagai berikut.

$$\begin{aligned} S &= S_c + S_i \\ &= 0.48 \text{ m} + 0.03 \\ &= 0.51 \text{ m} \end{aligned}$$

Perhitungan total *settlement* tersebut menunjukkan bahwa besar total *settlement* yang terjadi masih dibawah asumsi *settlement* yang digunakan dalam perencanaan penampang breakwater sebelumnya yaitu 1 m. Maka breakwater yang direncanakan sudah mampu mengantisipasi besar *settlement* yang terjadi.

Tabel 6. 7 perhitungan Primary Consolidation Settlement Breakwater

H (m)	z	γ_{sat} (t/m^3)	eo	Cc	Cs	σ_o (t/m^2)	$\sigma_{fluktuasi}$ (t/m^2)	σ_c' (t/m^2)	b1 (m)	b2 (m)	$\alpha 1$ ($^\circ$)	$\alpha 2$ ($^\circ$)	$\Delta\sigma$ (t/m^2)	$2\Delta\sigma$ (t/m^2)	$\sigma_o + 2\Delta\sigma$ (t/m^2)	Sc m
1	0.5	1.69	1.45	0.354	0.051	0.333	1.33	1.67	4.4	26	5.54	83.5	12.149	24.299	24.6313	0.18
1	1.5	1.69	1.45	0.354	0.051	0.998	1.33	2.33	4.4	26	16	71.2	12.134	24.268	25.2659	0.16
1	2.5	1.69	1.45	0.354	0.051	1.663	1.33	2.995	4.4	26	24.9	60.4	12.084	24.169	25.8310	0.14
Sc total																0.48

Tabel 6. 8 Perhitungan Immdiate Settlement Breakwater

lapisan ke-	deskripsi tanah	hi (m)	z (m)	N-SPT	E	μ	$1-(2\mu/(1-\mu))$	E' (kN/m^2)	hi/E'i	Si (m)
1	lempung lunak	2.5	-2.5	2	2000	0.2	0.900	2222	0.00113	0.03
2	pasir lepas	2.5	-5	4	15000	0.3	0.743	20192	0.00012	0.00
3	pasir padat	10	-15	50	40000	0.35	0.623	64198	0.00016	0.00
jumlah										0.03

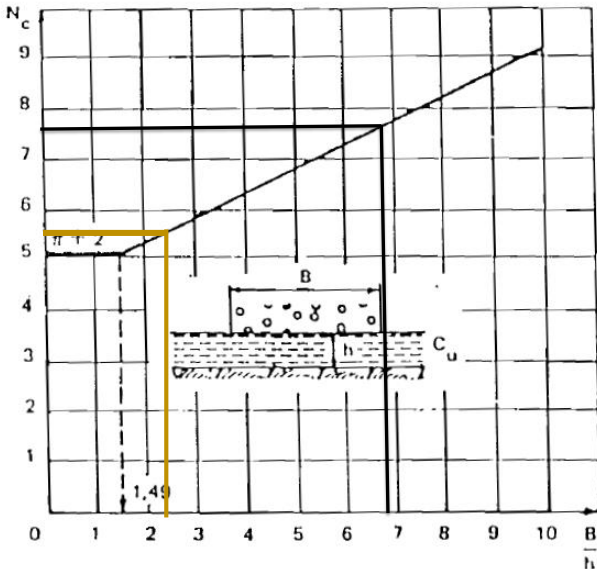
6.7.2 Puncture Failure

Kontrol terhadap *puncture failure* ini bertujuan untuk mengetahui apakah tanah dibawah timbunan akan ambles apabila dibebani. Analisa stabilitas ini hanya dilakukan pada kondisi yang paling kritis, sehingga dalam perhitungan tanah di bawah breakwater ini hanya memperhatikan pada lapisan tanah lempung.

Berikut data- data dari perencanaan breakwater.

$$\begin{aligned} \text{lebar breakwater, } B &= 7.0 \text{ m} \\ \text{tebal lap. lempung, } H &= 3 \text{ m} \\ B/H &= \frac{7.0 \text{ m}}{3 \text{ m}} \\ &= 2.33 \end{aligned}$$

Maka nilai q_{\max} dari timbunan breakwater dapat dihitung dengan mencari nilai n_c menggunakan grafik pada Gambar 6. 1 Grafik B/H vs N_c berikut.



Gambar 6. 1 Grafik B/H vs N_c

$$\begin{aligned}
 N_c &= 5.5 \\
 q_{max} &= C_u \times N_c \\
 &= 12.5 \text{ t/m}^2 \times 5.5 \\
 &= 68.75 \text{ t/m}^2
 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 q &= H_{tdk \text{ terendam}} \times \gamma_{timb} + H_{terendam} \times \gamma'_{timb} \\
 &= (13 - 8) \text{ m} \times 2.5 \text{ t/m}^3 + 8 \text{ m} \times (2.5 - 1.03) \text{ t/m}^3 \\
 &= 24.3 \text{ t/m}^2
 \end{aligned}$$

Maka SF dari timbunan breakwater adalah sebagai berikut.

$$\begin{aligned}
 SF &= \frac{q_{max}}{q} \\
 &= \frac{68.75 \text{ t/m}^2}{24.3 \text{ t/m}^2} \\
 &= 2.83
 \end{aligned}$$

Perhitungan stabilitas breakwater terhadap puncture failure menunjukkan bahwa safety factor yang dihasilkan aman karena $SF > SF_{min}$ yaitu 1,2.

6.7.3 Sliding

Kontrol sliding pada struktur breakwater perlu dilakukan untuk mengetahui apakah struktur breakwater yang direncanakan tersebut sudah aman terhadap kemungkinan bahaya longsor (*sliding*) atau sebaliknya. Perhitungan stabilitas terhadap sliding ini menggunakan media bantu program plaxis. Program ini akan menghasilkan angka keamanan tertentu berdasarkan data yang dimasukkan.

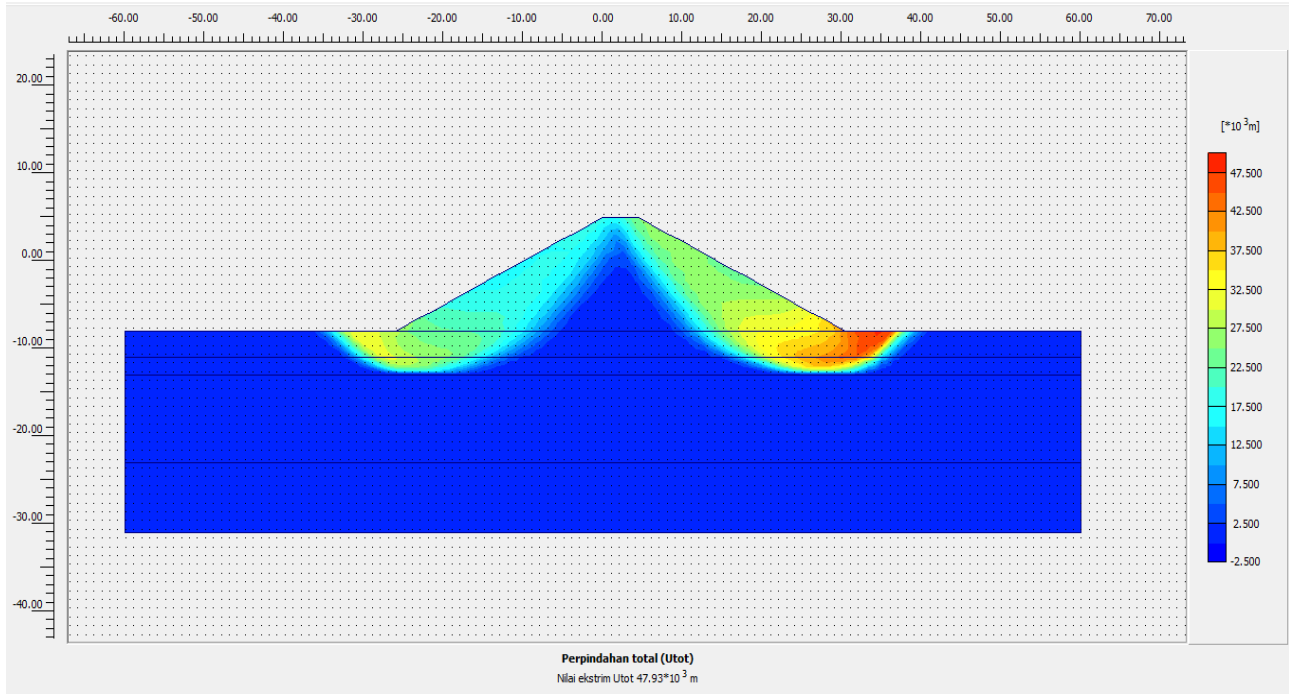
Dalam perhitungan stabilitas, struktur head breakwater (-8 mLWS) ditinjau terhadap sliding. Parameter yang digunakan adalah pada kondisi undrained. Hal ini digunakan karena kondisi ini memiliki kemungkinan paling kritis. Dengan kemiringan slope breakwater adalah 1:1.5 didapatkan nilai SF adalah 3.09 ($SF > SF_{min}$). Maka struktur breakwater tersebut aman terhadap sliding. Hasil output

perhitungan dan analisa kelongsoran dapat dilihat pada Gambar 6. 2 s/d Gambar 6. 3.

The screenshot displays a software interface with two main sections. The top section is a parameter configuration area with tabs for 'Umum', 'Parameter', 'Pengali', and 'Tampilan'. The 'Tampilan' tab is active, showing two columns of input fields: 'Peningkatan faktor pengali' and 'Faktor pengali total'. Each column contains five rows of numerical input fields with up/down arrows. The bottom section is a table with columns: 'Identifikasi', 'No. tahap', 'Mulai dari', 'Perhitungan', 'Masukan pembebanan', 'Waktu', 'Air', 'Pert...', and 'Terakf'. The table contains four rows of data, with the last row highlighted in blue.

Identifikasi	No. tahap	Mulai dari	Perhitungan	Masukan pembebanan	Waktu	Air	Pert...	Terakf
Tahap awal	0	0	N/A	N/A	0,00 ...	0	0	0
✓ plastis	1	0	Analisa plastis (JM+)	Tahapan konstruksi	365...	0	1	3
✓ settlement	2	1	Analisa konsolidasi (JM+)	Peningkatan faktor pengali	365...	0	4	303
✓ SF sliding	4	2	Reduksi phi-c (JM+)	Peningkatan faktor pengali	0,00 ...	0	304	753

Gambar 6. 2 *Output* Perhitungan Menggunakan Plaxis



Gambar 6. 3 Analisa Sliding Menggunakan Plaxis

Halaman ini sengaja dikosongkan.

BAB VII

METODE PELAKSANAAN DAN RENCANA ANGGARAN BIAYA

7.1 Umum

Dalam bab ini akan direncanakan metode pelaksanaan dan membahas rincian biaya yang diperlukan untuk perencanaan reklamasi dan struktur *breakwater*.

7.2. Pekerjaan Persiapan

Pekerjaan persiapan atau pekerjaan prakonstruksi merupakan tahapan pekerjaan untuk mempersiapkan segala kebutuhan baik di wilayah darat maupun di wilayah laut sebelum memulai pekerjaan struktur. Secara detail pekerjaan yang dilakukan dalam masa prakonstruksi ini adalah sebagai berikut:

- Pembersihan lahan
- Mobilisasi dan demobilisasi
- Pemasangan bowplank
- Pengadaan direksi kit

7.3 Pelaksanaan Reklamasi

Dalam perencanaan ini material reklamasi akan dituang dari areal darat ke arah laut. Adapun pelaksanaan reklamasi terdiri dari beberapa langkah sebagai berikut.

7.3.1 Pemasangan Tanggul Reklamasi

Pekerjaan tanggul reklamasi ini berfungsi sebagai perimeter penahan material reklamasi agar tidak keluar. Tanggul ini menggunakan *sandbag* yaitu berupa karung PVC yang kemudian diisi dengan pasir dengan menggunakan mesin hingga terisi sesuai berat yang dibutuhkan yaitu 10 kg. *Sand bag* akan dipasang sepanjang perairan mengelilingi areal tepi reklamasi hingga elevasi rencana yaitu +4.00 mLWS dengan kemiringan 1:2, seperti pada Gambar 5.1. Pemasangan *sandbag* menggunakan *back hoe* dari sisi darat.

7.3.2 Pemasangan *Instrument Soil Monitoring*

Pemasangan *Instrument Soil Monitoring* perlu dilakukan guna mengetahui volume, settlement, dan sliding yang terjadi. Alat-alat soil monitoring akan dipasang selama reklamasi. Adapun alat-alat yang digunakan adalah sebagai berikut.

- Settlement plate

Merupakan pelat dengan pipa paralon yang diletakkan diatas muka tanah asli. Alat ini berfungsi untuk melihat besarnya penurunan tanah asli. Alat ini dipasang setiap luasan 50 x 50 meter hingga 300 x 300 meter.

- Inclinometer

Alat ini berfungsi untuk mengetahui pergerakan horizontal tanah dan memprediksi kelongsoran. Alat ini dibenamkan dari muka tanah asli hingga lapisan tanah yang relatif keras.

- Piezometer

Alat ini berfungsi untuk mengetahui tekanan tanah air, tegangan air pori, dan memprediksi keruntuhan. Alat ini dipasang setiap luasan 200 x 200 meter hingga 400 x 400 meter pada lapisan *compressible soil*.

7.3.3 Pekerjaan Timbunan Reklamasi

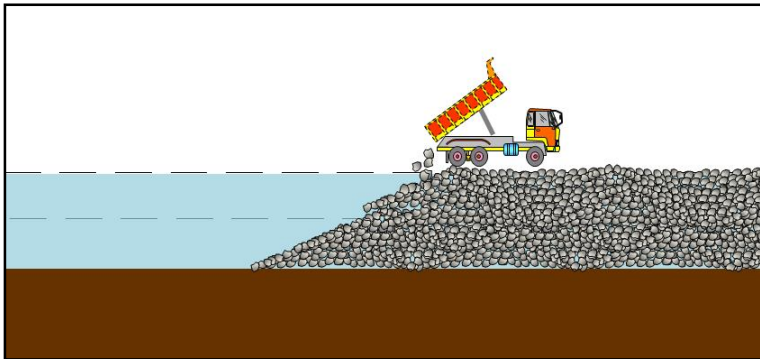
Timbunan reklamasi dilakukan sesuai dengan gambar rencana. Pengurugan lahan reklamasi dilakukan dari darat. Material reklamasi yang berasal dari darat dibawa menggunakan dump truck kemudian dituangkan ke area reklamasi ke arah laut. Hal ini dilakukan hingga mencapai elevasi +3.0 mLWS. Nantinya air yang berada di area reklamasi akan menjadi keruh, air tersebut akan keluar area reklamasi karena terdesak oleh timbunan reklamasi sedangkan material yang tidak tersuspensi akan mengendap. Pengurugan dilakukan kembali hingga elevasi +4.0 mLWS dengan menggunakan pemadatan. Pemadatan ini menggunakan

pneumatic tyred roller yang sebelumnya dilakukan perataan muka tanah timbunan menggunakan buldozer. Pematatan dilakukan hingga mencapai nilai CBR yang disyaratkan.

7.4 Pelaksanaan *Breakwater*

7.4.1 Core layer

Material core layer ini dibawa menggunakan dump truck melalui sisi darat selanjutnya ditumpahkan oleh dump truk ke arah laut hingga mencapai elevasi rencana seperti pada Gambar 7. 1. Perapian lapisan ini dikerjakan dengan menggunakan buldozer.



Gambar 7. 1 Penimbunan Material *Core Layer* dengan Menggunakan *Dump Truck*

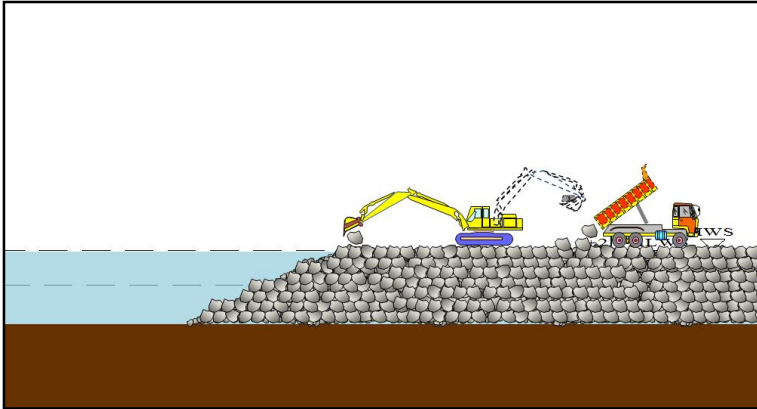
7.4.2 Toe Berm

Pemasangan toe berm dilakukakn setelah pemasangan core layer menggunakan dump truck dan dirapikan menggunakan buldozer. Pekerjaan ini dilakukan untuk memenuhi kedalaman bawah dari primary layer yaitu $-2H$.

7.4.3 Secondary Layer

Pemasangan secondary layer dilaksanakan melalui jalur darat menggunakan excavator. Material dibawa menggunakan dump truck kemudian di tuangkan ke areal kerja bagian lereng. Untuk pemasangan secondary layer bagian puncak, dikerjakan setelah primary layer bagian lereng

sudah selesai. Kemudian bagian puncak dirapikan menggunakan excavator seperti pada gambar dan dibantu oleh crane.



Gambar 7. 2 Perapian Puncak Secondary Layer

7.4.4 Primary Layer

Hampir sama dengan pemasangan secondary layer yaitu menggunakan metode pelaksanaan dari darat. Material dibawa menggunakan *dump truck* kemudian ambil menggunakan crane kemudian diletakkan di lereng breakwater. Setelah lereng breakwater mencapai elevasi yang ditentukan, dilanjutkan dengan memasang unit armor pada puncak breakwater. Perapian unit armor menggunakan *crane*.

7.5 Rencana Anggaran Biaya

7.5.1 Harga Material, Upah Pekerja, dan Sewa Alat

Harga material dan upah diambil dari Peraturan Bupati Lamongan no 40 tahun 2016. Adapun rinciannya tersaji pada Tabel 7. 1 s/d Tabel 7. 3.

Tabel 7. 1 Daftar Harga Material

No	Jenis Peralatan	Satuan	Harga Lamongan 2018
1	batu armor 100-150 kg/unit	m ³	Rp 407,000.00
2	batu armor 10-15 kg/unit	m ³	Rp 313,000.00
3	batu belah 15/20	m ³	Rp 212,000.00
4	bambu	batang	Rp 20,000.00
5	papan (3 x 30 cm)	m ³	Rp 6,090,000.00
6	Sirtu	m ³	Rp 215,000.00

Tabel 7. 2 Daftar Harga Sewa Alat

No	Jenis Peralatan	Satuan	Harga Lamongan 2018
1	Buldozer	Jam	Rp 254,000.00
2	Dump Truck	Jam	Rp 250,000.00
3	Excavator	Jam	Rp 388,000.00
4	Vibrator Roller	Jam	Rp 731,000.00
5	Crane	Jam	Rp 782,000.00
6	Tanki Air	Hari	Rp 375,000.00
7	Alat Bantu Timbunan	Ls	Rp 23,000.00

Tabel 7. 3 Daftar Upah Tenaga Kerja

No	Jenis Peralatan	Satuan	Harga Lamongan 2018
1	Mandor	OH	Rp 95,000.00
2	Kepala Tukang	OH	Rp 90,000.00
3	Tukang	OH	Rp 85,000.00
4	Pembantu Tukang	OH	Rp 54,000.00
5	Operator Alat Berat	OH	Rp 108,000.00
6	Pembantu Operator	OH	Rp 54,000.00
7	Pekerja	OH	Rp 70,000.00
8	Juru Ukur	OH	Rp 82,000.00
9	Sopir	OH	Rp 85,000.00

7.5.2 Analisa Harga Satuan

Analisa harga satuan pekerjaan reklamasi dan breakwater tersaji pada Tabel 7. 4 berikut.

Tabel 7. 4 Analisa Harga Satuan

No	Uraian	Sat	Koef	Harga satuan	Jumlah
1	Urugan Reklamasi tanpa Pemadatan	m ³			
	Bahan:				
	Sirtu	m ³	1.200	Rp 215,000	Rp 258,000
	Upah:				
	mandor	OH	0.020	Rp 95,000	Rp 1,900
	pekerja	OH	0.240	Rp 70,000	Rp 16,800
	alat:				
	excavator	jam	0.005	Rp 254,000	Rp 1,270
				Jumlah	Rp 277,970
2	Urugan Reklamasi dengan Pemadatan	m ³			
	Bahan:				
	Sirtu	m ³	1.200	Rp 215,000	Rp 258,000
	Upah:				
	mandor	OH	0.020	Rp 95,000	Rp 1,900
	pekerja	OH	0.240	Rp 70,000	Rp 16,800
	alat:				
	excavator	jam	0.005	Rp 388,000	Rp 1,940
	buldozer	jam	0.001	Rp 254,000	Rp 159
	vibrator roller	jam	0.003	Rp 731,000	Rp 2,284
			Jumlah	Rp 281,083	

Tabel 7. 4 Analisa Harga Satuan (lanjutan)

3	core layer	m³				
	Bahan:					
	batu belah 15/20	m ³	1.000	Rp	212,000	Rp 212,000
	Alat:					
	excavator	jam	0.026	Rp	388,000	Rp 10,088
	dump truck	jam	0.150	Rp	250,000	Rp 37,500
	Upah:					
	Mandor	OH	0.075	Rp	95,000	Rp 7,125
	operator alat berat	OH	0.029	Rp	108,000	Rp 3,132
	pembantu operator	OH	0.043	Rp	54,000	Rp 2,322
	sopir	OH	1.500	Rp	85,000	Rp 127,500
				Jumlah		Rp 399,667
4	Secondary Layer	m³				
	Bahan:					
	batu armor	m ³	1.000	Rp	313,000	Rp 313,000
	Alat:					
	excavator	jam	0.026	Rp	388,000	Rp 10,088
	dumptruck	jam	0.150	Rp	250,000	Rp 37,500
	crane	jam	0.256	Rp	782,000	Rp 200,192
	Upah:					
	Mandor	OH	0.050	Rp	95,000	Rp 4,750
	operator alat berat	OH	0.040	Rp	108,000	Rp 4,320
	sopir	OH	0.500	Rp	85,000	Rp 42,500
				Jumlah		Rp 612,350
5	Primary Layer	m3				
	Bahan:					
	batu armor	m ³	1.200	Rp	407,000	Rp 488,400
	Alat:					
	excavator	jam	0.026	Rp	388,000	Rp 10,088
	buldozer	jam	0.003	Rp	254,000	Rp 826
	dumptruck	jam	0.150	Rp	250,000	Rp 37,500
	crane	jam	0.256	Rp	782,000	Rp 200,192
	Upah:					
	mandor	OH	0.050	Rp	95,000	Rp 4,750
	operator alat berat	OH	0.040	Rp	108,000	Rp 4,320
	sopir	OH	0.500	Rp	85,000	Rp 42,500
				Jumlah		Rp 788,576

7.5.3 Rencana Anggaran Biaya

Rencana anggaran biaya dalam perencanaan terdiri dari beberapa pekerjaan, meliputi:

- Pekerjaan persiapan
- Pekerjaan reklamasi
- Pekerjaan breakwater

Rincian anggaran biaya pekerjaan persiapan disajikan dalam Tabel 7. 5.

Tabel 7. 5 Rencana Anggaran Biaya

No.	Uraian	Volume	Satuan	Harga Satuan		Jumlah	
I	Pekerjaan persiapan						
1	Pembersihan lapangan	1	Ls	Rp	15,000,000	Rp	15,000,000
2	Pemasangan bowplank Mobilisasi dan demobilisasi	1	Ls	Rp	78,372,900	Rp	78,372,900
4	Pengadaan Direksi keet	1	Ls	Rp	26,245,800	Rp	26,245,800
				Jumlah		Rp	144,618,700
II	Reklamasi						
1	Urugan Reklamasi tanpa Pematatan	676959	m ³	Rp	277,970	Rp	188,174,293,230
2	Urugan Reklamasi dengan Pematatan	521400	m ³	Rp	281,083	Rp	146,556,741,375
				Jumlah		Rp	334,731,034,605
III	Breakwater						
1	core layer	87212	m ³	Rp	399,667	Rp	34,855,746,414
2	Secondary Layer	55049	m ³	Rp	612,350	Rp	33,708,959,691
3	Primary Layer	150486	m ³	Rp	788,576	Rp	118,669,852,637
4	berm	6188	m ³	Rp	612,350	Rp	3,789,050,342
				Jumlah		Rp	191,023,609,084

Dari rencana anggaran biaya diatas, perlu direkapitulasikan dengan pajak yang harus dibayarkan. Sehingga biaya total tersaji pada Tabel 7. 6.

Tabel 7. 6 Rekapitulasi Anggaran Total

No.	Uraian	Jumlah
I	Pekerjaan persiapan	Rp 144,618,700.00
II	Reklamasi	Rp 334,731,034,605.00
III	Breakwater	Rp 191,023,609,084.42
	Jumlah total	Rp 525,899,262,389.42
	PPn 10%	Rp 52,589,926,238.94
	Total + PPn	Rp 578,489,188,628.36
	Jumlah akhir dibulatkan	Rp 578,489,189,000.00

Halaman ini sengaja dikosongkan.

BAB VIII

KESIMPULAN

8.1 Umum

Berdasarkan perencanaan masterplan, didapatkan data kapal maksimum untuk perencanaan untuk pengembangan tersus galangan kapal sebagai berikut.

- DWT (Dead Weight Tonage) = 10000 ton
- LOA (Panjang kapal) = 137 m
- Lebar kapal (B) = 19.9 m
- Draft kapal (D) = 8.2 m
- Ballast draft = 2.7 m

8.2 Perencanaan Reklamasi

Dari hasil perencanaan reklamasi pada bab sebelumnya didapatkan hasil perencanaan sebagai berikut.

a. Material Reklamasi.

- Jenis material = sirtu pilihan
- Dr = 80%
- N-SPT = 45
- γ_{sat} = 1.85 T/m³
- \emptyset = 30°
- C = 0

b. Settlement

- Settlement total = 0.3 meter
- Tinggi timbunan awal = 8.3 meter
- Waktu settlement = 35 minggu
-

Karena waktu yang dibutuhkan untuk terjadinya settlement relatif cepat, maka tidak perlu pemasangan PVD.

- c. Stabilitas Timbunan Reklamasi
- Stabilitas terhadap *sliding* = aman
 - Stabilitas terhadap *puncture failure* = aman

Timbunan aman terhadap *sliding* dan *puncture failure*, maka tidak diperlukan perkuatan geotextile maupun cerucuk.

8.3 Perencanaan *Breakwater*

Direncanakan *breakwater* tipe rubble mound, dengan kedalaman maksimum adalah -8 mLWS. Tinggi gelombang akibat adanya *breakwater* masih diijinkan, akan tetapi layout *breakwater* bertabrakan dengan layout perairan untuk manuver kapal. Maka *breakwater* perlu diperpanjang ke arah laut agar tidak mengganggu manuver kapal. Adapun data-data perencanaan *breakwater* sebagai berikut.

- Elv puncak = 4.5 meter
- Lebar puncak (head) = 7.0 meter
- Lebar puncak (trunk) = 6.1 meter
- Berat *armour unit* setiap bagian adalah sebagai berikut

Tabel 8. 1 Berat *Armour unit* Setiap Bagian

Lapisan <i>Breakwater</i>		Berat (ton)	
		<i>Head Structure</i>	<i>Trunk Structure</i>
<i>Primary Layer</i>	W	7.66	5.36
<i>Secondary Layer</i>	W/10	0.77	0.54
<i>Core Layer</i>	W/200	0.038	0.027
	W/4000	0.002	0.001
<i>Berm</i>	W/10	0.77	0.54

- Tebal lapisan setiap bagian *breakwater* adalah sebagai berikut.

Tabel 8. 2 Tebal Lapisan Breakwater setiap Bagian

Lapisan <i>Breakwater</i>	tebal (m)	
	<i>Head Structure</i>	<i>Trunk Structure</i>
<i>Primary Layer</i>	2.9	2.6
<i>Secondary Layer</i>	1.4	1.2
<i>Berm</i>	1.4	1.2

8.4 Rencana Anggaran Biaya

Total rencana anggaran biaya yang dibutuhkan untuk pekerjaan reklamasi dan breakwater berdasarkan bab 7 adalah sebesar Rp. 569,980,714,000. Adapun rekapan dari RAB dapat dilihat pada Tabel 8. 3.

Tabel 8. 3 Rekapitulasi Anggaran Total

No.	Uraian	Jumlah	
I	Pekerjaan persiapan	Rp	144,618,700.00
II	Reklamasi	Rp	334,731,034,605.00
III	Breakwater	Rp	191,023,609,084.42
	Jumlah total	Rp	525,899,262,389.42
	PPn 10%	Rp	52,589,926,238.94
	Total + PPn	Rp	578,489,188,628.36
	Jumlah akhir dibulatkan	Rp	578,489,189,000.00

Halaman ini sengaja dikosongkan.

DAFTAR PUSTAKA

Braja M, Das. 1985. **Mekanika Tanah 1**. Diterjemahkan oleh Noor Endah dan Indrasurya B.M. Jakarta : Erlangga.

Department Of The Army. 1984. **Shore Protection Manual**, Vicksburg Missisipi.

Look, Burt. 2007. **Handbook of Geotechnical Investivigation and Design Tables**.

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

Triatmodjo, Bambang. 2008. **Teknik Pelabuhan**. Yogyakarta: Beta Offset

Wahyudi, Herman. 1999. **Daya Dukung Pondasi Dangkal**. Surabaya: Jurusan Teknik Sipil-FTSP ITS.

Wahyudi, Herman. 1997. **Teknik Reklamasi**. Surabaya: Institut Teknologi Sepuluh Nopember Surabaya

The Overseas Coastal Area Development Institute of Japan (OCDI).2002. **Technical Standards and Commentaries for Port and Harbour Facilities in Japan**. Japan: Daikousha Printing Co.,Ltd.



LAMPIRAN



DEPARTEMEN TEKNIK SIPIL,
FAKULTAS TEKNIK SIPIL,
LINGKUNGAN, DAN
KEBUMIHAN
INSTITUT TEKNOLOGI
SEPULUH NOPEMBER

TUGAS AKHIR
RC-091380

Perencanaan Reklamasi dan Detail
Breakwater untuk Tersus Galangan
Kapal di Paciran, Lamongan

DOSEN PEMBIMBING

Ir. Dyah Iriani Widyastuti, MSc
Cahaya Buana, ST.MT

NAMA MAHASISWA

FIANY DARA NOVELITA
3111645000027

JUDUL GAMBAR

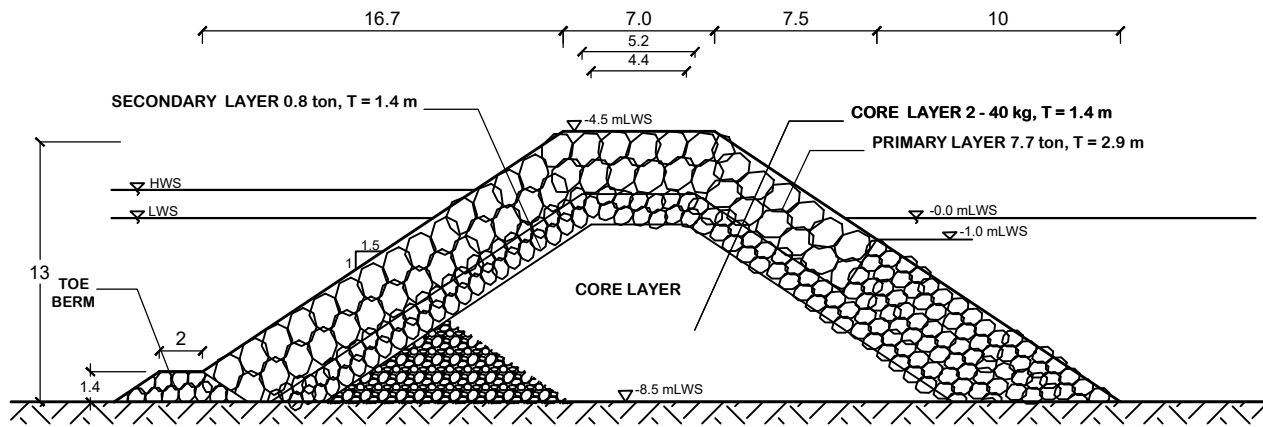
Potongan Melintang
Breakwater

SKALA

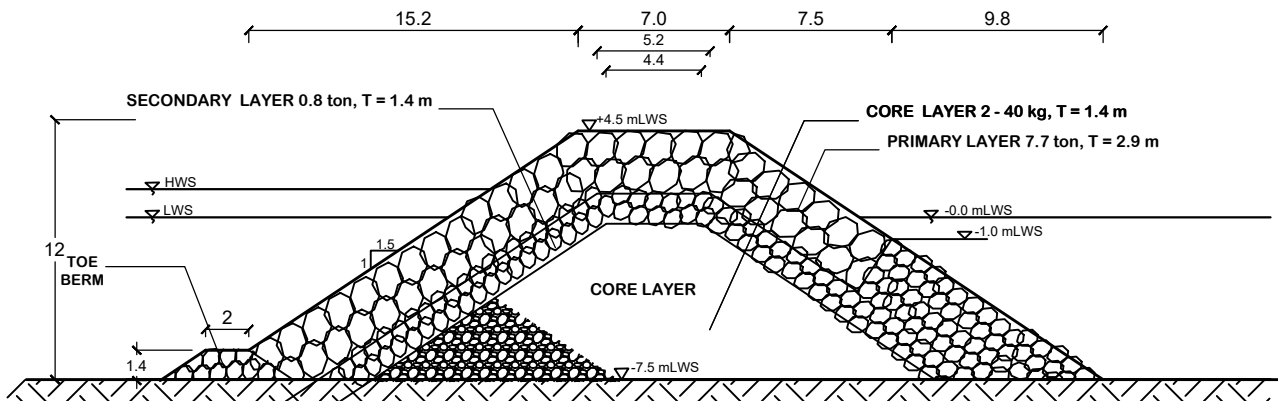
LEMBAR

JUMLAH

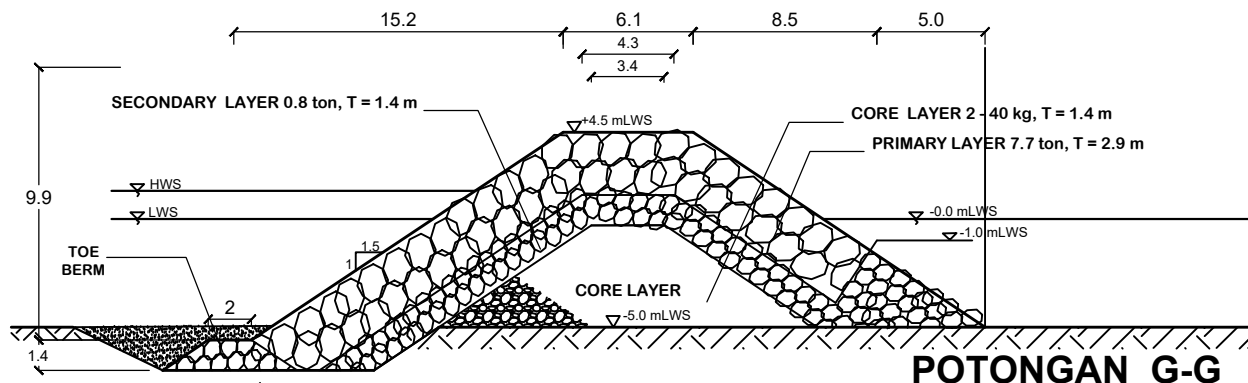
8



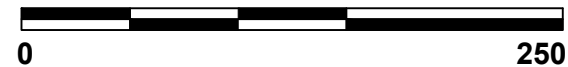
POTONGAN E - E



POTONGAN F - F



POTONGAN G-G





DEPARTEMEN TEKNIK SIPIL
 FAKULTAS TEKNIK SIPIL,
 LINGKUNGAN, DAN
 KEBUMIHAN
 INSTITUT TEKNOLOGI
 SEPULUH NOPEMBER

TUGAS AKHIR

RC-091380

Perencanaan Reklamasi dan Detail
 Breakwater untuk Tersus Galangan
 Kapal di Paciran, Lamongan

DOSEN PEMBIMBING

Ir. Dyah Iriani Widyastuti, MSc
 Cahya Buana, ST.MT

NAMA MAHASISWA

FIANY DARA NOVELITA
 3111645000027

JUDUL GAMBAR

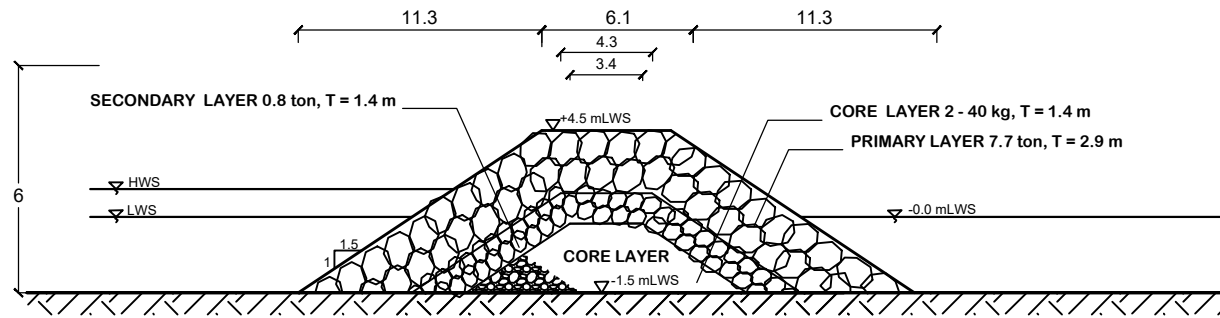
Potongan Melintang
 Breakwater

SKALA

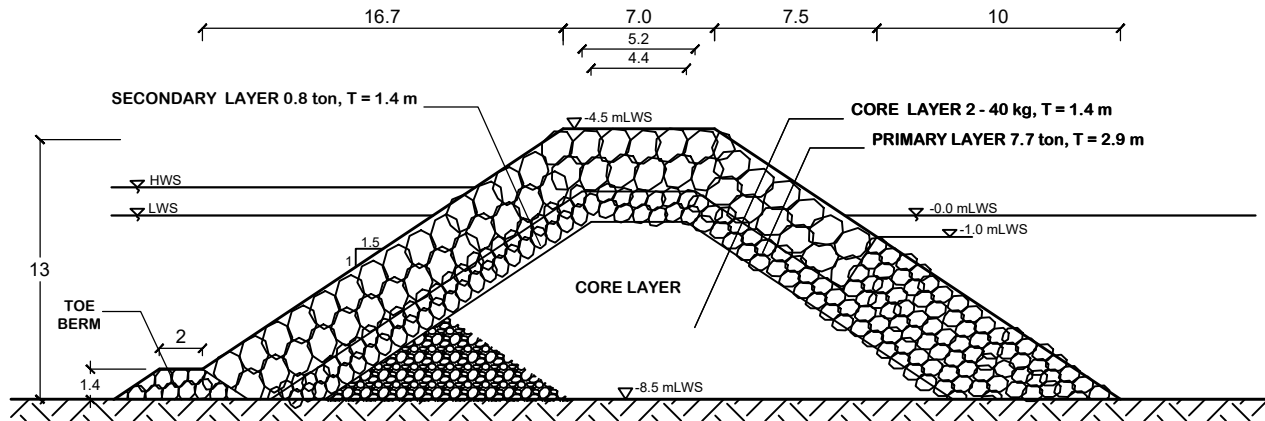
LEMBAR

JUMLAH

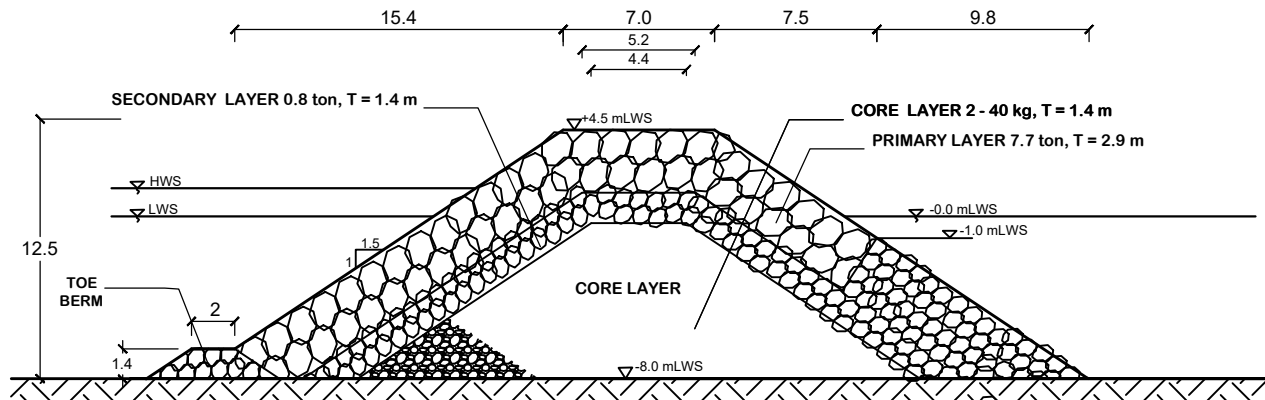
9



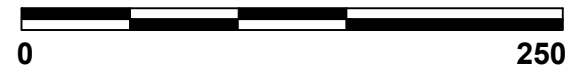
POTONGAN I - I



POTONGAN J - J



POTONGAN K - K





DEPARTEMEN TEKNIK SIPIL
 FAKULTAS TEKNIK SIPIL,
 LINGKUNGAN, DAN
 KEBUMIHAN
 INSTITUT TEKNOLOGI
 SEPULUH NOPEMBER

TUGAS AKHIR
 RC-091380

Perencanaan Reklamasi dan Detail
 Breakwater untuk Tersus Galangan
 Kapal di Paciran, Lamongan

DOSEN PEMBIMBING

Ir. Dyah Iriani Widyastuti, MSc
 Cahya Buana, ST.MT

NAMA MAHASISWA

FIANY DARA NOVELITA
 3111645000027

JUDUL GAMBAR

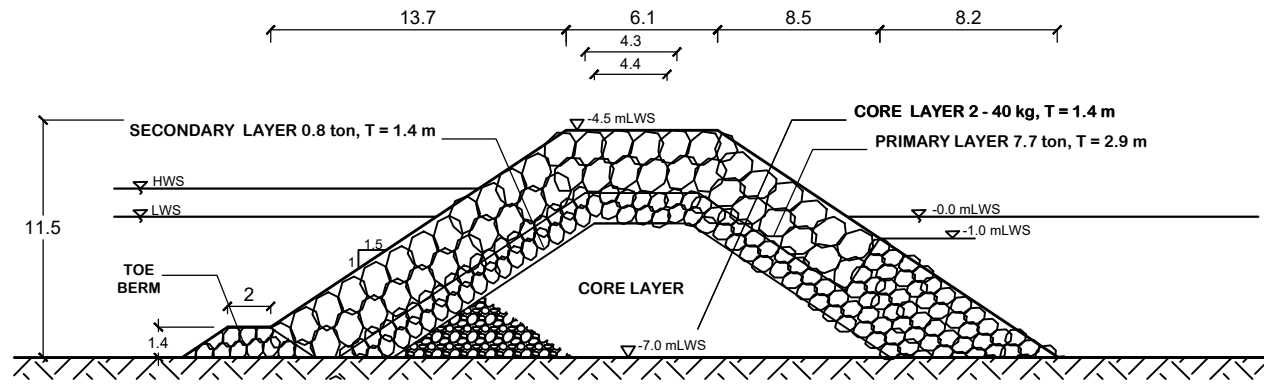
Potongan Melintang
 Breakwater

SKALA

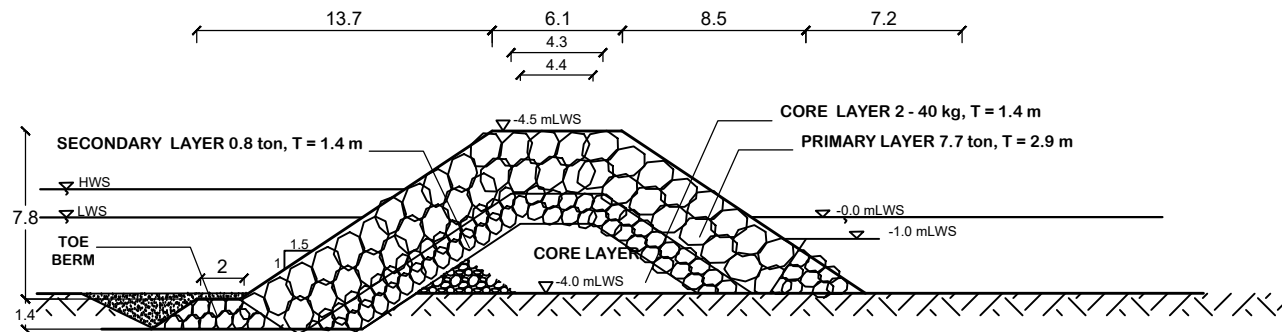
LEMBAR

JUMLAH

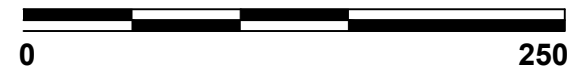
10



POTONGAN L - L



POTONGAN M - M





DEPARTEMEN TEKNIK SIPIL
FAKULTAS TEKNIK SIPIL,
LINGKUNGAN, DAN
KEBUMIHAN
INSTITUT TEKNOLOGI
SEPULUH NOPEMBER

TUGAS AKHIR

RC-091380

Perencanaan Reklamasi dan Detail
Breakwater untuk Tersus Galangan
Kapal di Paciran, Lamongan

DOSEN PEMBIMBING

Ir. Dyah Iriani Widyastuti, MSc
Cahaya Buana, ST.MT

NAMA MAHASISWA

FIANY DARA NOVELITA
3111645000027

JUDUL GAMBAR

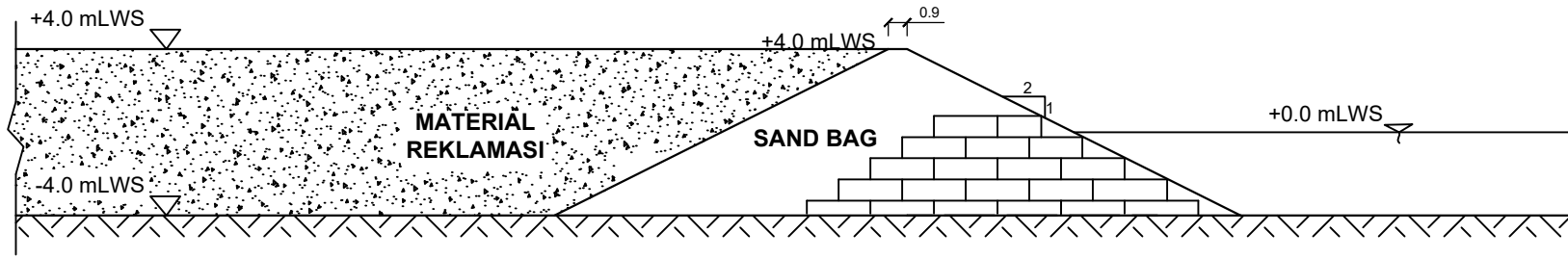
Potongan Melintang
Layout Reklamasi

SKALA

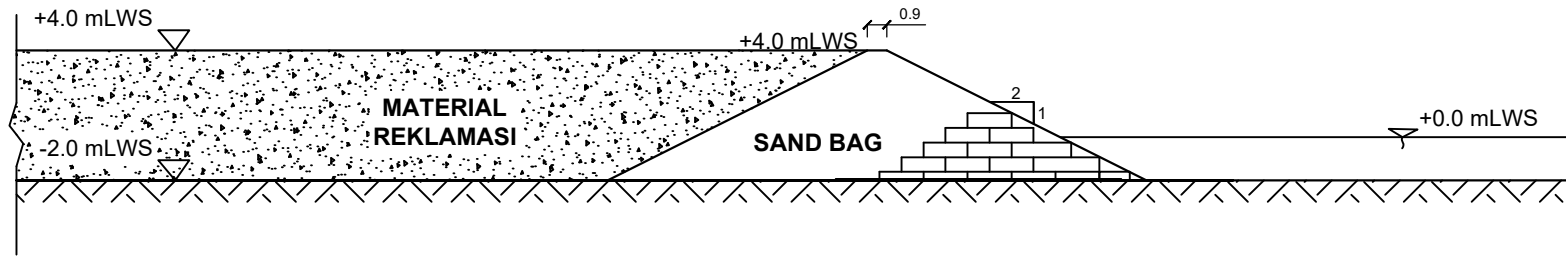
LEMBAR

JUMLAH

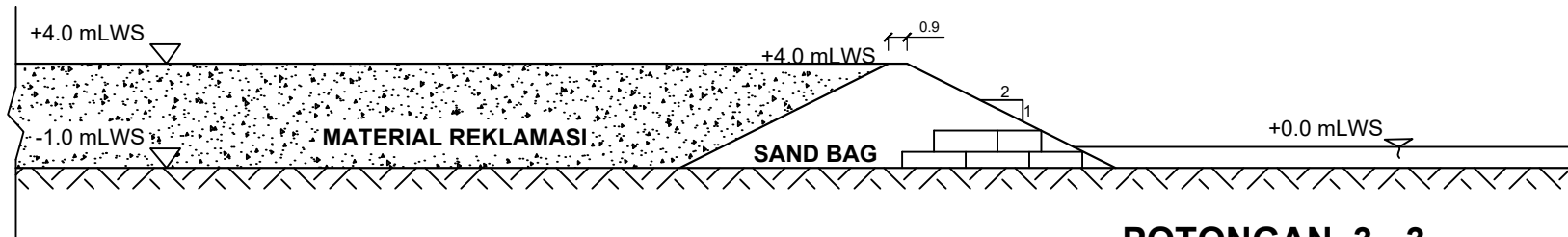
4



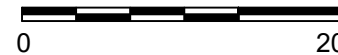
POTONGAN 1 - 1



POTONGAN 2 - 2



POTONGAN 3 - 3





DEPARTEMEN TEKNIK SIPIL
FAKULTAS TEKNIK SIPIL,
LINGKUNGAN, DAN
KEBUMIHAN
INSTITUT TEKNOLOGI
SEPULUH NOPEMBER

TUGAS AKHIR

RC-091380

Perencanaan Reklamasi dan Detail
Breakwater untuk Tersus Galangan
Kapal di Paciran, Lamongan

DOSEN PEMBIMBING

Ir. Dyah Iriani Widyastuti, MSc
Cahaya Buana, ST.MT

NAMA MAHASISWA

FIANY DARA NOVELITA
3111645000027

JUDUL GAMBAR

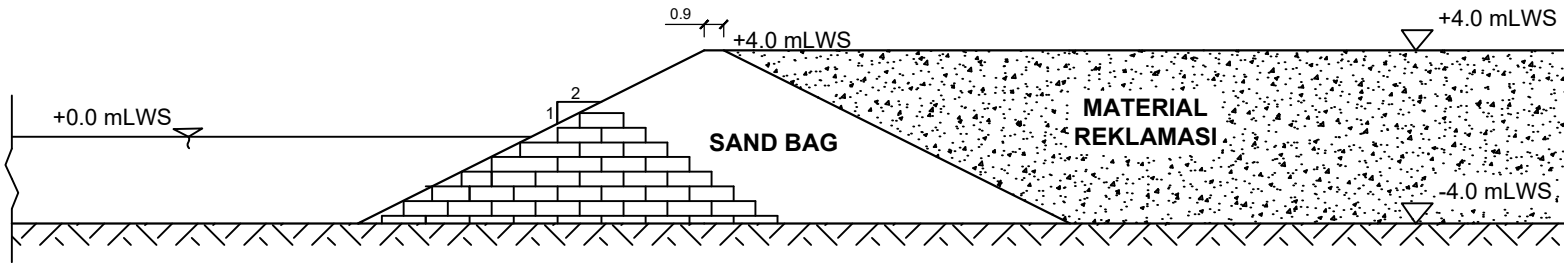
Potongan Melintang
Layout Reklamasi

SKALA

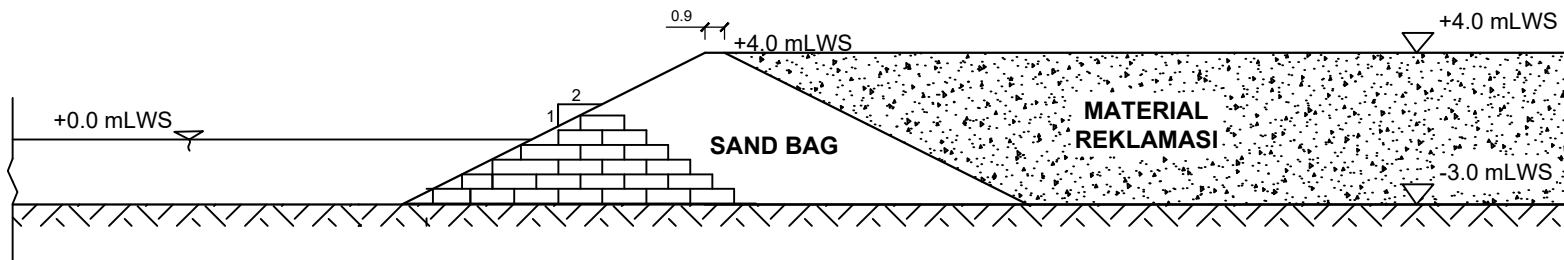
LEMBAR

JUMLAH

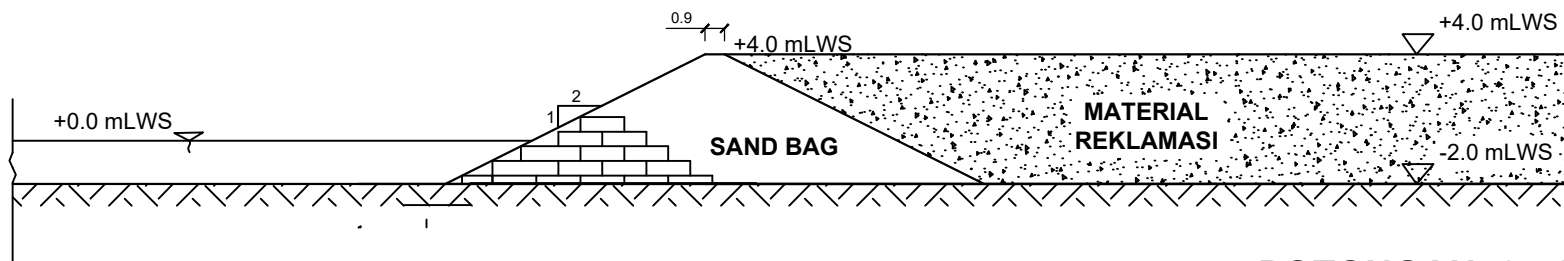
5



POTONGAN 4 - 4



POTONGAN 5 - 5



POTONGAN 6 - 6





DEPARTEMEN TEKNIK SIPIL
FAKULTAS TEKNIK SIPIL,
LINGKUNGAN, DAN
KEBUMIHAN
INSTITUT TEKNOLOGI
SEPULUH NOPEMBER

TUGAS AKHIR
RC-091380

Perencanaan Reklamasi dan Detail
Breakwater untuk Tersus Galangan
Kapal di Paciran, Lamongan

DOSEN PEMBIMBING

Ir. Dyah Iriani Widyastuti, MSc
Cahaya Buana, ST.MT

NAMA MAHASISWA

FIANY DARA NOVELITA
3111645000027

JUDUL GAMBAR

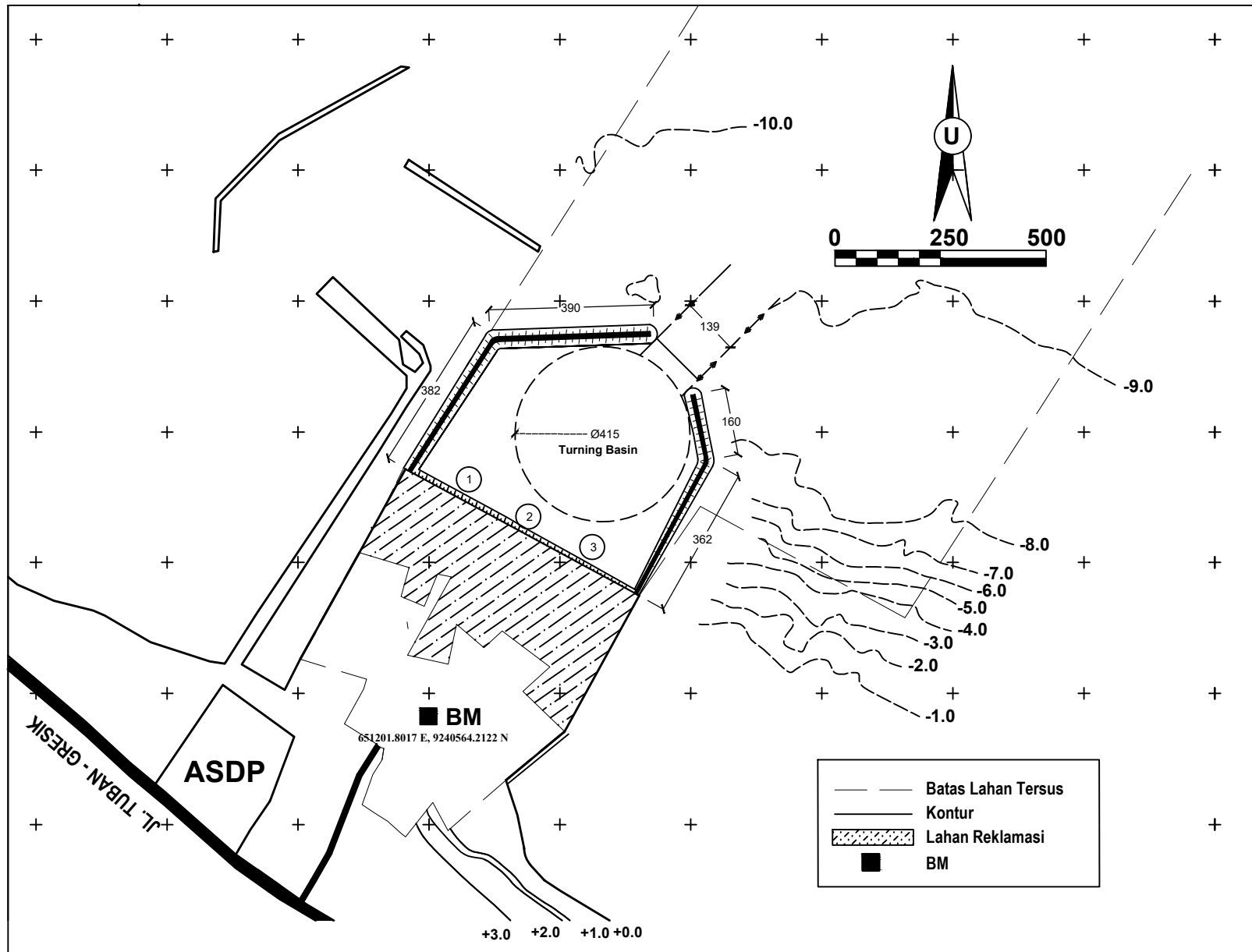
Layout Breakwater
Baru

SKALA

LEMBAR

JUMLAH

6





DEPARTEMEN TEKNIK SIPIL
FAKULTAS TEKNIK SIPIL,
LINGKUNGAN, DAN
KEBUMIHAN
INSTITUT TEKNOLOGI
SEPULUH NOPEMBER

TUGAS AKHIR

RC-091380

Perencanaan Reklamasi dan Detail
Breakwater untuk Tersus Galangan
Kapal di Paciran, Lamongan

DOSEN PEMBIMBING

Ir. Dyah Iriani Widyastuti, MSc
Cahaya Buana, ST.MT

NAMA MAHASISWA

FIANY DARA NOVELITA
3111645000027

JUDUL GAMBAR

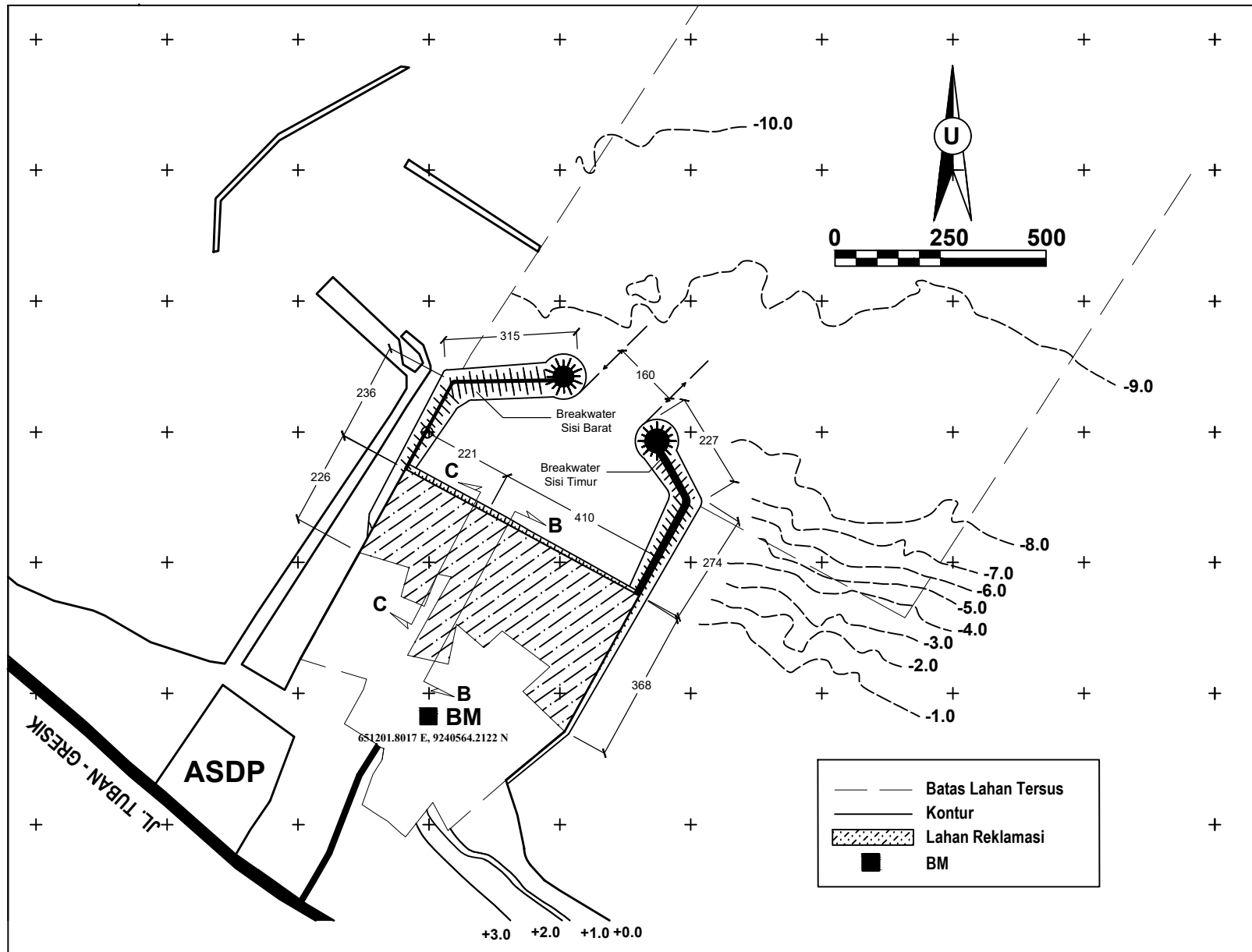
Masterplan Layout
Reklamasi dan Layout
Breakwater

SKALA

LEMBAR

JUMLAH

2



112° 22' 25"

6° 52' 5.5"



DEPARTEMEN TEKNIK SIPIL
FAKULTAS TEKNIK SIPIL,
LINGKUNGAN, DAN
KEBUMIHAN
INSTITUT TEKNOLOGI
SEPULUH NOPEMBER

TUGAS AKHIR
RC-091380

Perencanaan Reklamasi dan Detail
Breakwater untuk Tersus Galangan
Kapal di Paciran, Lamongan

DOSEN PEMBIMBING

Ir. Dyah Iriani Widyastuti, MSc
Cahaya Buana, ST.MT

NAMA MAHASISWA

FIANY DARA NOVELITA
3111645000027

JUDUL GAMBAR

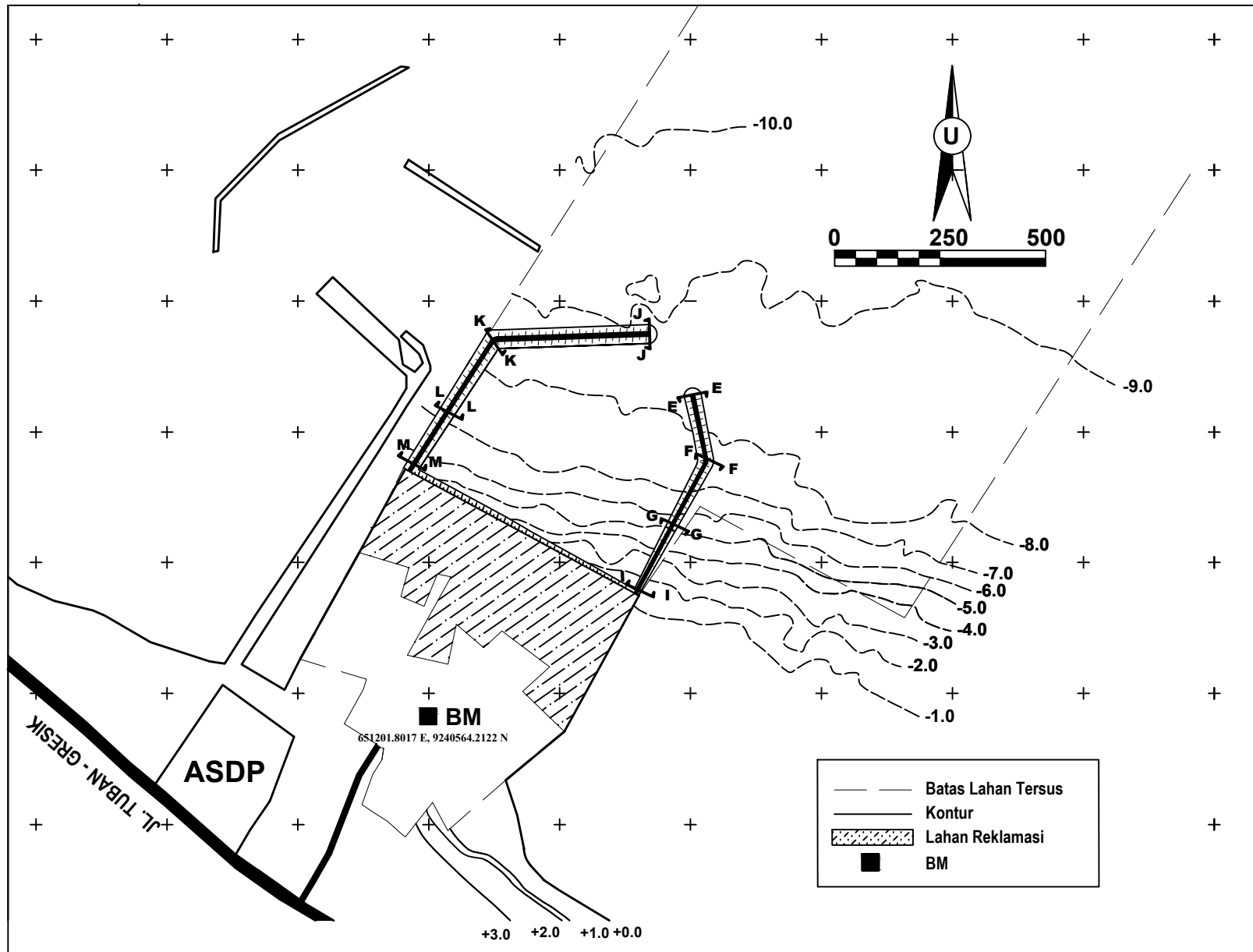
Layout Breakwater
Baru

SKALA

LEMBAR

JUMLAH

7



112° 22' 25"

6° 52' 5.5"

BIODATA PENULIS



Penulis dilahirkan di Wonosobo pada 7 November 1995, merupakan anak pertama dari tiga bersaudara. Penulis telah menempuh pendidikan formal di SD Muhammadiyah I Sidoarjo, SMPN 3 Sidoarjo dan SMAN 1 Sidoarjo. Setelah lulus SMA pada tahun 2013 penulis melanjutkan pendidikan di Jurusan D3 Teknik Sipil Institut Teknologi Sepuluh Nopember, dengan mengambil konsentrasi bidang bangunan transportasi. Selama berkuliah di ITS, penulis aktif di organisasi mahasiswa yaitu BEM FTSP. Pada September 2016 penulis melanjutkan pendidikan di S1 Lintas Jalur Jurusan Teknik Sipil ITS dan terdaftar dengan NRP : 3111645000027. Apabila pembaca ingin berkorespondensi dengan penulis dapat melalui e-mail: fianyara@outlook.com.