



TUGAS AKHIR - RC184803

**PERENCANAAN DERMAGA LNG KABUPATEN
MAROS SULAWESI SELATAN**

FAHMI SHOFI AULIA
NRP. 0311154000082

Dosen Pembimbing
Ir. Fuddoly, M.Sc.
Ir. Dyah Iriani W, M.Sc.

DEPARTEMEN TEKNIK SIPIL
Fakultas Teknik Sipil, Perencanaan, dan Kebumihan
Institut Teknologi Sepuluh Nopember
Surabaya
2020



TUGAS AKHIR - RC184803

**PERENCANAAN DERMAGA LNG KABUPATEN
MAROS SULAWESI SELATAN**

FAHMI SHOFI AULIA
NRP. 0311154000082

Dosen Pembimbing
Ir. Fuddoly, M.Sc.
Ir. Dyah Iriani W, M.Sc.

DEPARTEMEN TEKNIK SIPIL
Fakultas Teknik Sipil, Perencanaan, dan Kebumihan
Institut Teknologi Sepuluh Nopember
Surabaya
2020

“Halaman ini sengaja dikosongkan”



FINAL PROJECT - RC184803

**LNG PLANNING OF MAROS SULAWESI SELATAN
DISTRICT**

FAHMI SHOFI AULIA
NRP. 0311154000082

Supervisor
Ir. Fuddoly, M.Sc.
Ir. Dyah Iriani W, M.Sc.

DEPARTMENT OF CIVIL ENGINEERING
Faculty of Civil, Planning, and Geo-Engineering
Institut Teknologi Sepuluh Nopember
Surabaya
2020

“Halaman ini sengaja dikosongkan”

LEMBAR PENGESAHAN

PERENCANAAN DERMAGA LNG KABUPATEN MAROS SULAWESI SELATAN

TUGAS AKHIR

Diajukan Untuk Memenuhi Salah Satu Syarat
Memperoleh Gelar Sarjana Teknik
pada

Program Studi S-1 Departemen Teknik Sipil
Fakultas Teknik Sipil, Perencanaan, dan Kebumihan
Institut Teknologi Sepuluh Nopember

Oleh:

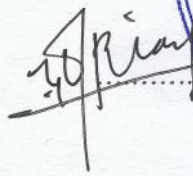
FAHMI SHOFI AULIA
NRP. 031115 4000 0082

Disetujui oleh Pembimbing Tugas Akhir:

1. Ir. Fuddoly, M.Sc.



2. Ir. Dyah Iriani, M.Sc.



SURABAYA
JANUARI, 2020

“Halaman ini sengaja dikosongkan”

PERENCANAAN DERMAGA LNG KABUPATEN MAROS SULAWESI SELATAN

Nama Mahasiswa : Fahmi Shofi Aulia
NRP : 0311154000082
Departemen : Teknik Sipil FTSPK-ITS
Dosen Pembimbing : Ir. Fuddoly, M.Sc.
Ir. Dyah Iriani W, M.Sc.

ABSTRAK

Indonesia merupakan Negara yang memiliki cadangan gas bumi yang besar. Sampai saat ini gas alam yang berasal di Indonesia diolah menjadi produk LNG (liquefied natural gas). LNG merupakan gas alam yang telah diolah kedalam bentuk cair yang telah dikondensasikan sampai suhu -161°C agar volume yang dihasilkan berkurang sampai 1/600 dari fasa gasnya sehingga menjadi Natural gas.

Pembangunan dermaga LNG di Kabupaten Maros untuk kapal 10.000 DWT merupakan solusi yang dapat memecahkan permasalahan pendistribusian untuk daerah daerah yang membutuhkan suplai gas, salah satu indikatornya adalah Maros merupakan daerah yang strategis, hal ini didukung dengan posisi Maros yang berada di tengah diantara daerah tujuan serta terletak pada Alur Laut Kepulauan Indonesia II sehingga kegiatan pendistribusian LNG dengan mudah dilakukan baik itu ke dalam maupun luar negeri.

Untuk menunjang kegiatan operasional tersebut maka dibangunlah dermaga LNG dengan tahapan pembangunan dimulai dengan mengumpulkan dan menganalisa data yang dibutuhkan dimana data tersebut digunakan untuk mengevaluasi layout perairan dan daratan. Kemudian direncanakan detail struktur dermaga, metode pelaksanaan, dan rencana anggaran biaya.

Hasil dari perencanaan struktur dermaga LNG berupa unloading platform (22 m x 19 m), breasting dolphin (5,4 m x 5,2 m), mooring dolphin (4 m x 4 m), dan catwalk (7 m, 16 m, 28 m). Metode pelaksanaan yang digunakan menggunakan metode in-situ (in place). Dan dengan estimasi biaya Rp. 49.843.444.000 (Empat puluh sembilan miliar delapan ratus empat puluh tiga juta empat ratus empat puluh empat ribu rupiah).

Kata Kunci : Dermaga, LNG, Struktur Dermaga, Kapal 10.000 DWT

LNG PLANNING OF MAROS SULAWESI SELATAN DISTRICT

Name : Fahmi Shofi Aulia
NRP : 03111540000082
Department : Civil Engineering FTSPK-ITS
Supervisor : Ir. Fuddoly, M.Sc.
Ir. Dyah Iriani W, M.Sc.

ABSTRACT

Indonesia is a country with huge natural gas reserves. Up until now, natural gas from Indonesia is processed to LNG (liquefied natural gas) products. LNG is a natural gas that is processed into liquid that has been condensed to the temperature of -161°C thus the volume produced is diminished up until 1/600 from its gas phase until it becomes natural gas.

Jetty construction in Maros district for 10.000 DWT ship is a solution that is able to solve the distribution problem for areas in need of gas supply. One of the indicators is that Maros is a strategic area, supported by its location being the center of destination areas and it is located on Indonesia Archipelago Sea Channel II thus the distribution of the LNG will be easier to do to in or out of country.

In order to support the operational activities, the LNG jetty is built – steps to build is started by collecting and analyzing the data needed, where the data is used to evaluate water and land layout. Then, the details for jetty structure, implementation method, and budget planning are planned.

The results for LNG jetty structure are unloading platform (22 m x 19 m), breasting dolphin (5,4 m x 5,2 m), mooring dolphin (4 m x 4 m), and catwalk (7 m, 16 m, 28 m). The method chosen is the in-situ (in place) method. The budget is estimated as Rp. 49.843.444.000 (fourty-nine billion eight hundred forty-three million and four hundred and forty-four thousand rupiah).

Keywords: Jetty, LNG, Jetty Structure, 10.000 DWT ship

“Halaman ini sengaja dikosongkan”

KATA PENGANTAR

Puji syukur penulis panjatkan kepada kehadirat Allah SWT yang telah memberikan rahmat serta hidayahNya sehingga penulis dapat menyelesaikan tugas akhir dengan judul “Perencanaan Dermaga LNG Kabupaten Maros Sulawesi Selatan”. Tersusunnya tugas akhir ini juga tidak terlepas dari dukungan dan motivasi dari berbagai pihak yang telah banyak membantu dan memberi masukan serta arahan kepada penulis. Untuk itu saya ucapkan terima kasih terutama kepada:

1. Kedua orang tua serta keluarga sebagai penyemangat terbesar bagi penulis, dan yang telah banyak memberi dukungan moril maupun materi terutama doa dan semangat.
2. Bapak Ir. Fuddoly, M.Sc. selaku dosen pembimbing I yang telah banyak memberikan bimbingan, arahan, petunjuk, dan motivasi dalam penyusunan tugas akhir ini.
3. Ibu Ir. Dyah Iriani W, M.Sc. selaku dosen pembimbing II yang telah banyak memberikan bimbingan, arahan, petunjuk, dan motivasi dalam penyusunan tugas akhir ini.
4. Teman-teman angkatan 2015, S58 Kopassus yang selalu mendukung, terkhusus Brian Nararya yang membantu banyak hal dalam penyusunan laporan ini.

Penulis menyadari bahwa dalam pengerjaan tugas ini masih terdapat kekurangan. Oleh karena itu, penulis mengharapkan kritik dan saran yang membangun demi terciptanya hasil yang lebih baik. Semoga tugas akhir ini dapat memberikan manfaat bagi pembaca, penulis, dan semua pihak yang mempelajari tugas akhir ini.

Surabaya, Januari 2020

Penulis

“Halaman ini sengaja dikosongkan”

DAFTAR ISI

LEMBAR PENGESAHAN.....	V
ABSTRAK.....	VII
ABSTRACT	IX
KATA PENGANTAR	XI
DAFTAR ISI.....	XIII
DAFTAR GAMBAR	XIX
DAFTAR TABEL.....	XXV
BAB I PENDAHULUAN.....	1
1.1 LATAR BELAKANG	1
1.2 PERUMUSAN MASALAH	2
1.3 TUJUAN PERMASALAHAN	2
1.4 MANFAAT HASIL PERENCANAAN	2
1.5 BATASAN MASALAH.....	3
1.6 LINGKUP PERENCANAAN	3
1.7 LOKASI PERENCANAAN.....	3
BAB II TINJAUAN PUSTAKA.....	5
2.1 UMUM	5
2.2 DATA DAN ANALISIS	5
2.2.1 Batimetri	5
2.2.2 Pasang Surut.....	6
2.2.3 Arus.....	7
2.2.4 Angin.....	8
2.2.5 Tanah.....	14
2.3 EVALUASI LAYOUT	15
2.3.1 Evaluasi Layout Perairan	15
2.3.2 Evaluasi Layout Daratan	20
2.4 PEMBEBANAN DERMAGA.....	22
2.4.1 Beban Vertikal.	22

2.4.2	Beban Horizontal	23
2.4.3	Kombinasi Pembebanan.....	34
2.5	PERENCANAAN STRUKTUR DERMAGA.....	35
2.5.1	Perhitungan Struktur Atas	35
2.5.2	Perhitungan Struktur Bawah	43
2.5.3	Perhitungan Struktur Catwalk.....	52
BAB III METODELOGI		55
3.1	DIAGRAM ALIR	55
3.2	LANGKAH Pengerjaan Tugas Akhir.....	56
BAB IV PENGUMPULAN DAN ANALISIS DATA		59
4.1	UMUM	59
4.2	PENGUMPULAN DAN ANALISIS PETA BATIMETRI.	59
4.3	PENGUMPULAN DAN ANALISIS DATA PASANG SURUT	61
4.4	PENGUMPULAN DAN ANALISIS DATA ARUS	62
4.5	PENGUMPULAN DAN ANALISIS DATA ANGIN ...	63
4.6	PENGUMPULAN DAN ANALISIS DATA TANAH ..	70
BAB V EVALUASI LAYOUT		77
5.1	UMUM	77
5.2	PROSES BONGKAR (UNLOADING)	77
5.3	KAPAL RENCANA	78
5.4	EVALUASI LAYOUR PERAIRAN	79
5.4.1	Layout Rencana Awal.....	79
5.4.2	Areal Penjangkaran	79
5.4.3	Alur Masuk	80
5.4.4	Kolam Putar	82
5.4.5	Kolam Dermaga	83
5.4.6	Pengerukan.....	83
5.4.7	Hasil Evaluasi Layout Perairan.....	83
5.5	EVALUASI LAYOUT DARATAN.....	85

5.5.1	Layout Rencana Awal	85
5.5.2	Unloading Platform.....	85
5.5.3	Breasting Dolphin	86
5.5.4	Mooring Dolphin.....	87
5.5.5	Catwalk	88
5.5.6	Hasil Evaluasi Layout Daratan	88
BAB VI KRITERIA DESAIN		91
6.1	PERATURAN YANG DIGUNAKAN	91
6.2	KAPAL RENCANA	91
6.3	DATA ALAT	91
6.3.1	Marine Loading Arm	91
6.3.2	Fire Monitor Tower.....	93
6.3.3	Tower Gangway	94
6.4	KUALITAS BAHAN DAN MATERIAL.....	96
6.4.1.	Kualitas Bahan Beton.....	96
6.4.2.	Kualitas Bahan Baja Tulangan.....	96
6.4.3.	Kualitas Bahan Baja.....	97
6.4.4.	Tiang Pondasi.....	97
6.5	PERENCANAAN PEMBEBANAN FENDER	99
6.5.1.	Perhitungan Energi Fender.....	99
6.5.2.	Pemilihan Tipe Fender	101
6.5.3.	Aksesoris Fender.....	105
6.6	PERENCANAAN BOLLARD	111
BAB VII PERENCANAAN STRUKTUR.....		115
7.1.	BREASTING DOLPHIN	115
7.1.1.	Umum	115
7.1.2.	Perencanaan Layout Breasting Dolphin..	115
7.1.3.	Pembebanan Breasting Dolphin.....	117
7.1.4.	Permodelan Struktur pada SAP.....	118
7.1.5.	Perencanaan Tulangan	124
7.1.6.	Perencanaan Balok Fender.....	131
7.1.7.	Perencanaan Pondasi.....	136
7.2.	MOORING DOLPHIN.....	145

7.2.1.	Umum	145
7.2.2.	Perencanaan Layout Mooring Dolphin ...	145
7.2.3.	Pembebanan Mooring Dolphin	147
7.2.4.	Permodelan Struktur pada SAP.....	148
7.2.5.	Perencanaan Tulangan	154
7.2.6.	Perencanaan Pondasi.....	162
7.3.	UNLOADING PLATFORM.....	171
7.3.1.	Umum	171
7.3.2.	Perencanaan Layout Unloading Platform	171
7.3.3.	Pembebanan Unloading Platform	173
7.3.4.	Permodelan Struktur pada SAP.....	175
7.3.5.	Perencanaan Pelat	182
7.3.6.	Perencanaan Balok.....	204
7.3.7.	Pile Cap.....	216
7.3.8.	Perencanaan Pondasi.....	222
7.4.	CATWALK.....	231
7.4.1.	Umum	231
7.4.2.	Perencanaan Balok Catwalk.....	231
7.4.3.	Pembebanan Struktur Catwalk	232
7.4.4.	Permodelan Struktur Pada SAP	234
7.4.5.	Perhitungan Struktur Catwalk.....	238
7.4.6.	Perencanaan Dudukan Catwalk.....	245

BAB VIII METODE PELAKSANAAN 263

8.1.	UMUM	263
8.2.	PEKERJAAN PERSIAPAN	263
8.3.	PEKERJAAN UNLOADING PLATFORM.....	265
8.3.1	Pekerjaan Tiang Pancang	265
8.3.2	Pekerjaan Beton (Pengecoran)	278
8.4.	PEKERJAAN MOORING DOLPHIN.....	288
8.4.1.	Pekerjaan Tiang Pancang	288
8.4.2.	Pekerjaan Beton	288
8.4.3.	Pemasangan Quick Release Hook.....	291
8.5.	PEKERJAAN BREASTING DOLPHIN	291
8.5.1.	Pemancangan Tiang Pancang.....	291

8.5.2.	Pekerjaan Beton	292
8.5.3.	Pemasangan Fender.....	295
8.6.	PEMASANGAN CATWALK.....	296
8.6.1.	Tahap Prakonstruksi.....	296
8.6.2.	Tahap Konstruksi	297
8.6.3.	Tahap Pasca Konstruksi	297
BAB IX	RENCANA ANGGARAN BIAYA	299
9.1.	UMUM	299
9.2.	HARGA MATERIAL DAN UPAH	299
9.3.	ANALISA HARGA SATUAN	303
9.4.	RENCANA ANGGARAN BIAYA.....	317
9.5.	REKAPITULASI HARGA	326
BAB X	KESIMPULAN.....	327
DAFTAR PUSTAKA	331

“Halaman ini sengaja dikosongkan”

DAFTAR GAMBAR

Gambar 1. 1 Lokasi Rencana Dermaga	4
Gambar 1. 2 Lokasi Rencana Dermaga Maros skala 1:20.0004	
Gambar 2. 1. Tipe Pasang Surut	7
Gambar 2. 2 Perhitungan Fetch Efektif	10
Gambar 2. 3 Diagram Alir Proses Hindcasting.....	11
Gambar 2. 4 Areal penjangkaran	15
Gambar 2. 5 Lebar Alur	16
Gambar 2. 6 Areal pengerukan yang dibutuhkan.....	20
Gambar 2. 7 <i>Approach Dophin Berthing</i>	24
Gambar 2. 8 Grafik kondisi kecepatan kapal pada saat merambat	24
Gambar 2. 9 Kapal saat Merapat.....	25
Gambar 2. 10 Kapal menumbuk pada struktur terbuka	26
Gambar 2. 11 Deformasi Elastis	27
Gambar 2. 12 Koefisien Eksentrisitas.....	28
Gambar 2. 13 Penentuan Lx dan Ly dalam Penentuan Sistem Arah Pelat.....	36
Gambar 2. 14 Pendistribusian Beban pada pelat.....	40
Gambar 2. 15 Posisi Titik Jepit Tiang Pancang	50
Gambar 4. 1 Peta Batimetri Perairan Maros	60
Gambar 4. 2 Batimetri Lokasi.....	60
Gambar 4. 3 Potongan A-A	61
Gambar 4. 4 Hasil Pengolahan Data Pasang Surut	61
Gambar 4. 5 Arus Perairan Makassar	62
Gambar 4. 6 Lokasi pengambilan data angin.....	63
Gambar 4. 7 Fetch arah Utara	64
Gambar 4. 8 Fetch arah Barat Laut	64
Gambar 4. 9 Fetch arah Barat	65
Gambar 4. 10 Fetch arah Barat Daya.....	65
Gambar 4. 11 Fetch arah Selatan	66
Gambar 4. 12 <i>Wind Rose</i> Perairan Maros	66
Gambar 4. 13 Nomogram kurva prediksi gelombang laut	69

Gambar 4. 14 Data Nspt.....	71
Gambar 4. 15 Daya dukung tanah (Luciana De Court)	74
Gambar 4. 16 Daya dukung tanah (OCDI)	76
Gambar 5. 1 Hasil Layout Perairan.....	84
Gambar 5. 2 Hasil Layout Daratan	89
Gambar 6. 1 <i>Marine Loading Arm</i>	92
Gambar 6. 2 <i>Fire Monitor Tower</i>	94
Gambar 6. 3 Lexxon Tower Gangway LX04	95
Gambar 6. 4 Aksesoris Fender.....	106
Gambar 6. 5 Frontal Frame Full Face Contact.....	107
Gambar 6. 6 Posisi Panel Fender Terhadap Kapal Saat Pasang	110
Gambar 6. 7 Posisi Panel Fender Terhadap Kapal Saat Surut	111
Gambar 6. 8 Double Quick Release Hook.....	113
Gambar 7. 1 Layout Rencana Breasting Dolphin	116
Gambar 7. 2 Potongan Breasting Dolphin	116
Gambar 7. 3 Struktur Breasting Dolphin	119
Gambar 7. 4 Grafik Respon Spektrum.....	120
Gambar 7. 5 Beban pangkalan dan Beban hujan pada Breasting Dolphin	120
Gambar 7. 6 Beban mati terpusat akibat berat plank fender, berat fender, dan beban catwalk.....	121
Gambar 7. 7 Reaksi Fender.....	121
Gambar 7. 8 Reaksi Angin.....	122
Gambar 7. 9 Reaksi Arus	122
Gambar 7. 10 Kedalaman Minimum Pondasi Tiang Breasting Dolphin Berdasarkan Luciana De Court.....	138
Gambar 7. 11 Kedalaman Minimum Pondasi Tiang Breasting Dolphin Berdasarkan OCDI.....	139
Gambar 7. 12 Tampak Atas Mooring Dolphin	146
Gambar 7. 13 Tampak Samping Mooring Dolphin	146

Gambar 7. 14 Permodelan struktur mooring dolphin.....	149
Gambar 7. 15 Grafik Respon Spektrum.....	150
Gambar 7. 16 Beban pangkalan dan Beban hujan pada Breasting Dolphin	150
Gambar 7. 17 Beban mati terpusat yang terjadi.....	151
Gambar 7. 18 Beban aksi QRH arah vertikal.....	151
Gambar 7. 19 Beban aksi QRH arah horizontal.....	152
Gambar 7. 20 Reaksi Angin.....	152
Gambar 7. 21 Beban Arus.....	153
Gambar 7. 22 Kedalaman Minimum Pondasi Tiang Breasting Dolphin Berdasarkan Luciana De Court	164
Gambar 7. 23 Kedalaman Minimum Pondasi Tiang Breasting Dolphin Berdasarkan OCDI.....	165
Gambar 7. 24 Layout Rencana Alat dan Fasilitas Unloading Platform	172
Gambar 7. 25 Layout Rencana Pembalokan	172
Gambar 7. 26 Struktur Unloading Platform.....	176
Gambar 7. 27 Penomoran Frame Balok Pada SAP2000.....	177
Gambar 7. 28 Beban Pangkalan dan Beban Hujan pada Unloading Platform.....	177
Gambar 7. 29 Respon Spektrum Gempa.....	178
Gambar 7. 30 Beban Terpusat dan Beban Garis pada Unloading Platform	178
Gambar 7. 31 Beban Angin	179
Gambar 7. 32 Beban Arus.....	179
Gambar 7. 33 Beban Terpusat Akibat Tower Gangway	182
Gambar 7. 34 Perencanaan Tipe Plat	184
Gambar 7. 35 Pelat 4.....	185
Gambar 7. 36 Kedalaman Minimum Pondasi Tiang Unloading Platform Berdasarkan Luciana De Court	224
Gambar 7. 37 Kedalaman Minimum Pondasi Tiang Unloading Platform Berdasarkan OCDI.....	225
Gambar 7. 38 Pelat Grating Catwalk	233
Gambar 7. 39 Struktur Catwalk	235
Gambar 7. 40 Respon Spektrum Gempa.....	235

Gambar 7. 41 Beban Pejalan Kaki pada Catwalk	236
Gambar 7. 42 Beban Pelat Sendiri	236
Gambar 7. 43 Beban Angin pada Catwalk.....	236
Gambar 7. 44 Kedalaman Minimum Pondasi Tiang Dudukan Catwalk Berdasarkan Luciana De Court.....	255
Gambar 7. 45 Kedalaman Minimum Pondasi Tiang Dudukan Catwalk Berdasarkan OCDI	256
Gambar 8. 1 Lokasi Fasilitas Sementara.....	264
Gambar 8. 2 Ilustrasi Penempatan Fasilitas Sementara	264
Gambar 8. 3 Tiang Pancang Baja PT. Swarna Bajapacific .	265
Gambar 8. 4 Bevel Pada Ujung Tiang Pancang Yang disambung.....	266
Gambar 8. 5 Contoh Barge dengan Crane dan Pile Ladder	267
Gambar 8. 6 Contoh <i>Power Pack Hammer</i>	267
Gambar 8. 7 Spesifikasi <i>Hydraulic Hammer</i> dan <i>Power Pack</i>	268
Gambar 8. 8 Titik Pemasangan Stopper.....	269
Gambar 8. 9 Proses Penggabungan Tiang Pancang	269
Gambar 8. 10 Proses Pengelasan Tiang Pancang di Darat..	270
Gambar 8. 11 Pelapisan Bahan Anti Karat Pada Permukaan Las	270
Gambar 8. 12 Mobilisasi Tiang Pancang	271
Gambar 8. 13 Ponton Pancang dan Ponton Crane	272
Gambar 8. 14 Pemasangan	272
Gambar 8. 15 Contoh Pencatatan Pile Driving Record.....	274
Gambar 8. 16 Alat PDA.....	275
Gambar 8. 17 Contoh Pemasangan Strain Transducer dan Accelerometer.....	275
Gambar 8. 18 Contoh Proses Pencatatan Data Calendering	276
Gambar 8. 19 Hasil Pencatatan Calendering	277
Gambar 8. 20 Contoh Proses Pemotongan Tiang Pancang .	278
Gambar 8. 21 Penulangan Isian Tiang Pancang	280
Gambar 8. 22 Proses Produksi Tulangan Tiang Pancang ...	281

Gambar 8. 23 Pemasangan Perancah dan Beskiting Pile Cap	282
Gambar 8. 24 Ilustrasi Pemasangan Bekisting dan Perancah Pile Cap.....	282
Gambar 8. 25 Penulangan Pile Cap	283
Gambar 8. 26 Pekerjaan Pengecoran di Laut.....	284
Gambar 8. 27 Pengecoran Beton K-350	284
Gambar 8. 28 Pemasangan Bekisting dan Perancah Balok.....	285
Gambar 8. 29 Penulangan Pada Balok.....	286
Gambar 8. 30 Pengecoran Beton K-350 Balok.....	286
Gambar 8. 31 Pemasangan Tulangan Pelat.....	287
Gambar 8. 32 Cor Overtopping.....	287
Gambar 8. 33 Pemancangan Mooring Dolphin	288
Gambar 8. 34 Detail Beton Isian Tiang Pancang Pada <i>Mooring Dolphin</i>	289
Gambar 8. 35 Pemasangan Perancah dan Bekisting <i>Mooring Dolphin</i>	289
Gambar 8. 36 Ilustrasi Bekisting <i>Mooring Dolphin</i>	290
Gambar 8. 37 Penulangan <i>Mooring Dophin</i>	290
Gambar 8. 38 Pengecoran Beton K-350 <i>Mooring Dolphin</i>	291
Gambar 8. 39 Pemancangan Tiang Pancang <i>Breasting Dolphin</i>	292
Gambar 8. 40 Beton Isian Tiang Tiang Pancang Pada <i>Breasting Dolphin</i>	292
Gambar 8. 41 Pemasangan Perancah dan Bekisting <i>Breasting Dolphin</i>	293
Gambar 8. 42 Ilustrasi Pemasangan Bekisting <i>Breasting Dolphin</i>	293
Gambar 8. 43 Penulangan <i>Breasting Dolphin</i>	294
Gambar 8. 44 Pengecoran Beton K-350 <i>Breasting Dolphin</i>	295
Gambar 8. 45 Pemasangan <i>Fender</i>	296
Gambar 8. 46 Detail Struktur <i>Catwalk</i>	296
Gambar 8. 47 Pemasangan <i>Catwalk</i>	297

“Halaman ini sengaja dikosongkan”

DAFTAR TABEL

Tabel 2. 1 Batas izin gelombang kritis.....	12
Tabel 2. 2 Tabel Peramalan Gelombang Periode Ulang Metode Weibull.....	12
Tabel 2. 3 Basic Manoeuvring Lane, W_{BM}	17
Tabel 2. 4 Lebar tambahan W_i	17
Tabel 2. 5 Lebar <i>Bank Clearance</i> , WBG; WBR.....	18
Tabel 2. 6 Kedalaman alur	18
Tabel 2. 7 Tabel kecepatan pada saat merambat.....	25
Tabel 2. 8 Koefisien Hidrodinamis	26
Tabel 2. 9 Koefisien Bantalan.....	27
Tabel 2. 10 Koefisien Kelembutan	28
Tabel 2. 11 Tabel Faktor Keamanan.....	29
Tabel 2. 12 Tabel kebutuhan kekuatan <i>Bollard</i>	30
Tabel 2. 13 Koefisien Hambatan Angin.....	33
Tabel 2. 14 Faktor Pembebanan.....	34
Tabel 2. 15 Momen di Dalam Pelat Persegi yang Menumpu Pada Keempat Tepinya Akibat Beban Terbagi Merata.....	37
Tabel 2. 16 Harga koefisien ω_p , C3, C4 dan C5.....	39
Tabel 2. 17 Base Coefficient α Decourt Et All (1996).....	45
Tabel 2. 18 Base Coefficient β Decourt Et All (1996).....	45
Tabel 2. 19 Batas Defleksi Operasional Untuk Struktur Maritim	50
Tabel 3. 1 Diagram Alir Penyelesaian Tugas Akhir	55
Tabel 4. 1 Frekuensi rata-rata kejadian angin selama 11 tahun	67
Tabel 4. 2 Hasil Perhitungan Fetch.....	68
Tabel 5. 1 Layout Rencana Awal.....	79
Tabel 5. 2 Evaluasi Layout Perairan	84
Tabel 5. 3 Rencana Awal Layout Daratan	85
Tabel 5. 4 Kebutuhan serta jarak <i>Bollard</i>	87
Tabel 5. 5 Evaluasi Layout Daratan.....	89

Tabel 6. 1 Data teknis	92
Tabel 6. 2 Spesifikasi <i>Fire Monitor Tower</i>	94
Tabel 6. 3 Spesifikasi <i>Tower Gangway</i>	95
Tabel 6. 4 Spesifikasi Tiang Pancang Baja.....	99
Tabel 6. 5 Kekuatan Rubber Fender SCN (dalam kN, kNm)	103
Tabel 6. 6 Dimensi Fender SCN (dalam mm, kg).....	104
Tabel 6. 7 Defleksi Fender SCN	105
Tabel 6. 8 Tekanan Kontak Ijin Lambung Kapal.....	108
Tabel 6. 9 Berat Panel.....	109
Tabel 6. 10 Acuan Perhitungan Beban Frontal Panel	109
Tabel 6. 11 Peraturan ISO mengenai jumlah, kekuatan winch dan tali pada kapal	112
Tabel 6. 12 Spesifikasi Quick Release Hook.....	113
Tabel 7. 1 Output dari SAP 2000.....	181
Tabel 7. 2 Perhitungan Momen Pelat.....	189
Tabel 7. 3 Perhitungan Tulangan Pelat	200
Tabel 7. 4 Kontrol Retak Pelat.....	202
Tabel 7. 5 Perhitungan Tulangan Balok.....	214
Tabel 7. 6 Kontrol Retak pada Balok.....	215
Tabel 7. 7 Pengecekan Keperluan Tulangan Geser pada Balok	215
Tabel 7. 8 Perhitungan Tulangan Geser Balok	215
Tabel 7. 9 Faktor Tegangan dan Defleksi	234
Tabel 7. 10 Gaya Dalam Hasil Permodelan Catwalk.....	237
Tabel 9. 1 Harga Material dan Upah.....	299
Tabel 9. 2 Analisa Harga Satuan.....	304
Tabel 9. 3 Rencana Anggaran Biaya.....	318
Tabel 9. 4 Rekapitulasi Rencana Anggaran Biaya.....	326

BAB I

PENDAHULUAN

1.1 Latar Belakang

Indonesia merupakan salah satu negara yang memiliki cadangan gas bumi yang besar. Gas alam yang berada di Indonesia menunjukkan suatu hal yang positif dan berpotensi tinggi untuk dimanfaatkan. Sampai saat ini gas alam yang berasal di Indonesia diolah menjadi produk *Liquefied Natural Gas* (LNG) dan juga *Liquefied Petroleum Gas* (LPG). LNG merupakan gas alam yang telah diolah kedalam bentuk cair yang telah dikondensasikan sampai suhu -161°C agar volume yang dihasilkan berkurang sampai 1/600 dari fasa gasnya sehingga menjadi Natural gas. Pemanfaatan LNG sebagai energi alternatif kian terasa. Contohnya penggantian bahan baku batu bara dengan memakai LNG pada salah satu industri pembangkit listrik. Hal ini mengakibatkan penggunaan gas alam di dunia sebagai energi alternatif terus meningkat dari tahun ke tahun.

Maros merupakan salah satu daerah di Sulawesi Selatan dimana pelabuhan khusus LNG akan dibangun. Lokasi tersebut dipilih dikarenakan daerah tersebut merupakan solusi yang dapat memecahkan permasalahan pendistribusian untuk daerah-daerah yang membutuhkan suplai gas tersebut, salah satu indikatornya adalah Maros merupakan daerah yang strategis, hal ini didukung dengan posisi Maros yang berada di tengah diantara daerah tujuan serta terletak pada Alur Laut Kepulauan Indonesia II sehingga kegiatan pendistribusian LNG dengan mudah dilakukan baik itu ke dalam maupun luar negeri.

Dengan demikian fokus pada tugas akhir ini akan mengkhususkan pada perencanaan dermaga yang berlokasi di Maros, dimana dermaga ini akan digunakan untuk proses *unloading* LNG. Sehingga dibutuhkan suatu desain struktur dermaga yang memenuhi standar operasi dan *safety* yang berlaku. Perlu diperhatikan juga untuk pembangunan Pelabuhan LNG ini

mebutuhkan suatu perlakuan khusus dikarenakan sifatnya yang mudah terbakar dan mampu membuat baja getas.

1.2 Perumusan Masalah

Dari uraian penjelasan diatas, permasalahan utama yang akan diselesaikan adalah bagaimana merancang dermaga LNG untuk kapal LNG di Maros. Adapun detail permasalahan yang akan dibahas adalah:

1. Bagaimana perencanaan layout dermaga untuk kapal LNG?
2. Bagaimana detail struktur yang meliputi *catwalk*, *unloading platform*, *breasting* dan *mooring dolphin* untuk dermaga LNG dengan kapal LNG?
3. Bagaimana metode pelaksanaan yang akan digunakan dalam pembangunan dermaga LNG untuk kapal LNG?
4. Berapa anggaran biaya yang dibutuhkan dalam pembangunan dermaga LNG untuk kapal LNG?

1.3 Tujuan Permasalahan

Berdasarkan acuan pada perumusan masalah yang telah diuraikan maka tujuan tugas akhir ini yang ingin dicapai adalah:

1. Membuat layout rencana pembangunan dermaga LNG untuk kapal LNG
2. Membuat perencanaan detail struktur yang meliputi *catwalk*, *unloading platform*, *breasting* dan *mooring dolphin* untuk dermaga LNG dengan kapal LNG
3. Melakukan perencanaan metode pelaksanaan untuk pembangunan dermaga LNG untuk kapal LNG
4. Melakukan perhitungan terkait anggaran biaya yang dibutuhkan dalam pembangunan dermaga LNG untuk kapal LNG

1.4 Manfaat Hasil Perencanaan

Manfaat yang diperoleh dari tugas akhir ini adalah:

1. Untuk kepentingan akademis yaitu sebagai sarana pembelajaran dan referensi bagi mahasiswa dan pembaca lain.

2. Sebagai salah satu alternatif bagi instansi terkait yang digunakan untuk merencanakan Dermaga LNG.

1.5 Batasan Masalah

Dalam penyusunan tugas akhir ini, agar perencanaan ini tidak meluas maka disusunlah beberapa hal yang menjadi batasan permasalahan dalam perencanaan dermaga, antara lain sebagai berikut:

1. Tidak menghitung pengaruh sedimentasi, kebutuhan pengerukan dan reklamasi.
2. Tidak merencanakan Sarana Bantu Navigasi Pelayaran (SBNP).
3. Tidak menghitung *breakwater*.

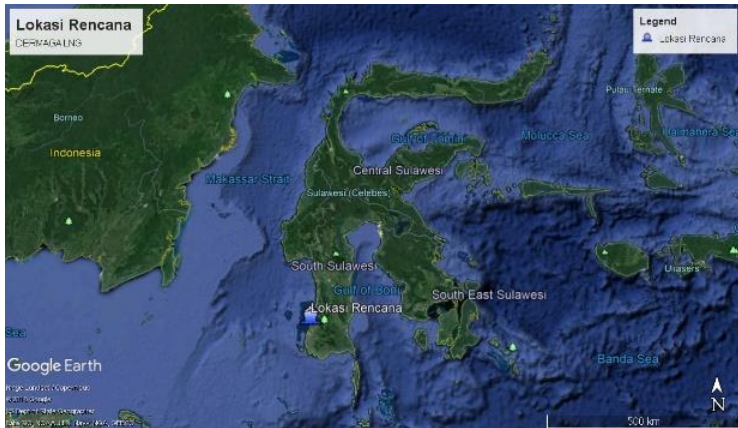
1.6 Lingkup Perencanaan

Pembahasan pada tugas akhir ini meliputi:

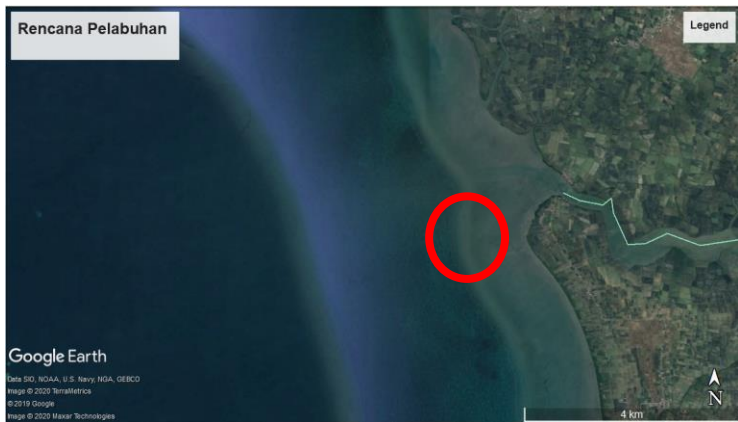
1. Pengumpulan dan analisis data
2. Evaluasi layout perairan dan daratan dari dermaga
3. Perencanaan struktur dermaga meliputi : *Loading platform, breasting dolphin, mooring dolphin, catwalk*
4. Perencanaan metode pelaksanaan pembangunan konstruksi dermaga
5. Analisis anggaran biaya

1.7 Lokasi Perencanaan

Lokasi perencanaan dermaga LNG di Maros dengan koordinat $5^{\circ} 1'7.69''\text{S}$ dan $119^{\circ}28'18.64''\text{E}$. Perencanaan ini didasarkan pada masterplan pengembangan pelabuhan sebagaimana dapat dilihat pada Gambar 1. 1 dan Gambar 1. 2.



Gambar 1. 1 Lokasi Rencana Dermaga
(Sumber: Google Earth, 2018)



Gambar 1. 2 Lokasi Rencana Dermaga Maros skala 1:20.000
(Sumber: Google Earth, 2018)

BAB II

TINJAUAN PUSTAKA

2.1 Umum

Menurut UU No. 17 tahun 2008 Bab 1 Pasal 1 Ayat 16 “pelabuhan adalah tempat yang terdiri atas daratan dan/atau perairan dengan batas-batas tertentu sebagai tempat kegiatan pemerintahan dan kegiatan pengusahaan yang dipergunakan sebagai tempat kapal bersandar, naik turun penumpang, dan/atau 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 antarmoda transportasi”.

2.2 Data dan Analisis

Merupakan data lapangan yang dibutuhkan untuk melakukan proses *Detail Engineering Design* (DED), yang diantaranya dibutuhkan data hidrooseanografi. Data hidrooseanografi yang dibahas meliputi peta batimetri, data pasang surut, data arus, dan data angin serta tambahan diperlukannya data tanah. Data yang digunakan pada perencanaan kali ini didapatkan dari data sekunder yang berasal dari berbagai macam instansi maupun sumber yang valid.

2.2.1 Batimetri

Batimetri berfungsi untuk mengetahui posisi kedalaman kontur dasar laut yang diukur pada 0.00 m LWS, pada beberapa peta untuk keperluan tertentu digunakan patokan 0.00 m *Chart Datum* (CD). Alat ukur *positioning* yang dapat digunakan secara tradisional yaitu Theodolith, selain itu *Electronic Data Measurment* (EDM), jika dibutuhkan pengukuran yang lebih teliti serta canggih maka dapat dilakukan dengan *Geographic Positioning System* (GPS) maupun *microwave*. Untuk pengukuran kedalaman digunakan alat ukur *Echo sounder* dan *transducer* (tranduser). Pelaksanaan pengukuran dimulai dari pengecekan alat alat yang akan digunakan hingga siap digunakan, lalu diangkut menuju kapal, kapal melaju dengan kecepatan konstan dengan lintasan yang sudah ditetapkan. Hasil dari peta bathymetri ini akan digunakan untuk:

- Mengetahui kedalaman dasar laut yang dimana dapat digunakan untuk merencanakan kedalaman perairan yang aman bagi kapal rencana.
- Menentukan posisi yang tepat untuk lokasi dermaga dan fasilitas-fasilitas dermaga.

2.2.2 Pasang Surut

Pasang Surut merupakan fenomena naik maupun turunnya permukaan air laut secara periodik yang disebabkan oleh adanya pengaruh gaya tarik Matahari terhadap Bumi serta Bulan. Efek dari pasang surut adalah bertambahnya kedalaman laut akibat naiknya muka air laut, sehingga ada wilayah pantai yang terlihat maupun tidak pada saat pasang surut.

Pengukuran dan pencatatan data untuk peralatan manual dilakukan setiap interval 30 menit selama 15 hari atau 60 menit selama 30 hari terus menerus. Pada peralatan otomatis pengukuran berlangsung secara menerus, umumnya berlangsung selama setahun. Lokasi pengukuran pasang surut dapat diasumsikan mewakili minimal 2 km panjang pantai dan 15 km paling jauh

Pasang surut digunakan untuk mengetahui elevasi tertinggi dan terendah. Pada umumnya elevasi tertinggi digunakan untuk menentukan tinggi dermaga atau breakwater. Sedangkan nilai elevasi terendah digunakan untuk menentukan alur kedalaman dalam pelayaran.

Pasang surut dibagi menjadi beberapa tipe, yaitu:

1. Diurnal

Bila terjadi satu kali pasang dan satu kali surut dalam sehari.

2. Semi Diurnal

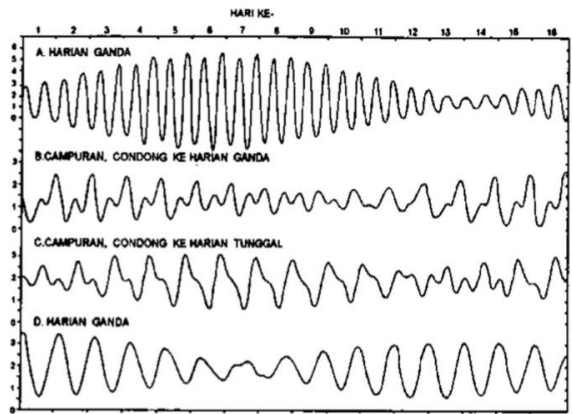
Bila terjadi dua kali pasang dan dua kali surut dalam sehari.

3. Mixed

Didominasi salah satu, baik dari semi diurnal maupun diurnal.

Hasil pengolahan pasang surut akan menghasilkan beberapa elevasi, diantaranya:

1. *Low Water Spring (LWS)*
Hasil perhitungan muka air rata-rata terendah, sering disebut *Mean Low Water Surface (MLWS)*
2. *Mean Sea Level (MSL)*
Elevasi rata-rata muka air pada kedudukan pertengahan muka air terendah dan tertinggi.
3. *High Water Spring (HWS)*
Elevasi rata-rata muka air tertinggi, sering disebut *Mean High Water Surface (MHWS)*



Gambar 2. 1. Tipe Pasang Surut
(Sumber: Triatmodjo, 2012)

2.2.3 Arus

Arus merupakan pergerakan air secara horizontal maupun vertikal, ini terjadi diakibatkan perbedaan ketinggian permukaan air laut. Selain itu arus dapat disebabkan oleh perbedaan densitas pergerakan gelombang. Pergerakan arus dapat dipengaruhi beberapa hal antara adanya perbedaan tekanan air antar lokasi satu dengan lainnya, perbedaan densitas air, adanya perbedaan topografi dasar laut, dan arus permukaan.

Analisa data arus dalam perencanaan pelabuhan digunakan untuk mengetahui tekanan arus pada kapal terutama untuk

menghindari pengaruh tekanan arus yang arahnya tegak lurus terhadap kapal agar kapal dapat bermanuver dengan cepat dan aman. Data arus juga digunakan untuk evaluasi stabilitas garis atau morfologi pantai.

Salah satu metode untuk mendapatkan kecepatan arus adalah dengan menggunakan alat *currentmeter*. Pengambilan data dilakukan sedikitnya di tiga titik secara bersamaan agar pola 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 Thoessen Handbook Standard halaman 65 yaitu arus maksimum sebesar 3 knot atau 1,5 m/s pada 0° dan 180°.

2.2.4 Angin

Angin adalah udara yang bergerak akibat adanya perbedaan tekanan dari daerah yang bertekanan tinggi ke daerah yang bertekanan rendah. Perbedaan tekanan ini terjadi diakibatkan oleh perbedaan temperature. Angin merupakan unsur penting dalam membentuk gelombang. Angin mengakibatkan gelombang laut, oleh karena itu data angin dapat digunakan untuk memperkirakan tinggi dan arah gelombang di lokasi. Data angin diperlukan sebagai data masukan dalam peramalan gelombang sehingga diperoleh gelombang rencana. Arah angin dinyatakan dalam delapan penjur arah angin, yaitu Utara, Timur Laut, Timur, Tenggara, Selatan, Barat Daya, Barat, Barat Laut

Data angin dapat diperoleh dari stasiun meteorologi terdekat dengan daerah yang akan direncanakan. Data yang diperoleh biasanya sudah terklarifikasikan sehingga pengolahan data lebih lanjut bisa lebih sederhana dan pada umumnya data dipilah berdasarkan distribusi kecepatan dan arah angin, serta prosentasenya atau dikenal dengan windrose. Pada umumnya dibutuhkan data angin minimal 10 tahun untuk dapat mempelajari

pola angin yang menyebabkan tinggi gelombang maksimum yang terjadi tiap tahunnya.

Dalam peramalan gelombang dibutuhkan data pada ketinggian 10 m diatas permukaan air laut. Umumnya, Data angin yang diperoleh kebanyakan diukur di darat dan tidak pada ketinggian 10 m diatas permukaan laut. Oleh sebab itu, data angin tersebut perlu dikoreksi. Koreksi yang harus dilakukan antara lain, koreksi terhadap ketinggian, koreksi terhadap perbedaan temperatur dan koreksi terhadap lokasi pencatatan angin. Koreksi terhadap ketinggian dilakukan dikarenakan pengukuran angin dilakukan pada ketinggian tertentu. Seharusnya ketentuannya mengharuskan diukur pada ketinggian 10 m di atas permukaan laut. Koreksi terhadap temperatur diperlukan karena temperatur di laut dan di darat berbeda. Koreksi terhadap lokasi pencatatan angin diperlukan dikarenakan angin diukur di darat padahal pembangkitan gelombang di atas permukaan laut. Oleh karena itu, diperlukan transformasi dari data angin di atas daratan ke data angin di atas permukaan laut. Berikut langkah mengonversi data angin:

a. Faktor tegangan angin

Kecepatan angin tersebut masih harus di rubah ke faktor tegangan angin U_A (wind stress factor) yang dapat dihitung dengan rumus sebagai berikut:

$$U_A = 0,71 U^{1,23} \dots (2.1)$$

Keterangan:

U : Kecepatan angin (m/dt)

U_A : Faktor tegangan angin (wind stress factor)

Di dalam peramalan gelombang dari data angin yang diperoleh, 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. Di daerah pembentukan gelombang tidak hanya dibangkitkan dalam arah yang sama dengan arah angin tetapi juga dalam

berbagai sudut terhadap arah angin. Contoh perhitungan fetch dapat dilihat di Gambar 6.

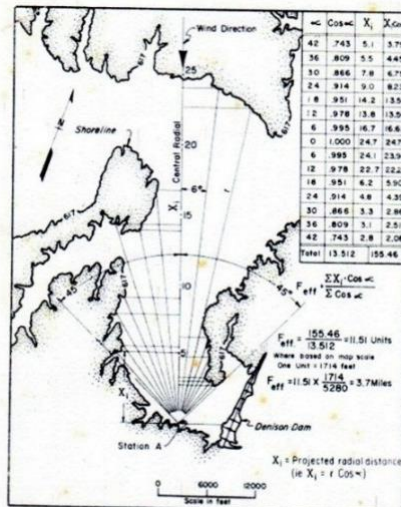
$$F_{eff} = \frac{\sum(X_i \cdot \cos \alpha_i)}{\sum \cos \alpha_i} \quad \dots (2.2)$$

Dimana:

F_{eff} : fetch rerata efektif

X_i : panjang segmen fetch yang diukur dari titik observasi gelombang ke ujung akhir fetch

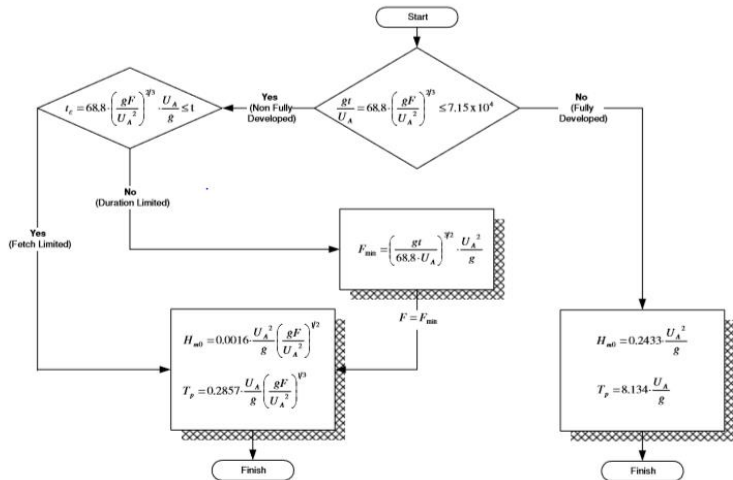
α_i : deviasi pada kedua sisi arah angin dengan menggunakan pertambahan 6° sampai sudut 42° pada kedua sisi dari arah angin.



Gambar 2. 2 Perhitungan Fetch Efektif
(Sumber: Shore Protection Manual, 1984)

Peramalan tinggi dan periode gelombang dilakukan dengan proses hindcasting. Proses tersebut didasarkan pada lama hembus angin, kecepatan angin dan panjang fetch efektif yang sudah diperhitungkan sebelumnya. Metode yang digunakan dalam proses hindcasting mengikuti metode yang

dijelaskan di dalam SPM (Shore Protection Manual, 1984). Bagan alir proses hindcasting tersebut disajikan pada gambar dibawah ini:



Gambar 2. 3 Diagram Alir Proses Hindcasting
(Sumber: Shore Protection Manual, 1984)

Keterangan :

H_{m0} : Tinggi gelombang signifikan menurut spektral energi (m)

T_p : Periode puncak gelombang

t : Lama angin berhembus (detik)

F : Panjang fetch efektif (m)

U_A : Kecepatan angin yang telah dimodifikasi

Pemilihan rumus untuk peramalan tinggi dan periode gelombang harus memperhatikan kondisi lapangan, sehingga hasil dari pendekatan hitungan secara empiris bisa logis dan sesuai dengan kondisi yang ada. Perumusan berdasarkan

kondisi Non Fully Developed digunakan bila pantai tertutup oleh penghalang (pulau atau teluk). Sedangkan perumusan berdasarkan kondisi Fully Developed digunakan bila pantai berhubungan dengan laut bebas yang tidak ada penghalangnya.

Pada umumnya tinggi gelombang kritis untuk bongkar muat ditentukan berdasarkan jenis kapal, kondisi bongkar muat, dan ukuran kapal.

Tabel 2. 1 Batas izin gelombang kritis

Ship Size	Threshold wave height for cargo handling ($H_{1/3}$)
Small-sized ships	0,3 m
Medium and large sized vessels	0,5 m
Very large vessels	0,7 - 1,5 m

(Sumber: *Technical Standards for Port and Harbour Facilities in Japan, 1991*)

Pada perencanaan ini peramalan tinggi gelombang dengan periode ulang tertentu dilakukan menggunakan Metode Weibull.

Tabel 2. 2 Tabel Peramalan Gelombang Periode Ulang Metode Weibull

No urut	H_{sm}	P	Y_m	$H_{sm} \cdot Y_m$	Y_m^2	$(H_{sm} - H_r)^2$	H_{sm}	$H_{sm} - H_{sm}$

(Sumber: *Teknik Pantai, 1999*)

Keterangan:

Kolom 1 : Nomer urut m

Kolom 2 : Gelombang yang diurutkan dari besar ke kecil sesuai kolom 1

Kolom 3 : Nilai P ($H_s \leq H_{sm}$) dihitung dengan rumus,

$$P(H_s \leq H_{sm}) = 1 - \frac{m - 0,44}{N_T + 0,12}$$

Dimana:

	$P(H_s \leq H_{sm})$ = Probabilitas tinggi gelombang representatif ke m yang tidak terlampaui H_{sm} = Tinggi gelombang urutan ke m (m) M = Nomer urut tinggi gelombang signifikan N_T = Jumlah kejadian selama pencatatan
Kolom 4	: Nilai ym diperhitungkan dengan persamaan: $y_m = -\ln \{-\ln P(H_s \leq H_{sm})\}$
Kolom 5 dan 6	: Nilai yang digunakan untuk analisis regresi linier guna menghitung parameter A dan B
Kolom 7	: Digunakan menghitung deviasi standar gelombang signifikan
Kolom 8	: Perkiraan tinggi gelombang yang dihitung dengan persamaan linier yang dihasilkan
Kolom 9	: Perbedaan antara H_{sm} dan \hat{H}_{sm} yaitu $H_{sm} - \hat{H}_{sm}$

Selanjutnya dihitung tinggi gelombang signifikan dengan beberapa periode ulang yang dilakukan menggunakan rumus:

$$H_{sm} = (\hat{A} x Yr) + \hat{B}.$$

$$\hat{A} = \frac{n \sum H_{sm} Ym - \sum H_{sm} \sum Ym}{n \sum ym^2 - (\sum Ym)^2}.$$

$$\hat{B} = Hr - (\hat{A} x Ym)$$

$$y_r = -\ln \{-\ln (1 - \frac{1}{LT})\}$$

Keterangan:

Hsm : Tinggi gelombang berdasarkan kejadian ulang
 Tr : Periode ulang (tahun)
 L : Rata-rata jumlah kejadian per tahun $L = \frac{N_T}{K}$

2.2.5 Tanah

Survei data tanah bertujuan untuk merencanakan struktur bagian bawah dermaga. Beberapa pengambilan data tanah yang dilakukan adalah dengan pengeboran dengan mesin bor. Kedudukan titik bor dilakukan dengan bantuan alat teodolit. Kemudian contoh dari hasil pemboran ini disajikan dalam bentuk booring log. Uji penetrasi standar (SPT) dilakukan dalam interval 2 atau 3 m, dimaksudkan untuk memperoleh nilai N dari lapisan-lapisan tanah bawah.

Prosedur Perhitungan Daya Dukung Tanah Pondasi Dalam (Tiang)

Untuk memperoleh pondasi tiang yang sesuai maka diperlukan perencanaan sebelumnya. Dalam merencanakan pondasi tiang biasanya mengikuti prosedur sebagai berikut:

- Melakukan penyelidikan tanah dilokasi pembangunan, penyelidikan bangunan yang ada di sekitarnya, sehingga diameter, jenis dan panjang tiang dapat ditetapkan berdasarkan *bore log* yang didapat. Jenis dari bahan pondasi yang diperlukan disesuaikan dengan kondisi tanah misalnya kedalaman tanah keras. Ketersediaan bahan tiang pancang yang paling mudah didapatkan sehingga pelaksanaan di lapangan dapat lebih menguntungkan.
- Menghitung *bearing capacity* diijinkan untuk satu tiang. Daya dukung sebaiknya ditetapkan dengan mempertimbangkan kondisi tanpa gempa dan dengan gempa. *Bearing capacity* juga harus mempertimbangkan tiga arah gaya yang terjadi yaitu arah vertikal tekan dan tarik serta arah lateral.

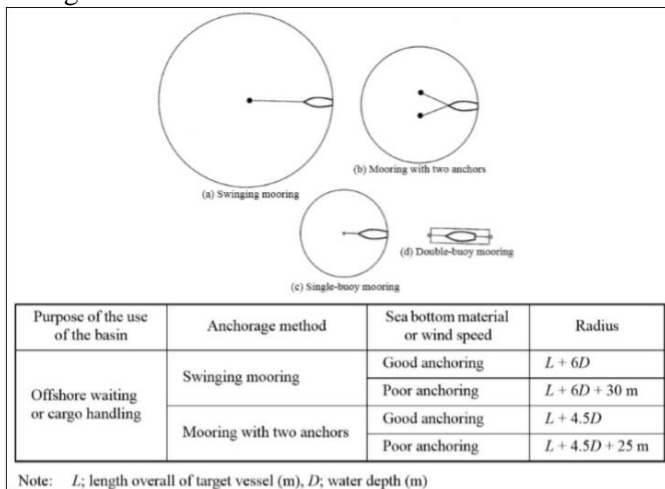
2.3 Evaluasi Layout

Dalam perencanaan pelabuhan ini dilakukan evaluasi agar layout sesuai dengan standar yang ada. Perencanaan layout dibagi menjadi 2 yaitu evaluasi layout perairan dan evaluasi layout daratan. Evaluasi layout perairan digunakan untuk mengevaluasi alur masuk, kolam putar, kolam dermaga dan kedalaman kolam dermaga. Sedangkan evaluasi layout daratan berupa evaluasi panjang dermaga, lebar dermaga dan elevasi dermaga serta elevasi dermaga yang diperlukan.

2.3.1 Evaluasi Layout Perairan

a. Areal Penjangkaran

Areal penjangkaran (*anchorage area*) adalah lokasi kapal menunggu sebelum dapat bertambat atau memasuki alur, baik karena menunggu cuaca membaik, atau dermaga dan alur yang akan digunakan masih terpakai, atau karena alasan karantina, atau oleh sebab yang lain. Kebutuhan areal penjangkaran dapat ditentukan dengan menggunakan perumusan seperti pada Gambar 2. 4 Areal penjangkaran. Dengan D adalah kedalaman air.



Gambar 2. 4 Areal penjangkaran
(Sumber: OCDI, 2002)

b. Alur Masuk

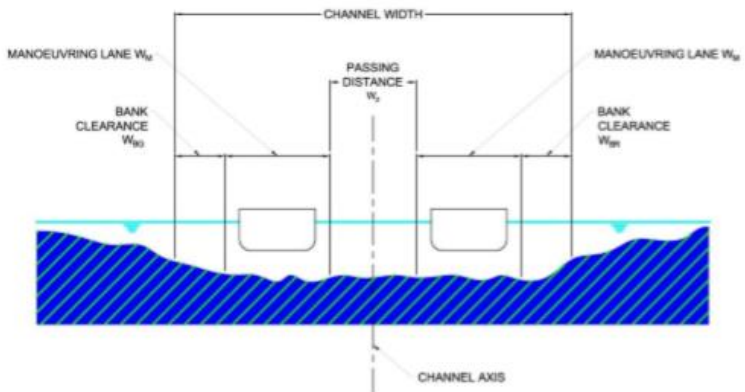
Alur masuk (entrance channel) bermula dari bagian awal dari mulut pealabuhan hingga kapal mulai berputar, dimana parameter yang digunakan untuk penentuan alur masuk ini adalah lebar, kedalaman, tikungan, dan panjang alur masuk. Ada beberapa faktor pertimbangan dalam mendesain yaitu keselamatan pelayaran, kemudahan kapal untuk bermanuver, dan sesuai dengan fasilitas lainnya.

- Lebar: memakai peraturan PIANC, 2014

$$W = W_{BM} + \sum W_i + W_{BR} + W_{BG} \quad \dots (2.3)$$

Dimana:

- W = lebar untuk satu jalur
 W_{BM} = lebar basic maneuvering lane
 W_i = lebar tambahan
 W_{BR}, W_{BG} = lebar bank clearance



Gambar 2. 5 Lebar Alur
(Sumber: PIANC, 2014)

Tabel 2. 3 Basic Manoeuvring Lane, W_{BM}
(Sumber: PIANC, 2014)

Ship Manoeuvrability	Good	Moderate	Poor
Basic Manoeuvring Lane, W_{BM}	1.3 B	1.5 B	1.8 B

Tabel 2. 4 Lebar tambahan W_i
(Sumber: PIANC, 2014)

Width W_i	Vessel Speed	Outer Channel (open water)		Inner Channel (protected water)	
(a) Vessel speed V_s (kts, with respect to the water) $V_s \geq 12$ kts 8 kts $\leq V_s < 12$ kts 5 kts $\leq V_s < 8$ kts	fast mod slow			0.1 B 0.0 0.0	
(b) Prevailing cross-wind V_{sw} (kts) - mild $V_{sw} < 15$ kts ($<$ Beaufort 4) - moderate 15 kts $\leq V_{sw} < 33$ kts (Beaufort 4 - Beaufort 7) - strong 33 kts $\leq V_{sw} < 48$ kts (Beaufort 7 - Beaufort 9)	fast mod slow fast mod slow fast mod slow			0.1 B 0.2 B 0.3 B 0.3 B 0.4 B 0.6 B 0.5 B 0.7 B 1.1 B	
(c) Prevailing cross-current V_{sc} (kts) - negligible $V_{sc} < 0.2$ kts - low 0.2 kts $\leq V_{sc} < 0.5$ kts - moderate 0.5 kts $\leq V_{sc} < 1.5$ kts - strong 1.5 kts $\leq V_{sc} < 2.0$ kts	aE fast mod slow fast mod slow fast mod slow	0.0 0.2 B 0.25 B 0.3 B 0.5 B 0.7 B 1.0 B 1.0 B 1.2 B 1.6 B		0.0 0.1 B 0.2 B 0.3 B 0.4 B 0.6 B 0.8 B - - -	
(d) Prevailing longitudinal current V_{lc} (kts) - low $V_{lc} < 1.5$ kts - moderate 1.5 kts $\leq V_{lc} < 3$ kts - strong $V_{lc} \geq 3$ kts	aE fast mod slow fast mod slow	0.0 0.0 0.1 B 0.2 B 0.1 B 0.2 B 0.4 B			
(e) Beam and stern quartering wave height H_s (m) - $H_s \leq 1$ m - 1 m $< H_s < 3$ m - $H_s \geq 3$ m	aE aE aE	0.0 -0.5 B -1.0 B		0.0 - -	
(f) Aids to Navigation (AtoN) - excellent - good - moderate				0.0 0.2 B 0.4 B	
(g) Bottom surface - if depth $h \geq 1.5 T$ - if depth $h < 1.5 T$ then - smooth and soft - rough and hard				0.0 0.1 B 0.2 B	
(h) Depth of waterway h		$h \geq 1.5 T$ $1.5 T > h \geq 1.25 T$ $h < 1.25 T$	0.0 B 0.1 B 0.2 B	$h \geq 1.5 T$ $1.5 T > h \geq 1.15 T$ $h < 1.15 T$	0.0 B 0.2 B 0.4 B
(i) High cargo hazards		See explanation in box(i) overleaf			

Tabel 2. 5 Lebar *Bank Clearance*, WBG; WBR
(Sumber: PIANC, 2014)

Width for bank clearance (W_{BR} and/or W_{BG})	Vessel Speed	Outer channel (open water)	Inner channel (protected water)
Gentle underwater channel slope (1:10 or less steep)	fast	0.2 B	0.2 B
	moderate	0.1 B	0.1 B
	slow	0.0 B	0.0 B
Sloping channel edges and shoals	fast	0.7 B	0.7 B
	moderate	0.5 B	0.5 B
	slow	0.3 B	0.3 B
Steep and hard embankments, structures	fast	1.3 B	1.3 B
	moderate	1.0 B	1.0 B
	slow	0.5 B	0.5 B

Note:
1. W_{BR} and W_{BG} are widths on 'red' and 'green' sides of channel

Tabel 2. 6 Kedalaman alur
(Sumber: *Technical Standards for Port and Harbour
Facilities in Japan, 1991*)

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

Untuk panjang alur masuk, pada PIANC, 2014 Pasal 3.1.8.2. Prosedur berhenti dan estimasi jarak pemberhentian telah dijelaskan beberapa pertimbangan dalam merencanakan panjang alur masuk, diantaranya:

- Kapal menurunkan kecepatan dari ± 9 knot ke 4 knot selama sekitar 15 menit sambil menunggu kapal tunda mengambil posisi membutuhkan jarak 2.300 m
- Ditambah jarak 1 L_{OA} sebelum kapal Tunda mendekat.
- Ditambah jarak untuk berhenti dengan bantuan kapal tunda = $2L_{OA}$.

- Total panjang alur minimal = $3L_{OA} + 2.300 \text{ m}$. (2.4)

c. Kolam Putar (Turning Basin)

Kolam putar berada di ujung alur masuk atau dapat diletakkan di sepanjang alur bila alurnya panjang. Kapal diharapkan dapat bermanuver dengan kecepatan rendah (mendekati nol) atau dipandu. Area yang disediakan dibatasi dengan bentuk lingkaran berdiameter Db . Sedangkan kedalaman perairan dapat disamakan dengan alur masuk. Berdasarkan PIANC, 2014 bahwa kolam putar berdiameter:

$$Db : 3 \times LOA, \text{ tanpa kapal pandu} \quad (2.5)$$

$$Db : 2 \times LOA, \text{ dengan kapal pandu} \quad (2.6)$$

d. Kolam Dermaga

Kolam dermaga (basin), berada di depan dermaga dan luasan ini perlu ditentukan bila kedalaman perairan perlu dikeruk dan untuk menentukan jarak antar jetty yang saling berhadapan. Secara keseluruhan ukuran kolam sebagai berikut: (2.7)

$$\text{Panjang} = 1,25 * L_{OA}, \text{ dibantu kapal pandu}$$

$$= 1,50 * L_{OA}, \text{ tanpa dibantu kapal pandu}$$

$$\text{Lebar} = 4 * B + 50 \text{ m}, \text{ 1 dermaga berhadapan}$$

$$= 2 * B + 50 \text{ m}, > 1 \text{ dermaga berhadapan}$$

$$= 1,25 B, \text{ dermaga bebas}$$

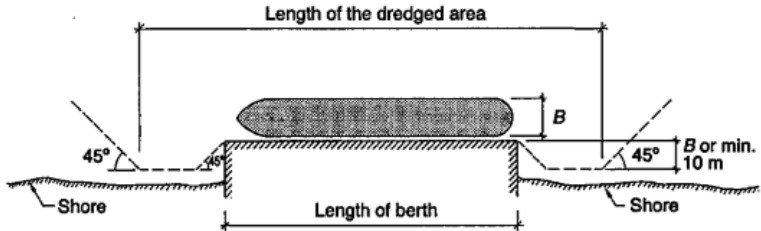
Kedalaman perairan yang direncanakan harus lebih dalam dari draft penuh kapal terbesar, ditambah kedalaman untuk gerakan akibat gelombang dan angin maupun arus serta squad dan trim sebagai konsekuensi pergerakan kapal, serta untuk ketidakaturan kedalaman perairan dan kondisi tanah dasar laut. Untuk kemudahan penentuan dalam menentukan kedalaman perairan dapat digunakan aturan sebagai berikut:

$$\text{Perairan Tenang} = 1.1 * \text{draft kapal} \quad (2.8)$$

$$\text{Perairan terbuka} = 1.2 * \text{draft kapal} \quad (2.9)$$

e. Pengerukan

Jika area berlabuh di depan dermaga harus dilakukan pengerukan, maka luasan area yang dikeruk dapat dilihat pada Gambar 2. 6. Sesuai dengan kebutuhan pengerukan



Gambar 2. 6 Areal pengerukan yang dibutuhkan
(Sumber: Port Designer's Handbook, 2014)

2.3.2 Evaluasi Layout Daratan

a. Elevasi Dermaga

Penentuan elevasi dermaga (*crown heights*) sangat dipengaruhi oleh beda pasang surut di lokasi dermaga, dimana elevasi dermaga harus lebih tinggi dari muka air tertinggi (HWS). Sehingga penentuan elevasi dermaga dapat dihitung sengan rumus berikut:

Elevasi dermaga = Beda pasang surut + (1 s/d 1,5 m).

b. *Loading Platform*

Loading Platform merupakan bagian dermaga berbentuk pelat sebagai tempat peralatan bongkar-muat seperti marine loading arm, jib crane dan gangway. Serta peralatan keselamatan seperti fire fighting, tower gangway, serta service area dan peralatan lainnya. Dimensi utama dari Loading platform ditentukan oleh jarak yang dibutuhkan marine loading arm. Jarak minimum antar Marine loading arm adalah 3 – 4,5 m.

c. *Breasting Dolphin*

Berfungsi untuk menambat kapal pada saat bersandar sehingga beban tumbukan yang terjadi tidak sepenuhnya diterima oleh *jetty head*. Oleh karena itu struktur yang direncanakan harus kuat untuk menahan gaya tumbukan yang terjadi dari kapal pada saat kondisi *full loading*. Untuk jarak yang direncanakan ditentukan antara $0,25 - 0,4 L_{oa}$.

d. *Mooring Dolphin*

Merupakan struktur yang berfungsi untuk menambat tali kapal pada saat bersandar agar kapal tidak beregerak dari pengaruh gelombang, arus, serta angin yang dimana ketika terjadi proses bongkar muat dapat berjalan aman dan lancar. Untuk *mooring dolphin* letak dan tinggi di desain sedemikian rupa sehingga sudut vertikal dari tali tambat sekecil mungkin dan pada kondisi tertentu tidak lebih dari 30° dari bidang horizontal dengan panjang tali tambat antara 35 – 50meter.

Terdapat lima fungsi tali untuk mengantisipasi gaya dari angin, arus, dan gelombang yang melawan kapal terhadap jetty:

1. *Stern line*, merupakan tali belakang yang dipasang di buritan belakang yang bertujuan untuk menahan kapal agar tidak bergerak mundur.
2. *After-breast lines*, merupakan tali melintang yang bertujuan untuk menahan kapal agar tidak bergerak menjauhi dermaga.
3. *Spring line*, bertujuan untuk menahan kapal agar tidak maju maupun mundur.
4. *Head line*, merupakan tali yang dipasang dihaluan kapal yang bertujuan untuk menahan kapal agar tidak mundur dan bergerak menjauhi dermaga.

5. *Forward-breast line*, merupakan tali melintang untuk menahan kapal agar tidak bergerak menjauhi dermaga.

e. *Catwalk*

Jembatan yang menghubungkan antara *jetty head* dengan *breasthing dolphin*, yang digunakan untuk pergerakan orang pada saat menambatkan atau melepas tali border.

2.4 Pembebanan Dermaga

Pada struktur dermaga, beban – beban yang bekerja meliputi beban vertikal dan beban horizontal (beban benturan kapal, beban tambatan kapal, gaya gempa, gaya gelombang). Hasil perhitungan beban secara manual akan diinput kedalam program komputer SAP 2000 untuk mengetahui gaya axial, gaya geser (shear force), momen dan torsi.

Sebagai antisipasi pada keamanan desain Untuk mengantisipasi keamanan desain perlu diperhatikan 3 kondisi yaitu kondisi operasional normal, kondisi sesekali (accidental), kondisi luar biasa (huru hara).

Beban yang bekerja pada struktur bangunan di pelabuhan dikelompokkan menjadi beban vertikal dan beban horizontal, dan disesuaikan berdasar letak beban. Berdasar lokasi struktur beban dibagi dalam 2 kelompok yaitu: beban di darat, dan di dermaga.

2.4.1 Beban Vertikal.

a) Beban Mati

Beban mati adalah berat sendiri yang terdiri dari struktur secara permanen dimana membebani selama waktu hidup konstruksi. Perhitungan beban ini berdasarkan berat volume dari jenis komponen-komponen tersebut. Komponen tersebut di antaranya beban pelat, balok, poer, bollard, pipa dan fasilitas – fasilitas lain di atasnya.

b) Beban hidup merata

Beban hidup merata adalah beban akibat muatan yang dianggap merata membebani di atas dermaga yang telah ditentukan berdasarkan beban muatan. Beban hidup terbagi rata bisa berupa beban pangkalan dan beban akibat air hujan.

c) Beban hidup terpusat.

Beban hidup terpusat yang terjadi pada struktur dermaga merupakan beban yang disebabkan beban roda yang besarnya ditentukan berdasarkan peralatan yang akan melintas di atas dermaga tersebut dan harus diposisikan sedemikian rupa sehingga menghasilkan kondisi pembebanan yang paling kritis.

2.4.2 Beban Horizontal

a. Beban Tumbukan Kapal

Beban tumbukan kapal berasal dari energi yang ditimbulkan ketika kapal merapat dan menabrak Sistem fender. Energi ini kemudian diabsorpsi dan ditransfer menjadi gaya horisontal tekan yang harus mampu dipikul oleh struktur dermaga. Gaya horizontal ini disebut gaya fender. Fender merupakan sistem konstruksi yang dipasang di depan konstruksi tambatan. Berfungsi sebagai penahan beban tumbukan kapal pada waktu merapat serta memindahkan beban akibat tumbukan menjadi gaya reaksi yang mampu diterima konstruksi dan kapal secara aman. Untuk menentukan ukuran fender, harus dihitung terlebih dahulu besarnya EN. Dimana EN merupakan energi kinetik yang timbul pada waktu kapal merapat. Rumus untuk menemukan EN diturunkan dari rumus energi kinetik yang disesuaikan dengan kondisi sistem merapat kapal dengan adanya faktor C:

$$E_N = \frac{1}{2} M_D \times C_M \times C_E \times C_C \times C_S \times V_B^2 \quad (2.10)$$

Dimana:

V_B : Kecepatan kapal saat merapat (m/s)

C_M : Koefisien massa hidrodinamis

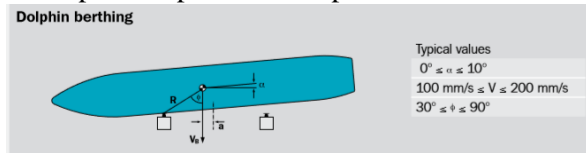
C_C : Koefisien bantalan

C_S : Koefisien kehalusan

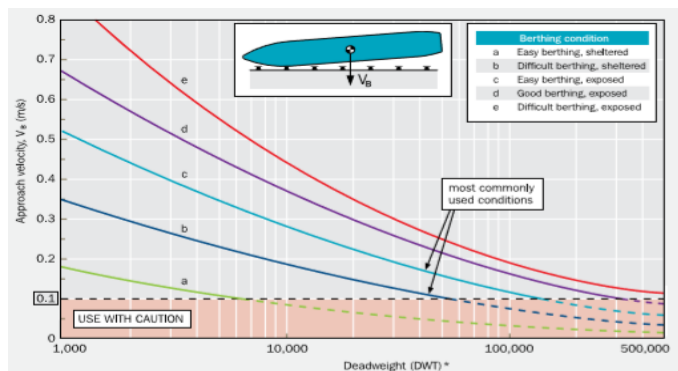
C_E : Koefisien eksentrisitas

M_D : *Displacement tonnage* (t)

- Kecepatan kapal saat merapat



Gambar 2. 7 *Approach Doplhin Berthing*
 (Sumber: Trelleborg, 2015)



Gambar 2. 8 Grafik kondisi kecepatan kapal pada saat merambat
 (Sumber: Trelleborg, 2015)

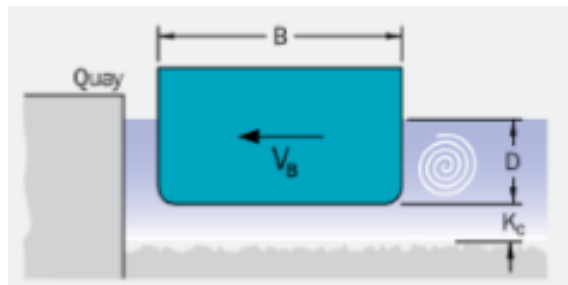
Tabel 2. 7 Tabel kecepatan pada saat merambat
(Sumber: Trelleborg, 2015)

DWT	VELOCITY, V_B (m/s)				
	a	b	c	d	e
1,000	0.179	0.343	0.517	0.669	0.865
2,000	0.151	0.296	0.445	0.577	0.726
3,000	0.136	0.269	0.404	0.524	0.649
4,000	0.125	0.250	0.374	0.487	0.597
5,000	0.117	0.236	0.352	0.459	0.558
10,000	0.094	0.192	0.287	0.377	0.448
20,000	0.074	0.153	0.228	0.303	0.355
30,000	0.064	0.133	0.198	0.264	0.308
40,000	0.057	0.119	0.178	0.239	0.279
50,000	0.052	0.110	0.164	0.221	0.258
100,000	0.039	0.083	0.126	0.171	0.201
200,000	0.028	0.062	0.095	0.131	0.158
300,000	0.022	0.052	0.080	0.111	0.137
400,000	0.019	0.045	0.071	0.099	0.124
500,000	0.017	0.041	0.064	0.090	0.115

Dimana V_B minimum yang digunakan adalah 0,1 m/s.

- Koefisien Hidrodinamis (C_M)

Koefisien hidrodinamis adalah faktor untuk memperhitungkan besarnya massa air yang bergerak di sekeliling kapal dan massa air ini menambah besar massa kapal yang merapat.



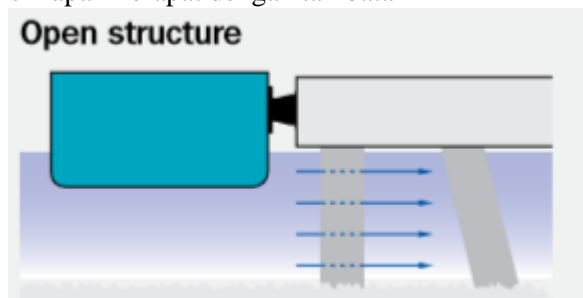
Gambar 2. 9 Kapal saat Merapat
(Sumber: Trelleborg, 2015)

Tabel 2. 8 Koefisien Hidrodinamis
(Sumber: Trelleborg, 2015)

PIANC (2002)	SHIGERA UEDA (1981)	VASCO COSTA* (1964)
for $\frac{K_c}{D} \leq 0.1$ $C_M = 1.8$	$C_M = \frac{\pi \times D}{2 \times C_B \times B}$	$C_M = 1 + \frac{2D}{B}$
for $0.1 \leq \frac{K_c}{D} \leq 0.5$ $C_M = 1.875 - 0.75 \left[\frac{K_c}{D} \right]$		
for $\frac{K_c}{D} \geq 0.5$ $C_M = 1.5$		

- Koefisien Bantalan (C_C)

Koefisien bantalan adalah koefisien untuk konfigurasi struktur tambatan dalam rangka memperhitungkan adanya efek bantalan air. Efek ini timbul karena adanya massa air yang terjepit antara posisi kapal merapat dengan tambatan



Gambar 2. 10 Kapal menumbuk pada struktur terbuka

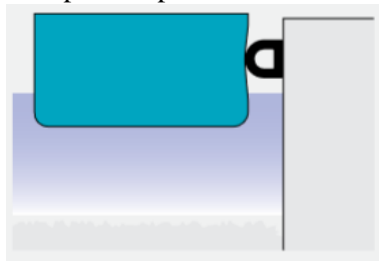
(Sumber: Trelleborg, 2015)

Tabel 2. 9 Koefisien Bantalan
(Sumber: Trelleborg, 2015)

$C_c = 1.0$	<ul style="list-style-type: none"> ■ Open structures including berth corners ■ Berthing angles $> 5^\circ$ ■ Very low berthing velocities ■ Large under keel clearance
$C_c = 0.9$	<ul style="list-style-type: none"> ■ Solid quay walls under parallel approach (berthing angles $< 5^\circ$) and under keel clearance less than 15% of the vessel draught

- Koefisien Kelembutan (C_s)

Koefisien kelembutan merupakan koefisien untuk mengantisipasi pengaruh deformasi elastis terhadap badan kapal maupun konstruksi tambatan.



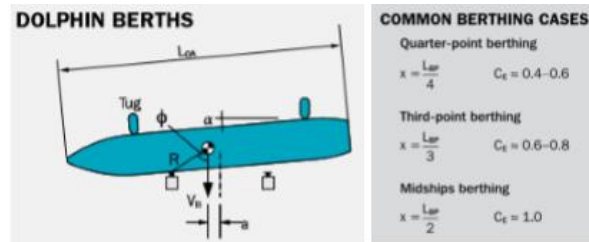
Gambar 2. 11 Deformasi Elastis
(Sumber: Trelleborg, 2015)

Tabel 2. 10 Koefisien Kelembutan
(Sumber: Trelleborg, 2015)

$C_s = 1.0$	Soft fenders ($\delta_f > 150\text{mm}$)
$C_s = 0.9$	Hard fenders ($\delta_f \leq 150\text{mm}$)

- Koefisien Eksentrisitas (C_E)

Kemungkinan kapal akan berlabuh tepat di tengah berthing dolphin merupakan hal yang jarang terjadi. Berthing dolphin biasanya diletakkan antara 0,25-0,40 kali panjang (LOA) kapal. Ketika menghitung R dan ϕ , dimensi $a = 0,1$ LOA tapi tidak lebih dari 15 m, dari as loading platform, dapat digunakan. Semakin besar offsets akan menambah koefisien eksentrisitas. Pada kasus ekstreme dimana V_B tegak lurus ($\phi < 10^\circ$) dengan fender maka $C_E = 1$



Gambar 2. 12 Koefisien Eksentrisitas
(Sumber: Trelleborg, 2015)

- *Mass of the vessel* (M_D)

Merupakan berat kapal dan muatannya pada saat kapal dimuati sampai garis draft dalam Displacement Tonnage (DT). Berdasarkan OCDF, 2002, untuk kapal tanker dapat menggunakan perumusan berikut:

$$\log(DT) = 0,332 + 0,956 \log(DWT) \quad (2.11)$$

Perhitungan energi kinetik (EN) tersebut perlu diantisipasi dengan adanya kondisi merapat abnormal, yang terjadi saat energi merapat normal terlampaui, akibat kesalahan manusia, kerusakan kapal, kondisi cuaca ekstrem atau kombinasi berbagai faktor ini. Energi Abnormal (EA) yang harus mampu diserap fender sebesar:

$$EA = EN \times FS \quad (2.12)$$

Dimana:

E_A : Energi abnormal yang diserap fender

E_N : Energi kinetik pada saat kapal berlabuh

F_S : Faktor keamanan

Tabel 2. 11 Tabel Faktor Keamanan
(Sumber: Trelleborg, 2015)

VESSEL TYPE	SIZE	F_s
Tanker, bulk, cargo	Largest	1.25
	Smallest	1.75
Container	Largest	1.5
	Smallest	2.0
General cargo	–	1.75
RoRo, ferries	–	≥ 2.0
Tugs, workboats, etc	–	2.0

b. Gaya pada *Bollard*

Bollard merupakan fasilitas pelabuhan yang berada pada tepi dermaga yang berfungsi sebagai tempat mengikat tali kapal yang sedang bertambat. *Bollard* harus mampu menerima gaya tarikan akibat kapal yang menambatkan talinya pada *bollard* tersebut.

Tabel 2. 12 Tabel kebutuhan kekuatan *Bollard*
(Sumber: *Advance in Berthing and Mooring of Ships and Offshore Structures*, 1998)

Number of Winches	Nominal Size	Drum Load	Holding Load	Design Rope Diameter	MBL	Approximate Ship Size Range	
						Conventional Ships, Tankers, Bulk Carriers, etc.	Special Ships with large Wind Area. Containers, RoRo, Passenger, etc.
						(t)	(kN)
4	12	120	310	26	378	8000	5000
4	16	160	470	32	573	15000	8000
6	16	160	470	32	572	25000	12000
6	20	200	590	36	725	35000	20000
6	25	250	730	40	895	50000	30000
6	32	315	880	44	1080	65000	45000
6	40	400	1050	48	1290	80000	60000
6	50	500	1280	51	1590	110000	85000
6	64	640	1560	57	1980	170000	130000

c. **Beban Gempa**

Pada tipe struktur dermaga atau jembatan harus direncanakan agar memiliki kemungkinan kecil untuk runtuh namun dapat mengalami kerusakan yang signifikan dan gangguan terhadap pelayanan akibat gempa dengan kemungkinan terlampaui 7% dalam 75 tahun.

Beban gempa diambil sebagai gaya horizontal yang ditentukan berdasarkan perkalian antara koefisien respon elastik (Csm) dengan berat struktur ekivalensi yang kemudia dimodifikasi dengan faktor modifikasi respon (R) dengan formulasi sebagai berikut:

$$Eg = \frac{Csm}{R} * Wt \quad (2.13)$$

Keterangan:

EQ : gaya gempa horizontal statis (kN)

Csm : koefisien respon gempa statik pada moda getar

ke-m

R : faktor modifikasi respon

W_t : berat total struktur terdiri dari beban mati dan beban hidup yang sesuai (kN)

Koefisien respon elastik C_{sm} dapat diperoleh dari percepatan batuan dasar dan spektra percepatan sesuai pada SNI 2833-2013 Ps. 5.2.1 Gambar 1 – gambar 6.

a. Respon Spektrum Rencana

Respon spektra adalah nilai yang menggambarkan respon maksimum dari sistem berderajat-kebebasan-tunggal pada berbagai frekuensi alami (periode alami) teredam akibat suatu goyangan tanah. Untuk kebutuhan praktis, maka respon spektra dibuat dalam bentuk respon spektra yang sudah disederhanakan.

Respon spektra di permukaan tanah ditentukan dari 3 (tiga) nilai percepatan puncak yang mengacu pada peta gempa Indonesia 2010 (PGA, S_s , dan S_1), serta nilai faktor amplifikasi F_{PGA} , F_s dan F_v . Perumusan respon spektra adalah sebagai berikut:

$$A_s = F_{pga} * PGA \quad (2.14)$$

$$S_{ds} = F_a * S_s \quad (2.15)$$

$$S_{d1} = F_v * S_1 \quad (2.16)$$

Keterangan:

A_s : koefisien percepatan puncak muka tanah (g)

F_{PGA} : faktor amplifikasi terkait percepatan yang mewakili getaran periode 0 detik

F_a : faktor amplifikasi terkait percepatan yang mewakili getaran periode 0,2 detik

PGA : percepatan puncak batuan mengacu pada peta gempa Indonesia 2010

S_s : lokasi yang memerlukan investigasi geoteknik dan analisis respon dinamik spesifik

S_1 : parameter respon spektra percepatan gempa untuk periode 1 detik

S_{D1} : spektra permukaan tanah pada periode 1 detik

b. Koefisien Respon

Koefisien respon gempa elastik ditentukan berdasarkan 3 (tiga) kondisi, yaitu:

- Untuk $T < T_0$, koefisien respons gempa elastik (C_{sm}) didapat dari persamaan berikut:

$$C_{sm} = (S_{ds} - A_s) \frac{T}{T_0} + A_s \quad (2.17)$$

- Untuk $T_0 \leq T \leq T_s$, maka nilai koefisien respons gempa elastik (C_{sm}) adalah

$$C_{sm} = S_{DS} \quad (2.18)$$

- Untuk $T > T_s$, koefisien respons gempa elastik (C_{sm}) didapat dari persamaan berikut:

$$C_{sm} = \frac{S_{d1}}{T} \quad (2.19)$$

Setelah nilai koefisien gempa elastik diperoleh, langkah selanjutnya ialah menemukan nilai faktor modifikasi respon (R). Berdasarkan RSNI 2833 2013 pasal 5.9.3.2 nilai faktor modifikasi respon untuk gaya gempa yang dimodifikasi diambil sama dengan 1,0.

d. Beban Angin

Perhitungan beban angin dilakukan pada sebagian struktur di atas muka air dengan kondisi maksimum desain kapal. Beban angin pada struktur dihitung pada saat pasang dan surut arah longitudinal dan transversal. Perlu diperhatikan juga pada saat kapal bermuatan dan pada saat kondisi kapal ballast. Perhitungan ini berdasarkan The Overseas Coastal Area Development Institute of Japan (OCDI), "Technical Standards and Commentaries for Port and Harbour Facilities in Japan".

$$F_w = 0,5 \times \rho_a \times C_w \times V_w^2 \times A_w \quad (2.20)$$

Dimana,

F_w = Gaya drag angin (N)



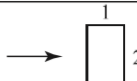

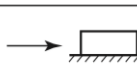
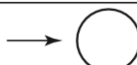
C_w = Koefisien koefisien hambatan angin

ρ_a = Massa jenis ($1,23 \text{ t/m}^3$)

A_w = Area objek angin (m^2)

V_w^2 = Kecepatan angin (m/s)

Tabel 2. 13 Koefisien Hambatan Angin

	Square cross-section	2.0
	"	1.6
	Rectangular cross-section (ratio of side lengths = 1:2)	2.3
	"	1.5
	" (when one face is in contact with the ground)	1.2
	Circular cross-section (smooth surface)	1.2

(Sumber: OCDI 2002, Table T-8.2.1)

e. **Beban Arus**

Beban arus terjadi di sepanjang tiang yang berada di bawah muka air dan kecepatannya diasumsikan konstan. Beban arus yang bekerja pada tiang dihitung per-m panjang tiang di bawah muka air. Perhitungan ini berdasarkan The Overseas Coastal Area Development Institute of Japan (OCDI), "Technical Standards and Commentaries for Port and Harbour Facilities in Japan".

$$F_D = 0,5 \times C_D \times \rho_0 \times A \times U^2$$

(2.21)

Dimana,

- F_D = Gaya tarik akibat arus
 C_D = Koefisien gaya tarik (1,2)
 ρ = Massa jenis (1,025 t/m³)
 A = Area objek arus (m²)
 U^2 = Kecepatan aliran (m/s)

2.4.3 Kombinasi Pembebanan

Kombinasi beban ini dilakukan untuk memperoleh kondisi pembebanan yang paling kritis pada struktur. Kombinasi pembebanan perlu memperhitungkan kemungkinan gaya-gaya yang menambah atau mengurangi efek dari beban-beban yang bekerja. Dimana faktor pembebanan BS 6349-6 1989 dapat dilihat pada

Tabel 2. 14 Faktor Pembebanan

Load	Limit state	Load case ^a		
		1	2	3
Dead: steel	ULS ^b	1.05	1.05	1.05
	SLS ^c	1.0	1.0	
Dead: concrete	ULS	1.15	1.15	1.15
	SLS	1.0	1.0	
Dead: superimposed	ULS	1.2	1.2	1.2
	SLS	1.0	1.0	
Imposed	ULS	1.4	1.2 ^d	1.2
	SLS	1.1	1.0	
Berthing or mooring loads from vessels	ULS	1.4	1.2 ^d	—
	SLS	1.1	1.0	
Environmental	ULS	1.4	1.2	1.2
	SLS	1.0	1.0	
Hydrostatic	ULS	1.1	1.0	1.0
	SLS	1.0	1.0	

^a Load case 1 is normal loading (see 4.2.2.2); load case 2 is extreme loading (see 4.2.2.3); load case 3 is temporary loading during construction and transportation (see 4.2.2.4 and 4.2.2.5).
^b ULS is the ultimate limit state.
^c SLS is the serviceability limit state.
^d Loads from anchor leg moorings should be taken as the minimum breaking load of a wire or chain times 1.2 (see 4.2.1.3).

(Sumber: BS 6349-6 1989)

2.5 Perencanaan Struktur Dermaga

Dermaga LNG ini direncanakan menggunakan konstruksi beton. Pada perhitungan konstruksi dermaga ini dipilih dengan pertimbangan terjadinya beban lebih (*overload*) pada bangunan di perairan lebih sering terjadi, baik akibat beban luar (arus, gelombang, dan pasang surut) maupun beban gempa.

Prosedur perencanaan dermaga secara umum adalah sebagai berikut:

- a) Penentuan ukuran dermaga dan layout yang digunakan.
- b) Penentuan posisi tiang pancang, posisi dilatasi antar blok dermaga, lokasi fasilitas lain misal: *bollard* dan *fender*.
- c) Penentuan asumsi dimensi masing-masing bagian struktur.
- d) Penentuan beban yang bekerja pada masing-masing bagian struktur, setelah terlebih dahulu ditentukan kebutuhan ukuran *fender* dan *bollard*.
- e) Perhitungan kekuatan struktur dari masing-masing bagian struktur termasuk penulangan.
- f) Pengecekan terhadap stabilitas struktur secara keseluruhan.
- g) Pembuatan detail gambar sesuai dengan perhitungan yang didapatkan.

Apabila saat pengecekan/kontrol stabilitas tidak memenuhi persyaratan maka perhitungan harus diulangi lagi mulai langkah ketiga.

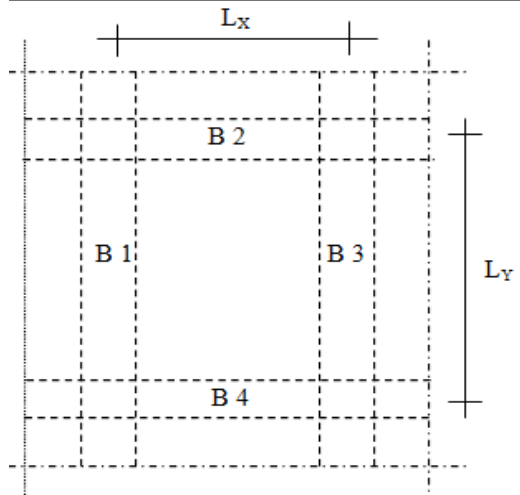
2.5.1 Perhitungan Struktur Atas

Perencanaan bangunan atas meliputi perencanaan pelat, balok memanjang serta balok melintang dengan menggunakan program bantu SAP 2000 V20.0 dan penulangan memakai peraturan PBI 71 dengan alasan:

- Pada struktur di daerah pantai harus dihindari adanya retak agar tidak terjadi pengkaratan pada tulangan yang akan berakibat fatal pada kerusakan struktur
- Pada bangunan pelabuhan sering terjadi beban berlebih akibat beban luar baik berupa arus, gelombang, gempa dan lain-lain.

- Pada struktur dermaga akan menggunakan sistem elastis, dimana kekuatan pada tulangan akan diutamakan dan retak pada struktur sangat dihindari.

1. Pelat



Gambar 2. 13 Penentuan L_x dan L_y dalam Penentuan Sistem Arah Pelat

Sebelum melakukan perhitungan pada pelat, perlu ditentukan terlebih dahulu apakah pelat menggunakan sistem satu arah (oneway slab) atau dua arah (two ways slab). Pada pelat satu arah maka l_y (bentang arah y) / l_x (bentang arah x) $> 2,0$. Sedangkan pada pelat dua arah, l_y (bentang arah y) / l_x (bentang arah x) $< 2,0$. Lebih jelasnya lihat Gambar 2. 13.

a. Momen Pelat

Pada perhitungan pelat diasumsikan terjepit penuh karena kekakuan balok dianggap jauh lebih besar dari kekakuan pelat sehingga pada tumpuan tidak terjadi perputaran. Menurut PBI 71 tabel 13.3.1 momen tumpuan dan momen lapangan menggunakan persamaan berikut:

Tabel 2. 15 Momen di Dalam Pelat Persegi yang Menumpu Pada Keempat Tepinya Akibat Beban Terbagi Merata

Tipe Pelat	Momen	l _y / l _x																
		1.0	1.1	1.2	1.3	1.4	1.5	1.6	1.7	1.8	1.9	2.0	2.1	2.2	2.3	2.4	2.5	>2.5
I	M _{lx} = + 0.001 q l _x ² X	44	52	59	66	73	78	84	88	93	97	100	103	106	108	110	112	125
	M _{ly} = + 0.001 q l _y ² X	44	45	45	44	44	43	41	40	39	38	37	36	35	34	33	32	25
II	M _{lx} = - M _{tx} = + 0.001 q l _x ² X	36	42	46	50	53	56	58	59	60	61	62	62	62	63	63	63	63
	M _{ly} = + 0.001 q l _y ² X	36	37	38	38	38	37	36	36	35	35	35	34	34	34	34	34	13
III	- M _{ty} = + 0.001 q l _y ² X	36	37	38	38	38	37	36	36	35	35	35	34	34	34	34	34	38
	M _{lx} = - M _{tx} = + 0.001 q l _x ² X	48	55	61	67	71	76	79	82	84	86	88	89	90	91	92	92	94
IV A	M _{ly} = + 0.001 q l _y ² X	48	50	51	51	51	51	51	50	50	49	49	49	48	48	47	47	19
	- M _{ty} = + 0.001 q l _y ² X	48	50	51	51	51	51	51	50	50	49	49	49	48	48	47	47	56
IV B	M _{lx} = + 0.001 q l _x ² X	22	28	34	41	48	55	62	68	74	80	85	89	93	97	100	103	125
	M _{ly} = + 0.001 q l _y ² X	51	57	62	67	70	73	75	77	78	79	79	79	79	79	79	79	25
V A	- M _{tx} = + 0.001 q l _x ² X	51	57	62	67	70	73	75	77	78	79	79	79	79	79	79	79	75
	M _{lx} = - M _{tx} = + 0.001 q l _x ² X	51	54	57	59	60	61	62	62	63	63	63	63	63	63	63	63	63
V B	M _{ly} = + 0.001 q l _y ² X	22	20	18	17	15	14	13	12	11	10	10	10	9	9	9	9	13
	M _{lx} = + 0.001 q l _x ² X	31	36	45	53	59	66	72	78	83	88	92	96	99	102	105	108	125
VI A	M _{ly} = + 0.001 q l _y ² X	60	65	69	73	75	77	78	79	79	80	80	80	79	79	79	79	25
	- M _{tx} = + 0.001 q l _x ² X	60	65	69	73	75	77	78	79	79	80	80	80	79	79	79	79	75
VI B	M _{lx} = - M _{tx} = + 0.001 q l _x ² X	60	66	71	76	79	82	85	87	88	89	90	91	91	92	92	93	94
	M _{ly} = + 0.001 q l _y ² X	31	30	28	27	25	24	22	21	20	19	18	17	17	16	16	15	12
VII A	M _{lx} = - M _{tx} = + 0.001 q l _x ² X	38	46	53	59	65	69	73	77	80	83	85	86	87	88	89	90	54
	M _{ly} = + 0.001 q l _y ² X	43	46	48	50	51	51	51	51	50	50	50	49	49	48	48	48	19
VII B	- M _{ty} = + 0.001 q l _y ² X	43	46	48	50	51	51	51	51	50	50	50	49	49	48	48	48	36
	M _{lx} = + 0.001 q l _x ² X	13	48	51	53	57	58	60	61	62	62	63	63	63	63	63	63	63
VIII A	M _{ly} = + 0.001 q l _y ² X	38	39	38	38	37	36	36	35	35	34	34	34	33	33	33	33	13
	- M _{tx} = + 0.001 q l _x ² X	38	39	38	38	37	36	36	35	35	34	34	34	33	33	33	33	38
Keterangan		= Terletak bebas																
		= Menerus atau Terjepit elastis																

$$Mlx = 0,001 \cdot q \cdot lx^2 \cdot X \quad (2.22)$$

$$Mly = 0,001 \cdot q \cdot lx^2 \cdot X \quad (2.23)$$

$$Mtx = -0,001 \cdot q \cdot lx^2 \cdot X \quad (2.24)$$

$$Mty = -0,001 \cdot q \cdot lx^2 \cdot X \quad (2.25)$$

Dimana:

Ml = momen lapangan pelat (tm)

Mt = momen tumpuan pelat (tm)

q = beban terbagi rata pelat (t/m)

lx = panjang bentang pendek pelat (m)

X = koefisien dari tabel Tabel 2. 15

b. Penulangan Pelat

Pada pelat dipakai tulangan rangkap dengan asumsi bahwa struktur adalah statis tertentu. Metode penulangan pelat meliputi:

- a. Menentukan besarnya momen ultimate (M_u) pada pelat
- b. Menentukan perbandingan antara luas tulangan tarik dengan tulangan tekan (δ). Pada pelat dianggap tidak memerlukan tulangan tekan sehingga $\delta = 0$
- c. Menghitung nilai C_a dengan persamaan:

$$C_a = \frac{h}{\sqrt{\frac{n \times M}{b \times \sigma'_a}}}$$

Dimana:

h = tinggi manfaat penampang

b = lebar penampang (untuk pelat = 1000mm)

M = momen ultimate
 n = angka ekivalensi baja beton
 σ'_a = tegangan ijin baja (tabel 10.4.1 PBI'71)

- d. Mencari nilai ϕ , ϕ' , dan ω dari tabel

Dari “*Tabel Perhitungan Lentur dengan Cara-n disesuaikan kepada peraturan Beton Bertulang Indonesia 1971 oleh Ir. Wiratman W*”

$$\phi > \phi_0 = \frac{\sigma'_a}{n \times \sigma'_a} \quad (2.26)$$

$\phi'100n\omega$

Dimana:

σ'_b = Tegangan tekan beton akibat lentur tanpa dan atau dengan gaya normal tekan
 $= 0,33\sigma'_bk$

- e. Mencari kebutuhan tulangan

$$A_s = \omega \times b \times h$$

(2.27)

- f. Kontrol retak

Berdasarkan PBI 1971 pasal 10.7.1b retak yang diijinkan 0,01 cm. Dengan menggunakan Tabel 10.7.1 PBI 1971 maka didapatkan koefisien - koefisien ω_p , C3, C4 dan C5 yang harus diambil dari Tabel 10.7.1, PBI 1971.

Tabel 2. 16 Harga koefisien ω_p , C3, C4 dan C5

Uraian	ω_p	C ₃	C ₄	C ₅
Balok persegi dan balok T yang mengalami lentur murni	$\frac{A}{b \cdot h}$	1,50	0,04	7,5
Balok persegi dan balok T yang mengalami lentur dengan gaya normal tekan	$\frac{A}{b(h-y)}$	1,50	0,07	12
Bagian-bagian konstruksi yang mengalami tarik aksial	$\frac{A}{B_t}$	1,50	0,16	30

(Sumber: tabel PBI 1971)

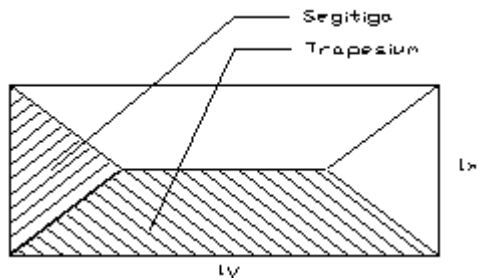
$$w = \alpha \left(C_3 \cdot c + C_4 \cdot \frac{d}{\omega_f} \right) \left(\sigma_a - \frac{C_5}{\omega_f} \right) \cdot 10^{-6} \quad (2.28)$$

Dimana:

- c = tebal penutup beton (cm)
- d = diameter batang polos atau pengenal (cm)
- σ_a = tegangan baja yang bekerja ditempat yang retak (kg/cm^2)
- A = luas tulangan tarik (cm^2)
- B = lebar balok (cm)
- h = tinggi manfaat balok (cm)
- y = jarak garis netral terhadap sisi yang tertekan (cm)
- Bt = luas penampang beton yang tertarik (cm^2)
- A = koefisien yang bergantung pada jenis batang tulangan (1.2 untuk batang polos dan 1 untuk batang yang diprofilkan)

2. Balok dan Poer

a. Perhitungan beban pelat pada balok



Gambar 2. 14 Pendistribusian Beban pada pelat

Distribusi beban pada pelat dapat dilihat pada Gambar 2. 14, dengan perumusan sebagai berikut:

- beban pelat q (t/m^2)

$$P = \frac{1}{2} q l_x \quad (2.29)$$

- beban segitiga

$$q_{\text{seg}} = \frac{2}{3} P = \frac{1}{3} q l_x \quad (2.30)$$

- beban trapesium

$$q_{\text{trapez}} = P \left[1 - \frac{1}{3} \frac{l_x^2}{h^2} \right] = \frac{1}{2} q l_x \left[1 - \frac{1}{3} \frac{l_x^2}{h^2} \right] \quad (2.31)$$

b. Penulangan balok dan poer

Penulangan balok dihitung dengan menggunakan perhitungan lentur “n”. Untuk perhitungan tulangan, poer dianalisis sebagai balok jika perbandingan antara tebal poer dan lebar poer > 0.4 .

Metode perhitungan tulangan utama balok dan poer seperti pada pelat yaitu:

- Menentukan besarnya momen ultimit (M_u) yang bekerja pada balok dari hasil analisis SAP 2000.
- Menentukan perbandingan antar luas tulangan tarik dengan tulangan tekan (δ). Nilai δ diambil 0,4 – 0,6
- Menghitung nilai C_a :
- Mencari nilai ϕ , ϕ' , dan ω dari tabel
- Menghitung luas tulangan tarik dan tekan

$$A = \omega \times b \times h \quad (2.32)$$

$$A_{s'} = \delta \times A \quad (2.33)$$

Untuk balok dengan tinggi lebih dari 90 cm perlu dipasang tulangan samping sebesar minimum 10% dari tulangan tariknya (PBI '71 Pasal.9.3(5)).

- Kontrol terhadap retak

Metode perhitungan tulangan geser balok dan poer adalah sebagai berikut:

1. Menentukan besarnya gaya lintang yang bekerja pada tumpuan.
2. Menghitung tegangan beton ijin berdasarkan PBI '71 tabel 10.4.2 akibat geser oleh lentur dengan puntir, dengan tulangan geser:
3. Untuk pembebanan tetap:

$$\tau'_{bm-t} = 1.35\sqrt{\sigma'_{bk}} \quad (2.34)$$

4. Untuk pembebanan sementara:

$$\tau'_{bm-s} = 2.12\sqrt{\sigma'_{bk}} \quad (2.35)$$

Menghitung tegangan geser lentur beton akibat beban kerja di tengah-tengah tinggi penampang dengan rumus sebagai berikut:

$$\tau_b = \frac{D}{b \times \frac{7}{8}h} \quad (2.36)$$

Dimana:

D = gaya lintang

Diperlukan tulangan geser jika:

$$\tau_b < \tau'_{bt} \quad (2.37)$$

Untuk perhitungan tulangan geser lentur-puntir ini, tegangan geser puntir dapat dianggap seolah-olah memperbesar tegangan geser lentur pada seluruh lebar balok, yang besarnya dapat diambil menurut rumus sesuai PBI '71 Pasal 11.8.6 berikut ini:

$$\tau''_b = \frac{Mt}{b \times Ft} \quad (2.38)$$

Dimana:

M_t = T = Momen Torsi akibat beban batas

F_t = luas penampang balok

Disyaratkan dalam PBI '71 Pasal 11.8.(4)

$$\tau_s \geq \tau_b + \tau_b "$$

(2.39)

Menghitung jarak tulangan sengkang:

$$as = \frac{As \cdot \sigma_a}{\tau_s \cdot b}$$

(2.40)

2.5.2 Perhitungan Struktur Bawah

Pada perhitungan struktur bawah perlu diperhitungkan daya dukung tanahnya sendiri, kalendering serta kontrol terhadap tiang pancangnya sendiri. Prinsip dasar dalam perencanaan tiang pancang adalah gaya akibat beban luar yang diterima oleh pondasi adalah lebih besar dari daya dukung tanah pada satu tiang pondasi dikali dengan *safety factor*, pada perencanaan kali ini digunakan dua perhitungan dengan cara *Luciana Decourt* dan *OCDI*. Berikut cara untuk melakukan perhitungan struktur bawah.

1. Perhitungan Gaya Luar

Perhitungan ini didapatkan dari perhitungan struktur atas yang terjadi akibat beban beban yang bekerja terhadap tiang pancang, dapat berupa beban tambahan maupun berat dermaganya sendiri.

2. Perhitungan daya dukung tanah

Pada perhitungan daya dukung tanah menggunakan metode *Luciano Decourt*.

$$Q_1 = Q_p + Q_s$$

(2.41)

Dimana:

Q_1 = daya dukung tanah maksimum (ton)

Q_p = resistance ultime di dasar pondasi (ton)

Q_s = resistance ultime akibat lekatan lateral (ton)

Pada hasil pengukuran data tanah, akan didapatkan nilai N-SPT dimana harga N akan dikoreksi jika tanah lempung atau pasir berlanau di bawah muka air tanah.

$N' = 15 + 0,5(N - 15)$, untuk $N > 15$

$$Q_p = q_p \times A_p = \alpha \times (N_p \times K) \times A_p \quad (2.42)$$

Dimana :

N_p = harga rata-rata SPT sekitar 4D diatas dan 4D dibawah dasar tiang

K = koefisien karakteristik tanah
 12 t/m², untuk lempung
 20 t/m², untuk lanau berlempung
 25 t/m², untuk lanau berpasir
 40 t/m², untuk pasir

A_p = luasan pada ujung pondasi (m²)

$$Q_s = q_s \times A_s = \beta \times \left(\frac{N_s}{3} + 1 \right) \times A_s \quad (2.43)$$

Dimana:

Q_s = tegangan akibat lekatan lateral (t/m²)

N_s = harga N rata sepanjang tiang tertanam, dengan batasan : $3 < N < 50$

A_s = luas selimut tiang yang terbenam (m²)

Koefisien α dan β adalah berturut-turut *base coefficient* dan *shaft coefficient* menurut *Decourt et all* (1996) yang nilainya dapat dilihat pada Tabel 2. 17 dan Tabel 2. 18. Pada tugas akhir ini direncanakan menggunakan *driven pile* (tiang pancang baja) sehingga nilai α dan β masing masing adalah 1,0 dan 1,0.

Tabel 2. 17 Base Coefficient α Decourt Et All (1996)

Soil / Pile	Dri ven Pile	B ored Pile	Bo red Pile (bentonik)	Conti nous Hollow Anger	oot R Pile	Infe cted pile (High Pressur e)
Clay	1,0	0,85	0,85	0,30	0,85	1,0
Interm ediate Soil	1,0	0,60	0,60	0,30	0,60	1,0
Sands	1,0	0,50	0,50	0,30	0,50	1,0

(Sumer: Wahjudi, 1999)

Tabel 2. 18 Base Coefficient β Decourt Et All (1996)

Soil / Pile	Dri ven Pile	B ored Pile	Bo red Pile (bentonik)	Conti nous Hollow Anger	oot R Pile	Infe cted pile (High Pressur e)
Clay	1,0	0,80	0,90	1,0	1,5	3,0
Interm ediate Soil	1,0	0,65	0,70	1,0	1,5	3,0
Sands	1,0	0,50	0,60	1,0	1,5	3,0

(Sumer: Wahjudi, 1999)

Cara menurut OCDI:

$$R_U = 300NA_p + 2\tilde{N}A_s$$

(2.44)

Dimana:

R_U : Daya dukung tanah maksimum (kN)

A_p : luasan pada ujung pondasi (m^2)

A_s : Luas selimut yang terbenam (m^2)

N : Nilai-N yang tertanam di sekitar ujung pondasi

\tilde{N} : rata rata nilai-N untuk total Panjang yang terbenam

Untuk perhitungan N dihitung dengan cara sebagai berikut:

$$N = \frac{N_1 + N_2}{2} \quad (2.45)$$

Dimana:

N_1 : Nilai-N pada ujung pondasi

N_2 : Rata-rata dari nilai N dalam kisaran dari tanah dasar ke level 4B di atasnya.

- Setelah daya dukung satu tiang diketahui maka daya dukung kelompok tiang harus dihitung. Daya dukung tiang pancang dalam grup harus dikoreksi dengan koefisien efisiensi (C_e). Menurut Converse-Labarre, C_e dihitung menggunakan rumus sebagai berikut,

$$C_e = 1 - \frac{\arctan\left(\frac{S_1}{S}\right)}{90} \times \left(2 - \frac{1}{m} - \frac{1}{n}\right) \quad \dots (2.8)$$

Jarak antar tiang

$$2D \leq S \leq 3D \quad (2.46)$$

Jarak tiang ke tepi luar

$$S_1 \leq D \quad (2.47)$$

Dimana:

m = jumlah baris

- n = jumlah kolom
 S = jarak antar tiang
 S1 = jarak tiang ke tepi luar

- Hitung reaksi yang didistribusikan ke kepala tiang. Hal ini berarti bahwa kelompok tiang yang menjadi satu kesatuan dalam kepala tiang harus mampu memikul beban vertikal (V), horizontal (H) dan momen (M)

3. Kalendering

Perhitungan kalendering saat pemancangan berguna untuk mengetahui daya dukung tiang sehingga bisa diketahui kapan pemancangan dihentikan. Final set adalah nilai penetrasi tiang pancang tiang tiap pukulan yang diperoleh dari hasil kalendering. Untuk kalendering digunakan rumus *Alfred Hilley Formula*.

$$Q_u = \frac{\alpha \cdot W \cdot H}{S + 0,5 \cdot C} \times \frac{W + n^2 \cdot W_p}{W + W_p} \quad (2.48)$$

Dimana:

Qu = bearing capacity of pile (ton)

α = efisiensi hammer

- 2,5 untuk hidrolik hammer
- 1,0 untuk disel hammer
- 0,75 untuk drop hammer

W = berat hammer (ton)

Wp = weight of pile (ton)

H = tinggi jatuh hummer (m)

n = Coeffisien of restitution

S = pile penetration for last blow (cm/blow)

C = total temporary compression (mm)
 = C1 + C2 + C3

$C1$ = kompresi sementara dari cushion yang mana

Menurut BSP adalah:

- Hardcushion = 3mm
- Hard cushion + packing, soft cushion = 5mm
- Soft cushion + packing = 7mm

$C2$ = kompresi sementara dari tiang

$$C2 = \frac{Qu.L}{Ap.E_{pile}} \quad (2.49)$$

Untuk tiang beton:

- 400 od = 9mm s/d 12mm
- 500 od = 10mm s/d 14mm

Untuk tiang baja:

- 500 od = 7mm s/d 11mm
- 600 od = 8mm s/d 12mm

$C3$ = kompresi sementara dari tanah, dimana nilai nominal = 2,5 mm

- Tanah keras (SPT > 50) : 0-1 mm
- Tanah sedang (SPT 20-30) : 2-3 mm
- Tanah lunak (SPT 10-20) : 4-5mm

4. Kontrol Tiang Pancang

- Titik Jepit tiang (Point of fixity)

Posisi titik jepit tiang dari permukaan tanah (Z_f) untuk *normally consolidated clay* dan *granular soil* adalah 1.8 T, di mana T adalah faktor kekakuan yang dihitung sebagai berikut:

$$T = \sqrt[5]{EI/nh} \quad (2.50)$$

Dimana:

N_h = Untuk cohesion less soil diperoleh dari Terzaghi, sedangkan untuk normally consolidated clays = 350 s/d 700 KN/m³ dan soft organic silts = 150KN/m³.

E = Modulus elastisitas Young yang tergantung dari bahan tiang pancang

I = Momen inersia dari penampang tiang pancang.

- Kontrol kuat bahan

Kontrol kekuatan bahan dilakukan dengan mengecek besarnya momen yang terjadi pada tiang pancang harus lebih kecil dari pada momen Crack bahan. Momen pada tiang pancang didapatkan dari perhitungan SAP sedangkan momen crack bahan didapatkan dari spesifikasi bahan oleh pabrik:

$$M_{\text{tiangpancang}} < M_{\text{crack}} \quad (2.51)$$

- Kontrol lendutan

$$Y = \frac{H(e + Zf)^3}{12EI} \quad (2.52)$$

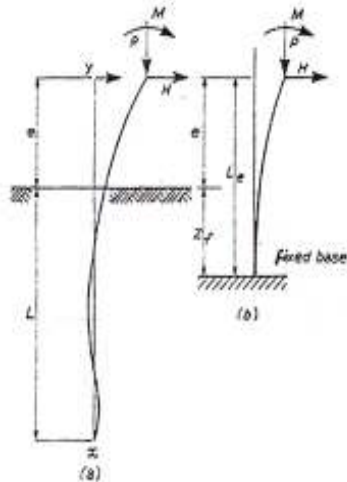
Dimana:

H = lateral load (ton)

e = jarak lateral load dengan muka tanah (m)

Zf = posisi titik jepit tanah terhadap sebuah tiang (m).

Dapat dilihat di Gambar 2. 15.



Gambar 2. 15 Posisi Titik Jepit Tiang Pancang
(Sumber: Daya Dukung Pondasi Dalam, Wahyudi)

Tabel 2. 19 Batas Defleksi Operasional Untuk Struktur Maritim

Deflection Type	Structure Type	Deflection Limit	Additional Comment
Vertical Deflections	Cantilevers	Length/180	For petrochemical or similar pipelines, use Length/200.
	Spanning beams	Span/200	Unless the beam supports special claddings or coatings requiring a more restricted deflection control. For petrochemical or similar pipelines, use Span/400
Horizontal deflections	Tops of piled bents or columns	Height/300 with a maximum of 100 mm	-
Dynamim effects (for motions in vertical or horizontal direction)	Generally	Refer to BS EN 1990:2002+A1:2005, Annex A2	-

(Sumber: BS 6349-2:2010)

- Kontrol tiang pancang berdiri sendiri
Tiang pancang dicek kekuatannya pada saat berdiri sendiri, khususnya terhadap frekuensi gelombang (ω)

Frekuensi tiang (ωt) harus lebih besar dari frekuensi gelombang supaya tiang tidak bergoyang dan patah.

Frekuensi tiang pancang dihitung dengan rumus berikut ini:

$$\omega t = 1,73 \sqrt{\frac{EI}{wl^2/g}} \quad (2.53)$$

Dimana:

ωt = frekuensi tiang

w = berat tiang pancang (kg)

l = tinggi tiang di atas tanah

g = gravitasi (m/s^2)

Frekuensi gelombang dapat dihitung dengan rumus:

$$\omega = \frac{1}{T} \quad (2.54)$$

Dimana:

ω = frekuensi gelombang

T = periode gelombang (s)

- Kontrol kuat tekuk

Untuk kontrol tekuk terhadap kelangsingan tiang dapat menggunakan rumus:

➤ Free headed conditions

$$P_{cr} = \frac{\pi^2 EI_{min}}{4(Z_f + e)^2} \quad (2.55)$$

$$P_{cr} = \frac{\pi^2 EI_{min}}{(Z_f + e)^2} \quad (2.56)$$

➤ Fixed and translating headed condition

$P_{aksial} < P_{cr}$

Dimana:

P_{cr} = daya dukung tiang kritis

e = jarak lateral load dengan muka tanah (m)

Z_f = posisi titik jepit tanah terhadap sebuah tiang (m)

I_{min} = momen Inersia minimum tiang (m^4)

5. Pemilihan Material Tiang Pancang

Pondasi tiang pancang untuk perencanaan suatu dermaga harus memenuhi pada 3 ketentuan, yaitu: kapasitas momen, biaya, dan kemudahan pemancangan.

- Kapasitas Momen

Tiang pancang memiliki kapasitas momen yang dapat kita ketahui dari spesifikasi pabrik. Untuk perhitungan tegangan ijin dari tiang pancang akan dikoreksi terhadap safety factor. Prinsip dari pemilihan material tiang pancang adalah $\sigma_{ijin} = \sigma_d * SF > \sigma_u$ (akibat beban luar)

- Biaya
- Kemudahan Pemancangan

2.5.3 Perhitungan Struktur Catwalk

Struktur catwalk adalah salah satu fasilitas dari dermaga dolphin yang berfungsi sebagai penghubung antara dermaga (loading platform) dengan breasting dolphin, penghubung antara mooring dengan breasting dolphin, serta penghubung antar mooring dolphin.

Dalam tugas akhir ini direncanakan catwalk yang berupa jembatan rangka baja dengan rangka bawah dari profil pipa. Perhitungan struktur catwalk meliputi:

- Kontrol buckling

$$\lambda < \lambda_p \rightarrow \frac{D}{t} < \frac{9000}{f_y} \text{ untuk penampang kompak}$$

(2.57)

- Kontrol kelangsingan komponen

$$\lambda = \frac{l}{r} \quad (2.58)$$

- Kontrol momen

$$\begin{aligned} \text{Momen plastis} & : M_p = Z_x \times f_u \\ \text{Momen leleh} & : M_y = S_x \times f_y \\ \text{Kontrol} & : M_p < 1,5 \times M_y \end{aligned} \quad (2.59)$$

- Kontrol gaya Tarik

$$\begin{aligned} \text{Kuat putus} & : \phi P_n = 0,75 \times A_e \times f_u \\ \text{Kuat leleh} & : \phi P_n = 0,9 \times A_g \times f_y \end{aligned} \quad (2.60)$$

- Kontrol gaya tekan

$$\lambda_c = \frac{Kl}{r \times \pi} \sqrt{\frac{f_y}{E}}$$

Untuk $\lambda_c < 1,5$ maka $F_{cr} = 0,685^{\lambda_c^2} \times f_y$

$$P_n : 0,85 \times F_{cr} \times A_g \quad (2.61)$$

- Kontrol gaya geser

$$V_n : 0,9 \times F_{cr} \times A_g/2 \quad (2.62)$$

- Kontrol tegangan bahan

$$\sigma_{aktual} = \frac{P}{A} + \frac{M}{Z_x} \quad (2.63)$$

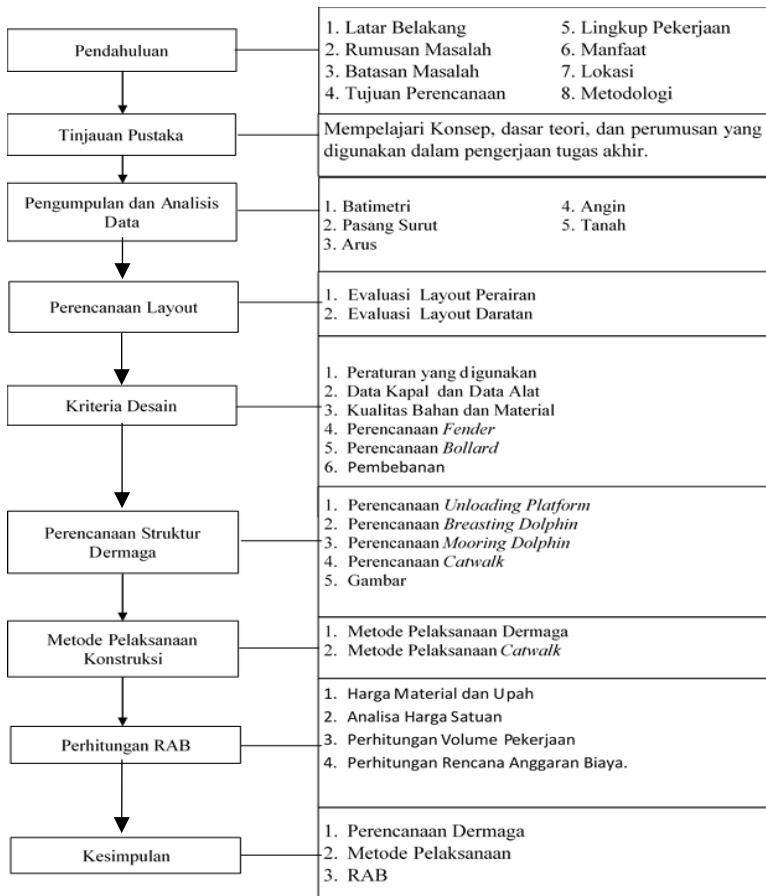
“Halaman ini sengaja dikosongkan”

BAB III METODELOGI

3.1 Diagram Alir

Bab ini menjelaskan langkah-langkah yang perlu dilakukan dalam pengerjaan Tugas Akhir, untuk lebih jelasnya dapat dilihat Gambar

Tabel 3. 1 Diagram Alir Penyelesaian Tugas Akhir



3.2 Langkah Pengerjaan Tugas Akhir

Dari gambar diagram alir diatas, dapat dijelaskan langkah-langkah pengerjaan tugas akhir sebagai berikut:

1. Pendahuluan dan Tinjauan Pustaka

- Pendahuluan

Mempelajari tentang latar belakang, perumusan masalah, tujuan perencanaan, lingkup perencanaan, batasan masalah, manfaat dan lokasi serta metodologi.

- Tinjauan Pustaka

Mempelajari tentang dasar teori, konsep, dan perumusan yang akan digunakan dalam perencanaan.

2. Pengumpulan dan Analisa Data

Data yang dikumpulkan dan digunakan untuk perencanaan adalah data sekunder yaitu:

- a. Data batimetri
- b. Data pasang surut
- c. Data arus
- d. Data angin
- e. Data tanah

Sedangkan data yang dianalisa meliputi:

- a. Analisa data bathymetri
- b. Analisa data pasang surut
- c. Analisa data arus
- d. Analisa data angin
- e. Analisa data tanah

3. Perencanaan Layout

- a. Layout Perairan

Evaluasi Layout perairan meliputi areal penjangkaram, alur masuk, kolam putar, dan kolam dermaga.

- b. Layout Daratan

- Panjang Dermaga

Dalam perhitungan kebutuhan panjang dermaga digunakan kapal rencana sesuai dengan fungsi dermaga dimana memperhatikan data kapal, yaitu

jenis kapal dan jumlah kapal yang bertambat pada dermaga rencana.

- Lebar Dermaga
Lebar dermaga tidak ditentukan secara khusus, tetapi disesuaikan dengan ruang penggunaan peralatan operasional pelabuhan seperti lebar peralatan bongkar muat serta lebar yang dibutuhkan untuk manuver truk dan alat berat lain.
- Elevasi Permukaan Dermaga
Elevasi dermaga dihitung pada saat muka air pasang tertinggi.

4. Kriteria Desain

Pada kriteria desain dilakukan beberapa penentuan serta perhitungan terhadap perencanaan dermaga yang meliputi:

- 1) Peraturan yang digunakan: Acuan-acuan yang digunakan dalam perencanaan dermaga.
- 2) Data kapal: Kriteria kapal rencana harus ditentukan pada saat merencanakan dermaga untuk mengetahui jenis kapal dan dimensi panjang kapal yang berlabuh di dermaga yang akan direncanakan. Pada umumnya data kapal yang digunakan adalah bobot kapal, panjang kapal (LOA), lebar kapal dan draft/sarat penuh kapal.
- 3) Data alat
- 4) Kualitas bahan dan material: Menentukan kualitas dan bahan material yang akan digunakan dalam perencanaan.
- 5) Perencanaan fender.
- 6) Perencanaan bollard.
- 7) Pembebanan: Perhitungan beban terdiri dari beban vertikal dan horisontal. Beban vertikal meliputi: beban mati dari berat sendiri, beban hidup terpusat dan beban hidup merata akibat muatan. Sedangkan beban horizontal meliputi gaya fender, gaya boulder, gaya arus, tekanan angin dan beban gempa.

5. Perencanaan Struktur Dermaga

Menghitung teknis perencanaan struktur dermaga dengan tahapan sebagai berikut:

- 1) Perencanaan *Unloading Platform*
- 2) Perencanaan *Breasting Dolphin*
- 3) Perencanaan *Mooring Dolphin*
- 4) Perencanaan *Catwalk*
- 5) Gambar

6. Perencanaan Metode Pelaksanaan

Perencanaan metode pelaksanaan dibagi menjadi dua sub bab:

1) Metode Pelaksanaan Dermaga

Pengadaan alat dan bahan, pemancangan, penulangan, dan pengecoran, serta hingga pemasangan aksesoris dermaga.

7. Perhitungan RAB

Analisis anggaran biaya dilakukan sesuai dengan standar dan kebutuhan yang ada. Urutan dari analisis ini yaitu,

- 1) Harga material dan upah
- 2) Analisa harga satuan
- 3) Perhitungan volume pekerjaan
- 4) Perhitungan RAB

8. Kesimpulan

Kesimpulan berupa dimensi-dimensi seluruh struktur baik atas maupun bawah beserta fasilitas dermaga, metode pelaksanaan di lapangan, serta total RAB.

BAB IV

PENGUMPULAN DAN ANALISIS DATA

4.1 Umum

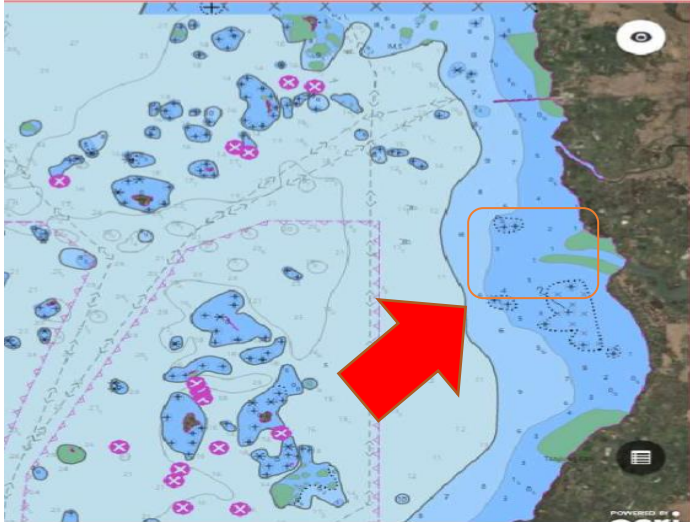
Untuk melakukan sebuah perencanaan dermaga pada dasarnya dibutuhkan data data yang berkaitan dimana nantinya akan dilakukan pengumpulan serta Analisa data. Data yang didapatkan merupakan data sekunder yang didapatkan dari berbagai macam sumber. Data yang digunakan dalam perencanaan kali ini yaitu:

4.2 Pengumpulan dan Analisis Peta Batimetri

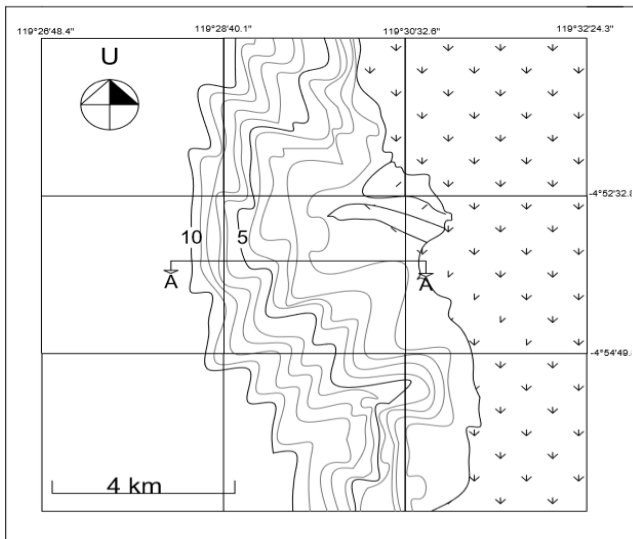
Pengambilan data yang dilakukan tidak melakukan pengukuran lapangan secara langsung, namun data dapat diambil dari data sekunder yang berasal dari Pushidrosal.

Hasil Analisa Data Batimetri

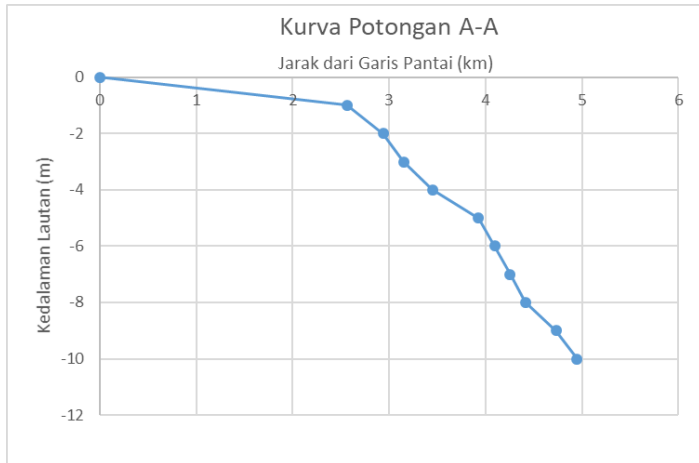
Melalui hasil dari pengamatan data, dapat disimpulkan kondisi kedalaman yang terjadi di sekitar perairan lokasi sekitar wilayah perairan dermaga untuk bagian kolam dermaga memiliki kedalaman yang relative sama. Untuk kedalamannya berkisar antara -1,00 s/d -10,00 mLWS. Berdasarkan perencanaan kebutuhan kapal yang akan bersandar membutuhkan kedalaman minimal -08,80 mLWS, maka diperlukannya pengerukan hingga didapat kedalaman yang diinginkan. Untuk jarak dari tepi daratan ke dermaga adalah sekitar 4 km.



Gambar 4. 1 Peta Batimetri Perairan Maros
(Sumber: Pushidrosal 2015)



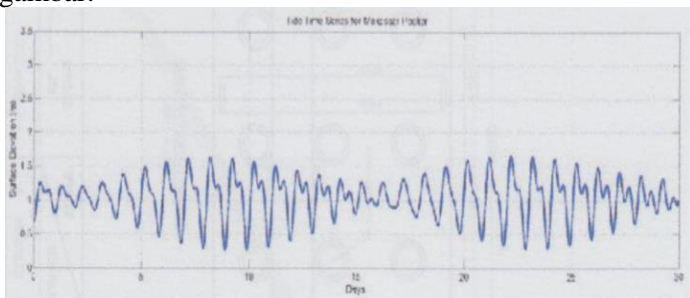
Gambar 4. 2 Batimetri Lokasi



Gambar 4. 3 Potongan A-A

4.3 Pengumpulan dan Analisis Data Pasang Surut

Data pasang surut diperlukan untuk penggambaran peta batimetri dan mengetahui pola perubahan muka air laut. Data pasang surut merupakan data sekunder yang didapat dari hasil survei. Lokasi survei pasang surut dilakukan di sekitar perairan Maros. Pengukuran dilakukan selama 30 hari dengan menggunakan alat ukur otomatis. Hasil pengukuran dapat dilihat pada gambar.



Gambar 4. 4 Hasil Pengolahan Data Pasang Surut
(Sumber: ITS Surabaya)

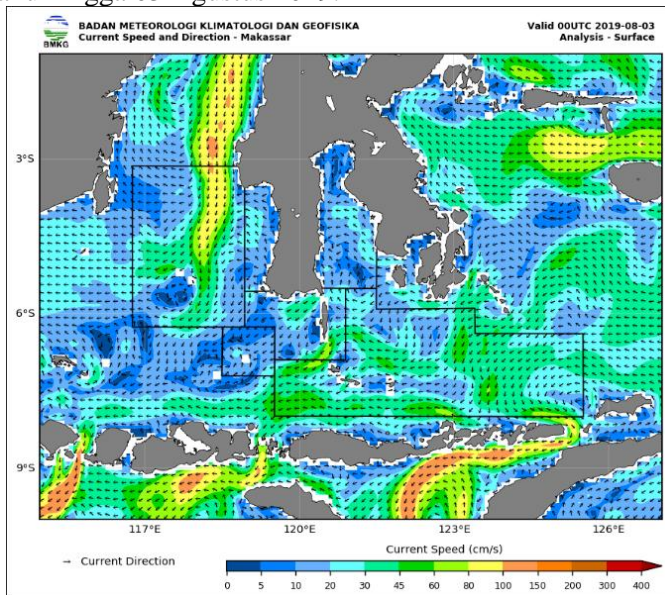
Hasil Analisis Data Pasang Surut

Didapatkan hasil dari pengolahan data tersebut berupa:

- Tipe pasang surut : Diurnal
- *High Water Spring* : +1,80 mLWS
- *Mean Sea Level* : +0,90 mLWS
- *Low Water Spring* : $\pm 0,00$ mLWS

4.4 Pengumpulan dan Analisis Data Arus

Data arus diperlukan pada perencanaan pelabuhan untuk menghindari pengaruh tekanan arus berarah tegak lurus dan pengecekan kecepatan arus dengan kecepatan maksimum 3 knot. Data arus yang dipakai merupakan data sekunder dari situs BMKG. Data arus yang didapatkan merupakan data terkini sehingga masih berlaku hingga 03 Agustus 2019.



Gambar 4. 5 Arus Perairan Makassar

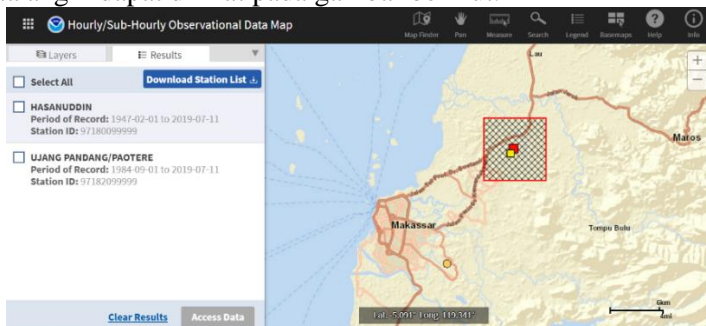
Hasil Analisis Data Arus

Berdasarkan data yang didapatkan di lokasi perencanaan, dapat diketahui bahwa:

1. Kecepatan arus dominan yang terjadi berkisar antara 0,05 – 0,1 m/dt ditandai dengan diagram warna biru agak tua.
2. Kecepatan arus maksimum berkisar antara 0,1 – 0,2 m/dt ditandai dengan diagram warna biru muda.
3. Arah arus dominan adalah arah menuju barat laut dan utara, arah dominan ini sejajar dengan garis pantai di lokasi perencanaan.
4. Kecepatan arus di lokasi perencanaan relatif kecil karena berada di perairan yang cenderung tertutup.
5. Arus tidak mengganggu manuver kapal karena tidak terjadi cross current dan kecepatan arus juga tidak melebihi kecepatan maksimum yang diizinkan yakni 3 knot (1,5 m/dt).

4.5 Pengumpulan dan Analisis Data Angin

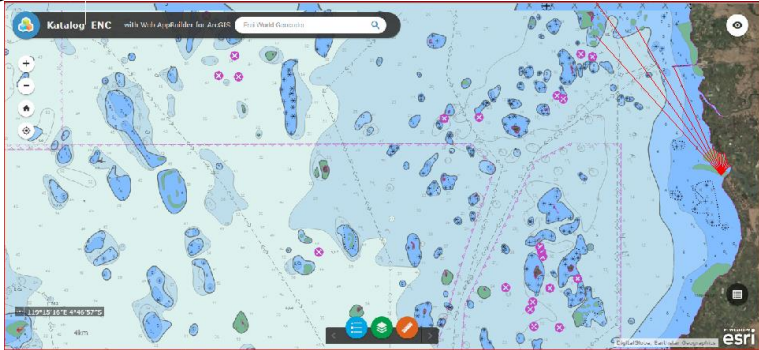
Pengambilan data yang dilakukan tidak melakukan pengukuran lapangan secara langsung, namun data dapat diambil dari data sekunder yang berasal dari suatu instansi pemerintahan yaitu *National Climate Data Centre* (NCDC). Data angin diukur dalam periode 1 jam selama 11 tahun (tahun 2008-2019). Lokasi data angin dapat dilihat pada gambar berikut.



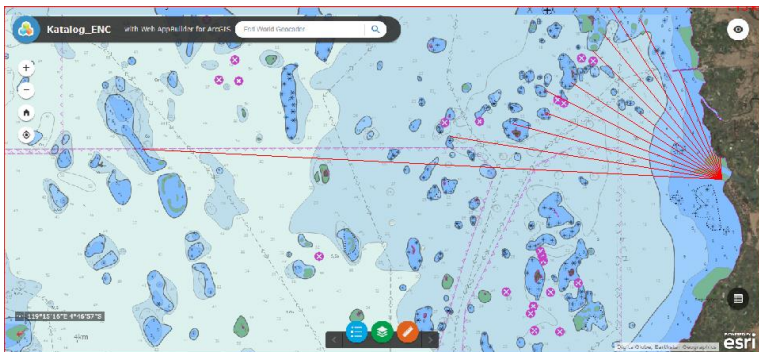
Gambar 4. 6 Lokasi pengambilan data angin
(sumber: gis.ncdc.noaa.gov)

Pengolahan data dilakukan untuk menghitung persentase dari kejadian angin serta mengklasifikasikan arah dan kecepatan angin selama interval waktu tahun 2008 sampai tahun 2019

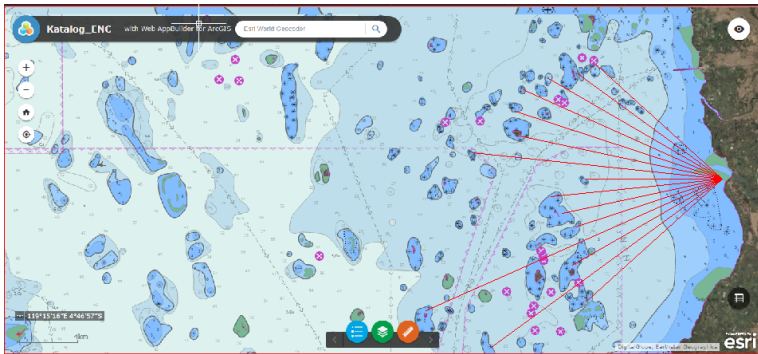
Selain itu untuk melakukan perhitungan Fetch didapatkan dari gambar berikut:



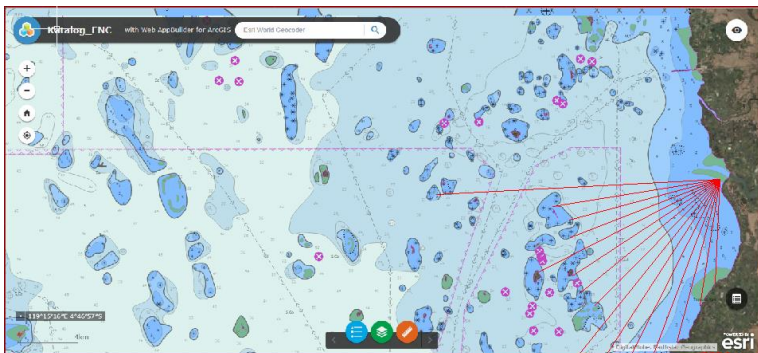
Gambar 4. 7 Fetch arah Utara



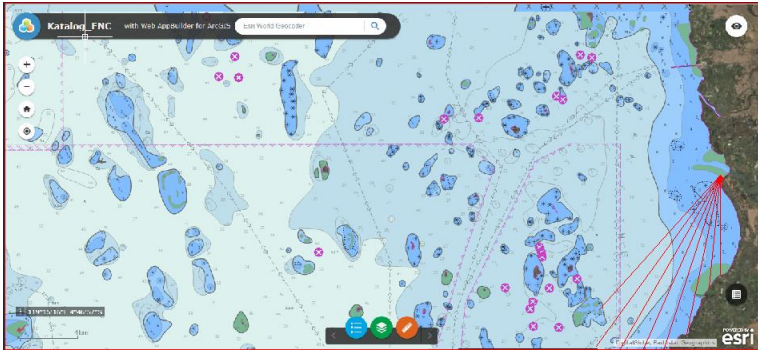
Gambar 4. 8 Fetch arah Barat Laut



Gambar 4. 9 Fetch arah Barat

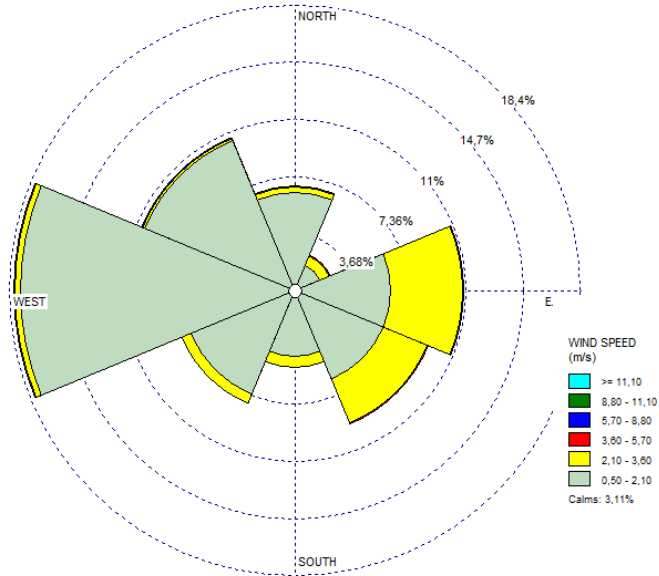


Gambar 4. 10 Fetch arah Barat Daya



Gambar 4. 11 Fetch arah Selatan

Hasil Analisis Data Angin



Gambar 4. 12 Wind Rose Perairan Maros

Tabel 4. 1 Frekuensi rata-rata kejadian angin selama 11 tahun

Frekuensi Distribusi Kecepatan Angin (%)							
Arah Angin	Kecepatan Angin (m/s)						Total
	0,5 - 2,1	2,1 - 3,6	3,6 - 5,7	5,7 - 8,8	8,8 - 11,1	>= 11,1	
N	6,340	0,366	0,026	0,001	0,001	0	6,734
NE	1,763	0,659	0,052	0,001	0	0	2,474
E	6,163	4,605	0,109	0,002	0	0,001	10,878
SE	6,184	3,069	0,085	0,002	0	0	9,339
S	4,252	0,726	0,024	0	0	0,001	5,003
SW	7,248	0,620	0,040	0,001	0,001	0	7,909
W	17,589	0,403	0,020	0,001	0	0	18,013
NW	10,451	0,162	0,010	0,001	0	0	10,624
Sub-Total	59,991	10,610	0,365	0,006	0,001	0,001	70,975
Calms							3,110
Missing							25,915
Total							100

Dari Gambar 4. 12 dapat dilihat pola angin di sekitar perairan Maros dengan frekuensi periode 10 tahun angin dominan arah Barat (18%) dengan kecepatan maksimum 11,1 m/dt.

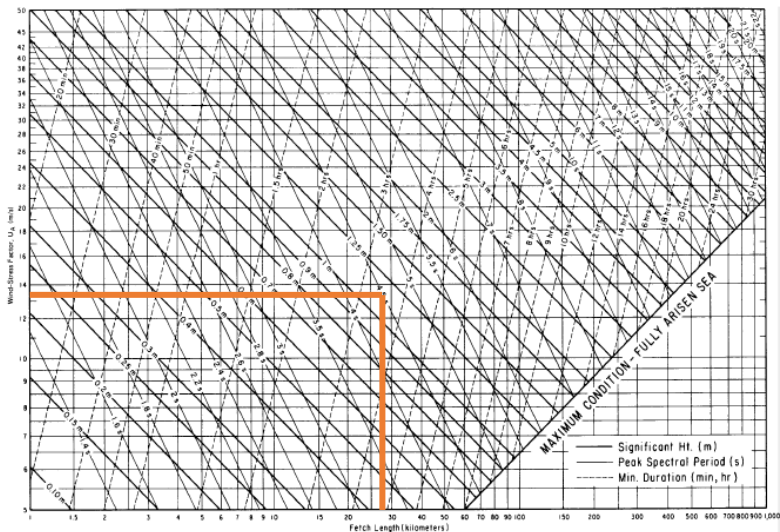
Untuk hasil perhitungan Fetch:

Tabel 4. 2 Hasil Perhitungan Fetch

α	$\cos \alpha$	Xi (km)					Xi. $\cos \alpha$				
		U	BL	B	BD	S	U	BL	B	BD	S
42	0,743	0,913	1,508	11,854	19,806	12,400	0,678	1,121	8,809	14,719	9,215
36	0,809	0,879	1,606	12,286	11,834	19,500	0,711	1,300	9,940	9,574	15,776
30	0,866	0,939	1,815	13,903	10,890	20,000	0,813	1,571	12,041	9,431	17,321
24	0,914	0,965	8,048	15,145	11,163	25,400	0,881	7,353	13,836	10,198	23,204
18	0,951	1,137	12,548	15,116	14,158	12,800	1,081	11,984	14,376	13,465	12,174
12	0,978	1,392	15,000	14,347	12,258	11,290	1,362	14,672	14,033	11,990	11,044
6	0,995	1,534	12,992	17,363	12,489	7,881	1,525	12,921	17,268	12,420	7,837
0	1,000	1,524	12,613	9,424	12,352	6,923	1,524	12,613	9,424	12,352	6,923
6	0,995	1,555	7,327	11,923	200,000	0,745	1,546	7,287	11,857	198,904	0,741
12	0,978	1,700	12,415	11,326	20,000	0,442	1,663	12,143	11,078	19,563	0,432
18	0,951	2,021	13,794	10,713	16,500	0,406	1,922	13,118	10,189	15,692	0,387
24	0,914	8,185	13,032	22,477	13,600	0,392	7,478	11,906	20,534	12,424	0,358
30	0,866	11,906	14,973	11,987	11,705	0,363	10,311	12,967	10,381	10,137	0,314
36	0,809	14,500	19,071	19,795	8,819	0,342	11,731	15,429	16,015	7,135	0,277
42	0,743	12,955	40,260	12,535	7,171	0,294	9,627	29,919	9,316	5,329	0,218
total	13,511						52,855	166,253	189,096	363,334	106,220
Fetch Efektif (km)							4	12	14	27	8

Dari peramalan fetch di atas didapatkan bahwa fetch efektif terbesar adalah 27 km yakni pada arah Barat Daya. Hal ini menunjukkan bahwa pada lokasi perencanaan termasuk dalam perairan terbuka. Selanjutnya dilakukan peramalan gelombang dari data angin dan fetch sebagai pembangkit utama gelombang. Dari peramalan tersebut dapat diketahui tinggi gelombang serta periode gelombang dengan menggunakan persamaan sebagai berikut:

$$\begin{aligned}
 F &= 27 \text{ km} \\
 U &= 11,1 \text{ m/s (diambil kecepatan angin maksimum yang terjadi tahun 2004-2014)} \\
 U_A &= 0,71 \times U^{1,23} \\
 U_A &= 0,71 \times 11,1^{1,23} = 13,71 \text{ m/s}
 \end{aligned}$$



Gambar 4. 13 Nomogram kurva prediksi gelombang laut

Maka dari kurva tersebut didapatkan:

Tinggi Gelombang = 1,2 m

Periode Gelombang = 4,5 s

Dari perhitungan tersebut didapatkan bahwa kapal tidak dapat beroperasi, sehingga dibutuhkan breakwater pada daerah tersebut. ($H_s = 1,2 \text{ m} < H_{\text{ijin}} = 0,5 \text{ m}$). Dimana H_{ijin} kapal dapat dilihat di Tabel 2. 1

4.6 Pengumpulan dan Analisis Data Tanah

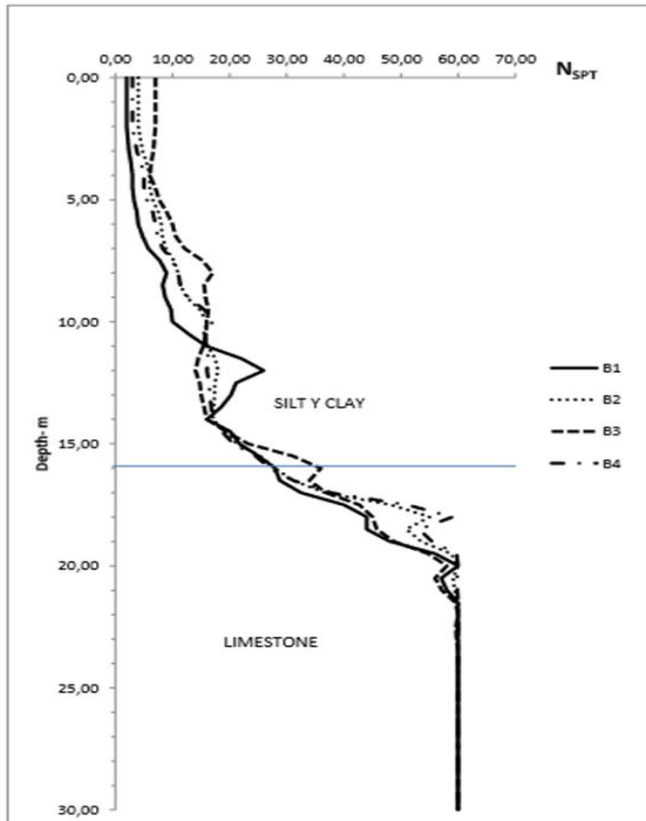
Data tanah yang dipergunakan diperoleh dari pekerjaan soil investigation di lokasi perencanaan dermaga. Dengan data penunjang yang menghasilkan data SPT.

Hasil Analisis Data Tanah

Data tanah yang dipergunakan diperoleh dari pekerjaan soil investigation di lokasi perencanaan dermaga. Stratigrafi tanah pada Gambar 4. 14. juga menunjukkan bahwa data tanah dari lokasi B1, B2, B3, dan B4 konsisten.

Kedalaman yang diambil sampai dengan 30 m. Dari hasil bor dan SPT yang dilakukan, diketahui bahwa tanah keras ($SPT > 25$, cohesive soil) berada pada kedalaman 16 m, $SPT = 28$ dengan jenis tanah lanau berlempung dengan sedikit pasir.

Kemudian dari data tersebut dicari daya dukung tanah untuk menentukan kebutuhan pondasi. Perhitungan daya dukung tanah menggunakan metode Luciano Decourt seperti pada Perhitungan Struktur Bawah. Daya dukung dihitung untuk tiang pancang baja dengan beragam diameter. Hasil perhitungan dapat lihat pada



Gambar 4. 14 Data Nspt

Perhitungan daya dukung tiang pancang menggunakan metode Luciano Decourt (1982). Contoh perhitungan daya dukung tanah untuk 1 tiang pancang baja dengan data sebagai berikut:

- Tipe pondasi = Steel Pipe Pile (Driven)
- Diameter = 812,8 mm
- Lokasi = B1
- Kedalaman = - 10 m (dari seabed)
- Nilai SPT (N) = 17 Pukulan

1. Koreksi Nilai N-SPT Terhadap Muka Air

Koreksi terhadap muka air tanah, untuk jenis tanah lempung, lanau dan pasir kasar. Khusus untuk tanah pasir halus, pasir berlanau, dan pasir berlampang yang berada dibawah muka air.

Bila $N > 15$

$$N_1 = 15 + \frac{1}{2}(N-15)$$

$$N_1 = 0,6 N$$

Dipilih harga N_1 terkecil diantara dua perumusan tersebut.

Contoh perhitungan pada kedalaman 10 m dengan nilai N adalah 17, karena nilai N_{spt} nya melebihi 15 maka perlu dikoreksi karena jenis tanah lempung.

$$N_1 = 16$$

$$N_1 = 10,2 \text{ (Menentukan)}$$

2. Koreksi Nilai N-SPT Terhadap Overburden Pressure

Hasil dari koreksi N_1 dikoreksi lagi untuk pengaruh tekanan vertikal efektif pada lapisan tanah dimana harga N tersebut didapatkan.

$$N_2 = \frac{4N_1}{1 + 0,4 p_o} ; \text{bila } p_o < 7,5 \text{ ton/m}^2$$

Atau

$$N_2 = \frac{4N_1}{3,25 + 0,1 p_o} ; \text{bila } p_o > 7,5 \text{ ton/m}^2$$

Harga N_2 harus $\leq 2N_1$

Bila dari koreksi didapat $N_2 > 2N_1$ dibuat $N_2 = 2 N_1$

$$N_2 = \frac{4(10,2)}{1 + 0,4 (0,7)} ; \text{bila } p_o < 7,5 \text{ ton/m}^2$$

$$N_2 = 31,875$$

$$2N_1 = 20,4 \text{ (Menentukan)}$$

3. Daya dukung di ujung tiang (Q_p)

$$Q_p = \alpha \times N_p' \times K \times A_p$$

Dimana:

$$\alpha = 1 \text{ (Driven Pile)}$$

$$N = 20,4$$

$$\begin{aligned}
 N_p' &= \text{Harga rata - rata SPT koreksi disekitar 4D keatas dan} \\
 &\quad \text{4D dibawah dasar tiang} \\
 &= (16+18+22+26+20,4+19,2+20,4+20,4+20,4)/9 \\
 &= 20,31 \text{ blows}
 \end{aligned}$$

$$K = 20 \text{ t/m}^2 \text{ (lempung berlanau)}$$

$$\begin{aligned}
 A_p &= 0,25 \times \pi \times D^2 \\
 &= 0,25 \times 3,14 \times 0,8122 \\
 &= 0,5028 \text{ m}^2
 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 Q_p &= 1 \times 20,31 \times 20 \times 0,5028 \\
 &= 204,3 \text{ ton}
 \end{aligned}$$

4. Daya dukung akibat gesekan tanah dengan tiang (Q_s)

$$Q_s = \beta \times \left(\frac{N_s}{3} + 1 \right) \times A_s$$

Dimana:

$$\beta = 1 \text{ (Driven Pile)}$$

N_s = Rata rata SPT sepanjang tiang tertanam yang telah dikoreksi dengan Batasan $3 \leq N \leq 50$

$$\begin{aligned}
 A_s &= \pi \times D \times h \\
 &= 3,14 \times 0,8128 \times 10 \\
 &= 25,55 \text{ m}^2
 \end{aligned}$$

$$Q_s = 1 \times \left(\frac{13,49}{3} + 1 \right) \times 25,55$$

$$Q_s = 140,4 \text{ ton}$$

5. Daya dukung ultimate dan izin (Q_u dan Q_{ijin})

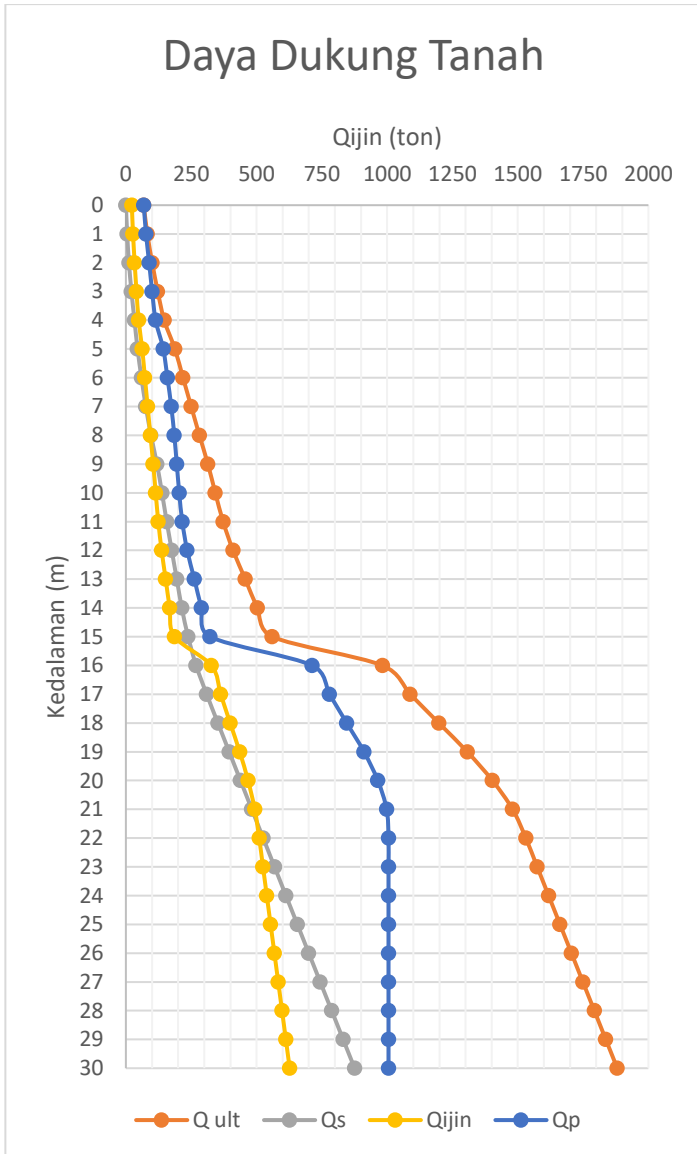
$$\begin{aligned}
 Q_u &= Q_p + Q_s \\
 &= 204,3 + 140,4 \\
 &= 344,74 \text{ ton}
 \end{aligned}$$

$$Q_{ijin} = \frac{Q_u}{SF}$$

$$Q_{ijin} = \frac{344,7}{3}$$

$$Q_{ijin} = 114,9 \text{ ton}$$

Untuk Data tanah pada BH 5, setiap kedalaman dihitung Q_u – nya kemudian diplot dalam grafik yang hasilnya terlihat pada Gambar 4. 15



Gambar 4. 15 Daya dukung tanah (Luciana De Court)

Perhitungan daya dukung tiang pancang menggunakan metode OCDI. Contoh perhitungan daya dukung tanah untuk 1 tiang pancang baja dengan data sebagai berikut:

- Tipe pondasi = Steel Pipe Pile (Driven)
- Diameter = 812,8 mm
- Lokasi = B1
- Kedalaman = - 16 m (dari seabed)
- Nilai SPT (N) = 29 Pukulan

1. Menentukan N_1

$$N_1 : 29$$

2. Menentukan N_2

$$\text{Rata-rata nilai-N 4B keatas} = \frac{29+22+17+17+17}{5} = 20,4$$

3. Menentukan N

$$\frac{N_1 + N_2}{2} = \frac{29 + 20,4}{2} = 24,7$$

4. Menentukan \tilde{N}

Rata-rata nilai N dari dasar tanah hingga pada kedalaman yang diukur.

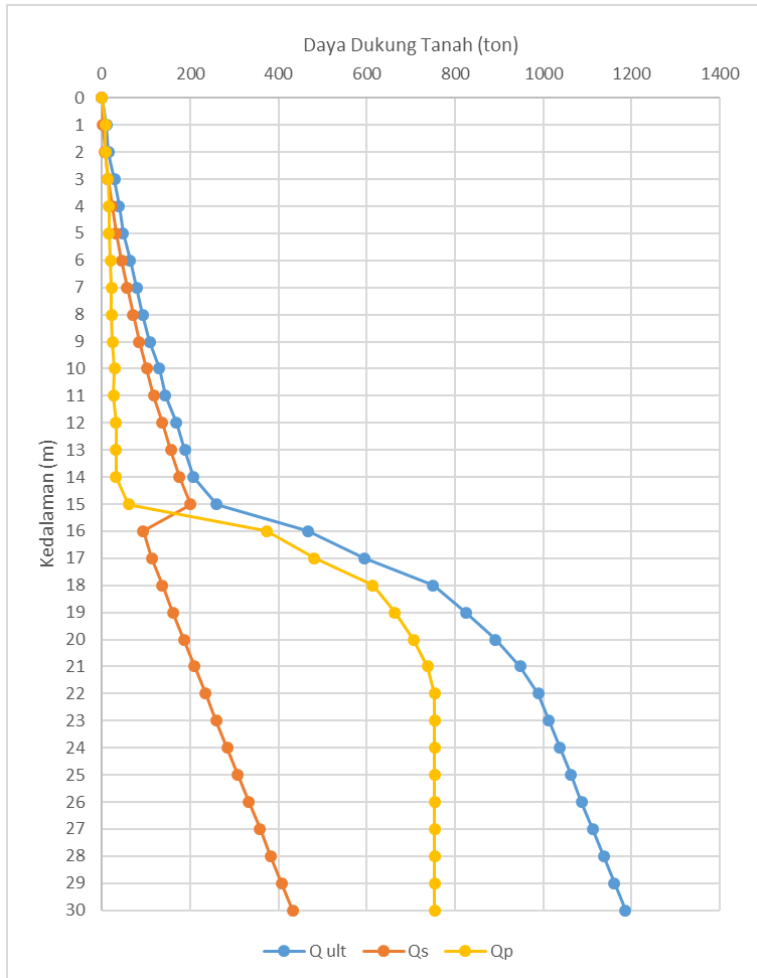
$$\frac{3+3+5+6+6+8+9+11+13+17+16+17+17+17+22+29}{17} = 11,706$$

5. Daya dukung ultimate (R_u)

$$R_u = 300NA_p + 2\tilde{N}A_s$$

$$R_u = 300 \times (24,7) \times (0,50265) + 2 \times (11,706) \times (40,212)$$

$$R_u = 466,612 \text{ ton}$$



Gambar 4. 16 Daya dukung tanah (OCDI)

BAB V EVALUASI LAYOUT

5.1 Umum

Salah satu hal yang terpenting untuk dilakukan ialah mengevaluasi layout, ini bertujuan untuk menentukan perencanaan dermaga apakah sudah memenuhi dengan peraturan perencanaan yang ada. Perencanaan ini harus memperhatikan semua aspek untuk memenuhi persyaratan yang mengacu pada peraturan yang dipakai, mulai dari dimensi yang harus diperhatikan untuk melayani keperluan bongkar kapal, hingga elevasi dermaga untuk mengantisipasi *overtopping* air. Kedalaman dan jarak dari setiap *dolphin* pun harus sesuai dengan peraturan yang ada.

5.2 Proses Bongkar (*Unloading*)

Dalam melakukan proses bongkar dibutuhkan suatu proses yang cukup panjang dan sulit untuk dilakukan dikarenakan muatan yang ada pada kapal merupakan hal yang sangat penting. Berikut adalah urutan dari proses muat pada kapal yang mengangkut produk LNG:

1. Kapal tanker menunggu di anchorage area menunggu proses persetujuan *Notice of Readiness* yang diserahkan pada pihak pengelola dermaga.
2. Dokumen kesiapan kapal diserahkan kembali pada kapal tanker.
3. Kapal tunda menjemput kapal tanker dan mengarahkan kapal tanker menuju ke arah dermaga.
4. Kapal tanker berputar didepan dermaga dan memulai proses bertambat dengan memasang tali tambat ke dermaga.
5. Mesin penggerak kapal dimatikan untuk keamanan proses bongkar muat.
6. *Tower Gangway* dipasang ke kapal untuk lalu lintas pekerja pada proses bongkar muat.
7. *Marine Loading Arm* dipasang ke kapal melalui *transfer line* untuk menyalurkan muatan gas.

8. Muatan mulai disalurkan melalui pipa ke kapal dengan menggunakan pompa.
9. Proses penyaluran dari kilang penyimpanan aspal didarat ke kapal diperlambat.
10. Proses penyaluran muatan ke kapal telah selesai.
11. Pembersihan pada *Marine Loading Arm* dengan mengosongkan sisa minyak pada saluran menggunakan nitrogen.
12. *Marine Loading Arm* dilepas dari kapal.
13. Nahkoda dan Anak Buah Kapal bersiap dan menyiapkan kapal.
14. *Tower gangway* dilepas dari kapal.
15. Mesin kapal mulai dinyalakan kembali
16. Tali tambat kapal dilepaskan dari dermaga
17. Kapal tunda menjemput kapal tanker dan mengarahkan kapal tanker menuju perairan terbuka.
18. Kapal tanker meninggalkan Kawasan Perairan dan proses muat telah selesai.

5.3 Kapal Rencana

Kapal yang digunakan dalam perencanaan dermaga LNG ialah kapal 10.000 DWT untuk proses *unloading*. Berdasarkan data rencana yang dimiliki, diperoleh spesifikasi kapal sebagai berikut:

LOA	= 143,5 m
LBP	= 134,7 m
B	= 23,1 m
Depth	= 11,5 m
Draft	= 8 m
Draft Ballast	= 5,5 m
Displacement	= 17.861 ton
Kapasitas	= 13500 m ³

5.4 Evaluasi Layout Perairan

Perencanaan ini meliputi perencanaan area penjangkaran, alur masuk, kolam putar, serta kolam dermaga dengan pertimbangan kapal yang digunakan berkapasitas 10.000 DWT.

5.4.1 Layout Rencana Awal

Berdasarkan masterplan yang didapatkan, diketahui layout perairan sebagai berikut:

Tabel 5. 1 Layout Rencana Awal

Fasilitas Perairan		Ukuran
Areal Penjangkaran	Radius	0 m
	Jumlah	0
	Kedalaman	0 m
Alur Masuk	Lebar	0 m
	Stopping Distance	0 m
	Kedalaman	0 m
	Jari-jari tikungan	0 m
Kolam Putar	Diameter	0 m
	Kedalaman	0 m
Kolam Dermaga	Lebar	0 m
	Panjang	0 m
	Kedalaman	0 m

5.4.2 Areal Penjangkaran

Areal penjangkaran dalam perencanaan kali ini diasumsikan pada kondisi perairan dengan penjangkaran yang baik sehingga berdasarkan Gambar 8. didapat radius areal penjangkaran sebagai berikut.

Direncanakan:

$$H = 14 \text{ m}$$

$$n = 4 \text{ buah}$$

maka:

$$R = L + 6h$$

$$R = 143,5 + 6 (14)$$

$$R = 227,5 \text{ m} \approx 230 \text{ m}$$

Karena dibutuhkan 4 buah areal penjangkaran, maka menjadi sebagai berikut:

$$R = 230 \times 4$$

$$R = 920 \text{ m}$$

5.4.3 Alur Masuk

a. Panjang Alur Masuk

Panjang alur masuk yang direncanakan berdasar kebutuhan jarak kapal untuk mengurangi kecepatan kapal sampai memasuki alur hingga kecepatan menjadi nol di kolam putar. Panjang alur disediakan bertujuan untuk menghindari terjadinya kecelakaan akibat kapal tidak memiliki jarak cukup untuk mengerem atau mengurangi kecepatan. Panjang jarak berhenti ini dikenal dengan *stopping distance* (S_d) dan menjadi faktor utama penentuan panjang alur.

Berdasarkan peraturan yang ada, panjang alur dihitung dengan pertimbangan berikut:

- Kapal menurunkan kecepatan ± 9 knot ke 4 knot selama sekitar 15 menit sambil menunggu kapal tunda mengambil posisi membutuhkan jarak 2.300 m
- Ditambah jarak 1 LoA sebelum kapal tunda mendekat
- Ditambah jarak untuk berhenti dengan bantuan kapal tunda = 2 LoA
- Total panjang alur minimal = 3 LOA + 2.300 m.

$$S_{dmin} = (3 \times 143,5) + 2.300 \text{ m} = 2.730,5 \text{ m} \approx 2.750 \text{ m}$$

Jadi, panjang alur minimal yang dibutuhkan sepanjang 2.750 m. Panjang alur harus disesuaikan dengan kedalaman nominal yang dibutuhkan kapal ketika memasuki alur masuk

b. Lebar Alur Masuk

Hal hal yang harus dipertimbangkan yaitu kemungkinan kapal berpapasan dengan kapal lain atau tidak. Perencanaan ini menggunakan alur *oneway traffic* dikarenakan lokasi dermaga berada disekitar alur pelayaran sehingga hanya direncanakan untuk bertambat satu kapal saja. Berdasarkan peraturan yang digunakan yaitu PIANC, 2014 lebar alur dihitung dengan perumusan sebagaimana pada persamaan (2.11).

- Kedalaman : Kecepatan kapal saat merapat 0,39 knots. Perairan pada daerah Maros berada pada perairan terbuka sehingga berdasarkan Tabel 2. 6 digunakan $h = 1,2 \text{ Draft}$.

$$h = 1,2D = 1,2 \times (8)$$

$$h = 9,6 \approx 10 \text{ m}$$

- Lebar basic maneuvering lane, WBM, pada Tabel 2. 3 kapal tanker termasuk kategori poor dalam manuver. Sehingga, $WBM = 1,8B$
- Untuk menentukan lebar tambahan pada WBM, W_i , ada sembilan faktor (Tabel 2. 4) yang harus diperhatikan. Pada poin:
 - a. Diketahui kecepatan kapal saat merapat $V_B = 0,2 \text{ m/s} = 0,39 \text{ knots (slow)}$ sehingga 0,0 B.
 - b. Diketahui kecepatan angin maksimum 11,1 m/dt (21,58 knots) sehingga masuk kedalam kategori moderate dengan kecepatan lambat, 0,6 B.
 - c. Tidak terjadinya cross-current di lokasi rencana sehingga masuk ke dalam kategori negligible, 0,0 B.
 - d. Diketahui kecepatan rata-rata arus maksimum 0,1 – 0,2 m/dt (0,2 – 0,4 knots) sehingga masuk kedalam kategori low, 0,0 B.
 - e. Gelombang di perairan Maros sangat kecil, yaitu sebesar 0,46 m, maka $H_s \leq 1 \text{ m}$, 0,0 B.

- f. Lokasi island berth masuk kedalam kategori moderate dikarenakan kondisi pelayaran tidak memiliki sarana bantu navigasi pelayaran yang jelas, maka $0,4 B$.
- g. Diketahui kedalaman alur pelayaran 10 m dan draught maksimum (T) kapal 8 m sehingga $h < 1,5 T = 9 \text{ m} < 12 \text{ m}$, $0,1 B$.
- h. Diketahui $1,5 T > h \geq 1,25 T = 12 \text{ m} > 10 \text{ m} \geq 10 \text{ m}$, sehingga dikarenakan perairan terbuka didapatkan $0,1 B$.

Setelah diketahui semua unsur yang harus diperhatikan, didapat:

$$\Sigma W_i = (0 + 0,6B + 0 + 0 + 0 + 0,4B + 0,1B + 0,1B)$$

$$\Sigma W_i = 1,2B$$

- Lebar bank clearance, W_{BR} / W_{BG} , pada Tabel 2. 5. Dengan kecepatan kapal saat merapat yang lambat dan kondisi tepi saluran miring dan dangkal maka didapatkan $0,3B$.
- Sehingga untuk lebar keseluruhan sesuai dengan persamaan (2.11), yaitu:

$$W = W_{BM} + \Sigma W_i + W_{BR} + W_{BG}$$

$$W = 1,8B + 1,2B + 0,3B + 0,3B$$

$$W = 3,6B = 3,6 \times (23,1)$$

$$W = 83,16 \approx 84 \text{ m}$$

5.4.4 Kolam Putar

Kolam putar berada di ujung alur masuk atau dapat diletakkan di sepanjang alur bila alurnya panjang. Kapal diharapkan dapat bermanuver dengan kecepatan rendah (mendekati nol) atau dipandu. Areal yang disediakan dibatasi dengan bentuk lingkaran berdiameter (Db). Kedalaman perairan dapat disamakan dengan alur masuk. Penentuan areal kolam putar didasari oleh KM No. 54 Tahun 2002, dimana $Db \geq 2 \text{ LOA}$ dibantu dengan kapal pandu.

- Kedalaman kolam putar = kedalaman alur pelayaran
Kedalaman kolam putar = $- 10 \text{ mLWS}$

- Areal kolam putar, $Db = 2 \text{ LOA} = 2 \times 143,5$
Areal kolam putar, $Db = 287 \text{ m} \approx 290 \text{ m}$

5.4.5 Kolam Dermaga

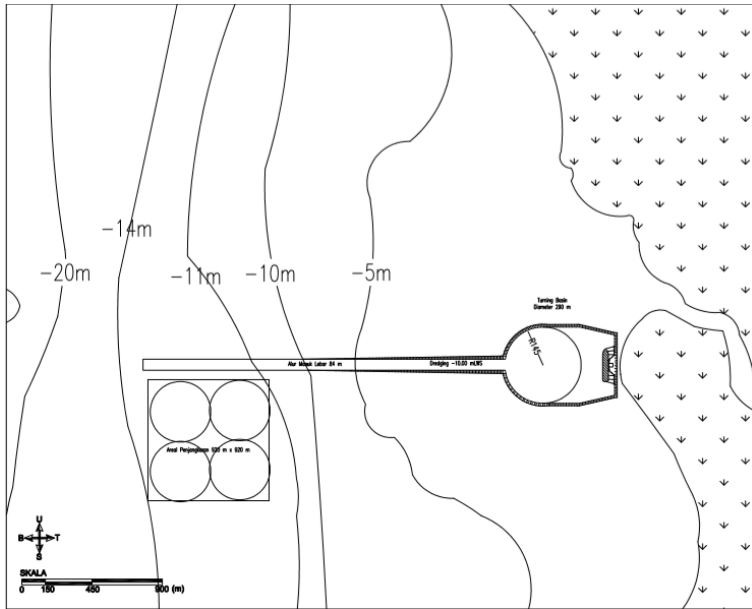
- Lebar : Dermaga direncanakan pada posisi bebas.
W : $1,25 \times B$: $1,25 \times 23,1$
W : $28,875 \approx 30 \text{ m}$
- Panjang : Direncanakan dengan dibantu kapal pandu.
L : $1,25 \times \text{LOA}$: $1,25 \times 143,5$
L : $179,375 \approx 180 \text{ m}$
- Kedalaman
Diasumsikan kedalaman areal berlabuh kapal sama dengan kedalaman pada alur masuk, -10 mLWS.

5.4.6 Pengerukan

Kedalaman areal pengerukan yang dibutuhkan mencapai -10 mLWS sedangkan disekitar lokasi perencanaan tidak sesuai dan tidak dapat dilakukan penggeseran dermaga ke laut yang lebih dalam dikarenakan terlalu jauh sepanjang 4 km dari daratan hingga mencapai kedalaman yang dibutuhkan. Maka alternatif yang dapat dilakukan adalah melakukan pengerukan mulai dari lokasi perencanaan dermaga hingga alur masuk pelayaran. Area yang dikeruk dapat dilihat pada Gambar. Dimensi pengerukan mengikuti sesuai perhitungan kebutuhan alur pelayaran, kolam putar, dan kolam dermaga.

5.4.7 Hasil Evaluasi Layout Perairan

Hasil evaluasi layout perairan berupa gambar yang dapat dilihat pada Tabel dan Gambar



Gambar 5. 1 Hasil Layout Perairan

Tabel 5. 2 Evaluasi Layout Perairan

Fasilitas Perairan		Awal	Evaluasi	Digunakan
Areal Penjangkaran	Radius	0 m	230 m	230 m
	Jumlah	0	4	4
	Kedalaman	0 mLWS	-14 mLWS	-14 mLWS
Alur Masuk	Lebar	0 m	84 m	84 m
	Stopping Distance	0 m	2750 m	2750 m
	Kedalaman	0 mLWS	-10 mLWS	-10 mLWS
	Jari-jari tikungan	0 m	- m	- m
Kolam Putar	Diameter	0 m	290 m	290 m
	Kedalaman	0 mLWS	-10 mLWS	-10 mLWS
Kolam Dermaga	Lebar	0 m	30 m	30 m
	Panjang	0 m	180 m	180 m
	Kedalaman	0 mLWS	-10 mLWS	-10 mLWS

5.5 Evaluasi Layout Daratan

Perencanaan ini meliputi perencanaan *Unloading platform*, *breasting dolphin*, *mooring dolphin*, *catwalk* dengan pertimbangan kapal yang digunakan berkapasitas 10.000 DWT

5.5.1 Layout Rencana Awal

Berdasarkan masterplan yang didapatkan, diketahui layout daratan sebagai berikut:

Tabel 5. 3 Rencana Awal Layout Daratan

Fasilitas Daratan		Dimensi
<i>Unloading Platform</i>	Lebar	0 m
	Panjang	0 m
<i>Breasting Dolphin</i>	Jarak Inner	0 m
<i>Mooring Dolphin</i>	Jarak Inner	0 m
	Jarak Outer	0 m
	Jarak Vertikal	0 m
	Jarak Antar	0 m
Catwalk	Panjang	0 m
	Lebar	0 m

5.5.2 Unloading Platform

- Elevasi

Elevasi dermaga dipengaruhi oleh besarnya beda pasang surut, kenaikan muka air laut, dan peramalan gelombang pada daerah tersebut. Hal ini dikarenakan adanya peralatan Marine Loading Arm yang diharuskan terhindarnya dari sentuhan air laut. Berdasarkan pengolahan data didapatkan beda pasang surut sebesar +1,8 mLWS, serta peramalan gelombang untuk 50 tahun kedepan didapatkan sebesar 3,5 m, sedangkan untuk kenaikan muka air laut menurut Kepala Pusat Penelitian dan Pengembangan Sumber

Daya Laut dan Pesisir Kementerian Kelautan perairan pesisir perairan di Indonesia mengalami kenaikan sebesar 0,76 cm/tahun. Maka didapatkan elevasi dermaga minimum dengan rumus:

El = Beda pasang surut + Kenaikan Muka Air laut + Peramalan gelombang

$$El = 1,8 \text{ m} + 0,5 \text{ m} + 3,5 \text{ m}$$

$$El = +5,8 \approx +6,0 \text{ mLWS}$$

- Dimensi
Dimensi utama dari Unloading Platform ditentukan oleh jarak yang dibutuhkan Marine Loading Arm (MLA), gangway tower, papan navigasi, dan fire monitor tower. Sehingga, untuk perencanaan dermaga di perairan Maros ini digunakan dimensi 22 x 19 m. Diletakkan 2 m di belakang breasting dolphin untuk mengantisipasi benturan ketika kapal bertambat (Unloading platform tidak difungsikan sebagai fender) dan jangkauan MLA ke kapal.

5.5.3 Breasting Dolphin

- Elevasi
Elevasi breasting dolphin dipengaruhi oleh besarnya beda pasang surut. Berdasarkan beda pasang surut, +1,8 mLWS, didapat elevasi breasting dolphin minimum dengan rumus:
El = Beda pasang surut + 1,5
El = 1,8 + 1,5
El = +3,3 mLWS
- Jarak antar breasting dolphin
S = (0,25 – 0,4) x LOA
S = (0,25 – 0,4) x 143,5 m
S = 45 m
- Dimensi
Direncanakan breasting dolphin dengan dimensi 5,4 m x 5,2 m.

5.5.4 Mooring Dolphin

- Elevasi
Elevasi breasting dolphin dipengaruhi oleh besarnya beda pasang surut. Berdasarkan beda pasang surut, +1,8 mLWS, didapat elevasi breasting dolphin minimum dengan rumus:

$$El = \text{Beda pasang surut} + 1,5$$

$$El = 1,8 + 1,5$$

$$El = +3,3 \text{ mLWS}$$

- Jarak penempatan
Mooring Dolphin harus diatur sedemikian rupa sehingga sudut horizontal yang dibutuhkan oleh tali tidak melebihi ketentuan yang berlaku serta dapat menjangkau titik ikatan pada kapal.

- Outter

$$S_{\max} = 1,35 \times \text{LOA}$$

$$S_{\max} = 1,35 \times 143,5$$

$$S_{\max} = 193,725 \text{ m} \approx 195 \text{ m}$$

- Inner

$$S_{\max} = 0,8 \times \text{LOA}$$

$$S_{\max} = 0,8 \times 143,5$$

$$S_{\max} = 114,8 \text{ m} \approx 115 \text{ m}$$

- Jarak dengan kapal

Mooring dolphin diletakkan 38 m dari badan kapal

- Kebutuhan Mooring Kapal

Tabel 5. 4 Kebutuhan serta jarak Bollard

Gross tonnage of vessel	Maximum interval of bollards (m)	Minimum number of bollards per berth (unit)
Less than 2,000 GT	10 ~ 15	4
2,000 GT or greater, and less than 5,000 GT	20	6
5,000 GT or greater, and less than 20,000 GT	25	6
20,000 GT or greater, and less than 50,000 GT	35	8
50,000 GT or greater, and less than 100,000 GT	45	8

Gas carrier:

$$GT = 1,185 \times \text{DWT}$$

$$GT = 1,185 \times 10000$$

$$GT = 11.850 \text{ GT}$$

Berdasarkan tabel tersebut, digunakan 6 mooring agar ikatan kapal dapat stabil dengan menjangkau breast line, spring line, head/stern lines serta interval jarak yang digunakan adalah 25 m.

- Dimensi
Direncanakan mooring dolphin dengan dimensi 4 m x 4 m.

5.5.5 Catwalk

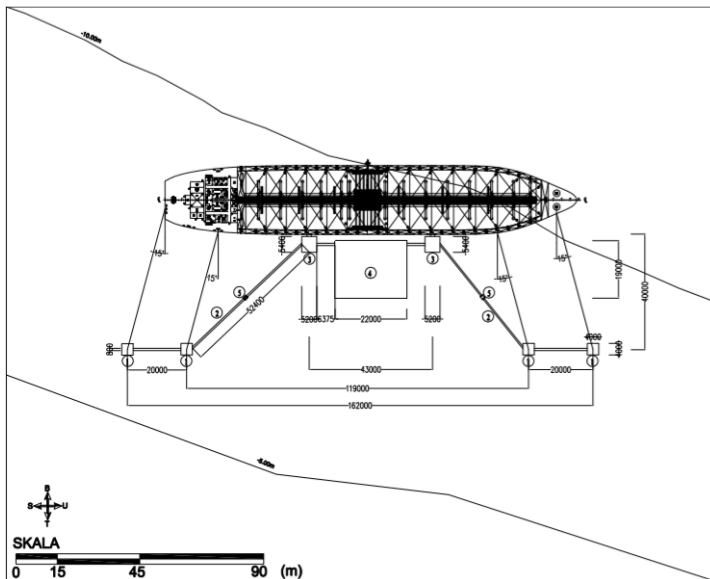
- Panjang
Panjang catwalk ditentukan berdasarkan hasil perencanaan jarak mooring dolphin dan breasting dolphin. Berdasarkan hasil perencanaan breasting dolphin dan mooring dolphin didapatkan 3 panjang catwalk yang berbeda.
Catwalk 1 : 7 m
Catwalk 2 : 16 m
Catwalk 3 : 28 m
- Lebar
Direncanakan lebar catwalk 1 m

5.5.6 Hasil Evaluasi Layout Daratan

Hasil evaluasi layout (Tabel 5. 5) dermaga berupa gambar yang dapat dilihat pada Gambar Berdasarkan hal tersebut, layout dermaga mengikuti sesuai hasil evaluasi.

Tabel 5. 5 Evaluasi Layout Daratan

Fasilitas Daratan	Uraian	Awal	Evaluasi	Digunakan
Unloading Platform	Lebar	0 m	22 m	22 m
	Panjang	0 m	19 m	19 m
	Elevasi	0 mLWS	+6,0 mLWS	+6,0 mLWS
Breasting Dolphin	Jarak Inner	0 m	45 m	45 m
	Dimensi	0 m	5,4 m x 5,2 m	5,4 m x 5,2 m
	Elevasi	0 mLWS	+3,3 mLWS	+3,3 mLWS
Mooring Dolphin	Jarak Inner	0 m	87 m	87 m
	Jarak Outer	0 m	167 m	167 m
	Jarak Vertikal	0 m	38 m	38 m
	Jarak Antar	0 m	20 m	20 m
	Dimensi	0 m	4 m x 4 m	4 m x 4 m
	Elevasi	0 mLWS	+3,3 mLWS	+3,3 mLWS
Catwalk 1	Panjang	0 m	7 m	7 m
	Lebar	0 m	1 m	1 m
Catwalk 2	Panjang	0 m	16 m	16 m
	Lebar	0 m	1 m	1 m
Catwalk 3	Panjang	0 m	28 m	28 m
	Lebar	0 m	1 m	1 m



Gambar 5. 2 Hasil Layout Daratan

“Halaman ini sengaja dikosongkan”

BAB VI

KRITERIA DESAIN

6.1 Peraturan yang Digunakan

Dalam perencanaan tugas akhir ini, diperlukan acuan dalam proses pengerjaannya, diantaranya:

1. Peraturan Beton Bertulang Indonesia dengan Cara “n” (1971). Digunakan dalam perencanaan tulangan dengan memakai Perhitungan Lentur Cara “n’ (Ir. Wiratman W.).
2. SNI 03-1726-2012 Standart Perencanaan Ketahanan Gempa untuk Struktur Bangunan Gedung.
3. BS 6349-4:2014 Maritime works - Part 4: Code of practice for design of fendering and mooring systems.
4. Guidelines for the design of fenders systems PIANC (2002). Dipergunakan untuk perhitungan energi yang terjadi pada fender.
5. Technical Standard Port and Harbour Facilities in Japan (2002). Digunakan untuk merencanakan bollard dan menghitung energi pada fender.
6. Harbour Approach Channels Design Guidelines PIANC (2014). Dipergunakan untuk menentukan kebutuhan alur pelayaran.

6.2 Kapal Rencana

Lihat Sub Bab 5.3.

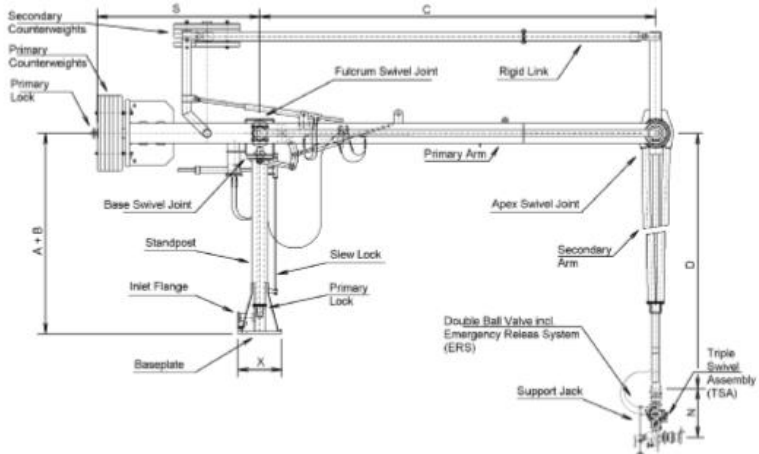
6.3 Data Alat

Dalam perencanaan pada kali ini dibutuhkan alat alat yang menunjang akan fasilitas dari pelabuhan, diantaranya *Marine Loading Arm*, *Fire Monitor tower*, *tower gang way*, dan papan navigasi.

6.3.1 Marine Loading Arm

Marine Loading Arm berfungsi sebagai alat penyaluran gas LNG dari kapal menuju pipa. *Marine Loading Arm* yang digunakan adalah Marine Loading Arm dari Emco Wheaton dengan jenis B0300. Jenis tersebut dipilih dikarenakan mampu

menahan suhu hingga -168°C . *Marine Loading Arm* ini memiliki spesifikasi sebagai berikut:



Gambar 6. 1 *Marine Loading Arm*
(sumber: Brosur Emco Wheaton)

Tabel 6. 1 Data teknis
(sumber: Brosur Emco Wheaton)

Technical data (standard) – incl. emergency release system									
NB	A + B	X	C	D	N	S	flow rate	weight	bending moment
	mm	mm	mm	mm	mm	mm	m ³ /h	kN	kN/m
4"	5500	1000	8000	8000	900	4500	300	160	325
6"	5500	1000	8000	8000	1000	4500	600	165	338
8"	5500	1500	8000	8000	1350	4500	1100	190	368
10"	7000	1500	11000	9000	1750	6000	1700	360	729
12"	7000	1500	11000	10000	2100	6000	2500	395	759
16"	7000	2000	11000	11000	2400	6000	4000	490	870

Digunakan pipa dengan diameter 12" dikarenakan kapal yang digunakan memiliki saluran yang menghubungkan ke arah tanki penyimpanan LNG dengan diameter 12", maka diperlukan 2 buah, maka perlu diketahui waktu yang dibutuhkan untuk proses bongkar muat. Agar bongkar muat tidak terlalu lama.

Data alat yang digunakan:

Diameter pipa	= 12"
Volume aliran	= 2500m ³ /jam
Berat alat	= 157 kN
Jumlah MLA	= 2 buah
Kapasitas kapal	= 13500m ³
Direncanakan untuk	40.000.000 bbbs/tahun.
1 bbbs	= 0,158987 m ³
40.000.000 bbbs	= 6.359.480 m ³ /tahun

Mencari nilai BOR:

$$t = \frac{\text{kapasitas yang dilayani per tahun}}{n \times \text{volume aliran}}$$

$$t = \frac{6.359.480}{2 \times 2500}$$

$$t = 1.271,9 \text{ jam}$$

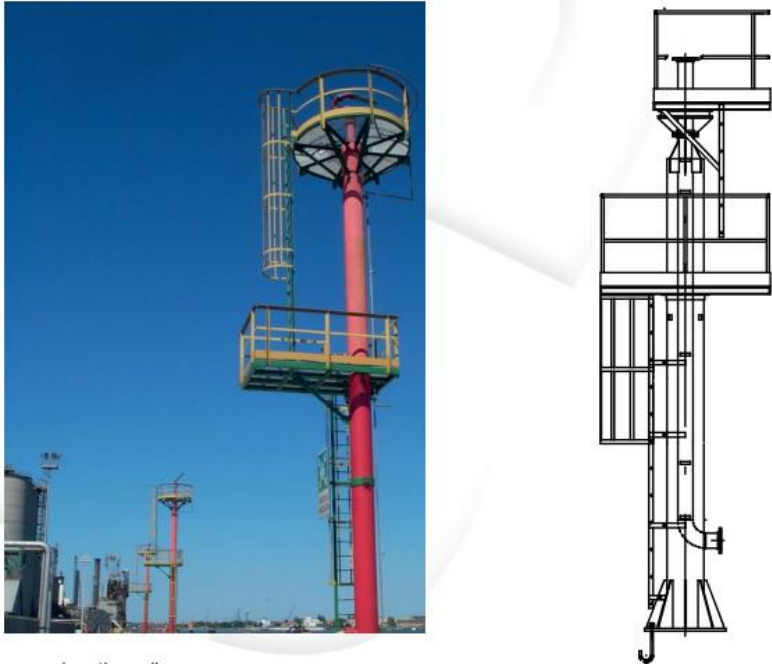
$$t = 53 \text{ hari}$$

$$BOR = \frac{53}{365} = 15\%$$

Selain itu, pemilihan tipe MLA juga didasarkan pada tinggi alat MLA yang berpengaruh pada elevasi *unloading platform*. Tinggi alat MLA harus dapat memfasilitasi kapal tanker 10.000 DWT saat kondisi air pasang dan surut. Melalui perbedaan tinggi kapal dan pasang surut terkritik dapat dilihat kebutuhan tinggi alat, jika tinggi alat kurang memadai maka akan ditambahkan meja kerja untuk menambahkan tinggi MLA.

6.3.2 Fire Monitor Tower

Fire monitor tower berfungsi sebagai alat pemadam disaat terjadi kebakaran dalam proses bongkar muat di dermaga dan fire monitor tower ini dikendalikan dari jarak jauh oleh operator untuk menunjang keselamatan. Fire Monitor Tower memiliki spesifikasi sebagai berikut.



Gambar 6. 2 *Fire Monitor Tower*
(Sumber: SDM ANTINCENDO)

Tabel 6. 2 Spesifikasi *Fire Monitor Tower*
(Sumber: SDM ANTINCENDO)

Spesifikasi	
Tinggi	10 m
Berat	1670 kg

6.3.3 Tower Gangway

Gangway merupakan alat yang digunakan untuk membantu masuk atau keluar seseorang dari kapal serta sebagai alat keselamatan dalam proses bongkar muat untuk kru. Tower Gangway yang digunakan adalah Tower Gangway dari Barge Master. Berikut detail spesifikasinya:



Gambar 6. 3 Lexxon Tower Gangway LX04
(Sumber: www.made-in-china.com)

Tabel 6. 3 Spesifikasi Lexxon *Tower Gangway* LX04
(Sumber: www.made-in-china.com)

Spesifikasi		
Tipe		LX04
Desain Beban		800 kg
Tekanan Angin Maksimum	Beroperasi	250 N/m ²
	Tidak Beroperasi	800 N/m ²
Desain Kapal		10.000-300.000 DWT
Tinggi		20 m
Berat		27 t

6.4 Kualitas Bahan dan Material

6.4.1. Kualitas Bahan Beton

Mutu beton yang digunakan memiliki kuat tekan karakteristik (K) sebesar K 350. Berikut klasifikasi dari beton yang digunakan:

1. Kekuatan tekan karakteristik, K350 $\sigma'_{bk} = 350 \text{ kg/cm}^2$ (PBI 1971 Tabel 4.2.1)
2. Modulus tekan untuk pembebanan tetap
 $E_b = 6400\sqrt{\sigma'_{bk}}$ (PBI 1971 Pasal 11.1.1)
 $E_b = 6400\sqrt{350}$
 $E_b = 119733,0364 \text{ kg/cm}^2 \approx 120000 \text{ kg/cm}^2$
3. Tegangan tekan beton akibat lentur dan atau gaya normal tekan
 $\sigma'_b = 0,33 \times \sigma'_{bk}$ (PBI 1971 Tabel 10.4.2)
 $\sigma'_b = 0,33 \times 350$
 $\sigma'_b = 115,5 \text{ kg/cm}^2$
4. Berat jenis beton bertulang
 $\gamma = 2400 \text{ kg/m}^3$
5. Tebal selimut beton untuk plat yang berbatasan langsung dengan laut = 7,0 cm (Peraturan Perencanaan Teknik Jembatan BMS Bab 6.3.8.3)
6. Tebal selimut beton untuk beton yang berbatasan langsung dengan laut = 8,0 cm (Peraturan Perencanaan Teknik Jembatan BMS Bab 6.3.8.3)

6.4.2. Kualitas Bahan Baja Tulangan

Mutu baja tulangan diambil kelas BjTS 40 dengan spesifikasi sebagai berikut:

1. Tegangan leleh karakteristik (PBI 1971 Tabel 3.7.1)
 $\sigma_{au} = 3900 \text{ kg/cm}^2$
2. Tegangan tarik/tekan yang diijinkan (PBI 1971 Tabel 10.4.1)
 $\sigma_a = 2250 \text{ kg/cm}^2$
3. Kekuatan tarik/tekan baja rencana (PBI 1971 Tabel 10.4.3)
 $\sigma'_{au} = 3390 \text{ kg/cm}^2$

4. Modulus elastisitas (PBI 1971 Pasal 10.9.1)
 $E_a = 2,1 \times 10^6 \text{ kg/cm}^2$

6.4.3. Kualitas Bahan Baja

Digunakan mutu baja BJT 30 dengan spesifikasi sebagai berikut:

1. Modulus elastisitas (PBI 1971 Pasal 10.9.1)
 $E_a = 2,1 \times 10^6 \text{ kg/cm}^2$
2. Tegangan putus minimum
 $f_u = 500 \text{ MPa}$
3. Tegangan putus efektif
 $f_{ue} = 1,15 \times f_u$
 $f_{ue} = 1,15 \times 500$
 $f_{ue} = 575 \text{ MPa}$
4. Tegangan leleh minimum
 $f_y = 290 \text{ MPa}$
5. Tegangan leleh efektif
 $f_{ye} = 1,15 \times f_y$
 $f_{ye} = 1,15 \times 290$
 $f_{ye} = 333,5 \text{ MPa}$
6. Berat jenis baja
 $\gamma = 7850 \text{ kg/m}^3$

6.4.4. Tiang Pondasi

Pada konstruksi dermaga di perairan Maros digunakan pondasi tiang pancang. Perencanaan kali ini menggunakan tiang pancang baja:

- Tiang pancang baja
 Kelebihan:
 - Pelaksanaannya lebih mudah dan kemungkinan kerusakan struktur tiang pancang akibat pengangkatan (lifting) serta pemindahan (mobilisasi) maupun retak di ujung tiang pada saat pemancangan menjadi lebih kecil karena tiang pancang baja memiliki elastisitas yang tinggi.

- Mempunyai berat yang jauh lebih kecil dibandingkan dengan precast concrete pile untuk dimensi yang sama sehingga kedalaman pancangan yang diperlukan untuk menahan design load yang sama akan lebih kecil dibanding jika menggunakan precast concrete pile.
- Penyambungan antar tiang pancang pada saat pemancangan lebih mudah yaitu dengan pengelasan.
- Biaya transportasinya lebih murah karena ditentukan melalui volume dan space.
- Nilai N-SPT maksimum yang dapat ditembus >50 pukulan.

Kekurangan:

- Mudah mengalami korosi.
- Biaya pemeliharaan mahal karena untuk mencegah terjadinya karat pada permukaan tiang perlu dilakukan coating, yaitu memberi lapisan anti karat pada permukaan tiang pancang, terutama pada bagian tiang pancang yang bersentuhan dengan air laut.

Tabel 6. 4 Spesifikasi Tiang Pancang Baja
(sumber: Katalog PT. Swarna Bajapacific)

OUTSIDE DIAMETER		THICKNESS	WEIGHT	CROSS SECTIONAL WALL AREA	MODULUS OF INERTIA	MODULUS OF SECTION	RADIUS OF GYRATION
Inch	mm	mm	Kg/m	A (cm ²)	I (cm ⁴)	Z (cm ³)	i (cm)
	318,5	6,0	46,24	58,9	719 x 10 ²	452	9,1
		9,0	68,69	87,5	105 x 10 ²	659	10,9
12 3/4	323,9	7,1	55,47	70,6	887 x 10 ²	54,8 x 10	11,2
		9,0	69,89	89,0	110 x 10 ²	68,2 x 10	11,1
14	355,6	6,0	51,73	69,1	105 x 10 ²	593	12,4
		9,0	76,92	98,00	147 x 10 ²	828	12,3
	400	9,0	86,78	110,6	211 x 10 ²	105,7 x 10	13,8
		12,0	114,82	146,3	276 x 10 ²	137,8 x 10	13,7
16	406,4	9,0	88,20	112,4	222 x 10 ²	109,2 x 10	14,1
		12,0	116,71	148,7	289 x 10 ²	142,4 x 10	14,0
20	508,0	9,0	110,75	141,1	439 x 10 ²	173 x 10	17,6
		12,0	146,78	187,0	575 x 10 ²	227 x 10	17,5
		14,0	170,55	217,3	663 x 10 ²	261 x 10	17,5
24	609,6	9,0	133,30	169,8	766 x 10 ²	251 x 10	21,2
		12,0	176,84	225,3	101 x 10 ³	330 x 10	21,1
		14,0	205,62	262,0	169 x 10 ³	381 x 10	21,1
		16,0	234,21	298,4	232 x 10 ³	431 x 10	21,0
28	711,2	9,0	155,85	198,5	122 x 10 ³	344 x 10	24,8
		12,0	206,91	263,6	161 x 10 ³	453 x 10	24,7
		14,0	240,70	306,6	186 x 10 ³	524 x 10	24,7
		16,0	274,60	349,4	211 x 10 ³	594 x 10	24,6
32	812,8	9,0	178,40	227,3	184 x 10 ³	452 x 10	28,4
		12,0	236,97	301,9	242 x 10 ³	596 x 10	28,3
		14,0	275,78	351,3	280 x 10 ³	690 x 10	28,2
		16,0	314,39	400,5	318 x 10 ³	782 x 10	28,2
36	914,4	12,0	267,04	340,2	346 x 10 ³	758 x 10	31,9
		14,0	310,85	396,0	401 x 10 ³	878 x 10	31,8
		16,0	354,47	451,6	456 x 10 ³	997 x 10	31,8
		19,0	419,53	534,5	536 x 10 ³	117 x 10 ³	31,7
40	1016,0	12,0	297,10	378,5	477 x 10 ³	939 x 10	35,5
		14,0	345,93	440,7	553 x 10 ³	109 x 10 ³	35,4
		16,0	394,56	502,7	628 x 10 ³	124 x 10 ³	35,4
		19,0	467,13	595,1	740 x 10 ³	146 x 10 ³	35,3

6.5 Perencanaan Pembebanan Fender

6.5.1. Perhitungan Energi Fender

Keperluan fender bagi suatu dermaga sangat bergantung dari ukuran dan kecepatan kapal yang merapat. Pada saat kapal menabrak konstruksi tambatan, ada energi kinetik tumbukan yang harus diabsorpsi dan ditransfer menjadi gaya horisontal yang harus mampu ditahan oleh bangunan dermaga. Dalam merencanakan fender terlebih dahulu dihitung energi yang bekerja pada fender.

Berikut merupakan factor yang akan mempengaruhi perhitungan fender:

1. Kecepatan kapal pada saat merambat (V_B)
Lokasi untuk perencanaan dermaga Island Berth berada pada perairan yang terbuka. Selain itu lokasi terletak pada alur pelayaran dengan lalu lintas yang tidak terlalu padat sehingga membuat kapal mudah untuk bertambat (kondisi c, lihat Gambar 2. 8). Dari Tabel 2. 7 dengan menginterpolasi kondisi bertambat kapal yang mudah dan DWT kapal serta pertimbangan dari Gambar 2. 7. Maka digunakanlah V_B sebagai berikut:

$$V_B = 0,287 \text{ m/s}$$

2. Displacement tonnage (M_D)
 $M_D = 17.861 \text{ ton}$
3. Koefisien massa hidrodinamis (C_M)
Berdasarkan Gambar 2. 9 didapat C_M untuk kapal gas carrier, dimana h merupakan kedalaman yang diperlukan pada alur masuk (10 m).

$$\frac{K_C}{D} = \frac{h-D}{D} = \frac{10-8}{8} = 0,25$$

Sesuai dengan Tabel 2. 8 maka:

$$C_M = 1,875 - 0,75\left(\frac{K_C}{D}\right)$$

$$C_M = 1,875 - 0,75 \times 0,25$$

$$C_M = 1,688$$

4. Koefisien Bantalan (C_C)
Tipe konstruksi yang dipakai merupakan struktur tipe terbuka, sehingga berdasarkan Tabel 2. 9 didapat
 $C_C = 1$

5. Koefisien Kehalusan (C_S)
Deformasi pada saat kapal bertambat dianggap tidak ada, sehingga berdasarkan Tabel 2. 10 didapat
 $C_S = 1$

6. Koefisien eksentrisitas (C_E)
Untuk berthing dolphin memiliki nilai $\emptyset = 30^\circ - 90^\circ$ (lihat Gambar 2. 7) dan penempatan berthing dolphin antara 0,25 - 0,40 kali LOA, maka C_E diambil dengan pendekatan dimana kapal menumbuk fender pada 1/3 badan kapal, sehingga diambil nilai C_E sebesar 0,7 (lihat Gambar 2. 12)
 $C_E = 0,7$

Setelah mengetahui semua factor yang dibutuhkan, maka Energi yang terjadi pada fender dapat dihitung dengan cara:

$$E_N = C_M \times C_E \times C_S \times \left(\frac{1}{2} M_D \times V_B^2\right)$$

$$E_N = 1,688 \times 0,7 \times 1 \times \left(\frac{1}{2} 17.861 \times 0,287^2\right)$$

$$E_N = 868,895 \text{ kNm}$$

Namun perhitungan energi kinetik (E_N) tersebut perlu diantisipasi dengan adanya kondisi merapat abnormal. Energi Abnormal (E_A) yang harus mampu diserap fender dimana F_S untuk kapal gas carrier pada Tabel 2. 11 adalah 1,75. Sehingga didapat E_A sebesar:

$$E_A = E_N \times F_S$$

$$E_A = 868,895 \times 1,75$$

$$E_A = 1520,566 \text{ kNm}$$

6.5.2. Pemilihan Tipe Fender

Setelah perhitungan energi tumbukan yang timbul dapat ditentukan, selanjutnya dilakukan pemilihan tipe fender. Beberapa faktor yang perlu diperhatikan dalam pemilihan sistem fender:

1. Fender harus memiliki kemampuan penyerapan energi kinetis lebih besar dibanding energi kinetis yang terjadi akibat tumbukan kapal ke fender.
2. Gaya reaksi yang timbul sebagai sisa energi kinetis yang tidak terserap oleh fender dicari yang menghasilkan angka terkecil.
3. Tekanan yang timbul dari sistem fender tidak boleh melebihi kemampuan menahan tekanan dari lambung kapal atau badan kapal.
4. Harus diperhatikan juga harga dan biaya konstruksi serta biaya perawatan bagi fender maupun tambatannya.

Digunakan fender dari bahan karet (rubber fender) dengan bentuk super cone (SCN). Dari Tabel 6. 5 dipilih fender tipe SCN 1800 F 0.7 dengan performa RPD (Rated Performance Data). Dimensi SCN dapat dilihat pada Tabel 6. 6.

$$E_R = 1534,1 \text{ kNm} > E_A = 1520,566 \text{ kNm}$$

$$R_R = 1765,5 \text{ kN}$$

Tabel 6. 5 Kekuatan Rubber Fender SCN (dalam kN, kNm)
(Sumber: Brosur Sistem Fender, Trelleborg)

SUPER CONE FENDERS
Performance Data*

		F0.6	F0.7	F0.8	F0.9	F1.0	F1.1	F1.2	F1.3	F1.4	F1.5	F1.6	F1.7	F1.8	
1050	CV	E	260.5	285.9	313.7	392.0	435.0	446.6	458.2	469.8	481.4	493.0	504.4	515.8	527.2
		R	514.8	565.0	615.0	655.7	695.0	713.4	731.8	750.2	768.6	787.0	813.4	839.8	866.2
		E _a	283.9	311.7	342.0	427.3	474.2	486.8	499.4	512.1	524.7	537.4	549.8	562.2	574.6
1100	RPD	R ₀	561.1	615.9	670.4	714.7	757.6	777.6	797.7	817.7	837.8	857.8	886.6	915.4	944.2
		E	299.5	328.8	360.7	450.0	500.0	513.6	527.2	540.8	554.4	568.0	581.4	594.8	608.2
		R	563.7	618.7	673.5	717.9	761.0	781.6	802.2	822.8	843.4	864.0	893.4	922.8	952.2
1200	RPD	E _a	326.4	358.3	393.2	490.5	545.0	559.8	574.6	589.5	604.3	619.1	633.7	648.3	662.9
		R ₀	614.4	674.4	734.1	782.5	829.5	851.9	874.4	896.9	919.3	941.8	973.8	1005.9	1037.9
		E	388.8	426.8	468.3	585.0	650.0	667.6	685.2	702.8	720.4	738.0	755.4	772.8	790.2
1300	CV	R	673.3	739.0	804.4	857.5	909.0	933.4	957.8	982.2	1006.6	1031.0	1066.0	1101.0	1136.0
		E _a	423.8	465.2	510.4	637.7	708.5	727.7	746.9	766.1	785.2	804.4	823.4	842.4	861.3
		R ₀	733.9	805.5	876.8	934.7	990.8	1017.4	1044.0	1070.6	1097.2	1123.8	1161.9	1200.1	1238.2
1400	RPD	E	494.3	542.7	595.4	743.0	825.0	847.0	869.0	891.0	913.0	935.0	957.0	979.0	1001.0
		R	788.1	865.0	941.6	1003.8	1064.0	1092.4	1120.8	1149.2	1177.6	1206.0	1246.6	1287.2	1327.8
		E _a	536.3	588.8	646.0	806.2	895.1	919.0	942.9	966.7	990.6	1014.5	1038.3	1062.2	1086.1
1500	CV	R ₀	855.1	938.6	1021.6	1089.1	1154.4	1185.3	1216.1	1246.9	1277.7	1308.5	1352.6	1396.6	1440.7
		E	617.4	677.8	743.6	927.0	1030.0	1057.6	1085.2	1112.8	1140.4	1168.0	1195.4	1222.8	1250.2
		R	914.8	1004.1	1092.9	1185.1	1235.0	1268.0	1301.0	1334.0	1367.0	1400.0	1447.2	1494.4	1541.6
1600	RPD	E _a	666.8	732.0	803.1	1001.2	1112.4	1142.2	1172.0	1201.8	1231.6	1261.4	1291.2	1320.6	1350.2
		R ₀	988.0	1084.4	1180.4	1258.3	1333.8	1369.4	1405.1	1440.7	1476.4	1512.0	1563.0	1614.0	1664.9
		E	921.6	1011.7	1110.0	1382.0	1535.0	1576.6	1618.2	1659.8	1701.4	1743.0	1784.4	1825.8	1867.2
1800	CV	R	1191.1	1307.3	1423.0	1517.0	1608.0	1651.6	1695.2	1738.8	1782.4	1826.0	1888.0	1950.0	2012.0
		E _a	986.1	1082.5	1187.7	1478.7	1642.5	1687.0	1731.5	1776.0	1820.5	1865.0	1909.3	1953.6	1997.9
		R ₀	1274.5	1398.8	1522.6	1623.2	1720.6	1767.2	1813.9	1860.5	1907.2	1953.8	2020.2	2086.5	2152.8
2000	RPD	E	1312.2	1440.5	1580.5	1967.0	2185.0	2244.0	2303.0	2362.0	2421.0	2480.0	2539.0	2598.0	2657.0
		R	1510.4	1657.7	1804.4	1923.6	2039.0	2094.0	2149.0	2204.0	2259.0	2314.0	2392.6	2471.2	2549.8
		E _a	1397.5	1534.1	1683.2	2094.9	2327.0	2389.9	2452.7	2515.5	2578.4	2641.2	2704.0	2766.9	2829.7
2250	CV	R ₀	1608.5	1765.5	1921.7	2048.6	2171.5	2230.1	2288.7	2347.3	2405.8	2464.4	2548.1	2631.8	2715.5
		E	1800.0	1976.0	2168.0	2700.0	3000.0	3080.0	3160.0	3240.0	3320.0	3400.0	3480.0	3560.0	3640.0
		E _a	1860.0	2041.5	2222.1	2368.9	2511.0	2578.0	2645.0	2712.0	2779.0	2846.0	2941.8	3037.6	3133.4
2500	RPD	R	1908.0	2094.6	2298.1	2862.0	3180.0	3264.8	3349.6	3434.4	3519.2	3604.0	3688.8	3773.6	3858.4
		E _a	1971.6	2164.0	2355.5	2511.0	2661.7	2732.7	2803.7	2874.7	2945.7	3016.8	3118.3	3219.9	3321.4
		R ₀	2562.9	2813.5	3086.9	3844.0	4271.0	4385.0	4499.0	4613.0	4727.0	4841.0	4955.0	5069.0	5183.0
2750	CV	R	2363.7	2594.3	2823.9	3010.4	3191.0	3276.0	3361.0	3446.0	3531.0	3616.0	3738.0	3860.0	3982.0
		E _a	2691.0	2954.2	3241.2	4036.2	4484.6	4604.3	4724.0	4843.7	4963.4	5083.1	5202.8	5322.5	5442.2
		R ₀	2481.9	2724.0	2965.1	3160.9	3350.6	3439.8	3529.1	3618.3	3707.6	3796.8	3924.9	4053.0	4181.1
3000	RPD	E	3515.6	3859.4	4234.4	4641.0	5156.0	5293.6	5431.2	5568.8	5706.4	5844.0	5981.4	6118.8	6256.2
		R	2568.9	2819.5	3069.0	3271.7	3468.0	3560.4	3652.8	3745.2	3837.6	3930.0	4062.4	4194.8	4327.2
		E _a	3691.4	4052.3	4446.1	4873.1	5413.8	5558.3	5702.8	5847.3	5991.7	6136.2	6280.5	6424.7	6569.0
3250	CV	R ₀	2697.3	2960.5	3222.5	3435.3	3641.4	3738.4	3835.4	3932.5	4029.5	4126.5	4265.5	4404.5	4543.6

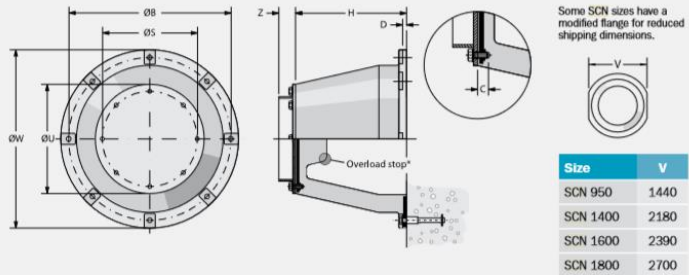
Tabel 6. 6 Dimensi Fender SCN (dalam mm, kg)
(Sumber: Brosur Sistem Fender, Trelleborg)

SUPER CONE FENDERS

Dimensions

	H	ØW	ØU	C	D	ØB	ØS	Anchors/ Head bolts ^	Z _{min}	Weight
SCN 300	300	500	295	27 - 37	20 - 25	440	255	4 x M20	45	40
SCN 350	350	570	330	27 - 37	20 - 25	510	275	4 x M20	52	50
SCN 400	400	650	390	30 - 40	20 - 28	585	340	4 x M24	60	76
SCN 500	500	800	490	32 - 42	30 - 38	730	425	4 x M24	75	160
SCN 550	550	880	540	32 - 42	30 - 38	790	470	4 x M24	82	210
SCN 600	600	960	590	40 - 52	35 - 42	875	515	4 x M30	90	270
SCN 700	700	1120	685	40 - 52	35 - 42	1020	600	4 x M30	105	411
SCN 800	800	1280	785	40 - 52	35 - 42	1165	685	6 x M30	120	606
SCN 860	860	1376	845	40 - 52	35 - 42	1250	735	6 x M30	130	750
SCN 900	900	1440	885	40 - 52	35 - 42	1313	770	6 x M30	135	841
SCN 950	950	1520	930	40 - 52	40 - 50	1390	815	6 x M30	142	980
SCN 1000	1000	1600	980	50 - 65	40 - 50	1460	855	6 x M36	150	1125
SCN 1050	1050	1680	1030	50 - 65	45 - 55	1530	900	6 x M36	157	1360
SCN 1100	1100	1760	1080	50 - 65	50 - 58	1605	940	8 x M36	165	1567
SCN 1200	1200	1920	1175	57 - 80	50 - 58	1750	1025	8 x M42	180	2028
SCN 1300	1300	2080	1275	65 - 90	50 - 58	1900	1100	8 x M48	195	2455
SCN 1400	1400	2240	1370	65 - 90	60 - 70	2040	1195	8 x M48	210	3105
SCN 1600	1600	2560	1570	65 - 90	70 - 80	2335	1365	8 x M48	240	4645
SCN 1800	1800	2880	1765	75 - 100	70 - 80	2625	1540	10 x M56	270	6618
SCN 2000	2000	3200	1955	80 - 105	90 - 105	2920	1710	10 x M56	300	9560
SCN 2250	2250	3600	2205	100 - 120	100 - 110	3285	1930	12 x M76	335	13,500
SCN 2500	2500	4000	2450	120 - 150	100 - 120	3650	2150	12 x M76	375	18,500

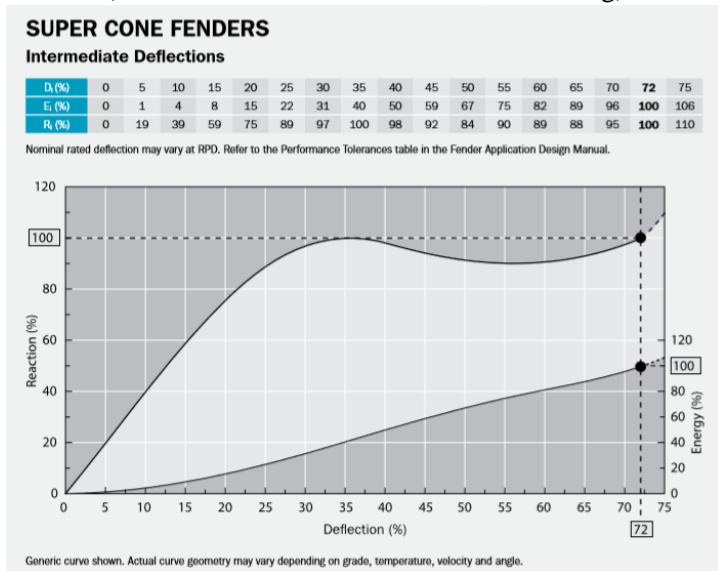
^ Fender anchors / head bolts indicated are based on fenders RDP performance using a particular grade of steel. Please contact Trelleborg Marine Systems' local office for precise size, material and type for different grades of fenders pertaining to the project requirements. [Units: mm, kg]



* Contact Trelleborg Marine Systems' local offices

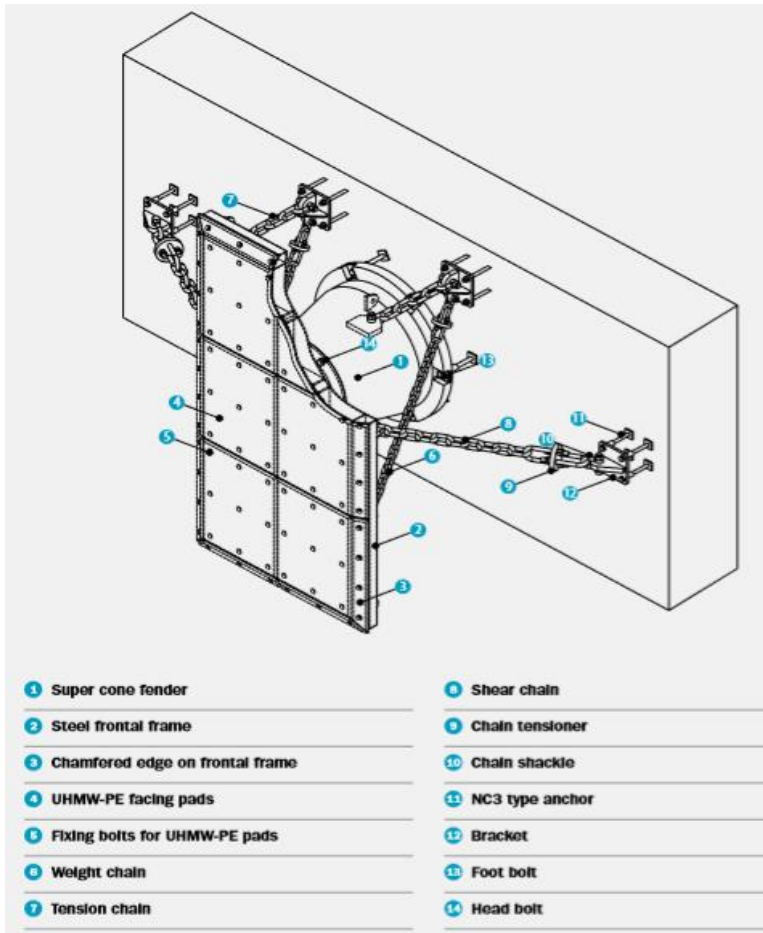
[Units: mm]

Tabel 6. 7 Defleksi Fender SCN
(Sumber: Brosur Sistem Fender, Trelleborg)



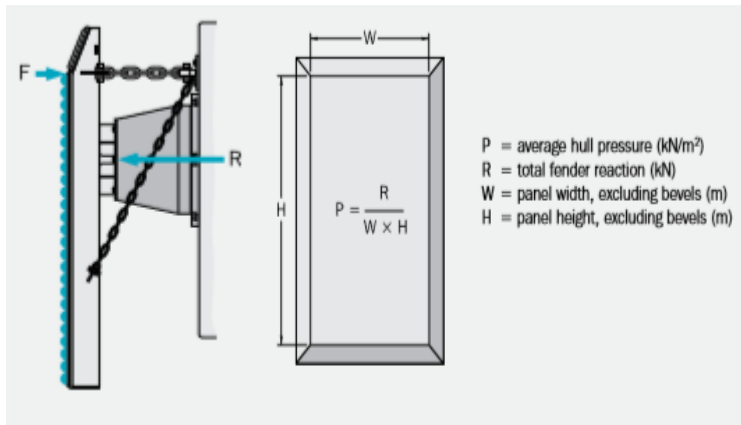
6.5.3. Aksesoris Fender

Dalam pemasangan fender SCN, dibutuhkan beberapa aksesoris pelengkap (Gambar 6. 4):



Gambar 6. 4 Aksesoris Fender
(Sumber: Desain Manual Fender, Trelleborg)

1. Frontal Frame



Gambar 6. 5 Frontal Frame Full Face Contact
(Sumber: Desain Manual Fender, Trelleborg)

Berdasarkan Gambar 6. 5, kontrol kontak kapal dapat dihitung dengan rumus:

$$P = \frac{R}{W \times H} < P_P$$

Dimana:

P = Tekanan kontak lambung kapal (kN/m²)

R = Total reaksi fender (kN)

W = Lebar panel, tidak termasuk bavel (m)

H = Tinggi panel, tidak termasuk bavel (m)

P_P = Tekanan kontak ijin lambung kapal (kN/m²). (lihat Tabel 6. 8)

Tabel 6. 8 Tekanan Kontak Ijin Lambung Kapal
(Sumber: Desain Manual Fender, Trelleborg)

VESSEL TYPE	SIZE/CLASS	HULL PRESSURE (kN/m ²)
Container ships	< 1,000 teu (1st/2nd generation)	< 400
	< 3,000 teu (3rd generation)	< 300
	< 8,000 teu (4th generation)	< 250
	> 8,000 teu (5th/6th generation)	< 200
General cargo	≤ 20,000 DWT	400–700
	> 20,000 DWT	< 400
Oil tankers	≤ 20,000 DWT	< 250
	≤ 60,000 DWT	< 300
	> 60,000 DWT	150–200
Gas carriers	LNG/LPG	< 200
Bulk carriers		< 200
RoRo		Usually fitted with beltings (strakes)
Passenger/cruise		
SWATH		

Direncanakan:

$$W = 3 \text{ m}$$

$$H = 3,5 \text{ m}$$

$$P = \frac{R}{W \times H} = \frac{1765,5}{3 \times 3,5} = 168,143 \text{ kN/m}^2$$

$$168,143 \text{ kN/m}^2 < 200 \text{ kN/m}^2 \text{ (OK)}$$

Berdasarkan perhitungan dimensi panel fender 3 m x 3,5 m memenuhi kriteria dimana tekanan kontak lambung kapal kurang dari nilai kontak ijin lambung kapal. Sehingga, panel fender berukuran 3 m x 3,5 m aman digunakan dalam perencanaan.

Tabel 6. 9 Berat Panel
(Sumber: Brosur Sistem Fender, Trelleborg)

Light duty	200 – 250
Medium duty	250 – 300
Heavy duty	300 – 400
Extreme duty	≥ 400

[Units: kg/m²]

Kapal gas carrier 9406 DWT diasumsikan memiliki beban yang ringan (light duty, Tabel 6. 9) sebesar 225 kg/m². Sehingga berat panel fender (W_H) adalah:

$$A = 3 \times 3,5$$

$$A = 10,5 \text{ m}^2$$

$$W_H = A \times 225$$

$$W_H = 10,5 \text{ m} \times 225 \text{ kg/m}^2$$

$$W_H = 2362,5 \text{ kg}$$

2. Chain (Rantai)

Dalam pemasangan fender dan panel fender perlu dianalisis kebutuhan penggunaan rantai pada fender tipe SCN. SCN dapat menahan berbagai beban statik namun dalam batas tertentu. Tabel 6. 10 merupakan acuan perhitungan beban frontal panel yang diizinkan sebelum tambahan rantai penguat dibutuhkan

Tabel 6. 10 Acuan Perhitungan Beban Frontal Panel
(Sumber: Brosur Sistem Fender, Trelleborg)

SCN	Panel weight (kg)	
	Single or multiple horizontal (n ≥ 1)	Multiple vertical (n ≥ 2)
F1	$W_H \leq n \times 1.0 \times W$	$W_H \leq n \times 1.25 \times W$
F2	$W_H \leq n \times 1.3 \times W$	$W_H \leq n \times 1.625 \times W$
F3	$W_H \leq n \times 1.5 \times W$	$W_H \leq n \times 1.875 \times W$

Dimana:

n : Jumlah SCN

W_H : Berat frontal panel

W : Berat SCN

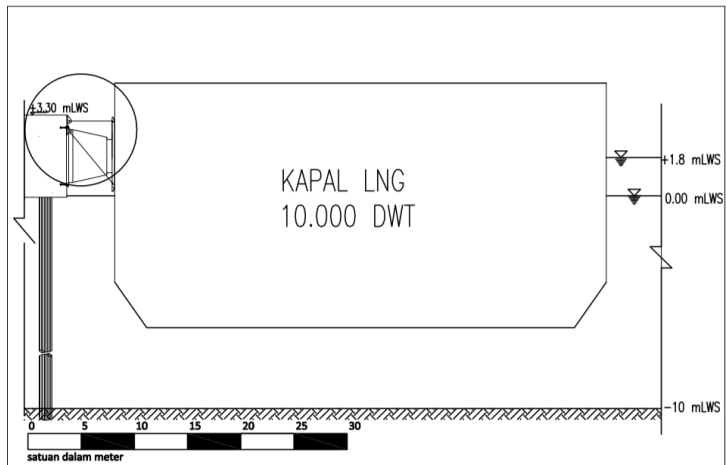
W_H : 2362,5 kg

$W_H \leq n \times 1 \times W$

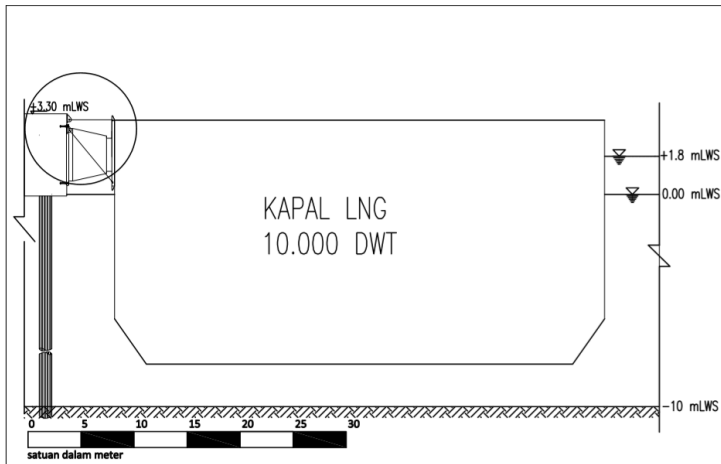
2362,5 kg $\leq 1 \times 1 \times 6618$ kg

2362,5 kg ≤ 6618 kg

W_H lebih dari $n \times 1.0 \times W$, sehingga perlu dipasangkan rantai untuk membantu mendukung berat komponen atau untuk mengontrol disaat fender berbenturan dan gaya hanging dari kapal.



Gambar 6. 6 Posisi Panel Fender Terhadap Kapal Saat Pasang



Gambar 6. 7 Posisi Panel Fender Terhadap Kapal Saat Surut

6.6 Perencanaan Bollard

Dalam merencanakan bollard pada konstruksi dermaga Island Berth ini digunakan bollard tipe Quick Release dengan double hooks. Quick Release Hooks (QRH) ini digunakan dengan tujuan apabila terjadi kecelakaan pada kapal, kapal dapat segera lepas dari tempat bertambat secara cepat karena QRH ini dikendalikan menggunakan remote kontrol. Sehingga kecelakaan tersebut tidak mempengaruhi areal pelabuhan.

Kapal yang direncanakan untuk bertambat pada dermaga ini memiliki kapasitas 10.000 DWT. Gaya tarik akibat kapal diambil sebesar Minimum Breaking Line (MBL) tali pada kapal yang ditinjau. Besaran minimum MBL pada berbagai jenis dan ukuran kapal dapat kita lihat pada Tabel 6. 11.

Dari Tabel 6. 11 didapat MBL (Minimum Breaking Load) sebesar 572 kN, maka dapat dicari gaya tarikan akibat kapal sebagai berikut.

$$\begin{aligned} \text{Safe Working Load (SWL)} &= 55\% \text{ MBL} \\ &= 55\% \times 572 \text{ kN} \end{aligned}$$

$$= 314,6 \text{ kN} = 31,46 \text{ t}$$

Digunakan bollard jenis Quick Release Hooks (QRH), Gambar 6. 8. Dimana SWL = 31,46 t, sehingga berdasarkan Tabel 6. 12 digunakan double QRH dengan kapasitas 80 t tiap hook > 31,46 t

Tabel 6. 11 Peraturan ISO mengenai jumlah, kekuatan winch dan tali pada kapal

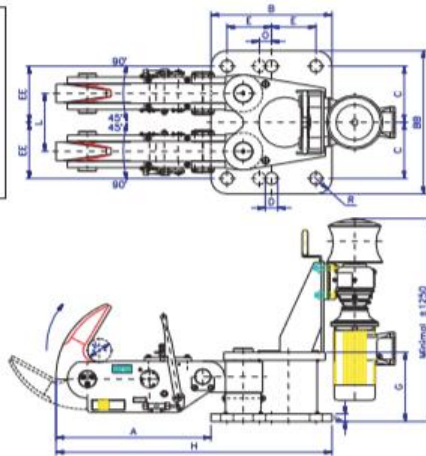
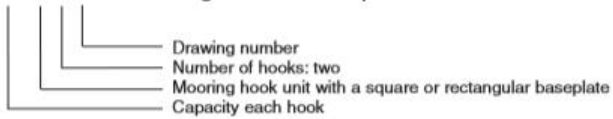
(Sumber: Advance in Berthing and Mooring of Ships and Offshore Structures, 1988)

Number of Winches	Nominal Size	Drum Load	Holding Load	Design Rope Diameter	MBL	Approximate Ship Size Range	
						Conventional Ships, Tankers, Bulk Carriers, etc.	Special Ships with large Wind Area. Containers, RoRo, Passanger, etc.
						(DWT)	(DWT)
4	12	120	310	26	378	8000	5000
4	16	160	470	32	573	13000	8000
6	16	160	470	32	572	25000	13000
6	20	200	590	36	725	35000	20000
6	25	250	730	40	895	50000	30000
6	32	315	880	44	1080	65000	45000
6	40	400	1050	48	1290	80000	60000
6	50	500	1280	51	1590	110000	85000
6	64	640	1560	57	1980

Double hook assembly

MHC.000.402.000 = Mooring unit with capstan

MHX.000.402.000 = Mooring unit without capstan



EXPLANATION:

Cap. = Capacity mounting base in kN
 Wt. = Weight in kilograms, excl. capstan
 X. = Number and size of HD bolts
 S.W.L. = Working load in kN

Gambar 6. 8 Double Quick Release Hook
(sumber: Brosur Quick Release Hook, Mampay)

Tabel 6. 12 Spesifikasi Quick Release Hook
(sumber: Brosur Quick Release Hook, Mampay)

Dimensions in millimeters

Type	S.W.L	Cap.	Wt.	A	B	BB	C	D	E	EE	F	G	H	K	O	R	X
040.402	400	800	491	583	650	700	260	54	235	260	35	370	1233	96	--	90	6xM48
060.402	600	1200	878	788	750	780	290	62	275	290	45	407	1536	130	--	100	6xM56
075.402	750	1500	1049	888	750	850	325	70	275	325	45	417	1638	130	55	100	6xM64
100.402	1000	2000	1439	959	750	925	363	78	275	363	50	447	1709	150	75	100	6xM72
125.402	1250	2500	1602	1030	750	925	363	86	275	363	55	479	1780	150	75	100	6xM80
150.402	1500	3000	2332	1210	750	1000	400	86	275	400	55	499	1960	150	50	100	7xM80

“Halaman ini sengaja dikosongkan”

BAB VII

PERENCANAAN STRUKTUR

7.1. Breasting Dolphin

7.1.1. Umum

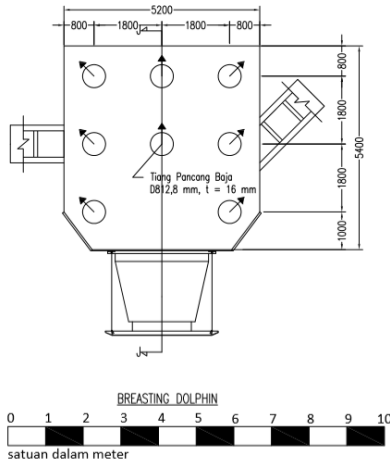
Dalam suatu konstruksi dermaga LNG, struktur Breasting Dolphin merupakan salah satu struktur yang sangat penting. Breasting Dolphin merupakan bagian dari dermaga yang berfungsi sebagai tempat bersandarnya kapal. Sebelum melakukan analisa struktur, terlebih dahulu harus menganalisa dan menentukan gaya – gaya yang nantinya akan bekerja pada struktur. Gaya-gaya yang bekerja pada struktur ini meliputi: gaya akibat berat sendiri, reaksi fender, beban arus, beban angin, dan beban Gempa.

7.1.2. Perencanaan Layout Breasting Dolphin

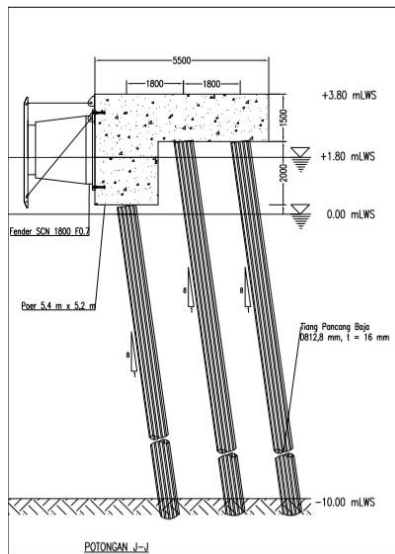
Struktur breasting dolphin yang akan direncanakan terdiri dari poer pada struktur bagian atas dan tiang pancang pada struktur bagian bawah. Struktur poer berfungsi sebagai penyambung antar ujung tiang pancang serta sekaligus berfungsi sebagai balok dan pelat. Dalam tugas akhir ini direncanakan breasting dolphin dengan spesifikasi sebagai berikut:

Jenis poer	: Poer dengan 8 tiang pancang
Geometri poer	: Segi 4 dengan dimensi 5,2 m x 5,4 m
Tebal poer	: 150 cm
Selimit beton	: 8 cm
Tiang pancang	: Diameter = 812,8 mm
	: Kemiringan = 1:8

Dari spesifikasi di atas dibuat perencanaan layout struktur mooring dolphin yang dapat dilihat pada Gambar 7. 1 dan Gambar 7. 2



Gambar 7. 1 Layout Rencana Breasting Dolphin



Gambar 7. 2 Potongan Breasting Dolphin

7.1.3. Pembebanan Breasting Dolphin

Beban yang terjadi pada Breasting Dolphin adalah:

a. Beban Vertikal

- Beban sendiri konstruksi balok
Berat jenis beton bertulang diambil sebesar $2,9 \text{ t/m}^3$. Untuk berat sendiri balok sudah terakumulasi secara otomatis oleh program SAP 2000 V14.0.
- Beban hidup
Beban Hujan $= t (5 \text{ cm}) \times \gamma_{\text{air}}$
 $= 0,05 \times 1000 = 50 \text{ kg/m}^2$
Beban Hidup Pangkalan $= 1500 \text{ kg/m}^2$
Beban Hidup total $= 1550 \text{ kg/m}^2$
- Beban Fender
Berat Fender $= 6,618 \text{ t}$
Berat Plank Fender $= 2,3625 \text{ t}$
- Beban Catwalk
Beban catwalk merupakan beban terpusat akibat beban pejalan kaki.
Beban catwalk $= p \times l \times \text{beban pejalan kaki}$
 $= 32 \times 0,8 \times 500 = 12.800 \text{ kg}$

b. Beban Horizontal

- Reaksi Fender $= 176,55 \text{ t}$ (Lihat Sub (?))
- Beban Angin
Perhitungan beban angin dilakukan pada sebagian struktur di atas muka air dengan kondisi maksimum desain kapal. Beban angin pada struktur dihitung dengan arah longitudinal dan transversal.
Fw longitudinal $= 1,57 \text{ kN}$
Fw transversal $= 1,25 \text{ Kn}$
- Beban Arus
Beban arus terjadi di sepanjang tiang yang berada di bawah muka air dan kecepatannya diasumsikan konstan. Beban

arus yang bekerja pada tiang dihitung per-m panjang tiang di bawah muka air dengan beban sebesar 0,027 t/m

c. Beban Gempa

Data beban gempa yang akan diinput pada program bantu SAP 2000 memakai SNI 2833-2008 dan juga data dari puskim.go.id. Kemudian scale factor dapat dihitung sebagai berikut.

- Faktor keutamaan gempa (I)
 $I = 1,5$
- Kelas situs
 Dari data tanah diketahui bahwa Nilai rata rata SPT < 15. Sehingga berdasarkan SNI 1726:2002 Tabel 3 didapatkan, Kelas situs = SE (tanah lunak)
- Faktor Modifikasi Respon (R)
 Berdasarkan SNI 2833-2008 Tabel 3 didapatkan, $R = 5,5$ (pilar kolom majemuk)
- Percepatan batuan dasar pada perioda pendek (SS), percepatan batuan dasar pada perioda 1 detik (S1), dan percepatan muka tanah puncak (PGA) di dapat dari puskim.go.id sebagai berikut,

SS	= 0,421 g
S1	= 0,168 g
PGA	= 1,958 g

7.1.4. Permodelan Struktur pada SAP

Permodelan Struktur dilakukan dengan menggunakan program bantu SAP 2000. Permodelan struktur dilakukan untuk menentukan besarnya momen, gaya geser, dan reaksi yang terjadi pada poer dan pada perletakan. Permodelan pada SAP 200 dilakukan dengan permodelan tiga dimensi.

a. Permodelan Struktur Breasting Dolphin

- Perhitungan letak titik jepit tiang pancang (Zf)
 Dimana dalam perencanaan ini digunakan tiang pancang baja D812,8 tebal 9,

$$I = 318.000 \text{ cm}^4$$

$$E = 2.100.000 \text{ kg/cm}^2$$

$$n_h = 500 \text{ kN/m}^3 \text{ (soft normally consolidated clays)}$$

$$T = \left(\frac{E \times I}{n_h} \right)^{\frac{1}{5}}$$

$$T = \left(\frac{2.100.000 \times 318.000}{0,05} \right)^{\frac{1}{5}}$$

$$T = 3,2 \text{ m}$$

$$Z_f = 1,8 \times T$$

$$e = \text{el LP} + \text{seabed}$$

$$Z_f = 1,8 \times 3,2$$

$$e = 3,8 + 10$$

$$Z_f = 5,7 \text{ m}$$

$$e = 13,8 \text{ m}$$

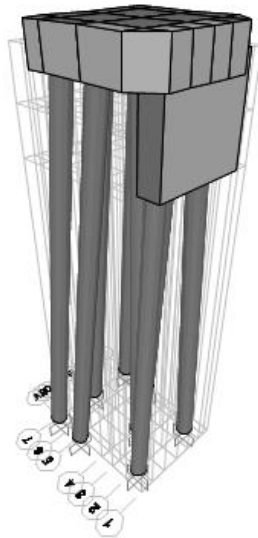
$$H = \text{Tinggi struktur}$$

$$H = Z_f + e$$

$$H = 5,7 + 13,8$$

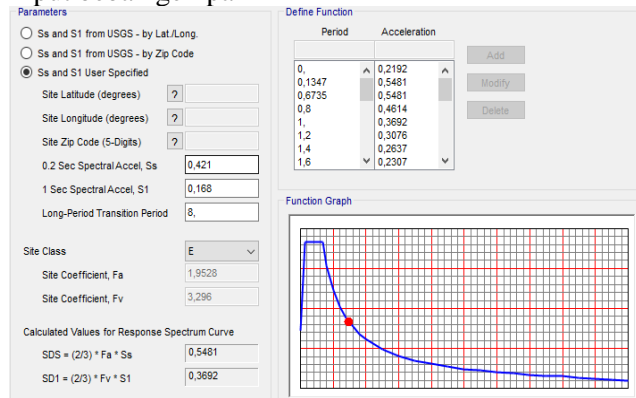
$$H = 21,4 \text{ m}$$

- Permodelan struktur breasting dolphin



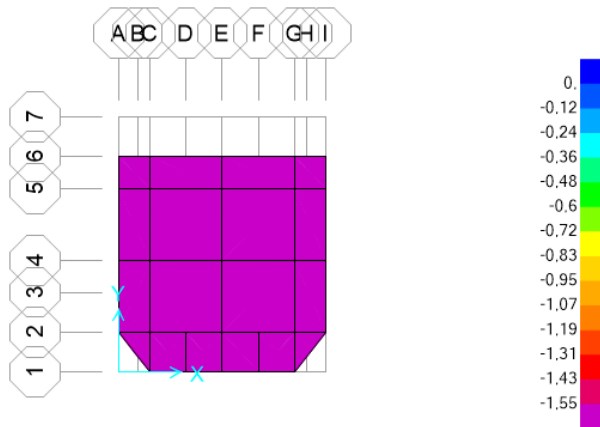
Gambar 7. 3 Struktur Breasting Dolphin

- **Input beban gempa**



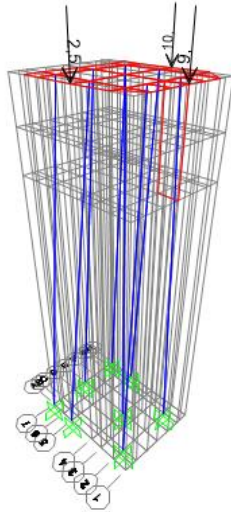
Gambar 7. 4 Grafik Respon Spektrum

- **Input beban hidup pelat berupa beban hujan dan beban pangkalan**



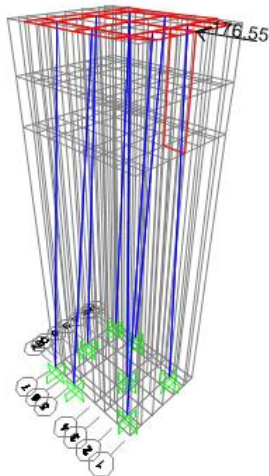
Gambar 7. 5 Beban pangkalan dan Beban hujan pada Breasting Dolphin

- **Input beban mati terpusat akibat berat plank fender, berat fender, dan beban catwalk.**



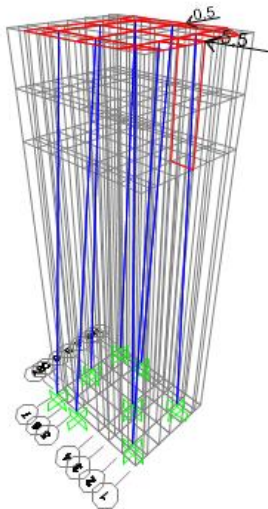
Gambar 7. 6 Beban mati terpusat akibat berat plank fender, berat fender, dan beban catwalk

- Input reaksi fender



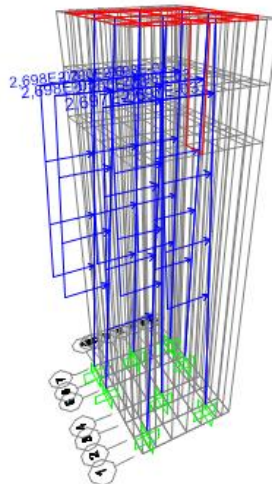
Gambar 7. 7 Reaksi Fender

- Input reaksi angin



Gambar 7. 8 Reaksi Angin

- Input reaksi arus



Gambar 7. 9 Reaksi Arus

b. Kombinasi Pembebanan

Kombinasi pembebanan yang direncanakan pada breasting dolphin berdasarkan OCDI adalah sebagai berikut:

$$\text{COMB1} = \text{DL} + \text{LL}$$

$$\text{COMB2} = \text{DL} + \text{LL} + \text{SD}$$

$$\text{COMB3} = \text{DL} + \text{LL} + \text{SD} + \text{F}$$

$$\text{COMB4} = \text{DL} + \text{LL} + \text{SD} + \text{QL}_x + 0,3 \text{ QL}_y$$

$$\text{COMB5} = \text{DL} + \text{LL} + \text{SD} + 0,3 \text{ QL}_x + \text{QL}_y$$

Dimana:

DL = Beban mati (berat beton)

SD = Beban mati tambahan (berat fender dan catwalk)

LL = Beban hidup (beban pangkalan, beban hujan, beban angin, dan beban arus)

F = Gaya reaksi fender

QL_x = Beban gempa arah wdx

QL_y = Beban gempa arah y

c. Hasil Permodelan

Dari perhitungan program bantu SAP 2000 didapat gaya dalam sebagai berikut,

Poer:

$$\text{M max} = 82,56 \text{ t m}$$

Tiang Pancang Miring:

$$\text{P (tarik)} = 77,58 \text{ t}$$

$$\text{P (tekan)} = -128,032 \text{ t}$$

$$\text{V} = 12,5 \text{ t}$$

$$\text{M} = 136,532 \text{ t m}$$

$$\text{Defleksi} = 0,12 \text{ cm}$$

7.1.5. Perencanaan Tulangan

Perhitungan tulangan poer breasting dolphin dihitung seperti perhitungan tulangan pelat ($h/b = 150/520 = 0,288 < 0,4$) dengan data sebagai berikut:

Tebal (h)	= 150 cm
Lebar (b)	= 520 cm
Panjang (l)	= 540 cm
Selimut beton	= 8 cm
Diameter tulangan	= D29

Mutu beton

σ'_{bk}	= 350 kg/cm ²
σ'_b	= 115,5 kg/cm ²
E_b	= 120.000 kg/cm ²

Mutu baja tulangan

σ_{au}	= 3900 kg/cm ²
σ_a	= 2250 kg/cm ²
σ'_{au}	= 3390 kg/cm ²
E_a	= 2,1 x 10 ⁶ kg/cm ²

$$n = \frac{E_a}{E_b} = \frac{2,1 \times 10^6}{120.000} = 17,5$$

$$\phi_0 = \frac{\sigma_a}{n \times \sigma'_b} = \frac{2250}{17,5 \times 115,5} = 1,113$$

hx	= 1,5 - 0,08 - (0,5 × 0,029)
hx	= 1,4055 m = 140,55 cm
hy	= 1,5 - 0,08 - 0,029 - (0,5 × 0,029)
hy	= 1,3765 m = 137,65 cm

- a. Tulangan arah x
Lapangan

Nilai Ca:

$$Ca : \frac{hx}{\sqrt{\frac{n \times M_{lx}}{\sigma_a \times b}}} = \frac{140,55}{\sqrt{\frac{17,5 \times 8256000}{2250 \times 100}}} = 5,546$$

Nilai ϕ dan ω :

Dengan $\delta = 1$ dan nilai $Ca = 5,546$ maka didapat (berdasarkan tabel perhitungan lentur dengan cara n),

$$\phi = 3,616 > \phi_o = 1,113 \text{ OK!}$$

$$100n\omega = 3,522$$

Kebutuhan tulangan:

Direncanakan tulangan D29.

$$A_{perlu} = \omega \times b \times h_x$$

$$A_{perlu} = \left(\frac{3,522}{17,5 \times 100} \right) \times 1000 \times 1405,5 = 2828,77 \text{ mm}^2$$

$$n_{tulangan} = \frac{A_{perlu}}{A_{tulangan}} = \frac{2828,77}{\frac{1}{4} \times \pi \times 29^2} = 4,3 \approx 8$$

$$A_{pasang} = \frac{1}{4} \times \pi \times 29^2 \times 8 = 5286,285 \text{ mm}^2$$

Jarak tulangan utama yang dipasang tidak boleh lebih dari 20 cm atau 2 kali tebal pelat (300 cm). (PBI 1971 Pasal 8.16 (2)a)

$$s = \frac{b}{n_{tulangan}} = \frac{1000}{8} = 125 \text{ mm}$$

Kontrol Retak

Berdasarkan rumusan (2.23) dan Tabel 2.8, dengan uraian dimana bagian-bagian konstruksi yang mengalami tarik aksial, didapat nilai koefisien sebagai berikut:

$$C_3 = 1,5; C_4 = 0,16; C_5 = 30.$$

$$\omega_p = \frac{A}{Bt} = \frac{A_{pasang}}{b \times h_x} = \frac{5286,285}{1000 \times 140,5} = 0,0376$$

$$\sigma_a = \frac{\sigma_a}{\emptyset} = \frac{2250}{3,616} = 622,274 \text{ kg/cm}^2$$

Sehingga nilai w dapat dicari. Dikarenakan beton tidak terlindung dari hujan dan terik matahari langsung dan dalam lingkungan yang agresif maka nilai w harus kurang dari 0,1 mm (PBI 1971 Pasal 10.7 (1)b).

$$w = \alpha \left[(C_3 \times c) + \left(C_4 \times \frac{d}{\omega_p} \right) \right] \left[\sigma_a - \frac{C_5}{\omega_p} \right] 10^{-6}$$

$$w = 1 \left[(1,5 \times 8) + \left(0,16 \times \frac{2,9}{0,0376} \right) \right] \left[622,274 - \frac{30}{0,0376} \right] 10^{-6}$$

$$w = -0,00426 < 0,01 \text{ cm OK!}$$

Maka dipasang tulangan **D29-125**

Tumpuan

Dikarenakan momen tumpuan (arah x) sama dengan momen lapangan (arah x) maka, jumlah tulangan yang dipakai di lapangan maupun di tumpuan sama. Dipasang tulangan **D29-125**.

b. Tulangan arah y

Lapangan

Nilai Ca:

$$Ca : \frac{hy}{\sqrt{\frac{n \times M_{ly}}{\sigma_a \times b}}} = \frac{137,65}{\sqrt{\frac{17,5 \times 8256000}{2250 \times 100}}} = 5,432$$

Nilai ϕ dan ω :

Dengan $\delta = 1$ (tulangan simetris) dan nilai $Ca = 5,432$ maka didapat (berdasarkan tabel perhitungan lentur dengan cara n),

$$\phi = 3,542 > \phi_o = 1,113 \text{ OK!}$$

$$100n\omega = 3,674$$

Kebutuhan tulangan:

Direncanakan tulangan D29.

$$A_{perlu} = \omega \times b \times h_y$$

$$A_{perlu} = \left(\frac{3,674}{17,5 \times 100} \right) \times 1000 \times 1376,5 = 2899,99 \text{ mm}^2$$

$$n_{tulangan} = \frac{A_{perlu}}{A_{tulangan}} = \frac{2899,99}{\frac{1}{4} \times \pi \times 29^2} = 4,4 \approx 8$$

$$A_{pasang} = \frac{1}{4} \times \pi \times 29^2 \times 8 = 5286,285 \text{ mm}^2$$

Jarak tulangan utama yang dipasang tidak boleh lebih dari 20 cm atau 2 kali tebal pelat (300 cm). (PBI 1971 Pasal 8.16 (2)a)

$$s = \frac{b}{n_{tulangan}} = \frac{1000}{8} = 125 \text{ mm}$$

Kontrol Retak

Berdasarkan rumusan (2.23) dan Tabel 2.8, dengan uraian dimana bagian-bagian konstruksi yang mengalami tarik aksial, didapat nilai koefisien sebagai berikut:

$$C3 = 1,5; C4 = 0,16; C5 = 30.$$

$$\omega_p = \frac{A}{Bt} = \frac{A_{pasang}}{b \times h_y} = \frac{5286,285}{1000 \times 137,65} = 0,0384$$

$$\sigma_a = \frac{\sigma_a}{\emptyset} = \frac{2250}{3,542} = 635,268 \text{ kg/cm}^2$$

Sehingga nilai w dapat dicari. Dikarenakan beton tidak terlindung dari hujan dan terik matahari langsung dan dalam lingkungan yang agresif maka nilai w harus kurang dari 0,1 mm (PBI 1971 Pasal 10.7 (1)b).

$$w = \alpha \left[(C_3 \times c) + \left(C_4 \times \frac{d}{\omega_p} \right) \right] \left[\sigma_a - \frac{C_5}{\omega_p} \right] 10^{-6}$$

$$w = 1 \left[(1,5 \times 8) + \left(0,16 \times \frac{2,9}{0,0384} \right) \right] \left[635,268 - \frac{30}{0,0384} \right] 10^{-6}$$

$$w = -0,0035 < 0,01 \text{ cm OK!}$$

Maka dipasang tulangan **D29-125**

Tumpuan

Dikarenakan momen tumpuan (arah y) sama dengan momen lapangan (arah y) maka, jumlah tulangan yang dipakai di lapangan maupun di tumpuan sama. Dipasang tulangan **D29-125**.

c. Kontrol Geser Spons

$$\bar{\tau}_{bp} = \frac{P_{max}}{\pi(c + h_t)h_t} \leq \bar{\tau}_{bm}$$

Dimana:

τ_{bm}	= tegangan aktual yang terjadi pada beton
P max	= gaya aksial maksimum yang bekerja pada tiang pancang (-128,032 t)
c	= diameter tiang pancang (81,28 cm)
ht	= tinggi total poer (150 cm)
τ_{bp}	= tegangan ijin beton

Sehingga tegangan geser pons akibat beban kerja adalah

$$\bar{\tau}_{bm} = 0,65 \sqrt{\sigma'_{bk}} = 0,65 \sqrt{350} = 12,16 \text{ kg/cm}^2$$

$$\bar{\tau}_{bp} = \frac{128032}{\pi(81,28 + 150)150} \leq \bar{\tau}_{bm}$$

$$\bar{\tau}_{bp} = 1,17 \frac{\text{kg}}{\text{cm}^2} \leq \bar{\tau}_{bm} \text{ OK!}$$

Karena geser pons yang terjadi lebih kecil dari tegangan izin beton, maka poer dikatakan aman dari gaya pons.

d. Kontrol Kekuatan Tulangan Terhadap Gaya Tarik Pada Sambungan (Poer – Tiang Pancang)

Tulangan yang berada dibagian dalam steel pile harus dicek kemampuannya dalam menahan gaya aksial (P) tarik terbesar yang terjadi pada tiang tegak. Beberapa hal yang harus dicek antara lain:

- Kekuatan tarik dari tulangan yang berada di dalam steel pile (8D29, $f_y = 3900 \text{ kg/cm}^2$, $A_s = 660,785 \text{ mm}^2$)

$$P_{nt} = \text{kekuatan tarik tulangan}$$

$$P_{nt} = n \times A_s \times f_y$$

$$P_{nt} = 8 \times 660,785 \times 3900$$

$$P_{nt} = 206165 \text{ kg} = 206,165 \text{ t}$$

$$P_{\text{tekan}} \leq \phi P_{nt}$$

$$128,032 \leq 0,8 \times 206,165$$

$$128,032 \leq 164,932 \text{ OK!}$$

- Panjang penyaluran tulangan steel pile ke dalam poer (8 D29, L = 850 mm) yang diperlukan (L)

$$f_c' = 0,083 \times K350$$

$$f_c' = 0,083 \times 350$$

$$f_c' = 29,05 \text{ MPa}$$

$$f_r = 0,7 \sqrt{f_c}$$

$$f_r = 0,7 \times \sqrt{29,05}$$

$$f_r = 3,77 \text{ N/mm}^2$$

$$L_{perlu} = \frac{P_{tekan}}{n \times \pi \times d \times f_r}$$

$$L_{perlu} = \frac{1255994}{8 \times \pi \times 29 \times 3,77}$$

$$L_{perlu} = 457,1 \text{ mm}$$

$$L_{perlu} \leq L_{pasang}$$

$$457,1 \text{ mm} \leq 850 \text{ mm} \text{ OK!}$$

e. Kontrol Kemampuan Beton pada Tiang Pancang

Sambungan antara steel pile dan poer menggunakan beton mutu K350. Jadi, mutu beton yang digunakan harus dicek terhadap gaya tarik aktual yang terjadi. Tegangan beton yang diijinkan untuk menerima tarik pada pembebanan tetap beton K350 adalah:

$$\sigma_b = 0,48 \sqrt{\sigma_{bk}} = 0,48 \sqrt{350} = 8,98 \text{ kg/cm}^2$$

Tegangan tarik ijin (σ_{bi}) di atas yang akan digunakan untuk mengontrol gaya tarik aksial pada beton. Direncanakan $h = 1,5$

$$\text{m. } \sigma_{bi} = \sigma_b \times A_s$$

Dimana,

A_s = Luas selimut bagian dalam beton penutup pile

$$= \pi (D \times h)$$

h = panjang pile yang dicor (1,5 m)

$$A_s = \pi \times D \times h$$

$$A_s = \pi \times 81,28 \times 150$$

$$A_s = 38317,714 \text{ cm}^2$$

$$\sigma_{bi} = \sigma_b \times A_s$$

$$\sigma_{bi} = 8,98 \times 38317,714$$

$$\sigma_{bi} = 344092,22 \text{ kg}$$

Ptekan < σ_{bi}

$$128.032 \text{ kg} < 344.092,22 \text{ kg OK!}$$

7.1.6. Perencanaan Balok Fender

Pada perencanaan balok fender ini, fender dihitung sebagai struktur kantilever yang mendapat gaya – gaya dari tumbukan kapal terhadap fender itu sendiri. Perhitungan tulangan balok fender dihitung seperti perhitungan tulangan pelat ($h/b = 150/380 = 0,39 < 0,4$) dengan data sebagai berikut:

Data Balok fender

tebal	= 150 cm
b	= 380 cm
Selimut beton	= 8 cm
Diameter tulangan	= D29

Mutu beton

$$\sigma'_{bk} = 350 \text{ kg/cm}^2$$

$$\sigma'_b = 115,5 \text{ kg/cm}^2$$

$$E_b = 120.000 \text{ kg/cm}^2$$

Mutu baja tulangan

$$\sigma_{au} = 3900 \text{ kg/cm}^2$$

$$\sigma_a = 2250 \text{ kg/cm}^2$$

$$\sigma'_{au} = 3390 \text{ kg/cm}^2$$

$$E_a = 2,1 \times 10^6 \text{ kg/cm}^2$$

$$n = \frac{E_a}{E_b} = \frac{2,1 \times 10^6}{120.000} = 17,5$$

$$\phi_0 = \frac{\sigma_a}{n \times \sigma'_b} = \frac{2250}{17,5 \times 115,5} = 1,113$$

$$hx = 2,5 - 0,08 - (0,5 \times 0,029)$$

$$hx = 2,4055 \text{ m} = 240,55 \text{ cm}$$

$$hy = 2,5 - 0,08 - 0,029 - (0,5 \times 0,029)$$

$$hy = 2,3765 \text{ m} = 237,65 \text{ cm}$$

a. Momen yang Terjadi Pada Balok Fender

Penulangan balok fender dianalisa berdasarkan gaya fender 176,55 t yang bekerja sejarak 1,87 m dari ujung balok fender.

$$\begin{aligned} \text{Momen} &= P \times L \\ &= 176,55 \times 1,87 \\ &= 330,1485 \text{ t} \end{aligned}$$

b. Tulangan arah x

Lapangan

Nilai Ca:

$$Ca : \frac{hx}{\sqrt{\frac{n \times M_{lx}}{\sigma_a \times b}}} = \frac{240,55}{\sqrt{\frac{17,5 \times 33014850}{2250 \times 100}}} = 4,747$$

Nilai ϕ dan ω :

Dengan $\delta = 1$ dan nilai Ca = 4,747 maka didapat (berdasarkan tabel perhitungan lentur dengan cara n),

$$\phi = 3,02 > \phi_0 = 1,113 \text{ OK!}$$

$$100n\omega = 4,852$$

Kebutuhan tulangan:

Direncanakan tulangan D29.

$$A_{\text{perlu}} = \omega \times b \times h_x$$

$$A_{perlu} = \left(\frac{4,852}{17,5 \times 100} \right) \times 1000 \times 2405,5 = 6668,985 \text{ mm}^2$$

$$n_{tulangan} = \frac{A_{perlu}}{A_{tulangan}} = \frac{6668,985}{\frac{1}{4} \times \pi \times 29^2} = 10$$

$$A_{pasang} = \frac{1}{4} \times \pi \times 29^2 \times 10 = 6607,857 \text{ mm}^2$$

Jarak tulangan utama yang dipasang tidak boleh lebih dari 20 cm atau 2 kali tebal pelat (300 cm). (PBI 1971 Pasal 8.16 (2)a)

$$s = \frac{b}{n_{tulangan}} = \frac{1000}{10} = 100 \text{ mm}$$

Kontrol Retak

Berdasarkan rumusan (2.23) dan Tabel 2.8, dengan uraian dimana bagian-bagian konstruksi yang mengalami tarik aksial, didapat nilai koefisien sebagai berikut:

C3 = 1,5; C4 = 0,16; C5 = 30.

$$\omega_p = \frac{A}{Bt} = \frac{A_{pasang}}{b \times h_x} = \frac{6607,857}{1000 \times 240,5} = 0,02747$$

$$\sigma_a = \frac{\sigma_a}{\phi} = \frac{2250}{3,02} = 744,942 \text{ kg/cm}^2$$

Sehingga nilai w dapat dicari. Dikarenakan beton tidak terlindung dari hujan dan terik matahari langsung dan dalam lingkungan yang agresif maka nilai w harus kurang dari 0,1 mm (PBI 1971 Pasal 10.7 (1)b).

$$w = \alpha \left[(C_3 \times c) + \left(C_4 \times \frac{d}{\omega_p} \right) \right] \left[\sigma_a - \frac{C_5}{\omega_p} \right] 10^{-6}$$

$$w = 1 \left[(1,5 \times 8) + \left(0,16 \times \frac{2,9}{0,02747} \right) \right] \left[744,942 - \frac{30}{0,02747} \right] 10^{-6}$$

$$w = -0,01003 < 0,01 \text{ cm OK!}$$

Maka dipasang tulangan **D29-100**

Tumpuan

Dikarenakan momen tumpuan (arah x) sama dengan momen lapangan (arah x) maka, jumlah tulangan yang dipakai di lapangan maupun di tumpuan sama. Dipasang tulangan **D29-100**.

c. Tulangan arah y

Lapangan

Nilai Ca:

$$Ca : \frac{hy}{\sqrt{\frac{n \times M_{ly}}{\sigma_a \times b}}} = \frac{237,65}{\sqrt{\frac{17,5 \times 33014850}{2250 \times 100}}} = 4,69$$

Nilai ϕ dan ω :

Dengan $\delta = 1$ (tulangan simetris) dan nilai Ca = 4,69 maka didapat (berdasarkan tabel perhitungan lentur dengan cara n),

$$\phi = 3,067 > \phi_o = 1,113 \text{ OK!}$$

$$100n\omega = 4,974$$

Kebutuhan tulangan:

Direncanakan tulangan D29.

$$A_{\text{perlu}} = \omega \times b \times h_y$$

$$A_{perlu} = \left(\frac{4,974}{17,5 \times 100} \right) \times 1000 \times 2376,5 = 6754,695 \text{ mm}^2$$

$$n_{tulangan} = \frac{A_{perlu}}{A_{tulangan}} = \frac{808,648}{\frac{1}{4} \times \pi \times 29^2} = 10$$

$$A_{pasang} = \frac{1}{4} \times \pi \times 29^2 \times 10 = 6607,857 \text{ mm}^2$$

Jarak tulangan utama yang dipasang tidak boleh lebih dari 20 cm atau 2 kali tebal pelat (300 cm). (PBI 1971 Pasal 8.16 (2)a)

$$s = \frac{b}{n_{tulangan}} = \frac{1000}{10} = 100 \text{ mm}$$

Kontrol Retak

Berdasarkan rumusan (2.23) dan Tabel 2.8, dengan uraian dimana bagian-bagian konstruksi yang mengalami tarik aksial, didapat nilai koefisien sebagai berikut:

C3 = 1,5; C4 = 0,16; C5 = 30.

$$\omega_p = \frac{A}{Bt} = \frac{A_{pasang}}{b \times h_y} = \frac{6607,857}{1000 \times 237,65} = 0,0278$$

$$\sigma_a = \frac{\sigma_a}{\phi} = \frac{2250}{3,067} = 733,706 \text{ kg/cm}^2$$

Sehingga nilai w dapat dicari. Dikarenakan beton tidak terlindung dari hujan dan terik matahari langsung dan dalam lingkungan yang agresif maka nilai w harus kurang dari 0,1 mm (PBI 1971 Pasal 10.7 (1)b).

$$w = \alpha \left[(C_3 \times c) + \left(C_4 \times \frac{d}{\omega_p} \right) \right] \left[\sigma_a - \frac{C_5}{\omega_p} \right] 10^{-6}$$

$$w = 1 \left[(1,5 \times 8) + \left(0,16 \times \frac{2,9}{0,0278} \right) \right] \left[733,706 - \frac{30}{0,0278} \right] 10^{-6}$$

$$w = -0,0099 < 0,01 \text{ cm OK!}$$

Maka dipasang tulangan **D29-100**

Tumpuan

Dikarenakan momen tumpuan (arah y) sama dengan momen lapangan (arah y) maka, jumlah tulangan yang dipakai di lapangan maupun di tumpuan sama. Dipasang tulangan **D29-100**.

7.1.7. Perencanaan Pondasi

1. Tipe Pondasi

Pondasi yang akan digunakan adalah pondasi tiang pancang berbahan baja atau disebut juga sebagai steel pipe pile dengan menggunakan spesifikasi tiang pancang baja PT. Swana Bajapasific. Terdapat satu jenis tiang pancang dalam perencanaan breasting dolphin, yaitu tiang pancang miring dengan data sebagai berikut:

Dimensi Tiang Pancang Baja:

Diameter (D)	= 812,8 mm
Tebal (t)	= 16 mm
Luas (A)	= 400,5 cm ²
Momen Inersia (I)	= 318.000 cm ⁴
Berat	= 314,39 kg/m
Section Modulus (Z)	= 7.820 cm ³
Jari-jari girasi (i)	= 28,2 cm
Point of Fixity (Zf)	= 7,6 m
Jumlah Titik	= 8 titik

Mutu Baja:

E	= 2.100.000 kg/cm ²
fy	= 2.900 kg/cm ² (BJ 50)
fu	= 5.000 kg/cm ² (BJ50)

2. Kedalaman Tiang Pancang

Digunakan tiang pancang tegak dan tiang pancang miring untuk perencanaan struktur breasting dolphin dengan safety faktor 3.

Tiang Pancang Miring

Tekan:

$$\begin{aligned} \text{QL} &= 3 \times 128,032 \text{ t} \\ &= 384,096 \text{ t} \end{aligned}$$

Tiang Pancang Miring

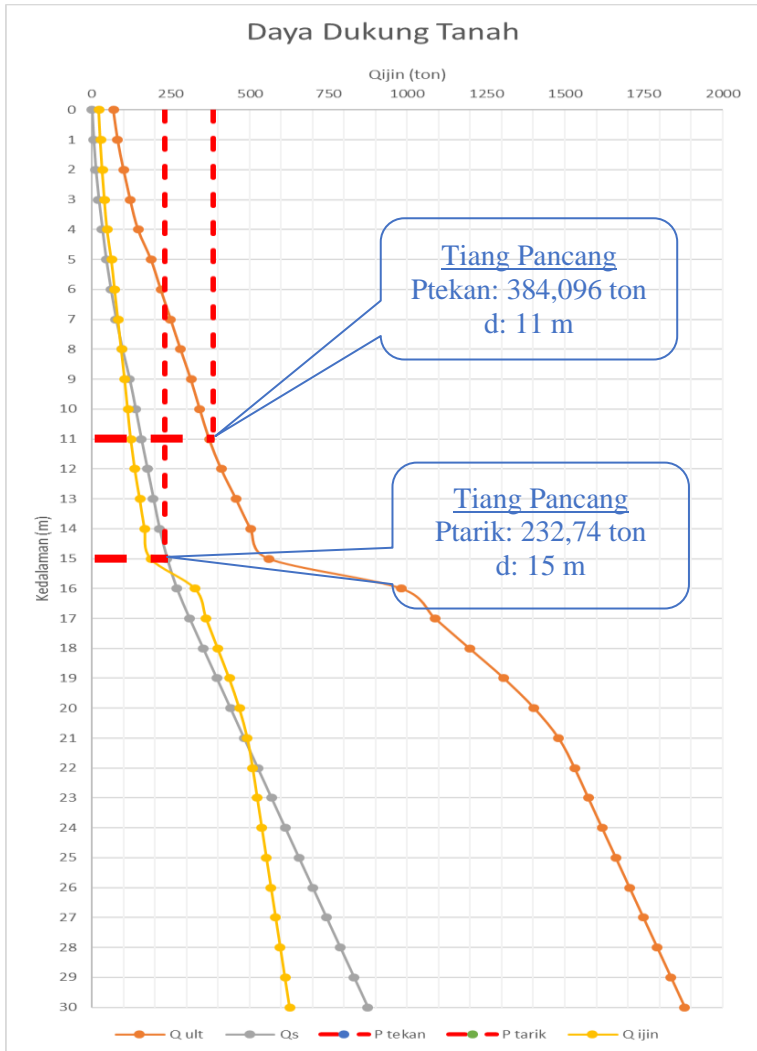
Tarik:

$$\begin{aligned} \text{QL} &= 3 \times 77,58 \text{ t} \\ &= 232,74 \text{ t} \end{aligned}$$

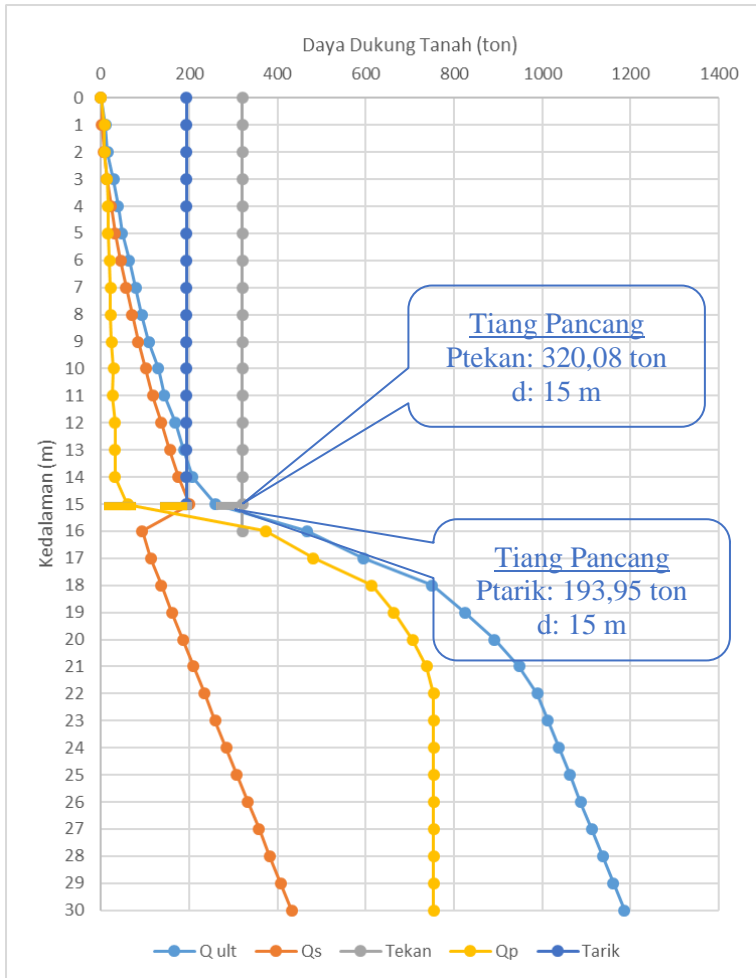
Dari grafik dalam Gambar 7. 10, didapatkan kedalaman minimum tiang pancang miring dan tegak sebagai berikut:

- Tiang pancang miring tarik = 15 m
- Tiang pancang miring tekan = 15 m

Jadi, kebutuhan minimum kedalaman tiang pancang untuk breasting dolphin yang menentukan adalah 15 m di bawah seabed atau -25 mLWS (10 + 15).



Gambar 7. 10 Kedalaman Minimum Pondasi Tiang Breasting Dolphin Berdasarkan Luciana De Court



Gambar 7. 11 Kedalaman Minimum Pondasi Tiang Breasting Dolphin Berdasarkan OCDI

3. Kontrol

- Kontrol Momen

Momen bahan dicari dengan perumusan sebagai berikut:

$$\sigma = \frac{P}{A} \pm \frac{M \times y}{I}$$

$$M = \left(\sigma - \frac{P}{A} \right) \times \frac{I}{y}$$

Dimana,

$$P = -128,032 \text{ t}$$

$$Y = 0,5 \times \text{diameter tiang pancang}$$

$$= 0,5 \times 812,8$$

$$= 406,4 \text{ mm}$$

$$y' = 0,5 \times \text{diameter tiang pancang setelah korosi}$$

$$= 0,5 \times (812,8 - 12,8)$$

$$= 400 \text{ mm}$$

Maka,

$$M = \left(2900 - \frac{128032}{400,5} \right) \times \frac{318.000}{40,64}$$

$$M = 20.190.492,94 \text{ kg cm}$$

$$M = 201,905 \text{ tm}$$

Tiang Pancang Miring

$$\text{Mu aktual} < \text{Mu bahan}$$

$$136,532 \text{ t m} < 201,905 \text{ t m t m OK!}$$

- Kontrol Kekuatan Bahan

Tegangan akibat beban aksial (P) dan momen (M) pada tiang pancang yang didapat dari analisa SAP 2000 v.14 harus lebih kecil dari tegangan ijin tiang pancang (f_y). Tegangan pada tiang pancang dapat dihitung dengan perumusan sebagai berikut:

$$\sigma = \frac{P}{A} \pm \frac{M}{W}$$

$$\sigma = \frac{128032}{0,04005} + \frac{136532}{314,39}$$

$$\sigma = 3197238,3 \text{ kg/m}^2$$

$$\sigma = 319,723 \text{ kg/cm}^2 < 2500 \text{ kg/cm}^2 \text{ (OK)}$$

- Kontrol Kuat Lateral

Beban yang dipikul oleh tiang pancang tidak hanya beban vertikal tetapi juga beban horizontal. Oleh karena itu perlu dilakukan pengecekan ketahanan tiang pancang terhadap beban horizontal. Gaya horizontal yang terjadi (hasil SAP 2000) harus lebih kecil dari gaya horizontal yang mampu dipikul bahan (H_u). Perhitungan daya dukung tiang terhadap beban lateral menggunakan cara Tomlinson dalam “Daya Dukung Pondasi Dalam oleh Prof. Dr. Ir. Herman Wahjudi hal 103”:

Fixed-headed pile:

$$H_u = \frac{2 \times M_u}{e + Z_f}$$

Dimana:

$$M_u = \text{Momen ultimate bahan} = 201,905 \text{ tm}$$

$$Z_f = 7,6 \text{ m}$$

$$e = 13,8 \text{ m}$$

$$H_u = \frac{2 \times 201,905}{13,8 + 7,6} = 18,876 \text{ t}$$

Tiang Pancang Miring

$$V = 12,5 \text{ t} < H_u = 18,876 \text{ t OK!}$$

- Kontrol Kuat Tekuk

$$P_{cr} = \frac{\pi^2 \times E \times I_{min}}{(Z_f + e)^2}$$

$$P_{cr} = \frac{\pi^2 \times 2.100.000 \times 318.000}{(760 + 1380)^2}$$

$$P_{cr} = 1440350,374 \text{ kg} = 1.440,35 \text{ t}$$

Tiang pancang Miring

$P_{cr} > P_u$

1.440,35 t > 128,032 t **OK!**

- Kemampuan Tiang Berdiri Sendiri

Tiang pancang pada saat pelaksanaan harus dikontrol terhadap frekuensi gelombang. Sehingga tiang akan stabil walaupun pada saat berdiri sendiri. ω gelombang diambil sebesar $1/6$ s-1. Adapun cara menghitung ω tiang adalah dengan perumusan berikut:

$$\omega_t = 1,73 \times \sqrt{\frac{EI}{\left(\frac{wi^3}{g}\right)}} \geq \omega$$

Dimana,

w = berat tiang (kg)

$$\begin{aligned} \text{- untuk tiang miring} &= 314,39 \text{ kg/m} \times H \\ &\text{diagonal} \\ &= 314,39 \text{ kg/m} \times 12,4 \text{ m} \\ &= 3898,436 \text{ kg} \end{aligned}$$

i = tinggi tiang di atas tanah (m)

= 12,4 m (tiang miring dengan z = 8:1)

g = 9,81 m/s²

- ω tiang pancang miring

$$\omega_t = 1,73 \times \sqrt{\frac{(2,1 \times 10^6) \times 318000}{\left(\frac{3898,436 \times 1140^3}{981}\right)}} \geq \omega$$

$$\omega_t = 16,24 \text{ s}^{-1} > \omega_{\text{gelombang}} (0,17 \text{ s}^{-1}) \text{ OK!}$$

Jadi dapat disimpulkan bahwa tiang pancang tegak dan tiang pancang miring stabil terhadap frekuensi gelombang dan bisa berdiri sendiri.

- Kontrol Defleksi Tiang

Berdasarkan BS 6349, defleksi horizontal yang diizinkan adalah sebagai berikut:

$$U_{ijin} = \frac{H}{300} = \frac{2120}{300} = 7 \text{ cm}$$

$$U < U_{ijin}$$

$$0,12 \text{ cm} < 7 \text{ cm} \text{ OK!}$$

4. Kontrol Tiang Pancang Terhadap Korosi

Korosi merupakan salah satu permasalahan yang dapat terjadi pada tiang pancang. Terutama saat tiang pancang berada di pantai/laut lepas. Dalam perencanaan ini, korosi tiang diasumsikan terjadi sampai tiang ditumbuhi karang yaitu selama 10 tahun. Dengan asumsi tingkat korosi = 0,3 mm/tahun, maka untuk waktu perencanaan 10 tahun, tebal tiang yang digunakan adalah: $16 - (0,3 \times 10) = 13 \text{ mm}$. Metode perawatan digunakan dengan menyediakan alokasi tebal tiang yang akan terkorosi yaitu setebal 3 mm. Selain itu dapat digunakan juga lapisan HDPE yang akan melindungi tiang pancang.

5. Kalendering Tiang Pancang

Perumusan kalendering yang dipakai adalah Alfred Hilley formula:

$$Qu = \frac{\alpha \times W \times H}{S + 0,5C} \times \frac{W + (n^2 \times Wp)}{W + Wp}$$

Karena perhitungan dilakukan sebelum pemancangan, maka yang dihitung adalah nilai s atau penetrasi / blow, yaitu pengamatan yang dilakukan rata – rata di tiga set terakhir, dengan 10 pukulan tiap setnya. Dan diisyaratkan apabila untuk kedalaman yang sama $S > S'$ maka pemancangan dihentikan.

Kalendering Tiang Pancang Miring:

Dimana:

$$Qu = 243,95 \text{ t}$$

$$\alpha = 2,5$$

$$W = 10 \text{ ton (diesel hammer)}$$

$$Wp = \text{Berat pile} \\ = 314,39 \text{ kg/m} \times 35,4 / 1000 \\ = 8 \text{ t}$$

$$L = 12,4 + 13 = 25,4 \text{ m}$$

$$H = \text{diambil } 2 \text{ m untuk kondisi normal}$$

$$n = 0,55 \text{ (hammer on steel pile without cushion)}$$

$$S = \text{nilai penetrasi/ blow rencana dari perhitungan}$$

$$S' = \text{nilai penetrasi/ blow saat pemancangan}$$

$$C1 = 0 \text{ (untuk without cushion)}$$

$$C2 = 10 \text{ mm (Steel Pile)}$$

$$C3 = 4 \text{ (soft ground)}$$

$$C = C1 + C2 + C3 \\ = 14 \text{ mm}$$

Maka:

$$243,95 = \frac{2,5 \times 10 \times 2}{S + 0,5 \times 0,014} \times \frac{10 + (0,55^2 \times 8)}{10 + 8}$$

$$243,95 = \frac{34,5}{S + 0,007}$$

$$S = \frac{34,5}{243,95} - 0,007 = 0,135 \text{ m} = 135 \text{ mm}$$

Maka final set kalendering yang digunakan untuk tiang pancang miring adalah 135 mm/10 blow atau 13,5 mm/blow.

7.2. Mooring Dolphin

7.2.1. Umum

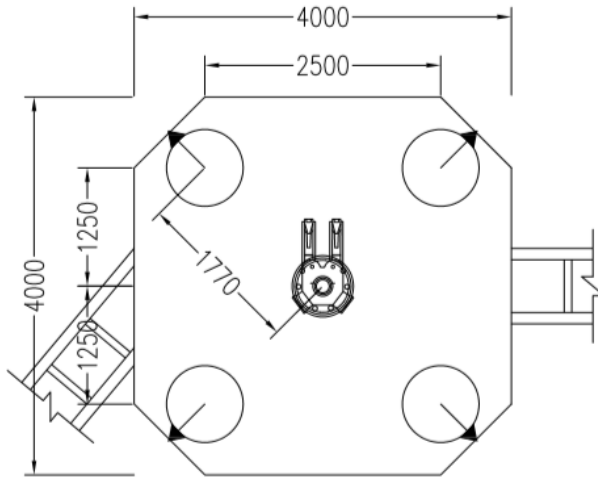
Mooring dolphin adalah struktur yang berfungsi sebagai tempat Quick Release Hook (QRH) yang berfungsi sebagai tambahan kapal. Beban yang bekerja pada struktur ini adalah QRH (tarikan kapal) dan beban gempa.

7.2.2. Perencanaan Layout Mooring Dolphin

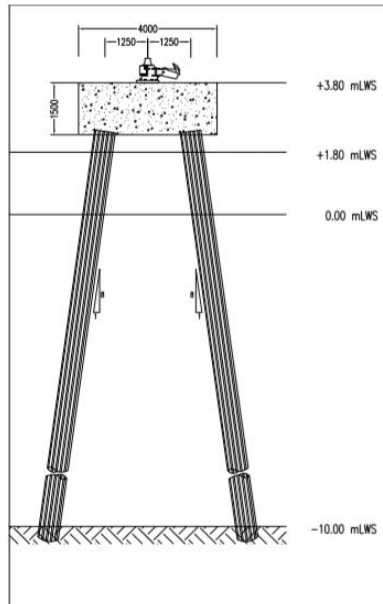
Struktur mooring dolphin yang akan direncanakan terdiri dari poer pada struktur bagian atas dan tiang pancang pada struktur bagian bawah. Struktur poer berfungsi sebagai penyambung antar ujung tiang pancang serta sekaligus berfungsi sebagai balok dan pelat. Dalam tugas akhir ini direncanakan mooring dolphin dengan spesifikasi sebagai berikut

Jenis poer	: Poer dengan 4 tiang pancang
Geometri poer	: Segi 4 dengan dimensi 4m x 4m
Tebal poer	: 100 cm
Selimut beton	: 8 cm
Diameter tiang pancang	: Diameter = 812,8 mm
	: Kemiringan = 1:8

Dari spesifikasi di atas dibuat perencanaan layout struktur mooring dolphin yang dapat dilihat Gambar 7. 12 dan Gambar 7. 13.



Gambar 7. 12 Tampak Atas Mooring Dolphin



Gambar 7. 13 Tampak Samping Mooring Dolphin

7.2.3. Pembebanan Mooring Dolphin

Beban yang terjadi pada Mooring Dolphin adalah:

a. Beban Vertikal

- Beban sendiri konstruksi balok
Berat jenis beton bertulang diambil sebesar $2,9 \text{ t/m}^3$. Untuk berat sendiri balok sudah terakumulasi secara otomatis oleh program SAP 2000 V14.0.
- Beban hidup
Beban Hujan = $t (5 \text{ cm}) \times \gamma_{air}$
= $0,05 \times 1000 = 50 \text{ kg/m}^2$
Beban Hidup Pangkalan = 1500 kg/m^2
Beban Hidup total = 1550 kg/m^2
- Beban Quick Release Hook
Berat QRH = 500 kg
Beban aksi QRH = $40 \times \sin 25^\circ$
= $16,9 \text{ t}$
- Beban Catwalk
Beban catwalk merupakan beban terpusat akibat beban pejalan kaki.
Beban catwalk = $p \times l \times \text{beban pejalan kaki}$
= $32 \times 0,8 \times 500 = 12.800 \text{ kg}$

b. Beban Horizontal

- Beban aksi QRH = 40 t
- Beban Angin
Perhitungan beban angin dilakukan pada sebagian struktur di atas muka air dengan kondisi maksimum desain kapal. Beban angin pada struktur dihitung dengan arah longitudinal dan transversal.
Fw longitudinal = $0,268 \text{ kN}$
Fw transversal = $0,268 \text{ kN}$
- Beban Arus
Beban arus terjadi di sepanjang tiang yang berada di bawah muka air dan kecepatannya diasumsikan konstan. Beban

arus yang bekerja pada tiang dihitung per-m panjang tiang di bawah muka air dengan bebas sebesar 0,027 t/m

c. Beban Gempa

Data beban gempa yang akan diinput pada program bantu SAP 2000 memakai SNI 2833-2008 dan juga data dari puskim.go.id. Kemudian scale factor dapat dihitung sebagai berikut.

- Faktor keutamaan gempa (I)
I = 1,5
- Kelas situs
Dari data tanah diketahui bahwa Nilai rata rata SPT < 15. Sehingga berdasarkan SNI 1726:2002 Tabel 3 didapatkan, Kelas situs = SE (tanah lunak)
- Faktor Modifikasi Respon (R)
Berdasarkan SNI 2833-2008 Tabel 3 didapatkan, R = 5,5 (pilar kolom majemuk)
- Percepatan batuan dasar pada perioda pendek (SS), percepatan batuan dasar pada perioda 1 detik (S1), dan percepatan muka tanah puncak (PGA) di dapat dari puskim.go.id sebagai berikut,

SS	= 0,421 g
S1	= 0,168 g
PGA	= 1,958 g

7.2.4. Permodelan Struktur pada SAP

Permodelan Struktur dilakukan dengan menggunakan program bantu SAP 2000. Permodelan struktur dilakukan untuk menentukan besarnya momen, gaya geser, dan reaksi yang terjadi pada poer dan pada perletakan. Permodelan pada SAP 200 dilakukan dengan permodelan tiga dimensi:

a. Permodelan Struktur Mooring Dolphin

- Perhitungan letak titik jepit tiang pancang (Zf)
Dimana dalam perencanaan ini digunakan tiang pancang baja D812,8 tebal 16,

$$\begin{aligned}
 I &= 318.00 \text{ cm}^4 \\
 E &= 2.100.000 \text{ kg/cm}^2 \\
 n_h &= 500 \text{ kN/m}^3 \text{ (soft normally consolidated clays)}
 \end{aligned}$$

$$T = \left(\frac{E \times I}{n_h} \right)^{\frac{1}{5}}$$

$$T = \left(\frac{2.100.000 \times 76.600}{0,05} \right)^{\frac{1}{5}}$$

$$T = 4,2 \text{ m}$$

$$Z_f = 1,8 \times T$$

$$e = \text{el LP} + \text{seabed}$$

$$Z_f = 1,8 \times 4,2$$

$$e = 3,8 + 10$$

$$Z_f = 7,6 \text{ m}$$

$$e = 13,8 \text{ m}$$

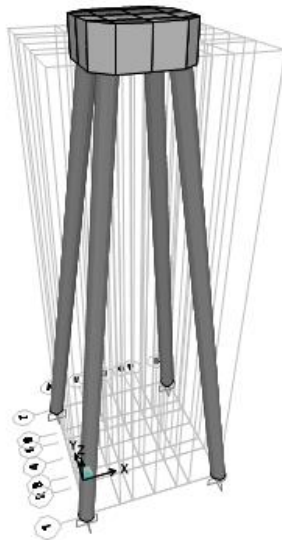
$$H = \text{Tinggi struktur}$$

$$H = Z_f + e$$

$$H = 7,6 + 13,8$$

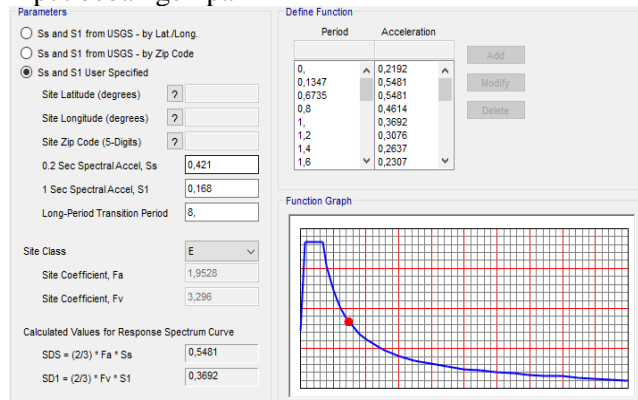
$$H = 20,4 \text{ m}$$

- Permodelan struktur mooring dolphin



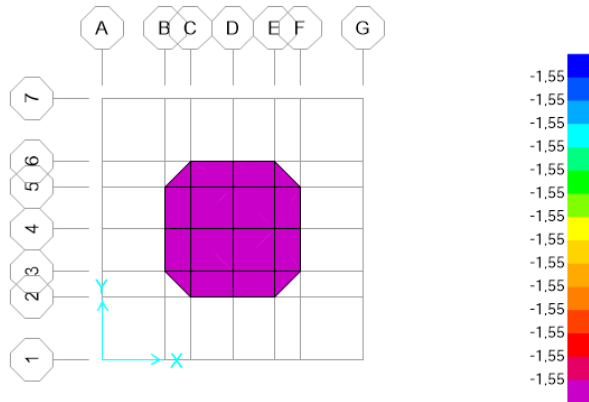
Gambar 7. 14 Permodelan struktur mooring dolphin

- **Input beban gempa**



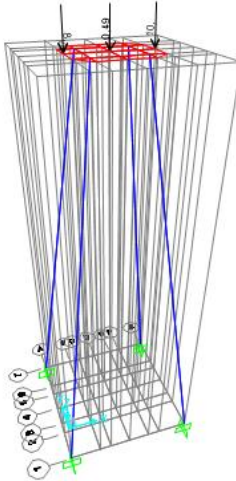
Gambar 7. 15 Grafik Respon Spektrum

- **Input beban hidup pelat berupa beban hujan dan beban pangkalan**



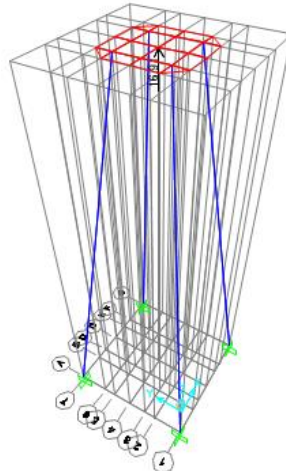
Gambar 7. 16 Beban pangkalan dan Beban hujan pada Breasting Dolphin

- Input beban mati terpusat akibat berat QRH, dan beban catwalk.



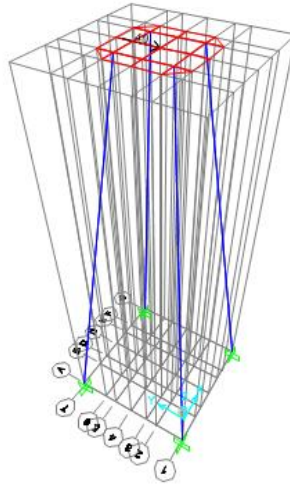
Gambar 7. 17 Beban mati terpusat yang terjadi

- Input beban aksi QRH arah vertical



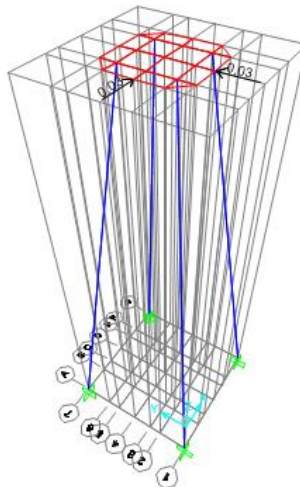
Gambar 7. 18 Beban aksi QRH arah vertikal

- Input beban aksi QRH arah horizontal



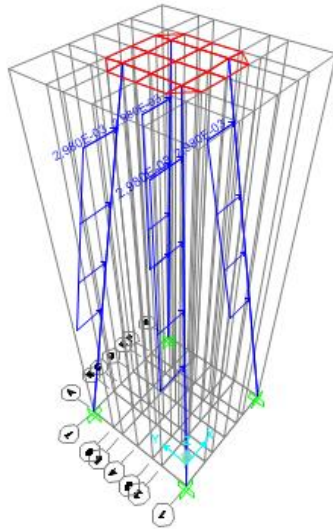
Gambar 7. 19 Beban aksi QRH arah horizontal

- Input reaksi angin



Gambar 7. 20 Reaksi Angin

- Input reaksi arus



Gambar 7. 21 Beban Arus

b. Kombinasi Pembebanan

Kombinasi pembebanan yang direncanakan pada mooring dolphin berdasarkan OCDI adalah sebagai berikut,

$$\text{COMB1} = \text{DL} + \text{LL}$$

$$\text{COMB2} = \text{DL} + \text{LL} + \text{SD}$$

$$\text{COMB3} = \text{DL} + \text{LL} + \text{SD} + \text{Fh}$$

$$\text{COMB4} = \text{DL} + \text{LL} + \text{SD} + \text{Fv}$$

$$\text{COMB5} = \text{DL} + \text{LL} + \text{SD} + \text{QLx} + 0,3 \text{ QLy}$$

$$\text{COMB6} = \text{DL} + \text{LL} + \text{SD} + 0,3 \text{ QLx} + \text{Qly}$$

Dimana:

DL = Beban mati (berat beton)

SD = Beban mati tambahan (berat QRH dan catwalk)

LL = Beban hidup (beban pangkalan, beban hujan, beban arus, dan beban angin)

Fh = Beban aksi QRH arah horizontal

F_v = Beban aksi QRH arah vertikal
 Q_{Lx} = Beban gempa arah x
 Q_{Ly} = Beban gempa arah y

c. Hasil Permodelan

Dari perhitungan program bantu SAP 2000 didapat gaya dalam sebagai berikut,

Poer:
 M_{max} = 45,16 t m

Tiang Pancang Miring:
 P (tarik) = 25,9 t
 P (tekan) = -75,94 t
 V = 3,84 t
 M = 43,46 t m
 Defleksi = 0,46 cm

7.2.5. Perencanaan Tulangan

Perhitungan tulangan poer mooring dolphin dihitung seperti perhitungan tulangan pelat ($h/b = 100/400 = 0,25 < 0,4$) dengan data sebagai berikut

Tebal = 100 cm
 Panjang (l) = 400 cm
 Lebar (b) = 400 cm
 Selimut beton = 8 cm
 Diameter tulangan = D29

Mutu beton (K350)

σ'_{bk} = 350 kg/cm²
 σ'_b = 115,5 kg/cm²
 E_b = 120.000 kg/cm²

Mutu baja tulangan (U39)

$$\sigma_{au} = 3900 \text{ kg/cm}^2$$

$$\sigma_a = 2250 \text{ kg/cm}^2$$

$$\sigma'_{au} = 3390 \text{ kg/cm}^2$$

$$E_a = 2,1 \times 10^6 \text{ kg/cm}^2$$

$$n = \frac{E_a}{E_b} = \frac{2,1 \times 10^6}{120.000} = 17,5$$

$$\phi_0 = \frac{\sigma_a}{n \times \sigma'_b} = \frac{2250}{17,5 \times 115,5} = 1,113$$

$$h_x = 1 - 0,08 - (0,5 \times 0,029)$$

$$h_x = 0,9055 \text{ m} = 90,55 \text{ cm}$$

$$h_y = 1,5 - 0,08 - 0,029 - (0,5 \times 0,029)$$

$$h_y = 0,8765 \text{ m} = 87,65 \text{ cm}$$

a. Tulangan arah x

Lapangan

Nilai Ca:

$$Ca : \frac{h_x}{\sqrt{\frac{n \times M_{lx}}{\sigma_a \times b}}} = \frac{90,55}{\sqrt{\frac{17,5 \times 4516000}{2250 \times 100}}} = 4,831$$

Nilai ϕ dan ω :

Dengan $\delta = 1$ dan nilai $Ca = 4,831$ maka didapat (berdasarkan tabel perhitungan lentur dengan cara n),

$$\phi = 3,242 > \phi_0 = 1,113 \text{ OK!}$$

$$100n\omega = 4,675$$

Kebutuhan tulangan:

Direncanakan tulangan D29.

$$A_{\text{perlu}} = \omega \times b \times h_x$$

$$A_{perlu} = \left(\frac{4,675}{17,5 \times 100} \right) \times 1000 \times 905,5 = 2418,98 \text{ mm}^2$$

$$n_{tulangan} = \frac{A_{perlu}}{A_{tulangan}} = \frac{2418,98}{\frac{1}{4} \times \pi \times 29^2} = 3,66 \approx 5$$

$$A_{pasang} = \frac{1}{4} \times \pi \times 29^2 \times 5 = 3303,93 \text{ mm}^2$$

Jarak tulangan utama yang dipasang tidak boleh lebih dari 20 cm atau 2 kali tebal pelat (300 cm). (PBI 1971 Pasal 8.16 (2)a)

$$s = \frac{b}{n_{tulangan}} = \frac{1000}{5} = 200 \text{ mm}$$

Kontrol Retak

Berdasarkan rumusan (2.23) dan Tabel 2.8, dengan uraian dimana bagian-bagian konstruksi yang mengalami tarik aksial, didapat nilai koefisien sebagai berikut:

C3 = 1,5; C4 = 0,16; C5 = 30.

$$\omega_p = \frac{A}{Bt} = \frac{A_{pasang}}{b \times h_x} = \frac{3303,93}{1000 \times 90,55} = 0,036$$

$$\sigma_a = \frac{\sigma_a}{\phi} = \frac{2250}{3,242} = 694,016 \text{ kg/cm}^2$$

Sehingga nilai w dapat dicari. Dikarenakan beton tidak terlindung dari hujan dan terik matahari langsung dan dalam lingkungan yang agresif maka nilai w harus kurang dari 0,1 mm (PBI 1971 Pasal 10.7 (1)b).

$$w = \alpha \left[(C_3 \times c) + \left(C_4 \times \frac{d}{\omega_p} \right) \right] \left[\sigma_a - \frac{C_5}{\omega_p} \right] 10^{-6}$$

$$w = 1 \left[(1,5 \times 8) + \left(0,16 \times \frac{2,9}{0,036} \right) \right] \left[694,016 - \frac{30}{0,036} \right] 10^{-6}$$

$$w = -0,003 < 0,01 \text{ cm OK!}$$

Maka dipasang tulangan **D29-200**

Tumpuan

Dikarenakan momen tumpuan (arah x) sama dengan momen lapangan (arah x) maka, jumlah tulangan yang dipakai di lapangan maupun di tumpuan sama. Dipasang tulangan **D29-200**.

b. Tulangan arah y

Lapangan

Nilai Ca:

$$Ca : \frac{hy}{\sqrt{\frac{n \times M_{ly}}{\sigma_a \times b}}} = \frac{87,65}{\sqrt{\frac{17,5 \times 4516000}{2250 \times 100}}} = 4,676$$

Nilai ϕ dan ω :

Dengan $\delta = 1$ dan nilai Ca = 4,676 maka didapat (berdasarkan tabel perhitungan lentur dengan cara n),

$$\phi = 3,146 > \phi_o = 1,113 \text{ OK!}$$

$$100n\omega = 5$$

Kebutuhan tulangan:

Direncanakan tulangan D29.

$$A_{perlu} = \omega \times b \times h_y$$

$$A_{perlu} = \left(\frac{5}{17,5 \times 100} \right) \times 1000 \times 876,5 = 2504,286 \text{ mm}^2$$

$$n_{tulangan} = \frac{A_{perlu}}{A_{tulangan}} = \frac{2504,286}{\frac{1}{4} \times \pi \times 29^2} = 3,8 \approx 5$$

$$A_{pasang} = \frac{1}{4} \times \pi \times 29^2 \times 5 = 3303,93 \text{ mm}^2$$

Jarak tulangan utama yang dipasang tidak boleh lebih dari 20 cm atau 2 kali tebal pelat (300 cm). (PBI 1971 Pasal 8.16 (2)a)

$$s = \frac{b}{n_{tulangan}} = \frac{1000}{5} = 200 \text{ mm}$$

Kontrol Retak

Berdasarkan rumusan (2.23) dan Tabel 2.8, dengan uraian dimana bagian-bagian konstruksi yang mengalami tarik aksial, didapat nilai koefisien sebagai berikut:

C3 = 1,5; C4 = 0,16; C5 = 30.

$$\omega_p = \frac{A}{Bt} = \frac{A_{pasang}}{b \times h_y} = \frac{3303,93}{1000 \times 876,5} = 0,037$$

$$\sigma_a = \frac{\sigma_a}{\emptyset} = \frac{2250}{3,146} = 715,194 \text{ kg/cm}^2$$

Sehingga nilai w dapat dicari. Dikarenakan beton tidak terlindung dari hujan dan terik matahari langsung dan dalam lingkungan yang agresif maka nilai w harus kurang dari 0,1 mm (PBI 1971 Pasal 10.7 (1)b).

$$w = \alpha \left[(C_3 \times c) + \left(C_4 \times \frac{d}{\omega_p} \right) \right] \left[\sigma_a - \frac{C_5}{\omega_p} \right] 10^{-6}$$

$$w = 1 \left[(1,5 \times 8) + \left(0,16 \times \frac{2,9}{0,037} \right) \right] \left[715,194 - \frac{30}{0,037} \right] 10^{-6}$$

$$w = -0,0023 < 0,01 \text{ cm OK!}$$

Maka dipasang tulangan **D29-200**

Tumpuan

Dikarenakan momen tumpuan (arah y) sama dengan momen lapangan (arah y) maka, jumlah tulangan yang dipakai di lapangan maupun di tumpuan sama. Dipasang tulangan **D29-200**.

c. Kontrol Geser Spons

$$\bar{\tau}_{bp} = \frac{P_{max}}{\pi(c + h_t)h_t} \leq \bar{\tau}_{bm}$$

Dimana:

- τ_{bm} = tegangan aktual yang terjadi pada beton
- P max = gaya aksial maksimum yang bekerja pada tiang pancang (75,94 t)
- c = diameter tiang pancang (81,28 cm)
- ht = tinggi total poer (100 cm)
- τ_{bp} = tegangan ijin beton

Sehingga tegangan geser spons akibat beban kerja adalah

$$\bar{\tau}_{bm} = 0,65 \sqrt{\sigma'_{bk}} = 0,65 \sqrt{350} = 12,16 \text{ kg/cm}^2$$

$$\bar{\tau}_{bp} = \frac{75940}{\pi(81,28 + 100)100} \leq \bar{\tau}_{bm}$$

$$\bar{\tau}_{bp} = 1,333 \frac{\text{kg}}{\text{cm}^2} \leq \bar{\tau}_{bm} \text{ OK!}$$

Karena geser pons yang terjadi lebih kecil dari tegangan izin beton, maka poer dikatakan aman dari gaya pons.

d. Kontrol Kekuatan Tulangan Terhadap Gaya Tarik Pada Sambungan (Pouer – Tiang Pancang)

Tulangan yang berada dibagian dalam steel pile harus dicek kemampuannya dalam menahan gaya aksial (P) tarik terbesar yang terjadi pada tiang tegak. Bebarapa hal yang harus dicek antara lain:

- Kekuatan tarik dari tulangan yang berada di dalam steel pile (5D29, $f_y = 3900 \text{ kg/cm}^2$, $A_s = 660,785 \text{ mm}^2$)

$$P_{nt} = \text{kekuatan tarik tulangan}$$

$$P_{nt} = n \times A_s \times f_y$$

$$P_{nt} = 5 \times 660,785 \times 3900$$

$$P_{nt} = 128853,2 \text{ kg} = 128,853 \text{ t}$$

$$P_{tekan} \leq \emptyset P_{nt}$$

$$75,94 \leq 0,8 \times 128,853$$

$$75,94 \leq 103,083 \text{ OK!}$$

- Panjang penyaluran tulangan steel pile ke dalam poer (5D29, $L = 850 \text{ mm}$) yang diperlukan (L)

$$f_c' = 0,083 \times K350$$

$$f_c' = 0,083 \times 350$$

$$f_c' = 29,05 \text{ MPa}$$

$$f_r = 0,7 \sqrt{f_c}$$

$$f_r = 0,7 \times \sqrt{29,05}$$

$$f_r = 3,77 \text{ N/mm}^2$$

$$L_{perlu} = \frac{P_{tekan}}{n \times \pi \times d \times f_r}$$

$$L_{perlu} = \frac{744971,4}{5 \times \pi \times 29 \times 3,77}$$

$$L_{perlu} = 433,79 \text{ mm}$$

$$L_{perlu} \leq L_{pasang}$$

$$433,79 \text{ mm} \leq 850 \text{ mm} \text{ OK!}$$

- e. Kontrol Kemampuan Beton pada Tiang Pancang
Sambungan antara steel pile dan poer menggunakan beton mutu K350. Jadi, mutu beton yang digunakan harus dicek terhadap gaya tarik aktual yang terjadi. Tegangan beton yang diijinkan untuk menerima tarik pada pembebanan tetap beton K350 adalah:

$$\sigma_b = 0,48\sqrt{\sigma_{bk}} = 0,48\sqrt{350} = 8,98 \text{ kg/cm}^2$$

Tegangan tarik ijin (σ_{bi}) di atas yang akan digunakan untuk mengontrol gaya tarik aksial pada beton. Direncanakan $h = 1,5$

$$m. \sigma_{bi} = \sigma_b \times A_s$$

Dimana,

$$A_s = \text{Luas selimut bagian dalam beton penutup pile}$$

$$= \pi (D \times h)$$

$$h = \text{panjang pile yang dicor (1,5 m)}$$

$$A_s = \pi \times D \times h$$

$$A_s = \pi \times 81,28 \times 100$$

$$A_s = 25545,14 \text{ cm}^2$$

$$\sigma_{bi} = \sigma_b \times A_s$$

$$\sigma_{bi} = 8,98 \times 25545,14$$

$$\sigma_{bi} = 229394,8 \text{ kg}$$

$$P_{tekan} < \sigma_{bi}$$

$$75940 \text{ kg} < 229394,8 \text{ kg} \text{ OK!}$$

7.2.6. Perencanaan Pondasi

1. Tipe Pondasi

Pondasi yang akan digunakan adalah pondasi tiang pancang berbahan baja atau disebut juga sebagai steel pipe pile dengan menggunakan spesifikasi tiang pancang baja PT. Swana Bajapacific. Terdapat satu jenis tiang pancang dalam perencanaan breasting dolphin, yaitu tiang pancang miring dengan data sebagai berikut:

Dimensi Tiang Pancang Baja:

Diameter (D)	= 812,8 mm
Tebal (t)	= 16 mm
Luas (A)	= 400,5 cm ²
Momen Inersia (I)	= 318.000 cm ⁴
Berat	= 314,39 kg/m
Section Modulus (Z)	= 7.820 cm ³
Jari-jari girasi (i)	= 28,2 cm
Point of Fixity (Zf)	= 7,6 m
Jumlah Titik	= 5 titik

Mutu Baja:

E	= 2.100.000 kg/cm ²
fy	= 2.900 kg/cm ² (BJ 50)
fu	= 5.000 kg/cm ² (BJ50)

2. Kedalaman Tiang Pancang

Digunakan tiang pancang tegak dan tiang pancang miring untuk perencanaan struktur breasting dolphin dengan safety faktor 3.

Tiang Pancang Miring

Tekan:

$$\begin{aligned} QL &= 3 \times 75,94 \text{ t} \\ &= 227,82 \text{ t} \end{aligned}$$

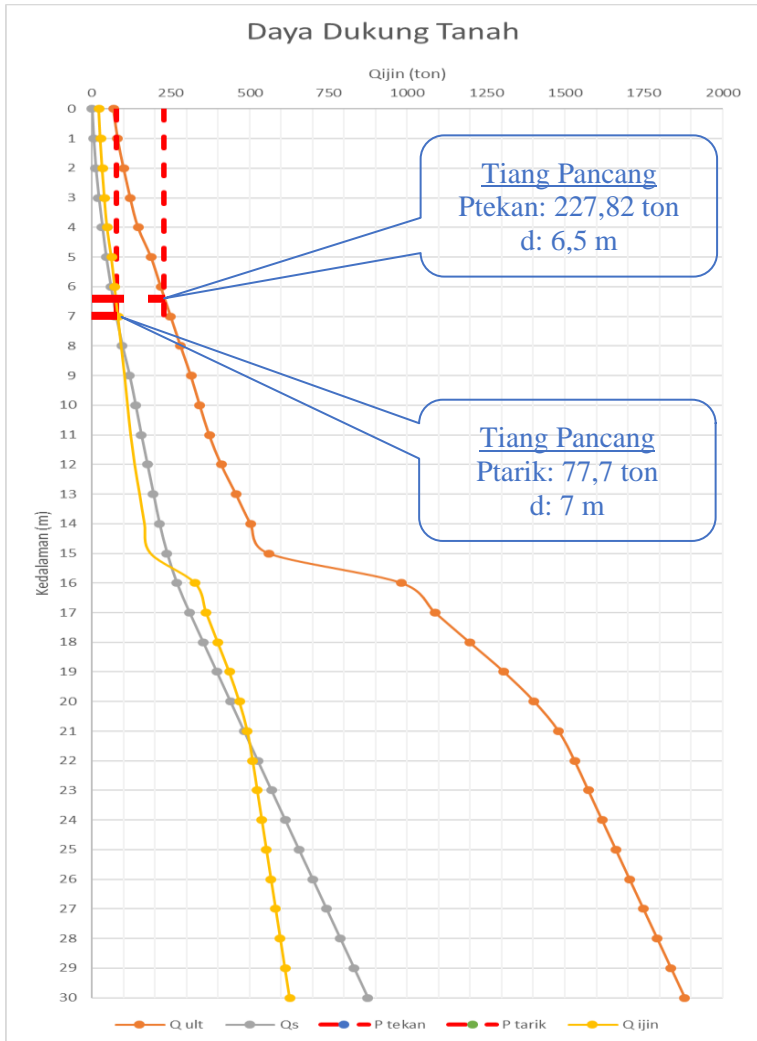
Tarik:

$$\begin{aligned} QL &= 3 \times 25,9 \\ &= 77,7 \text{ t} \end{aligned}$$

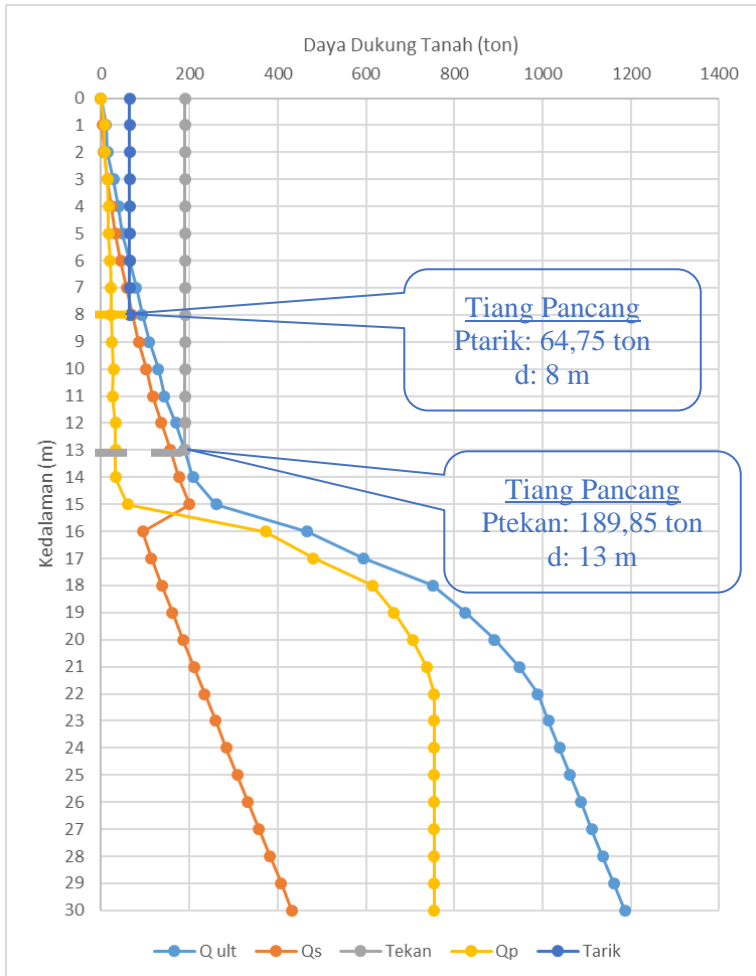
Dari grafik dalam Gambar 7. 22, didapatkan kedalaman minimum tiang pancang miring dan tegak sebagai berikut:

- Tiang pancang miring tekan = 13 m
- Tiang pancang miring tarik = 8 m

Jadi, kebutuhan minimum kedalaman tiang pancang untuk breasting dolphin yang menentukan adalah 13 m di bawah seabed atau -23 mLWS (10 + 13)



Gambar 7. 22 Kedalaman Minimum Pondasi Tiang Breasting Dolphin Berdasarkan Luciana De Court



Gambar 7. 23 Kedalaman Minimum Pondasi Tiang Breasting Dolphin Berdasarkan OCDI

3. Kontrol

- Kontrol Bahan

Momen bahan dicari dengan perumusan sebagai berikut:

$$\sigma = \frac{P}{A} \pm \frac{M \times y}{I}$$

$$M = \left(\sigma - \frac{P}{A} \right) \times \frac{I}{y}$$

Dimana,

$$P = -75,94 \text{ t}$$

$$Y = 0,5 \times \text{diameter tiang pancang}$$

$$= 0,5 \times 812,8$$

$$= 406,4 \text{ mm}$$

Maka,

$$M = \left(2900 - \frac{75940}{400,5} \right) \times \frac{318000}{40,64}$$

$$M = 21208244,86 \text{ kg cm}$$

$$M = 212,082 \text{ tm}$$

Tiang Pancang Miring

$$\text{Mu aktual} < \text{Mu bahan}$$

$$43,46 \text{ t m} < 212,082 \text{ t m OK!}$$

- Kontrol Kekuatan Bahan

Tegangan akibat beban aksial (P) dan momen (M) pada tiang pancang yang didapat dari analisa SAP 2000 v.14 harus lebih kecil dari tegangan ijin tiang pancang (f_y). Tegangan pada tiang pancang dapat dihitung dengan perumusan sebagai berikut:

$$\sigma = \frac{P}{A} \pm \frac{M}{W}$$

$$\sigma = \frac{75940}{0,04005} + \frac{43460}{314,39}$$

$$\sigma = 1896268,074 \text{ kg/m}^2$$

$$\sigma = 189,627 \text{ kg/cm}^2 < 2500 \text{ kg/cm}^2 \text{ (OK)}$$

- Kontrol Kuat Lateral

Beban yang dipikul oleh tiang pancang tidak hanya beban vertikal tetapi juga beban horizontal. Oleh karena itu perlu dilakukan pengecekan ketahanan tiang pancang terhadap beban horizontal. Gaya horizontal yang terjadi (hasil SAP 2000) harus lebih kecil dari gaya horizontal yang mampu dipikul bahan (H_u). Perhitungan daya dukung tiang terhadap beban lateral menggunakan cara Tomlinson dalam “Daya Dukung Pondasi Dalam oleh Prof. Dr. Ir. Herman Wahjudi hal 103”:

Fixed-headed pile:

$$H_u = \frac{2 \times M_u}{e + Z_f}$$

Dimana:

$$M_u = \text{Momen ultimate bahan} = 211,861 \text{ tm}$$

$$Z_f = 7,6 \text{ m}$$

$$e = 13,8 \text{ m}$$

$$H_u = \frac{2 \times 210,998}{13,8 + 7,6} = 19,726 \text{ t}$$

Tiang Pancang Miring

$$V = 3,83 \text{ t} < H_u = 19,726 \text{ t OK!}$$

- Kontrol Kuat Tekuk

$$P_{cr} = \frac{\pi^2 \times E \times I_{min}}{(Z_f + e)^2}$$

$$P_{cr} = \frac{\pi^2 \times 2.100.000 \times 318000}{(760 + 1380)^2}$$

$$P_{cr} = 1.440350 \text{ kg} = 1440,35 \text{ t}$$

Tiang pancang Miring

$P_{cr} > P_u$

1440,35 t > 81,49 t **OK!**

- Kemampuan Tiang Berdiri Sendiri

Tiang pancang pada saat pelaksanaan harus dikontrol terhadap frekuensi gelombang. Sehingga tiang akan stabil walaupun pada saat berdiri sendiri. ω gelombang diambil sebesar 1/6 s-1. Adapun cara menghitung ω tiang adalah dengan perumusan berikut:

$$\omega_t = 1,73 \times \sqrt{\frac{EI}{\left(\frac{wi^3}{g}\right)}} \geq \omega$$

Dimana,

w = berat tiang (kg)

$$\begin{aligned} \text{- untuk tiang miring} &= 314,39 \text{ kg/m} \times H \\ &\text{diagonal} \\ &= 314,39 \text{ kg/m} \times 12,4 \text{ m} \\ &= 3898,436 \text{ kg} \end{aligned}$$

i = tinggi tiang di atas tanah (m)

= 12,4 m (tiang miring dengan z = 8:1)

g = 9,8 m/s²

- ω tiang pancang miring

$$\omega_t = 1,73 \times \sqrt{\frac{(2,1 \times 10^6) \times 318000}{\left(\frac{3898,436 \times 1140^3}{980}\right)}} \geq \omega$$

$$\omega_t = 16,24 \text{ s}^{-1} > \omega_{\text{gelombang}} (0,17 \text{ s}^{-1}) \text{ OK!}$$

Jadi dapat disimpulkan bahwa tiang pancang tegak dan tiang pancang miring stabil terhadap frekuensi gelombang dan bisa berdiri sendiri.

- Kontrol Defleksi Tiang
Berdasarkan BS 6349, defleksi horizontal yang diizinkan adalah sebagai berikut:

$$U_{ijin} = \frac{H}{300} = \frac{2120}{300} = 7 \text{ cm}$$

$$U < U_{ijin}$$

$$0,46 \text{ cm} < 7 \text{ cm} \text{ OK!}$$

4. Kontrol Tiang Pancang Terhadap Korosi
Korosi merupakan salah satu permasalahan yang dapat terjadi pada tiang pancang. Terutama saat tiang pancang berada di pantai/laut lepas. Dalam perencanaan ini, korosi tiang diasumsikan terjadi sampai tiang ditumbuhi karang yaitu selama 10 tahun. Dengan asumsi tingkat korosi = 0,3 mm/tahun, maka untuk waktu perencanaan 10 tahun, tebal tiang yang digunakan adalah: $16 - (0.3 \times 10) = 13 \text{ mm}$. Metode perawatan digunakan dengan menyediakan alokasi tebal tiang yang akan terkorosi yaitu setebal 3 mm. Selain itu dapat digunakan juga lapisan HDPE yang akan melindungi tiang pancang.
5. Kalendering Tiang Pancang
Perumusan kalendering yang dipakai adalah Alfred Hilley formula:

$$Qu = \frac{\alpha \times W \times H}{S + 0,5C} \times \frac{W + (n^2 \times Wp)}{W + Wp}$$

Karena perhitungan dilakukan sebelum pemancangan, maka yang dihitung adalah nilai s atau penetrasi / blow, yaitu pengamatan yang dilakukan rata – rata di tiga set terakhir, dengan 10 pukulan tiap setnya. Dan diisyaratkan apabila

untuk kedalaman yang sama $S > S'$ maka pemancangan dihentikan.

Kalendering Tiang Pancang Miring:

Dimana:

- $Q_u = 244,06 \text{ t}$
 $\alpha = 2,5$
 $W = 10 \text{ ton (diesel hammer)}$
 $W_p = \text{Berat pile}$
 $= 314,39 \text{ kg/m} \times 18,4 / 1000$
 $= 5,8 \text{ t}$
 $L = 12,4 + 6 = 18,4 \text{ m}$
 $H = \text{diambil } 2 \text{ m untuk kondisi normal}$
 $n = 0,55 \text{ (hammer on steel pile without cushion)}$
 $S = \text{nilai penetrasi/ blow rencana dari perhitungan}$
 $S' = \text{nilai penetrasi/ blow saat pemancangan}$
 $C1 = 0 \text{ (untuk without cushion)}$
 $C2 = 10 \text{ mm (Steel Pile)}$
 $C3 = 4 \text{ (soft ground)}$
 $C = C1 + C2 + C3$
 $= 14 \text{ mm}$

Maka:

$$227,82 = \frac{2,5 \times 10 \times 2}{S + 0,5 \times 0,014} \times \frac{10 + (0,55^2 \times 5,8)}{10 + 5,8}$$

$$227,82 = \frac{37,198}{S + 0,007}$$

$$S = \frac{37,198}{227,82} - 0,007 = 0,156 \text{ m} = 156 \text{ mm}$$

Maka final set kalendering yang digunakan untuk tiang pancang miring adalah 156 mm/10 blow atau 15,6 mm/blow.

7.3. Unloading Platform

7.3.1. Umum

Loading platform adalah bagian struktur jetty yang berfungsi sebagai tempat bongkar LNG dari dalam kapal. Di platform sendiri terdapat fasilitas muat seperti marine loading arm (MLA), tower gangway, fire monitor tower, pipa minyak, dan jetty energy and monitoring house. Peralatan tersebut merupakan beban tetap dari loading platformnya.

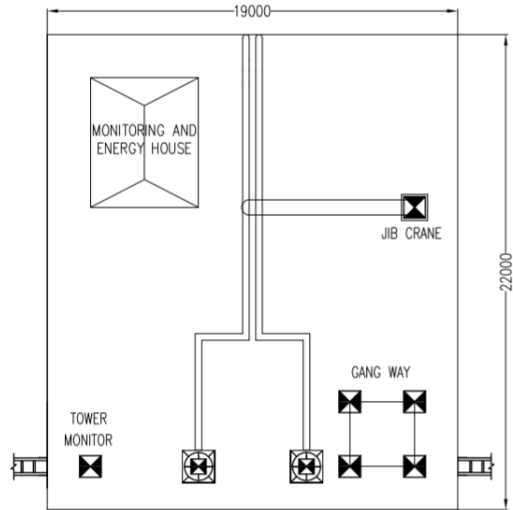
7.3.2. Perencanaan Layout Unloading Platform

Dalam tugas akhir ini, konstruksi loading platform island berth adalah tipe open pier. Struktur loading platform terdiri dari pelat, balok, pile cap, dan tiang pancang. Berikut ini adalah perencanaan dimensi loading platform:

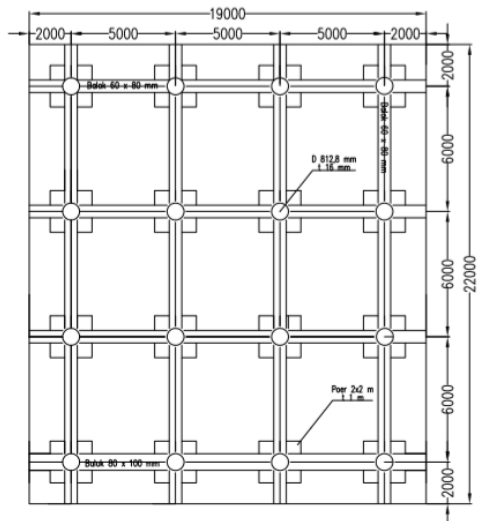
Pelat:

Tebal	= 0,25 m
Balok melintang	= 60/80 = Dengan panjang 2 m dan 6 m
Balok memanjang MLA	= 100/80 = Dengan panjang 2 m dan 5 m
Balok memanjang	= 60/80 = Dengan panjang 2 m dan 5 m
Pile cap tunggal	= 2 m x 2m x 1m
Tiang pancang	= Ø812,8
Dimensi	= 22 m x 19 m

Layout rencana alat dan fasilitas loading platform dapat dilihat pada Gambar 7. 24, sementara layout rencana struktur dapat dilihat pada Gambar 7. 25.



Gambar 7. 24 Layout Rencana Alat dan Fasilitas Unloading Platform



Gambar 7. 25 Layout Rencana Pembalokan

7.3.3. Pembebanan Unloading Platform

Beban yang terjadi pada Unloading Platform adalah:

a. Beban Vertikal:

- Beban sendiri konstruksi balok
Berat jenis beton bertulang diambil sebesar 2,9 t/m³ (sumber: Technical Standartbfor Port and Harbour in Japan). Untuk berat sendiri balok sudah terakumulasi secara otomatis oleh program SAP 2000 V14.0.
- Beban jetty monitoring house dan energy house
Akibat berat jetty monitoring house dan energy house. Berupa beban titik yang menumpuk pada pertemuan balok memanjang dan melintang. Untuk beban dinding dimasukkan berupa beban merata diatas balok.
Beban pertitik kolom : 0,8 t
Beban garis dinding I : 0,3 t/m
- Beban konstruksi pelat pada balok
Beban pelat pada struktur dibebankan pada balok-balok portal. Beban pelat terdiri dari beban-beban sebagai berikut:
 1. Beban mati : Berupa berat sendiri balok sudah terakumulasi secara otomatis oleh program SAP 2000 V14.0.
Beban hidup :
Beban hujan $= t (5 \text{ cm}) \times \text{yair}$
 $= 0,05 \times 1000$
 $= 50 \text{ kg/m}^2$
Beban hidup pangkalan $= 3000 \text{ kg/m}^2$
Beban Hidup total (qL) $= 50 + 3000$
 $= 3050 \text{ kg/m}^2$
- Beban akibat pipa dan fluida
Beban akibat pipa dan fluida pada struktur dibebankan pada tumpuan pipa, pada belokan maupun balok-balok portal,

berupa beban titik. Beban akibat pipa dan fluida dari beban-beban sebagai berikut:

1. Beban akibat pipa merupakan berat pipa LNG yang melintas di atas loading platform catwalk. Berat pipa diameter 12" Steel garde code API 5L C1998 0,039 t/m.
2. Beban fluida merupakan beban akibat LNG yang disalurkan melalui pipa. Beban fluida dihitung berdasarkan berat jenis LNG 461,1 kg/m³. Maka beban fluida didalam pipa:

$$\text{Beban fluida} = \text{Luasan dalam pipa} \times \gamma_{\text{LNG}}$$

$$\text{Beban fluida} = \pi r^2 \times \gamma_{\text{LNG}}$$

$$\text{Beban fluida} = \pi \times 0,15242 \times 461,1$$

$$\text{Beban fluida} = 33,653 \text{ kg/m} = 0,033 \text{ t/m}$$

- Beban papan navigasi
Beban marine loading arm merupakan beban terpusat sebesar 2 t.
- Beban marine loading arm
Beban marine loading arm merupakan beban terpusat sebesar 157 kN.
- Beban tower gangway
Gangway merupakan beban terpusat sebesar 27 Ton atau 6,75 ton per kaki gangway.
- Beban fire monitor tower
Beban fire tower monitor merupakan beban sebesar 1540 kg.
- Beban catwalk
Beban catwalk merupakan beban terpusat akibat beban pejalan kaki.
Beban catwalk = p x l x beban pejalan kaki
= 13 x 1,5 x 500
= 9750 kg

b. Beban Gempa

Data beban gempa yang akan diinput pada program bantu SAP 2000 memakai SNI 2833-2008 dan juga data dari puskim.go.id. Kemudian scale factor dapat dihitung sebagai berikut.

- Faktor keutamaan gempa (I)

$$I = 1,5$$

- Kelas situs
Dari data tanah diketahui bahwa Nilai rata rata SPT < 15. Sehingga berdasarkan SNI 1726:2002 Tabel 3 didapatkan, Kelas situs = SE (tanah lunak)
- Faktor Modifikasi Respon (R)
Berdasarkan SNI 2833-2008 Tabel 3 didapatkan, R = 5,5 (pilar kolom majemuk)
- Percepatan batuan dasar pada perioda pendek (SS), percepatan batuan dasar pada perioda 1 detik (S1), dan percepatan muka tanah puncak (PGA) di dapat dari puskim.go.id sebagai berikut,

SS	= 0,421 g
S1	= 0,168 g
PGA	= 1,958 g

c. Beban Horizontal

- Beban Angin
Perhitungan beban angin dilakukan pada sebagian struktur di atas muka air dengan kondisi maksimum desain kapal. Beban angin pada struktur dihitung dengan arah longitudinal dan transversal.

Fw longitudinal	= 0,34 kN
Fw transversal	= 0,4 kN
- Beban Arus
Beban arus terjadi di sepanjang tiang yang berada di bawah muka air dan kecepatannya diasumsikan konstan. Beban arus yang bekerja pada tiang dihitung per-m panjang tiang di bawah muka air dengan bebas sebesar 0,027 t/m.

7.3.4. Permodelan Struktur pada SAP

Permodelan Struktur dilakukan dengan menggunakan program bantu SAP 2000. Permodelan struktur dilakukan untuk menentukan besarnya momen, gaya geser, dan reaksi yang terjadi

pada balok dan pada perletakan. Permodelan pada SAP 200 dilakukan dengan permodelan tiga dimensi.

a. Permodelan Struktur Unloading Platform

- Perhitungan letak titik jepit tiang pancang (ZF)
Dimana dalam perencanaan ini digunakan tiang pancang baja D812,8 tebal 16,
 $I = 318.00 \text{ cm}^4$
 $E = 2.100.000 \text{ kg/cm}^2$
 $n_h = 500 \text{ kN/m}^3$ (soft normally consolidated clays)

$$T = \left(\frac{E \times I}{n_h} \right)^{\frac{1}{5}}$$

$$T = \left(\frac{2.100.000 \times 76.600}{0,05} \right)^{\frac{1}{5}}$$

$$T = 4,2 \text{ m}$$

$$Z_f = 1,8 \times T \qquad e = e_l \text{ LP} + \text{ seabed}$$

$$Z_f = 1,8 \times 4,2 \qquad e = 6 + 10$$

$$Z_f = 7,6 \text{ m} \qquad e = 16 \text{ m}$$

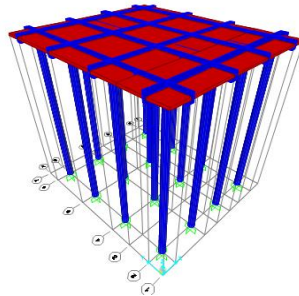
$$H = \text{Tinggi struktur}$$

$$H = Z_f + e$$

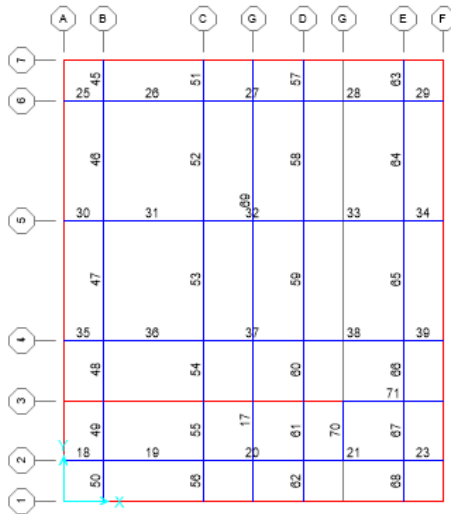
$$H = 7,6 + 16$$

$$H = 23,6 \text{ m}$$

- Permodelan struktur unloading platform

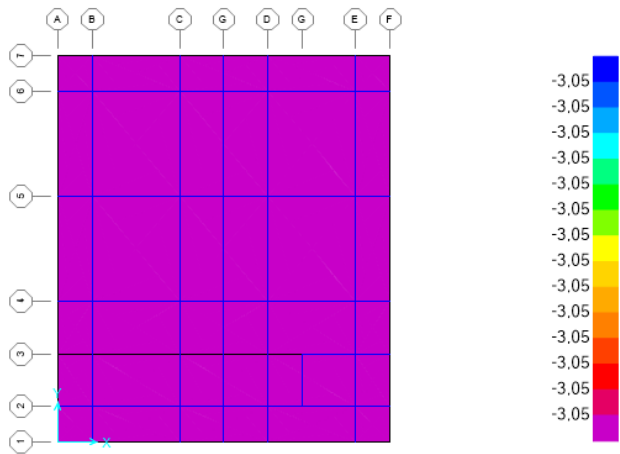


Gambar 7. 26 Struktur Unloading Platform



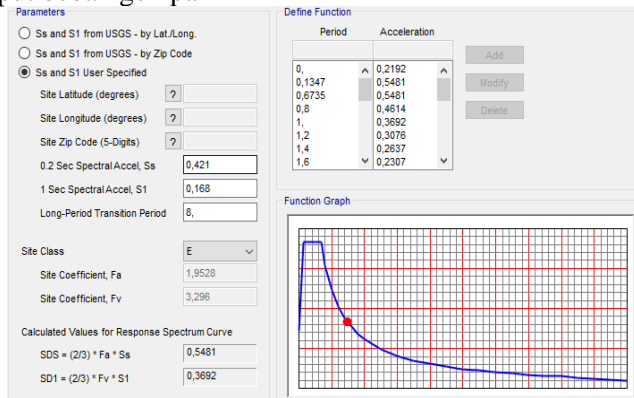
Gambar 7. 27 Penomoran Frame Balok Pada SAP2000

- Input beban hidup pelat berupa beban hujan dan beban pangkalan



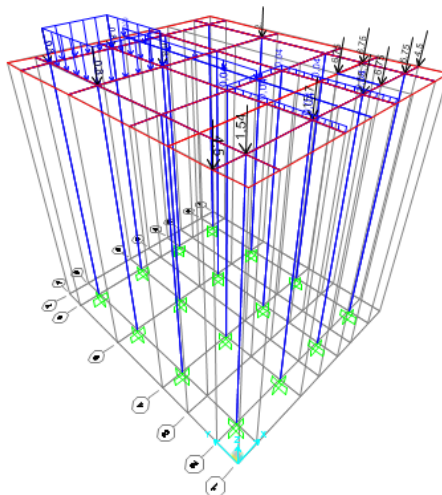
Gambar 7. 28 Beban Pangkalan dan Beban Hujan pada Unloading Platform

- Input beban gempa



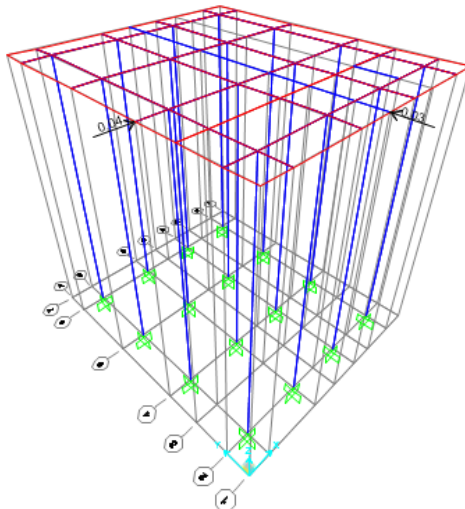
Gambar 7. 29 Respon Spektrum Gempa

- Input beban mati garis dan terpusat akibat papan navigasi, MLA, tower gangway, fire monitor tower, catwalk, jetty monitoring house, energy house, pipa, dan fluida.



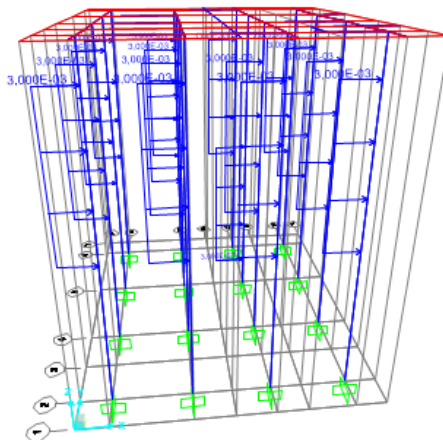
Gambar 7. 30 Beban Terpusat dan Beban Garis pada Unloading Platform

- Beban Angin



Gambar 7. 31 Beban Angin

- Beban Arus



Gambar 7. 32 Beban Arus

b. Kombinasi Pembebanan

Kombinasi pembebanan yang direncanakan pada unloading platform berdasarkan OCDI adalah sebagai berikut:

$$\text{COMB1} = \text{DL} + \text{LL}$$

$$\text{COMB2} = \text{DL} + \text{LL} + \text{SD}$$

$$\text{COMB3} = \text{DL} + \text{LL} + 0,3 \text{ QL}_x + \text{QL}_y$$

$$\text{COMB4} = \text{DL} + \text{LL} + \text{QL}_x + 0,3 \text{ QL}_y$$

Dimana:

DL = Beban mati (berat beton)

SD = Beban mati tambahan (papan navigasi, MLA, tower gangway, fire monitor tower, jib crane, pipa, catwalk)

LL = Beban hidup (beban pangkalan, beban hujan, beban arus, dan beban angin)

QL_x = Beban gempa arah x

QL_y = Beban gempa arah y

c. Hasil Permodelan

Dari perhitungan program bantu SAP 2000 didapat gaya dalam (Tabel 7. 1) sebagai berikut

Tabel 7. 1 Output dari SAP 2000

Struktur	Gaya	Kombinasi	Besaran	Satuan
Balok MLA 80/100	P (tekan)	COMB 3	-0,3	t
	P (tarik)	COMB 3	0,3	t
	M3 (tump)	COMB 3	-76,38	tm
	M3 (lap)	COMB 3	15,22	tm
	V2	COMB 3	32,12	t
	T	COMB 3	1,86	tm
	Deformasi	ENVELOPE	1,79	mm
Balok Melintang 60/80	P (tekan)	COMB 3	-0,212	t
	P (tarik)	COMB 3	0,212	t
	M3 (tump)	COMB 3	-64,51	tm
	M3 (lap)	COMB 3	36,86	tm
	V2	COMB 3	40,45	t
	T	COMB 3	4,65	tm
	Deformasi	ENVELOPE	1,79	mm
Balok Memanjang 60/80	P (tekan)	COMB 3	-0,184	t
	P (tarik)	COMB 3	0,184	t
	M3 (tump)	COMB 4	-66,55	tm
	M3 (lap)	COMB 4	15,46	tm
	V2	COMB 4	37,34	t
	T	COMB 3	3,77	tm
	Deformasi	ENVELOPE	5,3	mm
Tiang Pancang	P (tekan)	COMB 4	-148,3	t
	P (tarik)	-	-	t
	M2	COMB 3	-45,68	tm
	M3	COMB 4	46,38	tm
	V2	COMB 3	4,2	t
	V3	COMB 3	4,1	t
	Deformasi	COMB 3	5,3	mm

7.3.5. Perencanaan Pelat

1. Pembebanan Pelat

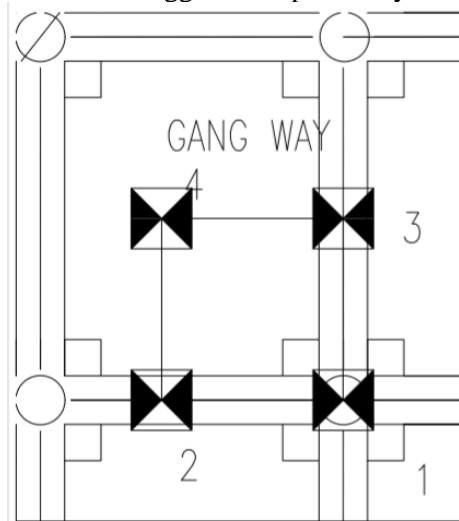
Pada perencanaan pelat terdapat beban berupa beban mati dan beban hidup. Beban mati berasal dari berat sendiri pelat sedangkan beban hidup berasal dari beban pangkalan, serta beban air hujan yang tergenang di atas pelat.

a. Beban Mati:

$$\begin{aligned} \text{Beban pelat sendiri} &= t \times \gamma_{\text{beton bertulang}} \\ &= 0,25 \times 2900 \\ &= 725 \text{ kg/m}^2 \end{aligned}$$

b. Beban mati terpusat akibat tower gangway

PD diambil dari distribusi beban dengan ukuran kaki 30 cm x 50 cm (Gambar 7. 33) dan yang menumpu di pelat sejumlah 1 titik. Sehingga beban perkaknya adalah 6,75 t



Gambar 7. 33 Beban Terpusat Akibat Tower Gangway

c. Beban Hidup

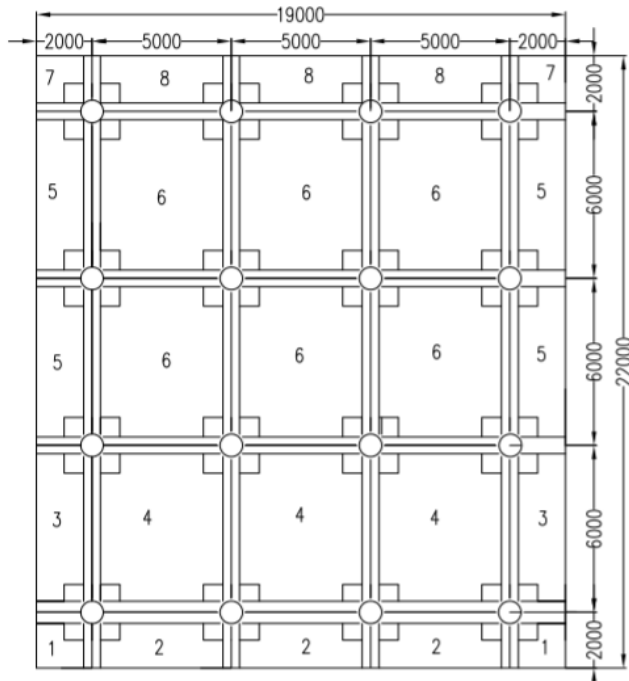
$$\begin{aligned}
 \text{Beban hujan} &= t (5\text{cm}) \times \gamma_{\text{air}} \\
 &= 0,05 \times 1000 \\
 &= 50\text{kg/m}^2 \\
 \text{Beban hidup pangkalan} &= 3000\text{kg/m}^2 \\
 \text{Beban hidup total} &= 50+3000 \\
 &= 3050 \text{ kg/m}^2
 \end{aligned}$$

2. Perhitungan Momen Pelat

Momen yang terjadi pada pelat mempunyai dua jenis dan dua arah. Yaitu momen tumpuan dan momen lapangan yang terjadi pada arah x dan arah y dari pelat. Pelat sendiri terbagi menjadi dua jenis yaitu pelat satu arah dan pelat dua arah. Perhitungan momen mengacu kepada PBI 1971.

Pada tepi-tepi pelat dapat terletak bebas atau terjepit elastis. Terletak bebas dikarenakan tidak ada balok sebagai tumpuan. Terjepit elastis dikarenakan pelat merupakan satu kesatuan monolit dengan balok pemikulnya yang relatif tidak terlalu kaku dan sesuai dengan kekakuannya memungkinkan pelat untuk berputar pada tumpuan itu.

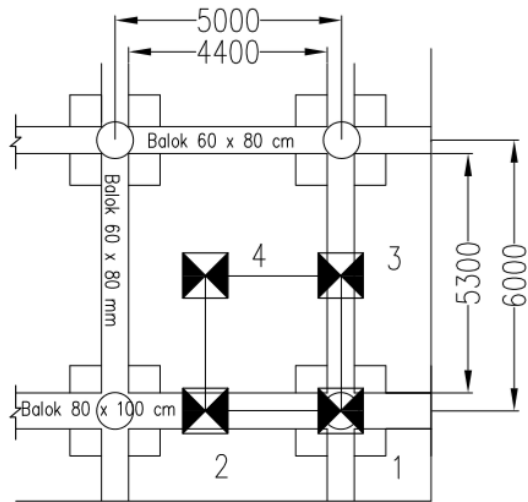
Berdasarkan Gambar 7. 34, terdapat 8 jenis pelat dengan ukuran berbeda. Dalam perhitungan di bawah ini diambil pelat E (Gambar 7. 35) sebagai contoh perhitungan. Untuk perhitungan momen pelat selengkapnya dapat dilihat pada Tabel 7. 2.



Gambar 7. 34 Perencanaan Tipe Plat

Plat 4

- Tepi Pelat = Keempat sisi pelat terjepit elastis (tipe pelat II)
- Jenis Pelat = $\frac{l_y}{l_x} = \frac{5,3}{4,4} = 1,2 < 2$ (pelat dua arah)



Gambar 7. 35 Pelat 4

Berdasarkan Tabel 2. 15 didapat perhitungan momen:

$$M_{lx} = 0,001 \times q \times l_x^2 \times 46$$

$$M_{tx} = -0,001 \times q \times l_x^2 \times 46$$

$$M_{ly} = 0,001 \times q \times l_x^2 \times 38$$

$$M_{ty} = -0,001 \times q \times l_x^2 \times 38$$

- Perhitungan momen akibat beban hidup

$$\begin{aligned} M_{lx} &= 0,001 \times 3050 \times 4,4^2 \times 46 \\ &= 2716,208 \text{ kg m} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} M_{tx} &= -0,001 \times 3050 \times 4,4^2 \times 46 \\ &= -2716,208 \text{ kg m} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} M_{ly} &= 0,001 \times 3050 \times 4,4^2 \times 38 \\ &= 2243,824 \text{ kg m} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} M_{ty} &= -0,001 \times 3050 \times 4,4^2 \times 38 \\ &= -2243,824 \text{ kg m} \end{aligned}$$

- Perhitungan momen akibat beban mati

$$\begin{aligned} M_{lx} &= 0,001 \times 725 \times 4,4^2 \times 46 \\ &= 645,656 \text{ kg m} \\ M_{tx} &= -0,001 \times 725 \times 4,4^2 \times 46 \\ &= -645,656 \text{ kg m} \\ M_{ly} &= 0,001 \times 725 \times 4,4^2 \times 38 \\ &= 533,368 \text{ kg m} \\ M_{ty} &= -0,001 \times 725 \times 4,4^2 \times 38 \\ &= -533,368 \text{ kg m} \end{aligned}$$

- Perhitungan momen akibat beban terpusat:
Dengan ukuran beban 50 cm x 30 cm dan koefisien-koefisien a_1 , a_2 , a_3 , dan a_4 sebagai berikut:

$$\begin{aligned} M_{lx} &: a_1 = -0,061 \\ &: a_2 = -0,021 \\ &: a_3 = 0,136 \\ &: a_4 = 0,408 \\ M_{ly} &: a_1 = -0,017 \\ &: a_2 = -0,068 \\ &: a_3 = 0,130 \\ &: a_4 = 0,390 \\ M_{tx} &: a_1 = 0,055 \\ &: a_2 = 0,144 \\ &: a_3 = -0,365 \\ &: a_4 = 0,972 \\ M_{ty} &: a_1 = 0,113 \\ &: a_2 = 0,064 \\ &: a_3 = -0,324 \\ &: a_4 = 0,972 \end{aligned}$$

Maka perhitungan momen dapat dilakukan sebagai berikut:

$$Mlx = \frac{-0,061 x \frac{0,3}{4,4} + (-0,021)x \frac{0,5}{5,3} + 0,136}{\frac{0,3}{4,4} + \frac{0,5}{5,3} + 0,408} x 6,75$$

$$= 1,54 \text{ tm}$$

$$Mly = \frac{-0,017 x \frac{0,3}{4,4} + (-0,068)x \frac{0,5}{5,3} + 0,13}{\frac{0,3}{4,4} + \frac{0,5}{5,3} + 0,39} x 6,75$$

$$= 1,5 \text{ tm}$$

$$Mtx = \frac{0,055 x \frac{0,3}{4,4} + 0,144 x \frac{0,5}{5,3} + (-0,365)}{\frac{0,3}{4,4} + \frac{0,5}{5,3} + 0,972} x 6,75$$

$$= -2,07 \text{ tm}$$

$$Mty = \frac{0,113 x \frac{0,3}{4,4} + 0,064 x \frac{0,5}{5,3} + (-0,324)}{\frac{0,3}{4,4} + \frac{0,5}{5,3} + 0,972} x 6,75$$

$$= -1,85 \text{ tm}$$

Lebar Pembesian:

Dengan koefisien yang dipakai sebagai berikut.

$$Slx : c1 = 0,1$$

$$: c2 = 0,1$$

$$Sly : c1 = 0,1$$

$$: c2 = 0,1$$

$$Stx : c1 = 0,1$$

$$: c2 = 0,1$$

$$Sty : c1 = 0,1$$

$$: c2 = 0,1$$

Maka dihitung dengan perumusan sebagai berikut:

$$Slx = \left(0,4 - 0,1 + 0,4 x \frac{0,3}{4,4} + 0,2 x \frac{0,5}{5,3} - 0,3 x \frac{0,3 x 0,5}{4,4 x 5,3}\right) x 4,4$$

$$Slx = 1,51$$

$$Sly = \left(0,4 - 0,1 + 0,2 x \frac{0,5}{4,4} + 0,4 x \frac{0,5}{5,3} - 0,3 x \frac{0,3 x 0,5}{4,4 x 5,3}\right) x 5,3$$

$$Sly = 1,9$$

$$Stx = \left(0,6 - 0,1 + 0,1 x \frac{0,3}{4,4} - 0,1 x \frac{0,5}{5,3} - 0,1 x \frac{0,3 x 0,5}{4,4 x 5,3}\right) x 4,4$$

$$Stx = 2,18$$

$$Sty = \left(0,6 - 0,1 - 0,1 x \frac{0,3}{4,4} + 0,1 x \frac{0,5}{5,3} + 0,1 x \frac{0,3 x 0,5}{4,4 x 5,3}\right) x 5,3$$

$$Sty = 2,66$$

Momen yang terjadi:

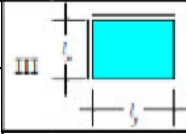


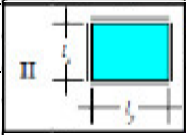
$$Mlx \max = \frac{Mlx}{Slx} = \frac{1,54}{1,51} = 1,02 \text{ t m}$$

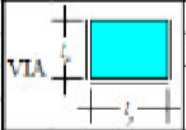
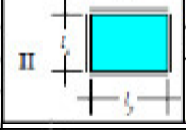
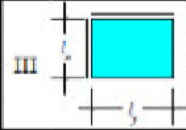
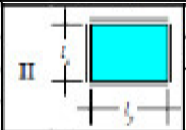
$$Mly \max = \frac{Mly}{Sly} = \frac{1,5}{1,9} = 0,79 \text{ t m}$$

$$Mtx \max = \frac{Mtx}{Stx} = \frac{-2,07}{2,18} = -0,95 \text{ t m}$$

$$Mty \max = \frac{Mty}{Sty} = \frac{-1,85}{2,66} = -0,7 \text{ t m}$$

Tabel 7. 2 Perhitungan Momen Pelat

Tipe Plat	ly	lx	ly/ lx	Koefisien Plat		Momen	Momen	Momen	Momen rencana	
	(m)	(m)				Akibat qL	Akibat qD	akibat PD	qD + qL + PD	
						(kg m)	(kg m)	(kg m)	(kg m)	
1	1,7	1,6	1,1		Mlx	55	429,44	102,08	0	531,52
					Mtx	55	-429,44	-102,08	0	-531,52
			Two		Mly	50	390,4	92,8	0	483,2
			Way		Mty	50	-390,4	-92,8	0	-483,2
2	4,4	1,6	2,8		Mlx	54	421,632	100,224	0	521,856
					Mtx	54	-421,632	-100,224	0	-521,856
			One		Mly	19	148,352	35,264	0	183,616
			Way		Mty	56	-437,248	-103,936	0	-541,184
3	5,3	1,7	3,1		Mlx	54	475,983	113,1435	0	589,1265
					Mtx	54	-475,983	-113,1435	0	-589,1265
			One		Mly	19	167,4755	39,80975	0	207,28525
			Way		Mty	56	-493,612	-117,334	0	-610,946
4	5,3	4,4	1,2		Mlx	46	2716,208	645,656	1002	4363,864
					Mtx	46	-2716,208	-645,656	-950	-4311,864
			Two		Mly	38	2243,824	533,368	790	3567,192
			Way		Mty	38	-2243,824	-533,368	-700	-3477,192

Tipe Plat	ly	lx	ly/ lx	Koefisien Plat		Momen Akibat qL	Momen Akibat qD	Momen akibat PD	Momen rencana qD + qL + PD	
	(m)	(m)				(kg m)	(kg m)	(kg m)	(kg m)	
5	5,4	1,7	3,2		Mlx	54	475,983	113,1435	0	589,1265
			One Way		Mtx	54	-475,983	-113,1435	0	-589,1265
			Mly		19	167,4755	39,80975	0	207,28525	
			Mty		56	-493,612	-117,334	0	-610,946	
6	5,4	4,4	1,2		Mlx	46	2716,208	681,2784	0	3397,4864
			Two Way		Mtx	46	-2716,208	-681,2784	0	-3397,4864
			Mly		38	2243,824	562,7952	0	2806,6192	
			Mty		38	-2243,824	-562,7952	0	-2806,6192	
7	1,7	1,7	1,0		Mlx	48	423,096	100,572	0	523,668
			Two Way		Mtx	48	-423,096	-100,572	0	-523,668
			Mly		48	423,096	100,572	0	523,668	
			Mty		48	-423,096	-100,572	0	-523,668	
8	4,4	1,7	2,6		Mlx	46	405,467	101,6991	0	507,1661
			One Way		Mtx	46	-405,467	-101,6991	0	-507,1661
			Mly		38	334,951	84,0123	0	418,9633	
			Mty		38	-334,951	-84,0123	0	-418,9633	

3. Perhitungan Tulangan Pelat

Perhitungan tulangan yang dihitung yaitu pelat dua arah (Pelat

4). Berikut merupakan data perencanaan yang digunakan untuk perhitungan tulangan pelat.

Tebal	= 25 cm
Panjang	= 100 cm (dihitung tiap 1 m)
Selimit beton	= 7 cm
Diameter tulangan	= D16

Mutu beton (K350)

$$\begin{aligned}\sigma'_{bk} &= 350 \text{ kg/cm}^2 \\ \sigma'_b &= 115,5 \text{ kg/cm}^2 \\ E_b &= 120.000 \text{ kg/cm}^2\end{aligned}$$

Mutu baja tulangan (U39)

$$\begin{aligned}\sigma_{au} &= 3900 \text{ kg/cm}^2 \\ \sigma_a &= 2250 \text{ kg/cm}^2 \\ \sigma'_{au} &= 3390 \text{ kg/cm}^2 \\ E_a &= 2,1 \times 10^6 \text{ kg/cm}^2\end{aligned}$$

$$n = \frac{E_a}{E_b} = \frac{2,1 \times 10^6}{120.000} = 17,5$$

$$\phi_0 = \frac{\sigma_a}{n \times \sigma'_b} = \frac{2250}{17,5 \times 115,5} = 1,113$$

$$\begin{aligned}h_x &= 0,25 - 0,07 - (0,5 \times 0,016) \\ h_x &= 0,172 \text{ m} = 17,2 \text{ cm} \\ h_y &= 1,5 - 0,07 - 0,016 - (0,5 \times 0,016) \\ h_y &= 0,156 \text{ m} = 15,6 \text{ cm}\end{aligned}$$

Pelat Dua Arah (Pelat 4):

a. Tulangan arah x

Lapangan

Nilai Ca:

$$Ca : \frac{hx}{\sqrt{\frac{n \times M_{lx}}{\sigma_a \times b}}} = \frac{17,2}{\sqrt{\frac{17,5 \times 436386,4}{2250 \times 100}}} = 2,781$$

Nilai ϕ dan ω :

Dengan $\delta = 0$ ((pelat tidak memerlukan tulangan tekan, sehingga luas tulangan tekan sama dengan 0) dan nilai Ca = 2,781 maka didapat (berdasarkan tabel perhitungan lentur dengan cara n),

$$\begin{aligned}\phi &= 1,576 > \phi_o = 1,113 \text{ OK!} \\ 100n\omega &= 15,026\end{aligned}$$

Kebutuhan tulangan:

Direncanakan tulangan D29.

$$A_{\text{perlu}} = \omega \times b \times h_x$$

$$A_{\text{perlu}} = \left(\frac{15,026}{17,5 \times 100} \right) \times 1000 \times 172 = 1391,02 \text{ mm}^2$$

$$n_{\text{tulangan}} = \frac{A_{\text{perlu}}}{A_{\text{tulangan}}} = \frac{1391,02}{\frac{1}{4} \times \pi \times 16^2} = 6,9 \approx 8$$

$$A_{\text{pasang}} = \frac{1}{4} \times \pi \times 16^2 \times 8 = 1609,143 \text{ mm}^2$$

Jarak tulangan utama yang dipasang tidak boleh lebih dari 20 cm atau 2 kali tebal pelat (300 cm). (PBI 1971 Pasal 8.16 (2)a)

$$s = \frac{b}{n_{\text{tulangan}}} = \frac{1000}{8} = 125 \text{ mm}$$

Kontrol Retak

Berdasarkan rumusan (2.23) dan Tabel 2.8, dengan uraian dimana bagian-bagian konstruksi yang mengalami tarik aksial, didapat nilai koefisien sebagai berikut:

$C_3 = 1,5$; $C_4 = 0,16$; $C_5 = 30$.

$$\omega_p = \frac{A}{Bt} = \frac{A_{pasang}}{b \times h_x} = \frac{1609,143}{1000 \times 162} = 0,00993$$

$$\sigma_a = \frac{\sigma_a}{\emptyset} = \frac{2250}{1,576} = 1427,653 \text{ kg/cm}^2$$

Sehingga nilai w dapat dicari. Dikarenakan beton tidak terlindung dari hujan dan terik matahari langsung dan dalam lingkungan yang agresif maka nilai w harus kurang dari 0,1 mm (PBI 1971 Pasal 10.7 (1)b).

$$w = \alpha \left[(C_3 \times c) + \left(C_4 \times \frac{d}{\omega_p} \right) \right] \left[\sigma_a - \frac{C_5}{\omega_p} \right] 10^{-6}$$

$$w = 1 \left[(1,5 \times 8) + \left(0,16 \times \frac{1,6}{0,00993} \right) \right] \left[1427,653 - \frac{30}{0,00993} \right] 10^{-6}$$

$$w = -0,06 < 0,01 \text{ cm OK!}$$

Maka dipasang tulangan lapangan (arah x) **D16-125**

Tumpuan

Nilai Ca:

$$Ca : \frac{hx}{\sqrt{\frac{n \times M_{tx}}{\sigma_a \times b}}} = \frac{17,2}{\sqrt{\frac{17,5 \times 431186,4}{2250 \times 100}}} = 2,797$$

Nilai ϕ dan ω :

Dengan $\delta = 0$ ((pelat tidak memerlukan tulangan tekan, sehingga luas tulangan tekan sama dengan 0) dan nilai $C_a = 2,797$ maka didapat (berdasarkan tabel perhitungan lentur dengan cara n),

$$\phi = 1,590 > \phi_o = 1,113 \text{ OK!}$$

$$100n\omega = 14,838$$

Kebutuhan tulangan:

Direncanakan tulangan D29.

$$A_{\text{perlu}} = \omega \times b \times h_x$$

$$A_{\text{perlu}} = \left(\frac{14,838}{17,5 \times 100} \right) \times 1000 \times 172 = 1373,574 \text{ mm}^2$$

$$n_{\text{tulangan}} = \frac{A_{\text{perlu}}}{A_{\text{tulangan}}} = \frac{1373,574}{\frac{1}{4} \times \pi \times 16^2} = 6,8 \approx 8$$

$$A_{\text{pasang}} = \frac{1}{4} \times \pi \times 16^2 \times 8 = 1609,143 \text{ mm}^2$$

Jarak tulangan utama yang dipasang tidak boleh lebih dari 20 cm atau 2 kali tebal pelat (50 cm). (PBI 1971 Pasal 8.16 (2)a)

$$s = \frac{b}{n_{\text{tulangan}}} = \frac{1000}{8} = 125 \text{ mm}$$

Kontrol Retak

Berdasarkan rumusan (2.23) dan Tabel 2.8, dengan uraian dimana bagian-bagian konstruksi yang mengalami tarik aksial, didapat nilai koefisien sebagai berikut:

$$C_3 = 1,5; C_4 = 0,16; C_5 = 30.$$

$$\omega_p = \frac{A}{Bt} = \frac{A_{pasang}}{b \times h_x} = \frac{1609,143}{1000 \times 172} = 0,00993$$

$$\sigma_a = \frac{\sigma_a}{\phi} = \frac{2250}{1,590} = 1415,45 \text{ kg/cm}^2$$

Sehingga nilai w dapat dicari. Dikarenakan beton tidak terlindung dari hujan dan terik matahari langsung dan dalam lingkungan yang agresif maka nilai w harus kurang dari 0,1 mm (PBI 1971 Pasal 10.7 (1)b).

$$w = \alpha \left[(C_3 \times c) + \left(C_4 \times \frac{d}{\omega_p} \right) \right] \left[\sigma_a - \frac{C_5}{\omega_p} \right] 10^{-6}$$

$$w = 1 \left[(1,5 \times 8) + \left(0,16 \times \frac{1,6}{0,00993} \right) \right] \left[1415,45 - \frac{30}{0,00993} \right] 10^{-6}$$

$$w = -0,061 < 0,01 \text{ cm OK!}$$

Maka dipasang tulangan tumpuan (arah x) **D16-125**.

b. Tulangan arah y

Lapangan

Nilai Ca:

$$Ca : \frac{hy}{\sqrt{\frac{n \times M_{ly}}{\sigma_a \times b}}} = \frac{15,6}{\sqrt{\frac{17,5 \times 356719,2}{2250 \times 100}}} = 2,772$$

Nilai ϕ dan ω :

Dengan $\delta = 0$ ((pelat tidak memerlukan tulangan tekan, sehingga luas tulangan tekan sama dengan 0) dan nilai $Ca = 2,772$ maka didapat (berdasarkan tabel perhitungan lentur dengan cara n),

$$\begin{aligned}\emptyset &= 1,569 > \emptyset_o = 1,113 \text{ OK!} \\ 100n\omega &= 15,134\end{aligned}$$

Kebutuhan tulangan:

Direncanakan tulangan D29.

$$A_{perlu} = \omega \times b \times h_y$$

$$A_{perlu} = \left(\frac{15,134}{17,5 \times 100} \right) \times 1000 \times 156 = 1262,645 \text{ mm}^2$$

$$n_{tulangan} = \frac{A_{perlu}}{A_{tulangan}} = \frac{1262,645}{\frac{1}{4} \times \pi \times 16^2} = 6,2 \approx 8$$

$$A_{pasang} = \frac{1}{4} \times \pi \times 16^2 \times 8 = 1609,143 \text{ mm}^2$$

Jarak tulangan utama yang dipasang tidak boleh lebih dari 20 cm atau 2 kali tebal pelat (50 cm). (PBI 1971 Pasal 8.16 (2)a)

$$s = \frac{b}{n_{tulangan}} = \frac{1000}{8} = 125 \text{ mm}$$

Kontrol Retak

Berdasarkan rumusan (2.23) dan Tabel 2.8, dengan uraian dimana bagain-bagian konstruksi yang mengalami tarik aksial, didapat nilai koefisien sebagai berikut:

C3 = 1,5; C4 = 0,16; C5 = 30.

$$\omega_p = \frac{A}{Bt} = \frac{A_{pasang}}{b \times h_y} = \frac{1609,143}{1000 \times 156} = 0,01102$$

$$\sigma_a = \frac{\sigma_a}{\emptyset} = \frac{2250}{1,569} = 1433,771 \text{ kg/cm}^2$$

Sehingga nilai w dapat dicari. Dikarenakan beton tidak terlindung dari hujan dan terik matahari langsung dan dalam lingkungan yang agresif maka nilai w harus kurang dari 0,1 mm (PBI 1971 Pasal 10.7 (1)b).

$$w = \alpha \left[(C_3 \times c) + \left(C_4 \times \frac{d}{\omega_p} \right) \right] \left[\sigma_a - \frac{C_5}{\omega_p} \right] 10^{-6}$$

$$w = 1 \left[(1,5 \times 8) + \left(0,16 \times \frac{1,6}{0,01102} \right) \right] \left[1433,771 - \frac{30}{0,01102} \right] 10^{-6}$$

$$w = -0,045 < 0,01 \text{ cm OK!}$$

Maka dipasang tulangan lapangan (arah y) **D16-125**

Tumpuan

Nilai Ca:

$$Ca : \frac{hy}{\sqrt{\frac{n \times M_{ty}}{\sigma_a \times b}}} = \frac{15,6}{\sqrt{\frac{17,5 \times 347719,2}{2250 \times 100}}} = 2,807$$

Nilai ϕ dan ω :

Dengan $\delta = 0$ ((pelat tidak memerlukan tulangan tekan, sehingga luas tulangan tekan sama dengan 0) dan nilai $Ca = 2,807$ maka didapat (berdasarkan tabel perhitungan lentur dengan cara n),

$$\phi = 1,597 > \phi_o = 1,113 \text{ OK!}$$

$$100n\omega = 14,726$$

Kebutuhan tulangan:

Direncanakan tulangan D29.

$$A_{\text{perlu}} = \omega \times b \times h_y$$

$$A_{perlu} = \left(\frac{14,726}{17,5 \times 100} \right) \times 1000 \times 156 = 1228,586 \text{ mm}^2$$

$$n_{tulangan} = \frac{A_{perlu}}{A_{tulangan}} = \frac{1228,586}{\frac{1}{4} \times \pi \times 16^2} = 6,1 \approx 8$$

$$A_{pasang} = \frac{1}{4} \times \pi \times 16^2 \times 8 = 1609,143 \text{ mm}^2$$

Jarak tulangan utama yang dipasang tidak boleh lebih dari 20 cm atau 2 kali tebal pelat (300 cm). (PBI 1971 Pasal 8.16 (2)a)

$$s = \frac{b}{n_{tulangan}} = \frac{1000}{8} = 125 \text{ mm}$$

Kontrol Retak

Berdasarkan rumusan (2.23) dan Tabel 2.8, dengan uraian dimana bagain-bagian konstruksi yang mengalami tarik aksial, didapat nilai koefisien sebagai berikut:

C3 = 1,5; C4 = 0,16; C5 = 30.

$$\omega_p = \frac{A}{Bt} = \frac{A_{pasang}}{b \times h_y} = \frac{1609,143}{1000 \times 156} = 0,01102$$

$$\sigma_a = \frac{\sigma_a}{\phi} = \frac{2250}{1,597} = 1409,22 \text{ kg/cm}^2$$

Sehingga nilai w dapat dicari. Dikarenakan beton tidak terlindung dari hujan dan terik matahari langsung dan dalam lingkungan yang agresif maka nilai w harus kurang dari 0,1 mm (PBI 1971 Pasal 10.7 (1)b).

$$w = \alpha \left[(C_3 \times c) + \left(C_4 \times \frac{d}{\omega_p} \right) \right] \left[\sigma_a - \frac{C_5}{\omega_p} \right] 10^{-6}$$

$$w = 1 \left[(1,5 \times 8) + \left(0,16 \times \frac{1,6}{0,01102} \right) \right] \left[1409,22 - \frac{30}{0,01102} \right] 10^{-6}$$

$$w = -0,046 < 0,01 \text{ cm } \mathbf{OK!}$$

Maka dipasang tulangan tumpuan (arah y) **D16-125**

Rekapitulasi perhitungan dan kontrol tulangan pelat dapat dilihat pada Tabel 7. 3 dan Tabel 7. 4.

Tabel 7. 3 Perhitungan Tulangan Pelat

Tipe Pelat	ly/lx	Momen Pelat		δ	Ca	ϕ	Ket	100nw	A perlu	n	n pasan g	s D16	As pasang
		(kg cm)							(mm ²)			(mm)	(mm ²)
1	1,1	Mlx	53152	0	7,968	5,005	OK	1,668	154,442	0,768	2	500	402,2857
		Mtx	-53152	0	7,968	5,005	OK	1,668	154,442	0,768	2	500	402,2857
	Two Way	Mly	48320	0	7,531	5,862	OK	1,873	156,2731	0,777	2	500	402,2857
		Mty	-48320	0	7,531	5,862	OK	1,873	156,2731	0,777	2	500	402,2857
2	2,8	Mlx	52185,6	0	8,041	5,049	OK	1,637	151,5417	0,753	2	500	402,2857
		Mtx	-52185,6	0	8,041	5,049	OK	1,637	151,5417	0,753	2	500	402,2857
	One Way	Mly	18361,6								2	500	402,2857
		Mty	-54118,4								2	500	402,2857
3	3,1	Mlx	58912,65	0	7,568	5,900	OK	1,854	171,6259	0,853	2	500	402,2857
		Mtx	-58912,65	0	7,568	5,900	OK	1,854	171,6259	0,853	2	500	402,2857
	One Way	Mly	20728,525								2	500	402,2857
		Mty	-61094,6								2	500	402,2857
4	1,2	Mlx	436386,4	0	2,781	1,576	OK	15,026	1391,02	6,916	8	125	1609,143
		Mtx	-431186,4	0	2,797	1,590	OK	14,838	1373,574	6,829	8	125	1609,143
	Two Way	Mly	356719,2	0	2,772	1,569	OK	15,134	1262,645	6,277	8	125	1609,143
		Mty	-347719,2	0	2,807	1,597	OK	14,726	1228,586	6,108	8	125	1609,143

Tipe Pelat	ly/lx	Momen Pelat		δ	Ca	ϕ	Ket	100nw	A perlu	n	n pasan	s D16	As pasang
		$\phi > \phi_o$	(mm ²)				(kg cm)		(mm ²)				
5	3,2	Mlx	58912,65	0	7,568	5,900	OK	1,854	171,6259	0,853	2	500	402,2857
		Mtx	-58912,65	0	7,568	5,900	OK	1,854	171,6259	0,853	2	500	402,2857
	One Way	Mly	20728,525	0	0,000	0	0	0	0	0	2	500	402,2857
		Mty	-61094,6	0	0,000	0	0	0	0	0	2	500	402,2857
6	1,2	Mlx	339748,64	0	3,151	1,870	OK	11,522	1066,604	5,303	8	125	1609,143
		Mtx	-339748,64	0	3,151	1,870	OK	11,522	1066,604	5,303	8	125	1609,143
	Two Way	Mly	280661,92	0	3,125	1,624	OK	11,729	978,5474	4,865	5	200	1005,714
		Mty	-280661,92	0	3,125	1,624	OK	11,729	978,5474	4,865	5	200	1005,714
7	1,0	Mlx	52366,8	0	8,027	5,039	OK	1,643	152,1089	0,756	2	500	402,2857
		Mtx	-52366,8	0	8,027	5,039	OK	1,643	152,1089	0,756	2	500	402,2857
	Two Way	Mly	52366,8	0	7,234	5,565	OK	2,033	169,6254	0,843	2	500	402,2857
		Mty	-52366,8	0	7,234	5,565	OK	2,033	169,6254	0,843	2	500	402,2857
8	2,6	Mlx	50716,61	0	8,157	5,131	OK	1,589	147,1162	0,731	2	500	402,2857
		Mtx	-50716,61	0	8,157	5,131	OK	1,589	147,1162	0,731	2	500	402,2857
	One Way	Mly	41896,33	0	0,000	0	0	0	0	0	2	500	402,2857
		Mty	-41896,33	0	0,000	0	0	0	0	0	2	500	402,2857

Tabel 7. 4 Kontrol Retak Pelat

Tipe Pelat	ly/lx	Momen Pelat	As pasang	α	C3	C4	C5	ω_p	σ_a	w	Ket.
			(mm ²)						(kg/cm ²)	(cm)	
1	1,1	Mlx	402,2857	1	1,5	0,16	30	0,00248	449,58	-1,339	OK
		Mtx	402,2857	1	1,5	0,16	30	0,00248	449,58	-1,339	OK
	Two Way	Mly	402,2857	1	1,5	0,16	30	0,00276	383,7991	-1,102	OK
		Mty	402,2857	1	1,5	0,16	30	0,00276	383,7991	-1,102	OK
2	2,8	Mlx	402,2857	1	1,5	0,16	30	0,00248	445,6164	-1,339	OK
		Mtx	402,2857	1	1,5	0,16	30	0,00248	445,6164	-1,339	OK
	One Way	Mly	402,2857	1	1,5	0,16	30	0,00276			
		Mty	402,2857	1	1,5	0,16	30	0,00276			
3	3,1	Mlx	402,2857	1	1,5	0,16	30	0,00248	381,3425	-1,347	OK
		Mtx	402,2857	1	1,5	0,16	30	0,00248	381,3425	-1,347	OK
	One Way	Mly	402,2857	1	1,5	0,16	30	0,00276			
		Mty	402,2857	1	1,5	0,16	30	0,00276			
4	1,2	Mlx	1609,143	1	1,5	0,16	30	0,00993	1427,653	-0,060	OK
		Mtx	1609,143	1	1,5	0,16	30	0,00993	1415,45	-0,061	OK
	Two Way	Mly	1609,143	1	1,5	0,16	30	0,01102	1433,771	-0,045	OK
		Mty	1609,143	1	1,5	0,16	30	0,01102	1409,22	-0,046	OK

Tipe Pelat	ly/lx	Momen Pelat	As pasang	α	C3	C4	C5	ω_p	σ_a	w	Ket.
			(mm ²)						(kg/cm ²)	(cm)	
5	3,2	Mlx	402,2857	1	1,5	0,16	30	0,00248	381,3425	-1,347	OK
		Mtx	402,2857	1	1,5	0,16	30	0,00248	381,3425	-1,347	OK
	One Way	Mly	402,2857	1	1,5	0,16	30	0,00276			
		Mty	402,2857	1	1,5	0,16	30	0,00276			
6	1,2	Mlx	1609,143	1	1,5	0,16	30	0,00993	1203,278	-0,069	OK
		Mtx	1609,143	1	1,5	0,16	30	0,00993	1203,278	-0,069	OK
	Two Way	Mly	1005,714	1	1,5	0,16	30	0,00689	1385,223	-0,146	OK
		Mty	1005,714	1	1,5	0,16	30	0,00689	1385,223	-0,146	OK
7	1,0	Mlx	402,2857	1	1,5	0,16	30	0,00248	446,5277	-1,339	OK
		Mtx	402,2857	1	1,5	0,16	30	0,00248	446,5277	-1,339	OK
	Two Way	Mly	402,2857	1	1,5	0,16	30	0,00276	404,3179	-1,100	OK
		Mty	402,2857	1	1,5	0,16	30	0,00276	404,3179	-1,100	OK
8	2,6	Mlx	402,2857	1	1,5	0,16	30	0,00248	438,488	-1,340	OK
		Mtx	402,2857	1	1,5	0,16	30	0,00248	438,488	-1,340	OK
	One Way	Mly	402,2857	1	1,5	0,16	30	0,00276			
		Mty	402,2857	1	1,5	0,16	30	0,00276			

7.3.6. Perencanaan Balok Perhitungan Balok Memanjang

a. Data Perencanaan:

Lebar (b)	= 60 cm
Tinggi	= 90 cm
Panjang	= 500 cm
Selimit beton	= 8 cm
Diameter tulangan	= D29

Mutu beton (K350)

σ'_{bk}	= 350 kg/cm ²
σ'_b	= 115,5 kg/cm ²
E _b	= 120.000 kg/cm ²

Mutu baja tulangan (U39)

σ_{au}	= 3900 kg/cm ²
σ_a	= 2250 kg/cm ²
σ'_{au}	= 3390 kg/cm ²
E _a	= 2,1 x 10 ⁶ kg/cm ²

$$n = \frac{E_a}{E_b} = \frac{2,1 \times 10^6}{120.000} = 17,5$$

$$\phi_0 = \frac{\sigma_a}{n \times \sigma'_b} = \frac{2250}{17,5 \times 115,5} = 1,113$$

h	= h _t – selimit beton – ϕ geser – 0,5 Dlentur
h	= 900 – 80 – 29 – 0,5 x 29
h	= 776,5 mm = 77,65 cm

b. Perhitungan Tulangan Tumpuan

Nilai Ca:

$$Ca : \frac{h}{\sqrt{\frac{n \times M_t}{\sigma_a \times b}}} = \frac{77,65}{\sqrt{\frac{17,5 \times 6655000}{2250 \times 60}}} = 2,644$$

Nilai ϕ dan ω :

Dengan $\delta = 0,4$ dan nilai $Ca = 2,644$ maka didapat (berdasarkan tabel perhitungan lentur dengan cara n),

$$\phi = 1,514 > \phi_o = 1,113 \text{ OK!}$$

$$100n\omega = 16,38$$

Kebutuhan tulangan:

Direncanakan tulangan tarik D29.

$$A_{\text{perlu}} = \omega \times b \times h_x$$

$$A_{\text{perlu}} = \left(\frac{16,38}{17,5 \times 100} \right) \times 600 \times 776,5 = 4360,942 \text{ mm}^2$$

$$n_{\text{tulangan}} = \frac{A_{\text{perlu}}}{A_{\text{tulangan}}} = \frac{4360,942}{\frac{1}{4} \times \pi \times 29^2} = 6,6 \approx 7$$

$$A_{\text{pasang}} = \frac{1}{4} \times \pi \times 29^2 \times 7 = 4625,5 \text{ mm}^2$$

Dipasang tulangan **7D29**

Tulangan Tekan:

$$A_{\text{perlu}} = \delta \times A_{\text{tarik}}$$

$$A_{\text{perlu}} = 0,4 \times 4625,5 = 1850,2 \text{ mm}^2$$

$$n_{\text{tulangan}} = \frac{A_{\text{perlu}}}{A_{\text{tulangan}}} = \frac{1850,2}{\frac{1}{4} \times \pi \times 29^2} = 2,8 \approx 4$$

$$A_{\text{pasang}} = \frac{1}{4} \times \pi \times 29^2 \times 4 = 2642,08 \text{ mm}^2$$

Dipasang tulangan **4D29**

Tulangan Samping:

$$A_{\text{perlu}} = 10\% \times A_{\text{tarik}}$$

$$A_{\text{perlu}} = 0,1 \times 4625,5 = 462,55 \text{ mm}^2$$

$$n_{\text{tulangan}} = \frac{A_{\text{perlu}}}{A_{\text{tulangan}}} = \frac{462,55}{\frac{1}{4} \times \pi \times 29^2} = 0,7 \approx 2$$

$$A_{\text{pasang}} = \frac{1}{4} \times \pi \times 29^2 \times 2 = 1321,04 \text{ mm}^2$$

Dipasang tulangan **2D29**

Cek Jarak tulangan tarik

Berdasarkan PBI Pasal 8.16(1) jarak bersih minimum antar batang tulangan yang sejajar dalam suatu lapis adalah 3 cm.

Tulangan direncanakan dipasang 1 lapis.

$$s = \frac{b - 2 \times \text{selimut beton} - (2\emptyset) - nD}{n_{\text{tulangan}} - 1}$$

$$s = \frac{60 - 2 \times 8 - (2 \times 2,9) - (7 \times 2,9)}{7 - 1}$$

$$s = 30 \text{ mm OK!}$$

Kontrol Retak

Berdasarkan rumusan (2.23) dan Tabel 2.8, dengan uraian dimana balok persegi mengalami lentur murni, didapat nilai koefisien sebagai berikut:

$$C3 = 1,5; C4 = 0,04; C5 = 7,5.$$

$$\omega_p = \frac{A}{Bt} = \frac{A_{\text{pasang}}}{b \times h_x} = \frac{4625,5}{600 \times 776,5} = 0,00993$$

$$\sigma_a = \frac{\sigma_a}{\emptyset} = \frac{2250}{4,813} = 1486,13 \text{ kg/cm}^2$$

Sehingga nilai w dapat dicari. Dikarenakan beton tidak terlindung dari hujan dan terik matahari langsung dan dalam lingkungan yang agresif maka nilai w harus kurang dari 0,1 mm (PBI 1971 Pasal 10.7 (1)b).

$$w = \alpha \left[(C_3 \times c) + \left(C_4 \times \frac{d}{\omega_p} \right) \right] \left[\sigma_a - \frac{C_5}{\omega_p} \right] 10^{-6}$$

$$w = 1 \left[(1,5 \times 8) + \left(0,04 \times \frac{2,9}{0,00993} \right) \right] \left[1486,13 - \frac{7,5}{0,00993} \right] 10^{-6}$$

$$w = 0,0017 < 0,01 \text{ cm OK!}$$

c. Perhitungan Tulangan Lapangan

Nilai Ca:

$$Ca : \frac{h}{\sqrt{\frac{n \times M_t}{\sigma_a \times b}}} = \frac{77,65}{\sqrt{\frac{17,5 \times 1546000}{2250 \times 60}}} = 5,485$$

Nilai \emptyset dan ω :

Dengan $\delta = 0,4$ dan nilai $Ca = 5,485$ maka didapat (berdasarkan tabel perhitungan lentur dengan cara n),

$$\emptyset = 3,387 > \emptyset_o = 1,113 \text{ OK!}$$

$$100n\omega = 3,605$$

Kebutuhan tulangan:

Direncanakan tulangan tarik D29.

$$A_{\text{perlu}} = \omega \times b \times h_x$$

$$A_{perlu} = \left(\frac{3,605}{17,5 \times 100} \right) \times 600 \times 776,5 = 959,754 \text{ mm}^2$$

$$n_{tulangan} = \frac{A_{perlu}}{A_{tulangan}} = \frac{959,754}{\frac{1}{4} \times \pi \times 29^2} = 1,45 \approx 4$$

$$A_{pasang} = \frac{1}{4} \times \pi \times 29^2 \times 4 = 2643,143 \text{ mm}^2$$

Dipasang tulangan **4D29**

Tulangan Tekan:

$$A_{perlu} = \delta \times A_{tarik}$$

$$A_{perlu} = 0,4 \times 2643,143 = 1057,2572 \text{ mm}^2$$

$$n_{tulangan} = \frac{A_{perlu}}{A_{tulangan}} = \frac{1057,2572}{\frac{1}{4} \times \pi \times 29^2} = 1,6 \approx 2$$

$$A_{pasang} = \frac{1}{4} \times \pi \times 29^2 \times 2 = 1321,04 \text{ mm}^2$$

Dipasang tulangan **2D29**

Tulangan Samping:

$$A_{perlu} = 10\% \times A_{tarik}$$

$$A_{perlu} = 0,1 \times 2643,143 = 264,3143 \text{ mm}^2$$

$$n_{tulangan} = \frac{A_{perlu}}{A_{tulangan}} = \frac{264,3143}{\frac{1}{4} \times \pi \times 29^2} = 0,4 \approx 2$$

$$A_{pasang} = \frac{1}{4} \times \pi \times 29^2 \times 2 = 1321,04 \text{ mm}^2$$

Dipasang tulangan **2D29**

Cek Jarak tulangan tarik

Berdasarkan PBI Pasal 8.16(1) jarak bersih minimum antar batang tulangan yang sejajar dalam suatu lapis adalah 3 cm. Tulangan direncanakan dipasang 1 lapis.

$$s = \frac{b - 2 \times \text{selimut beton} - (2\emptyset) - nD}{n_{\text{tulangan}} - 1}$$

$$s = \frac{60 - 2 \times 8 - (2 \times 2,9) - (4 \times 2,9)}{4 - 1}$$

$$s = 88,67 \text{ mm OK!}$$

Kontrol Retak

Berdasarkan rumusan (2.23) dan Tabel 2.8, dengan uraian dimana balok persegi mengalami lentur murni, didapat nilai koefisien sebagai berikut:

$$C_3 = 1,5; C_4 = 0,04; C_5 = 7,5.$$

$$\omega_p = \frac{A}{Bt} = \frac{A_{\text{pasang}}}{b \times h_x} = \frac{2643,143}{600 \times 776,5} = 0,00567$$

$$\sigma_a = \frac{\sigma_a}{\emptyset} = \frac{2250}{3,387} = 664,305 \text{ kg/cm}^2$$

Sehingga nilai w dapat dicari. Dikarenakan beton tidak terlindung dari hujan dan terik matahari langsung dan dalam lingkungan yang agresif maka nilai w harus kurang dari 0,1 mm (PBI 1971 Pasal 10.7 (1)b).

$$w = \alpha \left[(C_3 \times c) + \left(C_4 \times \frac{d}{\omega_p} \right) \right] \left[\sigma_a - \frac{C_5}{\omega_p} \right] 10^{-6}$$

$$w = 1 \left[\left(1,5 \times 8 \right) + \left(0,04 \times \frac{2,9}{0,00567} \right) \right] \left[664,305 - \frac{7,5}{0,00567} \right] 10^{-6}$$

$$w = -0,0213 < 0,01 \text{ cm OK!}$$

Kontrol Dimensi Balok

Berdasarkan PBI Pasal 11.8(2) penampang balok harus memenuhi syarat $\tau_b + \tau_b' \leq \tau_{bm}$, dimana:

$$\tau_b = \frac{Q}{b \times \frac{7}{8} h}$$

$$\tau_b = \frac{37340}{60 \times \frac{7}{8} 77,65}$$

$$\tau_b = 9,16 \frac{kg}{cm^2}$$

$$\psi = 3 + \frac{2,6}{0,45 + \frac{ht}{b}}$$

$$\psi = 3 + \frac{2,6}{0,45 + \frac{90}{60}}$$

$$\psi = 4,33$$

$$\tau'_b = \psi \frac{Mt}{ht \times b^2}$$

$$\tau'_b = 4,33 \frac{377000}{90 \times 60^2}$$

$$\tau'_b = 5,038 \frac{kg}{cm^2}$$

$$\tau_{bm} = 1,62 \times \sqrt{\sigma'_{bk}}$$

$$\tau_{bm} = 1,62 \times \sqrt{350}$$

$$\tau_{bm} = 30,307 \frac{kg}{cm^2}$$

$$\tau_b + \tau'_b \leq \tau_{bm}$$

$$9,16 + 5,038 \leq 30,307$$

$$14,198 \frac{kg}{cm^2} \leq 30,307 \frac{kg}{cm^2} \text{ OK!}$$

Ukuran balok memanjang 60/90 dengan bentang 5 m sudah memenuhi syarat.

d. Perhitungan Tulangan Geser (Senggang)

Berdasarkan PBI Pasal 8.17(1), $\tau_b \leq \tau_{bm}$ –tetap; $\tau_b \leq \tau_{bm}$ –sementara, setiap bagian konstruksi beton bertulang yang memikul lentur senantiasa harus dipasang sejumlah tulangan geser. Dimana tegangan beton yang diijinkan dihitung berdasarkan PBI tabel 10.4.2 akibat geser oleh lentur dan puntir, dengan tulangan geser.

Untuk pembebanan tetap:

$$\tau_{bm-t} = 1,35\sqrt{\sigma'_{bk}}$$

$$\tau_{bm-t} = 1,35\sqrt{350} = 25,256 \frac{kg}{cm^2}$$

Untuk pembebanan sementara:

$$\tau_{bm-t} = 2,12\sqrt{\sigma'_{bk}}$$

$$\tau_{bm-t} = 2,12\sqrt{350} = 39,662 \frac{kg}{cm^2}$$

Senggang di tumpuan balok

$$\tau_{b-t} = \tau_b = 9,16 \text{ kg/cm}^2$$

$$\tau_{b-t} \leq \tau_{bm-t} \quad \text{OK! (Perlu Senggang)}$$

$$\tau_{b-t} \leq \tau_{bm-s} \quad \text{OK! (Perlu Senggang)}$$

Maka diperlukan tulangan geser dengan spesifikasi diameter 16 mm.

Direncanakan Senggang 2 kaki,

$$D = 16 \text{ mm}$$

$$A_s = \frac{1}{4} \times \pi \times 1,6^2 \times 2 = 4,023 \text{ cm}^2$$

$$\tau_b = \frac{A_s \times \sigma_a}{a_s \times b}$$

$$a_s < \frac{A_s \times \sigma_a}{\tau_{b-t} \times b} = \frac{4,023 \times 2250}{9,16 \times 60} = 16,47 \text{ cm}$$

Berdasarkan PBI Pasal 9.3(6) didapat ketentuan jarak sengkang sebagai berikut:

$$a_s < 30 \text{ cm}$$

$$a_s < \frac{2}{3} ht = \frac{2}{3} \times 90 = 60 \text{ cm}$$

Jadi dipasang Senggang D16-150 mm

Senggang di daerah > 1 m dari ujung balok

$$\tau_{b-1} = \frac{(3-1)}{3} \times 9,16 = 6,107 \text{ kg/cm}^2$$

Direncanakan Senggang 2 kaki,

$$D = 16 \text{ mm}$$

$$s = \frac{1}{4} \times \pi \times 1,6^2 \times 2 = 4,023 \text{ cm}^2$$

$$\tau_b = \frac{A_s \times \sigma_a}{a_s \times b}$$

$$as < \frac{A_s \times \sigma_a}{\tau_{b-t} \times b} = \frac{4,023 \times 2250}{6,107 \times 60} = 24,7 \text{ cm}$$

Berdasarkan PBI Pasal 9.3(6) didapat ketentuan jarak sengkang sebagai berikut:

$$as < 30 \text{ cm}$$

$$as < \frac{2}{3} ht = \frac{2}{3} \times 90 = 60 \text{ cm}$$

Jadi dipasang Sengkang D16-200 mm

Perhitungan tulangan untuk balok memanjang dan balok melintang dapat dilihat pada Tabel 7. 5 hingga Tabel 7. 8.

Tabel 7. 5 Perhitungan Tulangan Balok

Struktur	Posisi	Tulangan	Mt (kg cm)	Ca	δ	ϕ	Ket $\phi > \phi_0$	100mw	A perlu (mm ²)	n pasang	As	Cek
											pasang (cm ²)	Jarak (cm)
Balok MLA 80 x 100	Tump	Tarik	7638000	3.596	0,4	1,878	OK	10,907	4370,131	8	5286,286	5
		Tekan							2114,514	4	2643,143	OK
		Samping							528,6286	2	1321,571	
	Lap	Tarik	1522000	7,205	0,4	4,560	OK	2,053	822,5782	4	2643,143	16
		Tekan							1057,257	2	1321,571	OK
		Samping							264,3143	2	1321,571	
Balok Mejulang 60 x 90	Tump	Tarik	6451000	2,685	0,4	1,540	OK	15,860	4222,422	7	4625,5	3
		Tekan							1850,2	4	2643,143	OK
		Samping							462,55	2	1321,571	
	Lap	Tarik	3686000	3,552	0,4	2,097	OK	8,872	2361,847	4	2643,143	9
		Tekan							1057,257	2	1321,571	OK
		Samping							264,3143	2	1321,571	
Balok Memanjang 60 x 90	Tump	Tarik	6655000	2,644	0,4	1,514	OK	16,380	4360,942	7	4625,5	3
		Tekan							1850,2	4	2643,143	OK
		Samping							462,55	2	1321,571	
	Lap	Tarik	1546000	5,485	0,4	3,387	OK	3,605	959,7627	4	2643,143	9
		Tekan							1057,257	2	1321,571	OK
		Samping							264,3143	2	1321,571	

Tabel 7. 6 Kontrol Retak pada Balok

Struktur Balok	Posisi	As pasang	α	C3	C4	C5	ω_p	σ_a	w
		(mm^2)						(kg/cm^2)	(cm)
MLA	Tump	5286,3	1	1,5	0,04	7,5	0,007539	1197,887	0,0056
	Lap	2643,1	1	1,5	0,04	7,5	0,003769	493,4496	-0,0640
Melintang g 60 x 90	Tump	4625,5	1	1,5	0,04	7,5	0,009928	1460,925	0,0017
	Lap	2643,1	1	1,5	0,04	7,5	0,005673	1073,133	-0,0081
Memanjang ng 60 x	Tump	4625,5	1	1,5	0,04	7,5	0,009928	1485,879	0,0017
	Lap	2643,1	1	1,5	0,04	7,5	0,005673	664,25	-0,0213

Tabel 7. 7 Pengecekan Keperluan Tulangan Geser pada Balok

Struktur Balok	V (kg)	T (kg cm)	τ_b (kg/cm^2)	ψ	τ'_b	$\tau_b + \tau'$	$\tau_{bm \text{ ijin}}$	Ket	τ_{bm-t} (kg/cm^2)	τ_{bm-s} (kg/cm^2)	Ket	
								$\tau_b + \tau' < \tau_{bm}$			$\tau_b < \tau_{bm-t}$	$\tau_b < \tau_{bm-s}$
								OK				
MLA 80 x 100	32120	186000	5,24	4,53	1,316	6,551	30,307	OK	25,256	39,662	Perlu Sengkang	Perlu Sengkang
Melintang 60 x 90	40450	465000	9,92	4,33	6,219	16,142	30,307	OK	25,256	39,662	Perlu Sengkang	Perlu Sengkang
Memanjang 60 x 90	37340	377000	9,16	4,33	5,042	14,202	30,307	OK	25,256	39,662	Perlu Sengkang	Perlu Sengkang

Tabel 7. 8 Perhitungan Tulangan Geser Balok

Struktur	Posisi	Dipasang	As	as	as pakai
			(cm^2)	(cm)	(mm)
MLA 80 x 100	Tump	D16 - 2	4,023	21,612	200
	Lap	D16 - 2	4,023	32,418	300
Melintang 60 x 90	Tump	D16 - 2	4,023	15,204	150
	Lap	D16 - 2	4,023	22,805	200
Memanjang 60 x 90	Tump	D16 - 2	4,023	16,470	150
	Lap	D16 - 2	4,023	24,705	150

7.3.7. Pile Cap

Struktur pile cap berfungsi sebagai penyambung antara ujung atas tiang pancang dengan balok memanjang maupun melintang. Pada perencanaan ini terdapat satu jenis tipe pile cap, yaitu pile cap tunggal.

a. Data Perencanaan

Lebar (b)	= l_x	= 200 cm
Panjang	= l_y	= 200 cm
Tinggi (ht)	=	100 cm
Selimut beton	=	8 cm

Mutu beton (K350)

σ'_{bk}	=	350 kg/cm ²
σ'_b	=	115,5 kg/cm ²
E _b	=	120.000 kg/cm ²

Mutu baja tulangan (U39)

σ_{au}	=	3900 kg/cm ²
σ_a	=	2250 kg/cm ²
σ'_{au}	=	3390 kg/cm ²
E _a	=	2,1 x 10 ⁶ kg/cm ²

$$n = \frac{E_a}{E_b} = \frac{2,1 \times 10^6}{120.000} = 17,5$$

$$\phi_0 = \frac{\sigma_a}{n \times \sigma'_b} = \frac{2250}{17,5 \times 115,5} = 1,113$$

$$\frac{h}{b} = \frac{100}{200} = 0,5$$

Dikarenakan $> 0,4$, pile cap dihitung seperti perhitungan balok.

h	=	$h_t - \text{selimut beton} - \phi_{\text{geser}} - 0,5 \text{ Dlentur}$
h	=	1000 - 80 - 29 - 0,5 x 29
h	=	876,5 mm = 87,65 cm

Dari hasil pemodelan struktur balok pada program bantu SAP 2000 didapat gaya-gaya yang bekerja pada pile cap. Dengan asumsi pelaksanaan yang sulit sehingga posisi balok tidak berada di tengah pile cap tunggal. Hal ini menyebabkan adanya eksentrisitas. Direncanakan eksentrisitas pada pile cap tunggal pada kondisi kritis.

Sehingga diperoleh,

$$\begin{aligned}
 P_{\max} &= -148,3 \text{ t} \\
 M_{\max} &= -76,38 \text{ t m} \\
 e_x &= 70 \text{ cm} \\
 e_y &= 70 \text{ cm} \\
 M_x &= P_{\max} \times e_x \times x + M_{\max} \\
 &= 148,3 \times 0,7 + 76,38 \\
 &= 180,2 \text{ tm} \\
 M_y &= P_{\max} \times e_y \times x + M_{\max} \\
 &= 148,3 \times 0,7 + 76,38 \\
 &= 180,2 \text{ tm}
 \end{aligned}$$

- b. Perhitungan Tulangan Pile Cap
 o Perhitungan Tulangan Tumpuan dan Lapangan

Nilai Ca:

$$Ca : \frac{h}{\sqrt{\frac{n \times M_t}{\sigma_a \times b}}} = \frac{87,65}{\sqrt{\frac{17,5 \times 18020000}{2250 \times 200}}} = 3,311$$

Nilai ϕ dan ω :

Dengan $\delta = 1$ (tulangan simetris) dan nilai $Ca = 3,311$ maka didapat (berdasarkan tabel perhitungan lentur dengan cara n),

$$\begin{aligned}
 \phi &= 2,211 > \phi_o = 1,113 \text{ OK!} \\
 100n\omega &= 10,172
 \end{aligned}$$

Kebutuhan tulangan:

Direncanakan tulangan tarik D29.

$$A_{\text{perlu}} = \omega \times b \times h_x$$

$$A_{perlu} = \left(\frac{10,172}{17,5 \times 100} \right) \times 2000 \times 876,5 = 10189,437 \text{ mm}^2$$

$$n_{tulangan} = \frac{A_{perlu}}{A_{tulangan}} = \frac{10287,606}{\frac{1}{4} \times \pi \times 29^2} = 15,42 \approx 20 \text{ buah}$$

$$A_{pasang} = \frac{1}{4} \times \pi \times 29^2 \times 20 = 13210,4 \text{ mm}^2$$

Dipasang Tulangan **20D29**

Tulangan Tekan:

$$A_{perlu} = \delta \times A_{tarik}$$

$$A_{perlu} = 1 \times 13210,4 = 13210,4 \text{ mm}^2$$

$$n_{tulangan} = \frac{A_{perlu}}{A_{tulangan}} = \frac{13210,4}{\frac{1}{4} \times \pi \times 29^2} = 20 \text{ buah}$$

$$A_{pasang} = \frac{1}{4} \times \pi \times 29^2 \times 20 = 13210,4 \text{ mm}^2$$

Dipasang Tulangan **20D29**

Tulangan Samping:

$$A_{perlu} = 10\% \times A_{tarik}$$

$$A_{perlu} = 0,1 \times 13210,4 = 1321,04 \text{ mm}^2$$

$$n_{tulangan} = \frac{A_{perlu}}{A_{tulangan}} = \frac{1321,04}{\frac{1}{4} \times \pi \times 29^2} = 2 \text{ buah}$$

$$A_{pasang} = \frac{1}{4} \times \pi \times 29^2 \times 2 = 1321,04 \text{ mm}^2$$

Dipasang Tulangan **2D29**

Cek Jarak tulangan tarik

Berdasarkan PBI Pasal 8.16(1) jarak bersih minimum antar batang tulangan yang sejajar dalam suatu lapis adalah 3 cm. Tulangan direncanakan dipasang 1 lapis.

$$s = \frac{b - 2 \times \text{selimut beton} - (2\emptyset) - nD}{n_{\text{tulangan}} - 1}$$

$$s = \frac{200 - 2 \times 8 - (2 \times 2,9) - (20 \times 2,9)}{20 - 1}$$

$$s = 6,3 \text{ cm} > 3 \text{ cm} \text{ OK!}$$

Kontrol Retak

Berdasarkan rumusan (2.23) dan Tabel 2.8, dengan uraian dimana balok persegi mengalami lentur murni, didapat nilai koefisien sebagai berikut:

C3 = 1,5; C4 = 0,04; C5 = 7,5.

$$\omega_p = \frac{A}{Bt} = \frac{A_{\text{pasang}}}{b \times h_x} = \frac{13210,4}{2000 \times 876,5} = 0,0075$$

$$\sigma_a = \frac{\sigma_a}{\emptyset} = \frac{2250}{2,211} = 1017,64 \text{ kg/cm}^2$$

Sehingga nilai w dapat dicari. Dikarenakan beton tidak terlindung dari hujan dan terik matahari langsung dan dalam lingkungan yang agresif maka nilai w harus kurang dari 0,1 mm (PBI 1971 Pasal 10.7 (1)b).

$$w = \alpha \left[(C_3 \times c) + \left(C_4 \times \frac{d}{\omega_p} \right) \right] \left[\sigma_a - \frac{C_5}{\omega_p} \right] 10^{-6}$$

$$w = 1 \left[(1,5 \times 8) + \left(0,04 \times \frac{2,9}{0,0075} \right) \right] \left[1017,64 - \frac{7,5}{0,0075} \right] 10^{-6}$$

$$w = 0,000285 < 0,01 \text{ cm OK!}$$

Kontrol Geser Spons

$$\bar{\tau}_{bp} = \frac{P_{max}}{\pi(c + h_t)h_t} \leq \bar{\tau}_{bm}$$

Dimana:

- τ_{bm} = tegangan aktual yang terjadi pada beton
 P_{max} = gaya aksial maksimum yang bekerja pada tiang pancang (148,3 t)
 c = diameter tiang pancang (81,28 cm)
 h_t = tinggi total poer (100 cm)
 τ_{bp} = tegangan ijin beton

Sehingga tegangan geser spons akibat beban kerja adalah

$$\bar{\tau}_{bm} = 1,3 \sqrt{\sigma'_{bk}} = 1,3 \sqrt{350} = 24,32 \text{ kg/cm}^2$$

$$\bar{\tau}_{bp} = \frac{148300}{\pi(81,28 + 150)150} \leq \bar{\tau}_{bm}$$

$$\bar{\tau}_{bp} = 1,361 \frac{\text{kg}}{\text{cm}^2} \leq \bar{\tau}_{bm} \text{ OK!}$$

Karena geser spons yang terjadi lebih kecil dari tegangan izin beton, maka poer dikatakan aman dari gaya spons.

Kontrol Kekuatan Tulangan Terhadap Gaya Tarik Pada Sambungan (Poer – Tiang Pancang)

Tulangan yang berada dibagian dalam steel pile harus dicek kemampuannya dalam menahan gaya aksial (P) tarik terbesar

yang terjadi pada tiang tegak. Beberapa hal yang harus dicek antara lain:

- Kekuatan tarik dari tulangan yang berada di dalam steel pile (8D29, $f_y = 3900 \text{ kg/cm}^2$, $A_s = 660,785 \text{ mm}^2$)

$$P_{nt} = \text{kekuatan tarik tulangan}$$

$$P_{nt} = n \times A_s \times f_y$$

$$P_{nt} = 8 \times 660,785 \times 3900$$

$$P_{nt} = 206165,1 \text{ kg} = 206,165 \text{ t}$$

$$P_{tekan} \leq \emptyset P_{nt}$$

$$148,3 \leq 0,8 \times 206,165$$

$$148,3 \leq 164,932 \text{ OK!}$$

- Panjang penyaluran tulangan steel pile ke dalam poer (8D29, $L = 850 \text{ mm}$) yang diperlukan (L)

$$f_c' = 0,083 \times K350$$

$$f_c' = 0,083 \times 350$$

$$f_c' = 29,05 \text{ MPa}$$

$$f_r = 0,7 \sqrt{f_c}$$

$$f_r = 0,7 \times \sqrt{29,05}$$

$$f_r = 3,77 \text{ N/mm}^2$$

$$L_{perlu} = \frac{P_{tekan}}{n \times \pi \times d \times f_r}$$

$$L_{perlu} = \frac{1454823}{8 \times \pi \times 29 \times 3,77}$$

$$L_{perlu} = 529,457 \text{ mm}$$

$$L_{perlu} \leq L_{pasang}$$

$$529,457 \text{ mm} \leq 850 \text{ mm OK!}$$

Kontrol Kemampuan Beton pada Tiang Pancang

Sambungan antara steel pile dan poer menggunakan beton mutu K350. Jadi, mutu beton yang digunakan harus dicek terhadap gaya tarik aktual yang terjadi. Tegangan beton yang diijinkan untuk menerima tarik pada pembebanan tetap beton K350 adalah:

$$\sigma_b = 0,48\sqrt{\sigma_{bk}} = 0,48\sqrt{350} = 8,98 \text{ kg/cm}^2$$

Tegangan tarik ijin (σ_{bi}) di atas yang akan digunakan untuk mengontrol gaya tarik aksial pada beton. Direncanakan $h = 1,5$

$$m. \sigma_{bi} = \sigma_b \times A_s$$

Dimana,

A_s = Luas selimut bagian dalam beton penutup pile

$$= \pi (D \times h)$$

h = panjang pile yang dicor (1,5 m)

$$A_s = \pi \times D \times h$$

$$A_s = \pi \times 81,28 \times 150$$

$$A_s = 38317,71 \text{ cm}^2$$

$$\sigma_{bi} = \sigma_b \times A_s$$

$$\sigma_{bi} = 8,98 \times 38317,71$$

$$\sigma_{bi} = 344092,2 \text{ kg}$$

Ptekan < σ_{bi}

148.300 kg < 344.092,2 kg **OK!**

7.3.8. Perencanaan Pondasi

a. Tipe Pondasi

Pondasi yang akan digunakan adalah pondasi tiang pancang berbahan baja atau disebut juga sebagai steel pipe pile dengan menggunakan spesifikasi tiang pancang baja PT. Swana Bajapasific. Terdapat satu jenis tiang pancang dalam

perencanaan breasting dolphin, yaitu tiang pancang tegak dengan data sebagai berikut:

Dimensi Tiang Pancang Baja:

Diameter (D)	= 812,8 mm
Tebal (t)	= 16 mm
Luas (A)	= 400,5 cm ²
Momen Inersia (I)	= 318.000 cm ⁴
Berat	= 314,39 kg/m
Section Modulus (Z)	= 7.820 cm ³
Jari-jari girasi (i)	= 28,2 cm
Point of Fixity (Zf)	= 7,6 m
Jumlah Titik	= 5 titik

Mutu Baja:

E	= 2.100.000 kg/cm ²
fy	= 2.900 kg/cm ² (BJ 50)
fu	= 5.000 kg/cm ² (BJ50)

b. Kedalaman Tiang Pancang

Digunakan tiang pancang tegak dan tiang pancang miring untuk perencanaan struktur breasting dolphin dengan safety faktor 3.

Tiang Pancang Tegak

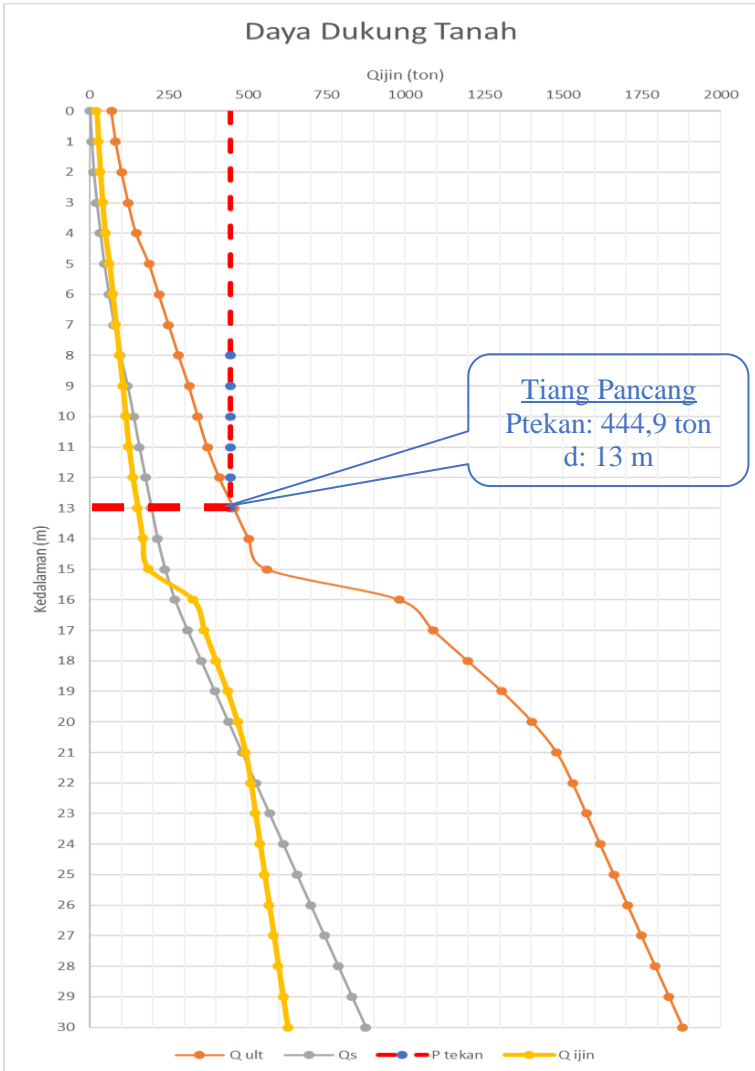
Tekan:

$$\begin{aligned}
 QL &= 3 \times 148,3 \text{ t} \\
 &= 444,9 \text{ t}
 \end{aligned}$$

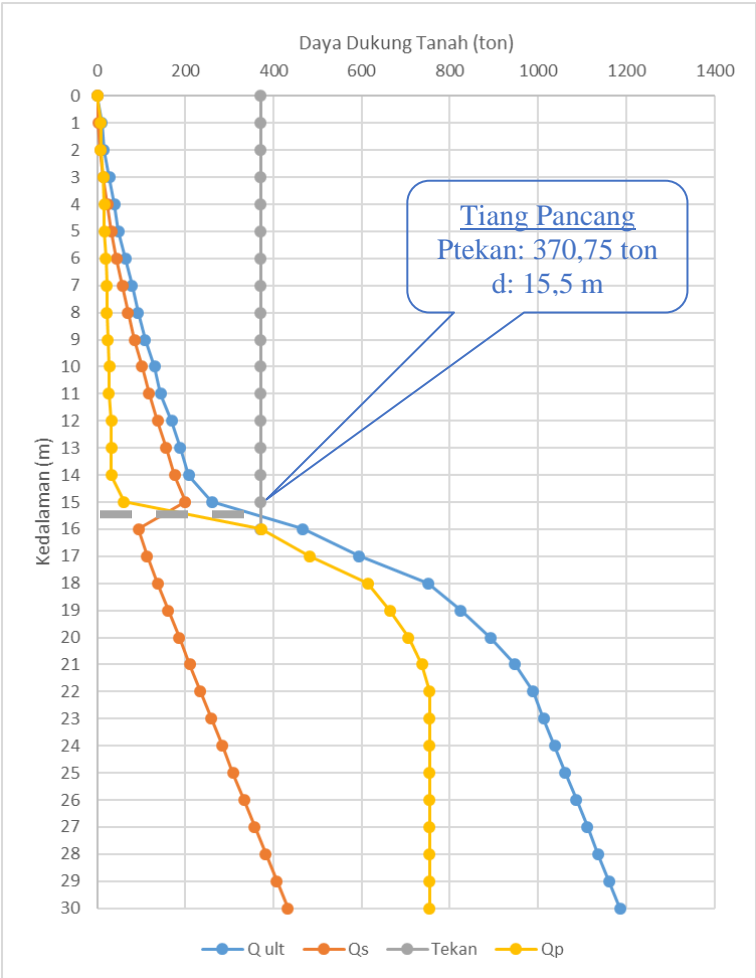
Dari grafik dalam Gambar 7. 36, didapatkan kedalaman minimum tiang pancang miring dan tegak sebagai berikut:

- Tiang pancang tegak tekan = 15,5 m

Jadi, kebutuhan minimum kedalaman tiang pancang untuk breasting dolphin yang menentukan adalah 15,5 m di bawah seabed atau -25,5 mLWS (10 + 15,5)



Gambar 7. 36 Kedalaman Minimum Pondasi Tiang Unloading Platform Berdasarkan Luciana De Court



Gambar 7. 37 Kedalaman Minimum Pondasi Tiang Unloading Platform Berdasarkan OCDI

c. Kontrol

• Kontrol Bahan

Momen bahan dicari dengan perumusan sebagai berikut:

$$\sigma = \frac{P}{A} \pm \frac{M \times y}{I}$$

$$M = \left(\sigma - \frac{P}{A} \right) \times \frac{I}{y}$$

Dimana,

$$P = -148,3 \text{ t}$$

$$Y = 0,5 \times \text{diameter tiang pancang}$$

$$= 0,5 \times 812,8$$

$$= 406,4 \text{ mm}$$

Maka,

$$M = \left(2900 - \frac{148300}{400,5} \right) \times \frac{318000}{40,64}$$

$$M = 19794505,15 \text{ kg cm}$$

$$M = 197,945 \text{ tm}$$

Tiang Pancang Tegak

$$\text{Mu2 aktual} < \text{Mu bahan}$$

$$45,68 \text{ t m} < 197,945 \text{ t m OK!}$$

$$\text{Mu3 aktual} < \text{Mu bahan}$$

$$46,38 \text{ t m} < 197,945 \text{ t m OK!}$$

• Kontrol Kekuatan Bahan

Tegangan akibat beban aksial (P) dan momen (M) pada tiang pancang yang didapat dari analisa SAP 2000 v.14 harus lebih kecil dari tegangan ijin tiang pancang (f_y). Tegangan pada tiang pancang dapat dihitung dengan perumusan sebagai berikut:

$$\sigma = \frac{P}{A} \pm \frac{M}{W}$$

$$\sigma = \frac{148300}{0,04005} + \frac{46380}{314,39}$$

$$\sigma = 3703018,985 \text{ kg/m}^2$$

$$\sigma = 370,3 \text{ kg/cm}^2 < 2500 \text{ kg/cm}^2 \text{ (OK)}$$

- Kontrol Kuat Lateral

Beban yang dipikul oleh tiang pancang tidak hanya beban vertikal tetapi juga beban horizontal. Oleh karena itu perlu dilakukan pengecekan ketahanan tiang pancang terhadap beban horizontal. Gaya horizontal yang terjadi (hasil SAP 2000) harus lebih kecil dari gaya horizontal yang mampu dipikul bahan (H_u). Perhitungan daya dukung tiang terhadap beban lateral menggunakan cara Tomlinson dalam “Daya Dukung Pondasi Dalam oleh Prof. Dr. Ir. Herman Wahjudi hal 103”:

Fixed-headed pile:

$$H_u = \frac{2 \times M_u}{e + Z_f}$$

Dimana:

$$M_u = \text{Momen ultimate bahan} = 211,861 \text{ tm}$$

$$Z_f = 7,6 \text{ m}$$

$$e = 13,8 \text{ m}$$

$$H_u = \frac{2 \times 197,945}{13,8 + 7,6} = 9,25 \text{ t}$$

Tiang Pancang Tegak

$$V_2 = 4,2 \text{ t} < H_u = 9,25 \text{ t} \text{ OK!}$$

$$V_3 = 4,1 \text{ t} < H_u = 9,25 \text{ t} \text{ OK!}$$

- Kontrol Kuat Tekuk

$$P_{cr} = \frac{\pi^2 \times E \times I_{min}}{(Z_f + e)^2}$$

$$P_{cr} = \frac{\pi^2 \times 2.100.000 \times 318000}{(760 + 1380)^2}$$

$$P_{cr} = 1.440350 \text{ kg} = 1440,35 \text{ t}$$

Tiang Pancang Tegak

$P_{cr} > P_u$

1440,35 t > 148,3 t **OK!**

- Kemampuan Tiang Berdiri Sendiri

Tiang pancang pada saat pelaksanaan harus dikontrol terhadap frekuensi gelombang. Sehingga tiang akan stabil walaupun pada saat berdiri sendiri. ω gelombang diambil sebesar 1/6 s-1. Adapun cara menghitung ω tiang adalah dengan perumusan berikut:

$$\omega_t = 1,73 \times \sqrt{\frac{EI}{\left(\frac{wi^3}{g}\right)}} \geq \omega$$

Dimana,

- w = berat tiang (kg)
 - untuk tiang tegak = 314,39 kg/m x H
 = 314,39 kg/m x 11,3 m
 = 3552,607 kg
- i = tinggi tiang di atas tanah (m)
 = 11,3 m (tiang tegak)
 = 11,4 m (tiang miring dengan z = 8:1)
- g = 9,8 m/s²

- ω tiang pancang tegak

$$\omega_t = 1,73 \times \sqrt{\frac{(2,1 \times 10^6) \times 318000}{\left(\frac{3552,607 \times 1130^3}{980}\right)}} \geq \omega$$

$$\omega_t = 19,74 \text{ s}^{-1} > \omega_{\text{gelombang}} (0,17 \text{ s}^{-1}) \text{ OK!}$$

Jadi dapat disimpulkan bahwa tiang pancang tegak dan tiang pancang miring stabil terhadap frekuensi gelombang dan bisa berdiri sendiri.

- **Kontrol Defleksi Tiang**
Berdasarkan BS 6349, defleksi horizontal yang diizinkan adalah sebagai berikut:

$$U_{ijin} = \frac{H}{300} = \frac{2120}{300} = 7 \text{ cm}$$

$$U < U_{ijin}$$

$$0,53 \text{ cm} < 7 \text{ cm} \text{ OK!}$$

d. **Kontrol Tiang Pancang Terhadap Korosi**

Korosi merupakan salah satu permasalahan yang dapat terjadi pada tiang pancang. Terutama saat tiang pancang berada di pantai/laut lepas. Dalam perencanaan ini, korosi tiang diasumsikan terjadi sampai tiang ditumbuhi karang yaitu selama 10 tahun. Dengan asumsi tingkat korosi = 0,3 mm/tahun, maka untuk waktu perencanaan 10 tahun, tebal tiang yang digunakan adalah: $16 - (0,3 \times 10) = 13 \text{ mm}$. Metode perawatan digunakan dengan menyediakan alokasi tebal tiang yang akan terkorosi yaitu setebal 3 mm. Selain itu dapat digunakan juga lapisan HDPE yang akan melindungi tiang pancang.

e. **Kalendering Tiang Pancang**

Perumusan kalendering yang dipakai adalah Alfred Hilley formula:

$$Qu = \frac{\alpha \times W \times H}{S + 0,5C} \times \frac{W + (n^2 \times Wp)}{W + Wp}$$

Karena perhitungan dilakukan sebelum pemancangan, maka yang dihitung adalah nilai s atau penetrasi / blow, yaitu pengamatan yang dilakukan rata – rata di tiga set terakhir, dengan 10 pukulan tiap setnya. Dan diisyaratkan apabila untuk kedalaman yang sama $S > S'$ maka pemancangan dihentikan.

Kalendering Tiang Pancang Tegak:

Dimana:

$$Qu = 442,902 \text{ t}$$

$$\alpha = 2,5$$

$$W = 10 \text{ ton (diesel hammer)}$$

$$Wp = \text{Berat pile} \\ = 314,39 \text{ kg/m} \times 26,3 / 1000 \\ = 8,27 \text{ t}$$

$$L = 12,3 + 14 = 26,3 \text{ m}$$

$$H = \text{diambil } 2 \text{ m untuk kondisi normal}$$

$$n = 0,55 \text{ (hammer on steel pile without cushion)}$$

$$S = \text{nilai penetrasi/ blow rencana dari perhitungan}$$

$$S' = \text{nilai penetrasi/ blow saat pemancangan}$$

$$C1 = 0 \text{ (untuk without cushion)}$$

$$C2 = 10 \text{ mm (Steel Pile)}$$

$$C3 = 4 \text{ (soft ground)}$$

$$C = C1 + C2 + C3 \\ = 14 \text{ mm}$$

Maka:

$$442,902 = \frac{2,5 \times 10 \times 2}{S + 0,5 \times 0,014} \times \frac{10 + (0,55^2 \times 8,27)}{10 + 8,27}$$

$$442,902 = \frac{34,214}{S + 0,007}$$

$$S = \frac{34,214}{442,902} - 0,007 = 0,07 \text{ m} = 70 \text{ mm}$$

Maka final set kalendering yang digunakan untuk tiang pancang miring adalah 70 mm/10 blow atau 7 mm/blow.

7.4. Catwalk

7.4.1. Umum

Struktur catwalk pada dermaga berfungsi sebagai penghubung antar struktur dolphins. Dalam perencanaan tugas akhir ini direncanakan struktur catwalk sebagai berikut:

Panjang Catwalk 1	= 7 m
Panjang Catwalk 2	= 16 m
Panjang Catwalk 3	= 28 m
Lebar	= 1 m
Jarak balok melintang	= 1,8 m
Tinggi	= 1,5 m

7.4.2. Perencanaan Balok Catwalk

Dalam perencanaan catwalk ini, balok utama dan kerangka balok direncanakan menggunakan profil Circular Hollow Section (CHS), dengan spesifikasi sebagai berikut:

Young Modulus (E)	= 2100000 kg/cm ²
Tensile Stress (fu)	= 5000 kg/cm ²
Yield Stress (fy)	= 2900 kg/cm ²

Balok Utama:

Material type	= coldformed
Nominal bore (mm)	= 200 mm
Outside diameter (OD)	= 219,1 mm

Thickness (t)	= 10 mm
Weight (W)	= 51,59 kg/m
Area of Cross Section (A)	= 65,72 cm ²
Outer Surface Area (cm ² /m)	= 6886
Moment of Inertia (I)	= 3599,89 cm ⁴
Section Modulus	= 328,61 cm ³
Radius of Gyration (r)	= 7,40 cm

Kerangka Balok:

Material type	= coldformed
Nominal bore (mm)	= 100 mm
Outside diameter (OD)	= 114,3 mm
Thickness (t)	= 5,4 mm
Weight (W)	= 14,5 kg/m
Area of Cross Section (A)	= 18,5 cm ²
Outer Surface Area (cm ² /m)	= 3591
Moment of Inertia (I)	= 274,5 cm ⁴
Section Modulus	= 48 cm ³
Radius of Gyration (r)	= 3,85 cm

7.4.3. Pembebanan Struktur Catwalk

Beban yang terjadi pada struktur catwalk adalah:

a. Beban Vertikal:

- Beban Mati
 - Berat Pelat
 - Pelat Injakan (Grating Platform)
 - Pelat injakan direncanakan dengan menggunakan plat *grating* seperti pada Gambar 7. 38.

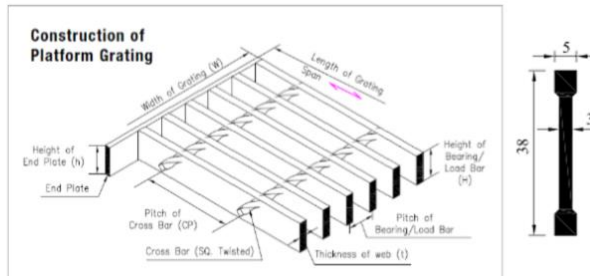
Spesifikasi pelat I Bar grating yang digunakan dalam perencanaan berdasarkan adalah sebagai berikut:

Grating code	= RG3853/30/IB
Length x width	= 1950 x 1500 mm
Loading bar size	= 38 x 5 x 3

Weight (kg/m²) = 43,9 kg/m²
 Jarak balok melintang = 1800 mm

Serrated factors:

S (stress in kg/mm²) = 2,70 kg/mm²
 D (deflection in mm) = 1,55 mm
 Young modulus E = 2100000 kg/cm²



Gambar 7. 38 Pelat Grating Catwalk
 (sumber: Rhino Grating Brochure)

Nilai tegangan dan defleksi pada spesifikasi diatas merupakan nilai pada saat pembebanan uniform load sebesar 300 kg/m². Sedangkan untuk beban uniform load 500 kg/m², dapat dihitung defleksi dan tegangannya sebagai berikut dengan menggunakan faktor pada Tabel 7. 9.

Faktor Korelasi Perhitungan Tegangan dan Defleksi pada I Bar-Grating:

Grating Code = RG3853/30/IB
 Factor (i) = 1,67 (Tabel 7. 9)
 Stress (S) = 2,70 x 1,67 = 4,509 kg/mm²
 Deflection (D) = 1,55 x 1,67 = 2,589 mm

Tabel 7. 9 Faktor Tegangan dan Defleksi
(Sumber: Rhino Grating Brochure)

Uniform Load kg/m ²	200	250	300	400	500	750
Factor (I)	0.67	0.83	1	1.33	1.67	2.5

Jadi dalam tiap segmen mengalami tegangan dan defleksi sebesar nilai tersebut diatas untuk beban hidup 500 kg/m². Selanjutnya dalam permodelan SAP2000 grating - plat dimodelkan sebagai beban area merata ($W_{grating} = 43,9 \text{ kg/m}^2$).

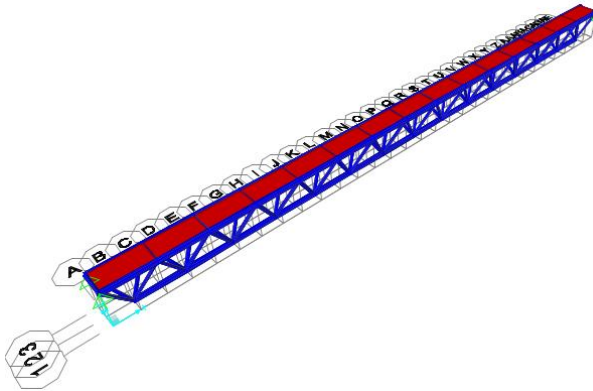
- **Beban Hidup**
Untuk beban hidup catwalk direncanakan sebesar 5 kPa = 500 kg/m² untuk jembatan pejalan kaki (SNI T-02-2005).
- b. **Beban Horizontal**
- **Beban Angin**
Beban angin yang terjadi pada struktur catwalk direncanakan dipilih dengan lokasi berada di laut sebesar 40 kg/m².

7.4.4. Permodelan Struktur Pada SAP

Permodelan Struktur dilakukan dengan menggunakan program bantu SAP 2000. Permodelan struktur dilakukan untuk menentukan besarnya momen, gaya geser, dan reaksi yang terjadi pada poer dan pada perletakan. Permodelan pada SAP 2000 dilakukan dengan permodelan tiga dimensi seperti pada

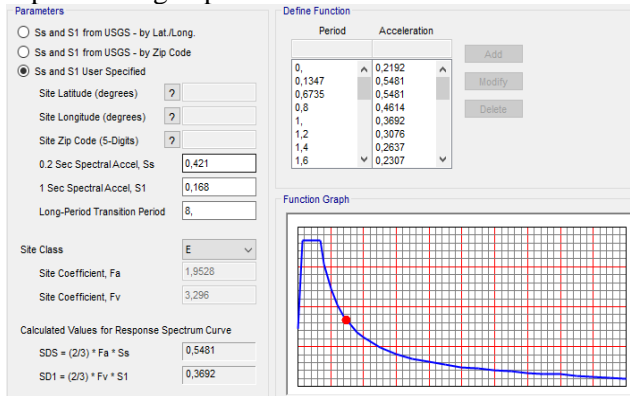
a. Permodelan Struktur

- Permodelan Struktur Catwalk



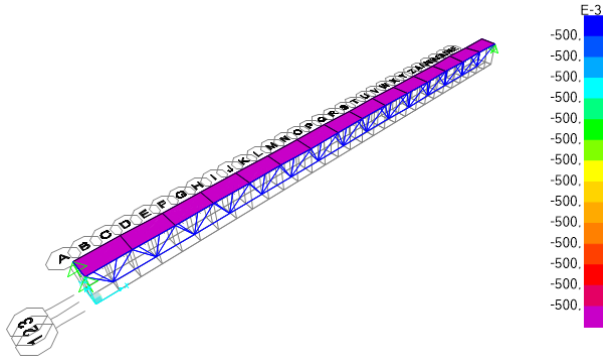
Gambar 7. 39 Struktur Catwalk

- Input beban gempa



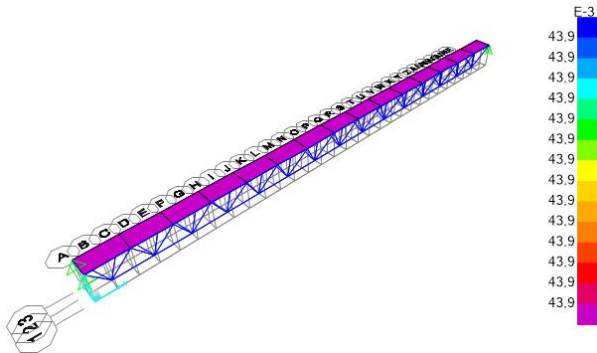
Gambar 7. 40 Respon Spektrum Gempa

- Input beban hidup catwalk berupa beban pejalan kaki



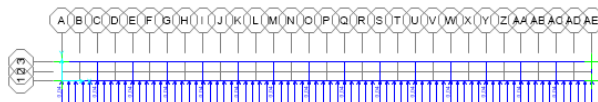
Gambar 7. 41 Beban Pejalan Kaki pada Catwalk

- Input beban sendiri pelat



Gambar 7. 42 Beban Pelat Sendiri

- Input beban angin



Gambar 7. 43 Beban Angin pada Catwalk

b. Kombinasi Beban

Kombinasi pembebanan yang direncanakan pada struktur catwalk SNI 2847 adalah sebagai berikut:

$$\text{COMB1} = 1,4 \text{ DL}$$

$$\text{COMB2} = 1,2 \text{ DL} + 1,6 \text{ LL}$$

$$\text{COMB3} = 1,2 \text{ DL} + 1,0 \text{ LL} + 1,6 \text{ W}$$

$$\text{COMB4} = 0,9 \text{ DL} + 1,6 \text{ W}$$

$$\text{COMB5} = 1,2 \text{ DL} + 0,5 \text{ LL} + \text{Ex} + 0,3 \text{ Ey}$$

$$\text{COMB6} = 1,2 \text{ DL} + 0,5 \text{ LL} + \text{Ey} + 0,3 \text{ Ex}$$

Dimana:

DL = Beban mati (berat sendiri struktur)

LL = Beban hidup merata pada struktur

W = Beban angin

Ex = Beban gempa arah x

Ey = Beban gempa arah y

c. Hasil Permodelan

Dari perhitungan program bantu SAP 2000 didapat gaya dalam pada Tabel 7. 10.

Tabel 7. 10 Gaya Dalam Hasil Permodelan Catwalk

Struktur	Gaya	Kombinasi	Besar	Satuan
Balok Utama Catwalk	P (tekan)	COMB 3	3,05	t
	P (tarik)	COMB 2	67,11	t
	M	COMB 2	0,34	t m
	V	COMB 2	0,412	t
	Deformasi	COMB 2	2,91	mm
Balok Kerangka Catwalk	P (tekan)	COMB 2	8,33	t
	P (tarik)	COMB 2	8,56	t
	M	COMB 2	0,062	t m
	V	COMB 2	0,21	t
	Deformasi	COMB 2	2,91	mm

7.4.5. Perhitungan Struktur Catwalk

1. Kontrol Balok Utama

a. Kontrol Kelangsingan Komponen

$$\begin{aligned}\lambda = L/r &< 200 \\ = 180/7,4 &< 200 \\ = 24,32 &< 200 \text{ OK!}\end{aligned}$$

b. Kontrol Gaya Tarik

Kontrol Leleh:

$$\begin{aligned}\phi \times P_n &= \phi \times f_y \times A_g \\ &= 0,9 \times 2900 \times 65,72 \\ &= 171529,2 \text{ kg (menentukan)}\end{aligned}$$

Kontrol Patah:

$$\begin{aligned}\phi \times P_n &= \phi \times f_u \times A_g \\ &= 0,75 \times 5000 \times 65,72 \\ &= 246450 \text{ kg}\end{aligned}$$

$$\begin{aligned}P_{tarik} &< \phi P_n \\ 67,11 \text{ t} &< 171,529 \text{ t OK!}\end{aligned}$$

c. Kontrol Kuat Momen

Perhitungan Modulus Penampang:

$$\begin{aligned}S_{x,y} &= \text{modulus penampang elastis} \\ &= \frac{\pi (D_2^4 - D_1^4)}{32 D_2} = \frac{\pi (219,1^4 - 199,1^4)}{32 (219,1)} \\ &= 328308,052 \text{ mm}^3 \\ &= 328,308 \text{ cm}^3\end{aligned}$$

$$\begin{aligned}Z_{x,y} &= \text{modulus penampang plastis} \\ &= D^2 t - 2Dt^2 + 4/3 t^3 \text{ atau } \frac{D_2^3 - D_1^3}{6} \\ &= 219,1^2 \times 10 - 2 \times 219,1 \times 10^2 + 4/3 \times 10^3 \\ &= 437561,43 \text{ mm}^3 \\ &= 437,561 \text{ cm}^3\end{aligned}$$

Momen Leleh:

$$\begin{aligned} M_y &= f_y \times S_{x,y} \\ &= 2900 \times 328,308 \\ &= 952093,2 \text{ kg cm} \\ &= 9520,93 \text{ kg m} \end{aligned}$$

Momen Plastis:

$$\begin{aligned} M_p &= f_y \times Z_{x,y} \\ &= 2900 \times 437,561 \\ &= 1268926,9 \text{ kg cm} \\ &= 12689,269 \text{ kg m} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} M_p &\leq 1,5 \times M_y \quad (\text{SNI 03-1729-2002 psl 8.2.1}) \\ 12689,269 \text{ kg m} &\leq 1,5 \times 9520,93 \text{ kg m} \\ 12689,269 \text{ kg m} &\leq 14281,395 \text{ kg m} \quad \mathbf{OK!} \end{aligned}$$

Momen Nominal:

Berdasarkan SNI-1729-2002 Tabel 7.5.1 untuk penampang bulat berongga maka:

$$\begin{aligned} \lambda &= D/t & \lambda_p &= 9000/f_y \\ &= 219,1/10 & \lambda_p &= 9000/290 \text{ MPa} \\ &= 21,91 & \lambda_p &= 31,034 \end{aligned}$$

Karena $\lambda < \lambda_p$ maka profil kompak. Sehingga $M_n = M_p$.

$$\begin{aligned} M_u &< \phi \times M_n \\ 340 \text{ kg m} &< 0,9 \times 12689,269 \text{ kg m} \\ 340 \text{ kg m} &< 11420,342 \text{ kg m} \quad \mathbf{OK!} \end{aligned}$$

d. Kontrol Gaya Tekan

Perhitungan gaya tekan berdasarkan AISC LRFD sebagai berikut:

$$\lambda_c = \frac{L_k}{\pi \times r} \sqrt{\frac{f_y}{E}}$$

$$L_k = k_c \times L$$

Dimana:

Fy = tegangan leleh
 E = modulus elastis
 Lk = panjang tekuk
 L = panjang tekan
 kc = faktor panjang tekuk
 r = jari jari kelembaman (=i)

Lk = kc x L
 = 1 x 180
 = 180 cm

$$\lambda_c = \frac{180}{\pi \times 7,4} \sqrt{\frac{2900}{2100000}}$$

$$\lambda_c = 0,287$$

Karena $\lambda_c \leq 1,5$ maka $F_{cr} = (0,658^{\lambda_c^2}) \times f_y$

$F_{cr} = (0,658^{\lambda_c^2}) \times f_y$

$F_{cr} = (0,658^{0,287^2}) \times 2900$

$F_{cr} = 2801,724 \text{ kg/cm}^2$

$P_n = 0,85 \times F_{cr} \times A_g$
 $= 0,85 \times 2801,724 \times 65,72$
 $= 156508,9407 \text{ kg}$

$P_n > P$
 $156,509 \text{ t} > 67,11 \text{ t OK!}$

e. Kontrol Geser Bahan

$V_n = \phi \times F_{cr} \times (A_g/2)$
 $= 0,9 \times 2801,724 \times (65,72/2)$
 $= 82858,186 \text{ kg}$

$V < V_n$
 $0,412 \text{ t} < 82,858 \text{ t OK!}$

f. Kontrol Tegangan Bahan

$$\sigma = \frac{P}{A} \pm \frac{M}{S} \leq \sigma_{ijin}$$

$$\sigma = \frac{67110}{65,72} \pm \frac{34000}{328,308} \leq 2900 \text{ kg/cm}^2$$

$$\sigma = 1124,711 \frac{\text{kg}}{\text{cm}^2} \leq 2900 \text{ kg/cm}^2 \text{ OK!}$$

g. Kontrol Lendutan Ijin

Berdasarkan SNI 03-1729-2002 Tabel 6.4.1 didapat lendutan ijin sebagai berikut:

$$\begin{aligned} \Delta_{ijin} &= L/240 &> \text{Deformasi} \\ &= 1800/240 &> 2,91 \text{ mm} \\ &= 7,5 &> 2,91 \text{ mm OK!} \end{aligned}$$

2. Kontrol Balok Kerangka

a. Kontrol Kelangsingan Komponen

$$\begin{aligned} \lambda = L/r &< 200 \\ &= 180/3,85 < 200 \\ &= 46,75 < 200 \text{ OK!} \end{aligned}$$

b. Kuat Tarik Rencana

Kontrol Leleh:

$$\begin{aligned} \phi \times P_n &= \phi \times f_y \times A_g \\ &= 0,9 \times 2900 \times 18,5 \\ &= 48285 \text{ kg (menentukan)} \end{aligned}$$

Kontrol Patah:

$$\begin{aligned} \phi \times P_n &= \phi \times f_u \times A_g \\ &= 0,75 \times 5000 \times 18,5 \\ &= 69375 \text{ kg} \end{aligned}$$

$$P_{tarik} < \phi P_n$$

$$8,56 \text{ t} < 48,285 \text{ t OK!}$$

- c. Kontrol Kuat Momen Lentur
Perhitungan Modulus Penampang:

$$\begin{aligned} S_{x,y} &= \text{modulus penampang elastis} \\ &= \frac{\pi (D_2^4 - D_1^4)}{32D_2} = \frac{\pi(114,3^4 - 103,5^4)}{32(114,3)} \\ &= 48038,297 \text{ mm}^3 \\ &= 48,038 \text{ cm}^3 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} Z_{x,y} &= \text{modulus penampang plastis} \\ &= D^2t - 2Dt^2 + 4/3 t^3 \text{ atau } \frac{D_2^3 - D_1^3}{6} \\ &= 114,3^2 \times 5,4 - 2 \times 114,3 \times 5,4^2 + 4/3 \times 5,4^3 \\ &= 64092,222 \text{ mm}^3 \\ &= 64,092 \text{ cm}^3 \end{aligned}$$

Momen Leleh:

$$\begin{aligned} M_y &= f_y \times S_{x,y} \\ &= 2900 \times 48,038 \\ &= 139310,2 \text{ kg cm} \\ &= 1393,102 \text{ kg m} \end{aligned}$$

Momen Plastis:

$$\begin{aligned} M_p &= f_y \times Z_{x,y} \\ &= 2900 \times 64,092 \\ &= 185866,8 \text{ kg cm} \\ &= 1858,668 \text{ kg m} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} M_p &\leq 1,5 \times M_y \quad (\text{SNI 03-1729-2002 psl 8.2.1}) \\ 1858,668 \text{ kg m} &\leq 1,5 \times 1393,102 \text{ kg m} \\ 1858,668 \text{ kg m} &\leq 2089,653 \text{ kg m OK!} \end{aligned}$$

Momen Nominal:

Berdasarkan SNI-1729-2002 Tabel 7.5.1 untuk penampang bulat berongga maka:

$$\begin{aligned}\lambda &= D/t & \lambda_p &= 9000/f_y \\ &= 114,3/5,4 & \lambda_p &= 9000/290 \text{ MPa} \\ &= 21,167 & \lambda_p &= 31,034\end{aligned}$$

Karena $\lambda < \lambda_p$ maka profil kompak. Sehingga $M_n = M_p$.

$$\begin{aligned}M_u &< \phi \times M_n \\ 62 \text{ kg m} &< 0,9 \times 1858,668 \text{ kg m} \\ 62 \text{ kg m} &< 1672,8012 \text{ kg m} \text{ **OK!**}\end{aligned}$$

d. Kontrol Gaya Tekan

Perhitungan gaya tekan berdasarkan AISC LRFD sebagai berikut:

$$\lambda_c = \frac{L_k}{\pi \times r} \sqrt{\frac{f_y}{E}}$$

$$L_k = k_c \times L$$

Dimana:

F_y = tegangan leleh
 E = modulus elastis
 L_k = panjang tekuk
 L = panjang tekan
 k_c = faktor panjang tekuk
 r = jari jari kelembaman (=i)

$$\begin{aligned}L_k &= k_c \times L \\ &= 1 \times 180 \\ &= 180 \text{ cm}\end{aligned}$$

$$\lambda_c = \frac{180}{\pi \times 3,85} \sqrt{\frac{2900}{2100000}}$$

$$\lambda_c = 0,553$$

Karena $\lambda_c \leq 1,5$ maka $F_{cr} = (0,658^{\lambda_c^2}) \times f_y$

$$F_{cr} = (0,658^{\lambda c^2}) \times f_y$$

$$F_{cr} = (0,658^{0,553^2}) \times 2900$$

$$F_{cr} = 2551,584 \text{ kg/cm}^2$$

$$\begin{aligned} P_n &= 0,85 \times F_{cr} \times A_g \\ &= 0,85 \times 2551,584 \times 18,5 \\ &= 40123,658 \text{ kg} \end{aligned}$$

$$P_n > P$$

$$40,123 \text{ t} > 8,56 \text{ t OK!}$$

e. Kontrol Geser Bahan

$$\begin{aligned} V_n &= \phi \times F_{cr} \times (A_g/2) \\ &= 0,9 \times 2551,584 \times (18,5/2) \\ &= 21241,937 \text{ kg} \end{aligned}$$

$$V < V_n$$

$$0,21 \text{ t} < 21,242 \text{ t OK!}$$

f. Kontrol Tegangan Bahan

$$\sigma = \frac{P}{A} \pm \frac{M}{S} \leq \sigma_{ijin}$$

$$\sigma = \frac{8560}{18,5} \pm \frac{6200}{48,038} \leq 2900 \text{ kg/cm}^2$$

$$\sigma = 591,767 \frac{\text{kg}}{\text{cm}^2} \leq 2900 \text{ kg/cm}^2 \text{ OK!}$$

g. Kontrol Lendutan Ijin

Berdasarkan SNI 03-1729-2002 Tabel 6.4.1 didapat lendutan ijin sebagai berikut:

$$\begin{aligned} \Delta_{ijin} &= L/240 > \text{Deformasi} \\ &= 1800/240 > 2,91 \text{ mm} \\ &= 7,5 > 2,91 \text{ mm OK!} \end{aligned}$$

7.4.6. Perencanaan Dudukan Catwalk

1. Perencanaan Penulangan Poer Bantalan Catwalk

Perhitungan tulangan poer bantalan catwalk dihitung seperti perhitungan tulangan balok ($h/b = 160 = 0,75 > 0,4$) dengan data sebagai berikut:

Tebal	= 60 cm
Panjang	= 320 cm
Lebar	= 160 cm
Selimit beton	= 8 cm
Diameter tulangan	= D29

Mutu beton (K350)

σ'_{bk}	= 350 kg/cm ²
σ'_b	= 115,5 kg/cm ²
E_b	= 120.000 kg/cm ²

Mutu baja tulangan (U39)

σ_{au}	= 3900 kg/cm ²
σ_a	= 2250 kg/cm ²
σ'_{au}	= 3390 kg/cm ²
E_a	= 2,1 x 10 ⁶ kg/cm ²

$$n = \frac{E_a}{E_b} = \frac{2,1 \times 10^6}{120.000} = 17,5$$

$$\phi_0 = \frac{\sigma_a}{n \times \sigma'_b} = \frac{2250}{17,5 \times 115,5} = 1,113$$

$$h = 0,6 - 0,08 - 0,029 - (0,5 \times 0,029)$$

$$h = 0,4765 \text{ m} = 47,65 \text{ cm}$$

Dari perhitungan program bantu SAP 2000, didapat gaya sebagai berikut:

Poer:

$$M = -26,886 \text{ t m}$$

Tiang Pancang:

$$P = -44,146 \text{ t}$$

$$M = 19,62 \text{ tm}$$

$$V = 1,69 \text{ t}$$

Nilai Ca:

$$Ca : \frac{h}{\sqrt{\frac{n \times M_t}{\sigma_a \times b}}} = \frac{47,65}{\sqrt{\frac{17,5 \times 2688600}{2250 \times 160}}} = 4,168$$

Nilai ϕ dan ω :

Dengan $\delta = 1$ dan nilai $Ca = 4,168$ maka didapat (berdasarkan tabel perhitungan lentur dengan cara n),

$$\phi = 2,738 > \phi_o = 1,113 \text{ OK!}$$

$$100n\omega = 6,341$$

Kebutuhan tulangan:

Direncanakan tulangan tarik D29.

$$A_{perlu} = \omega \times b \times h_x$$

$$A_{perlu} = \left(\frac{6,341}{17,5 \times 100} \right) \times 1600 \times 476,5 = 2762,502 \text{ mm}^2$$

$$n_{tulangan} = \frac{A_{perlu}}{A_{tulangan}} = \frac{2762,502}{\frac{1}{4} \times \pi \times 29^2} = 4,18 \approx 5$$

$$A_{pasang} = \frac{1}{4} \times \pi \times 29^2 \times 5 = 3302,6 \text{ mm}^2$$

Dipasang Tulangan **5D29**

Tulangan Tekan:

$$A_{perlu} = \delta \times A_{tarik}$$

$$A_{perlu} = 1 \times 3302,6 = 3302,6 \text{ mm}^2$$

$$n_{tulangan} = \frac{A_{perlu}}{A_{tulangan}} = \frac{3302,6}{\frac{1}{4} \times \pi \times 29^2} = 5$$

$$A_{pasang} = \frac{1}{4} \times \pi \times 29^2 \times 5 = 3302,6 \text{ mm}^2$$

Dipasang Tulangan **5D29**

Tulangan Samping:

$$A_{perlu} = 10\% \times A_{tarik}$$

$$A_{perlu} = 0,1 \times 3302,6 = 330,26 \text{ mm}^2$$

$$n_{tulangan} = \frac{A_{perlu}}{A_{tulangan}} = \frac{330,26}{\frac{1}{4} \times \pi \times 29^2} = 0,5 \approx 1$$

$$A_{pasang} = \frac{1}{4} \times \pi \times 29^2 \times 1 = 660,52 \text{ mm}^2$$

Dipasang Tulangan **1D29**

Cek Jarak tulangan tarik

Berdasarkan PBI Pasal 8.16(1) jarak bersih minimum antar batang tulangan yang sejajar dalam suatu lapis adalah 3 cm. Tulangan direncanakan dipasang 1 lapis.

$$s = \frac{b - 2 \times \text{selimut beton} - (2\emptyset) - nD}{n_{tulangan} - 1}$$

$$s = \frac{160 - 2 \times 8 - (2 \times 2,9) - (5 \times 2,9)}{5 - 1}$$

$$s = 31 \text{ mm OK!}$$

Kontrol Retak

Berdasarkan rumusan (2.23) dan Tabel 2.8, dengan uraian dimana balok persegi mengalami lentur murni, didapat nilai koefisien sebagai berikut:

$$C3 = 1,5; C4 = 0,04; C5 = 7,5.$$

$$\omega_p = \frac{A}{Bt} = \frac{A_{pasang}}{b \times h} = \frac{3302,6}{160 \times 676,5} = 0,03$$

$$\sigma_a = \frac{\sigma_a}{\phi} = \frac{2250}{2,738} = 821,767 \text{ kg/cm}^2$$

Sehingga nilai w dapat dicari. Dikarenakan beton tidak terlindung dari hujan dan terik matahari langsung dan dalam lingkungan yang agresif maka nilai w harus kurang dari 0,1 mm (PBI 1971 Pasal 10.7 (1)b).

$$w = \alpha \left[(C_3 \times c) + \left(C_4 \times \frac{d}{\omega_p} \right) \right] \left[\sigma_a - \frac{C_5}{\omega_p} \right] 10^{-6}$$

$$w = 1 \left[(1,5 \times 8) + \left(0,04 \times \frac{2,9}{0,03} \right) \right] \left[821,767 - \frac{7,5}{0,03} \right] 10^{-6}$$

$$w = 0,009 < 0,01 \text{ cm OK!}$$

e. Perhitungan Tulangan Geser (Sengkang)

Berdasarkan PBI Pasal 8.17(1), $\tau_b \leq \tau_{bm}$ –tetap; $\tau_b \leq \tau_{bm}$ –sementara, setiap bagian konstruksi beton bertulang yang memikul lentur senantiasa harus dipasang sejumlah tulangan geser. Dimana tegangan beton yang diijinkan dihitung berdasarkan PBI tabel 10.4.2 akibat geser oleh lentur dan puntir, dengan tulangan geser.

Untuk pembebanan tetap:

$$\tau_{bm-t} = 1,35\sqrt{\sigma'_{bk}}$$

$$\tau_{bm-t} = 1,35\sqrt{350} = 25,256 \frac{\text{kg}}{\text{cm}^2}$$

Untuk pembebanan sementara:

$$\tau_{bm-t} = 2,12\sqrt{\sigma'_{bk}}$$

$$\tau_{bm-t} = 2,12\sqrt{350} = 39,662 \frac{kg}{cm^2}$$

$$\tau_b = \frac{Q}{b \times \frac{7}{8}h}$$

$$\tau_b = \frac{10693}{150 \times \frac{7}{8}67,65} = 1,2 \text{ kg/cm}^2$$

Sengkang di tumpuan balok

$$\tau_{b-t} = \tau_b = 1,2 \text{ kg/cm}^2$$

$$\tau_{b-t} \leq \tau_{bm-t} \quad \text{OK! (Perlu Sengkang)}$$

$$\tau_{b-t} \leq \tau_{bm-s} \quad \text{OK! (Perlu Sengkang)}$$

Maka diperlukan tulangan geser dengan spesifikasi diameter 29 mm.

Direncanakan Sengkang 2 kaki,

$$D = 29\text{mm}$$

$$A_s = \frac{1}{4} \times \pi \times 2,9^2 \times 2 = 13,21 \text{ cm}^2$$

$$\tau_b = \frac{A_s \times \sigma_a}{a_s \times b}$$

$$a_s < \frac{A_s \times \sigma_a}{\tau_{b-t} \times b} = \frac{13,21 \times 2250}{4,792 \times 150} = 41,35 \text{ cm}$$

Berdasarkan PBI Pasal 9.3(6) didapat ketentuan jarak sengkang sebagai berikut:

$$as < 30 \text{ cm}$$

$$as < \frac{2}{3} ht = \frac{2}{3} \times 80 = 53,33 \text{ cm}$$

Jadi dipasang Sengkang D29-200 mm

Sengkang di daerah > 1 m dari ujung balok

$$\tau_{b-1} = \frac{(1,5 - 1)}{1,5} \times 4,792 = 1,6 \text{ kg/cm}^2$$

Direncanakan Sengkang 2 kaki,

$$D = 29 \text{ mm}$$

$$s = \frac{1}{4} \times \pi \times 2,9^2 \times 2 = 13,21 \text{ cm}^2$$

$$\tau_b = \frac{A_s \times \sigma_a}{a_s \times b}$$

$$as < \frac{A_s \times \sigma_a}{\tau_{b-t} \times b} = \frac{13,21 \times 2250}{1,6 \times 150} = 123,85 \text{ cm}$$

Berdasarkan PBI Pasal 9.3(6) didapat ketentuan jarak sengkang sebagai berikut:

$$as < 30 \text{ cm}$$

$$as < \frac{2}{3} ht = \frac{2}{3} \times 80 = 60 \text{ cm}$$

Jadi dipasang Sengkang D29-200 mm

f. Kontrol Geser Spons

$$\bar{\tau}_{bp} = \frac{P_{max}}{\pi(c + h_t)h_t} \leq \bar{\tau}_{bm}$$

Dimana:

τ_{bm} = tegangan aktual yang terjadi pada beton

P max	= gaya aksial maksimum yang bekerja pada tiang pancang (44,146 t)
c	= diameter tiang pancang (81,28 cm)
ht	= tinggi total poer (60 cm)
τ_{bp}	= tegangan ijin beton

Sehingga tegangan geser pons akibat beban kerja adalah

$$\bar{\tau}_{bm} = 0,65 \sqrt{\sigma'_{bk}} = 0,65 \sqrt{350} = 12,16 \text{ kg/cm}^2$$

$$\bar{\tau}_{bp} = \frac{44146}{\pi(81,28 + 60)60} \leq \bar{\tau}_{bm}$$

$$\bar{\tau}_{bp} = 1,66 \frac{\text{kg}}{\text{cm}^2} \leq \bar{\tau}_{bm} \text{ OK!}$$

Karena geser pons yang terjadi lebih kecil dari tegangan izin beton, maka poer dikatakan aman dari gaya pons.

g. Kontrol Kekuatan Tulangan Terhadap Gaya Tarik Pada Sambungan (Poer – Tiang Pancang)

Tulangan yang berada dibagian dalam steel pile harus dicek kemampuannya dalam menahan gaya aksial (P) tarik terbesar yang terjadi pada tiang tegak. Bebarapa hal yang harus dicek antara lain:

- Kekuatan tarik dari tulangan yang berada di dalam steel pile (4D29, $f_y = 3900 \text{ kg/cm}^2$, $A_s = 660,785 \text{ mm}^2$)

P_{nt} = kekuatan tarik tulangan

$$P_{nt} = n \times A_s \times f_y$$

$$P_{nt} = 4 \times 660,785 \times 3900$$

$$P_{nt} = 103082,6 \text{ kg} = 103,083 \text{ t}$$

$$P_{tekan} \leq \emptyset P_{nt}$$

$$44,146 \text{ t} \leq 0,8 \times 103,083$$

$$44,146 \text{ t} \leq 82,47 \text{ t OK!}$$

- Panjang penyaluran tulangan steel pile ke dalam poer (4D29, L = 500 mm) yang diperlukan (L)

$$f_c' = 0,083 \times K350$$

$$f_c' = 0,083 \times 350$$

$$f_c' = 29,05 \text{ MPa}$$

$$f_r = 0,7 \sqrt{f_c}$$

$$f_r = 0,7 \times \sqrt{29,05}$$

$$f_r = 3,77 \text{ N/mm}^2$$

$$L_{perlu} = \frac{P_{tekan}}{n \times \pi \times d \times f_r}$$

$$L_{perlu} = \frac{433072,3}{4 \times \pi \times 29 \times 3,77}$$

$$L_{perlu} = 314,85 \text{ mm}$$

$$L_{perlu} \leq L_{pasang}$$

$$314,85 \text{ mm} \leq 500 \text{ mm} \text{ OK!}$$

h. Kontrol Kemampuan Beton pada Tiang Pancang

Sambungan antara steel pile dan poer menggunakan beton mutu K350. Jadi, mutu beton yang digunakan harus dicek terhadap gaya tarik aktual yang terjadi. Tegangan beton yang diijinkan untuk menerima tarik pada pembebanan tetap beton K350 adalah:

$$\sigma_b = 0,48 \sqrt{\sigma_{bk}} = 0,48 \sqrt{350} = 8,98 \text{ kg/cm}^2$$

Tegangan tarik ijin (σ_{bi}) di atas yang akan digunakan untuk mengontrol gaya tarik aksial pada beton. Direncanakan $h = 1,5$ m. $\sigma_{bi} = \sigma_b \times A_s$

Dimana,

A_s = Luas selimut bagian dalam beton penutup pile

$$= \pi (D \times h)$$

h = panjang pile yang dicor (1,5 m)

$$A_s = \pi \times D \times h$$

$$A_s = \pi \times 81,28 \times 150$$

$$A_s = 38317,71 \text{ cm}^2$$

$$\sigma_{bi} = \sigma_b \times A_s$$

$$\sigma_{bi} = 8,98 \times 38317,71$$

$$\sigma_{bi} = 344092,2 \text{ kg}$$

Ptekan < σ_{bi}

44146 kg < 344092,2 kg **OK!**

2. Perencanaan Pondasi

Pondasi yang akan digunakan adalah pondasi tiang pancang berbahan baja atau disebut juga sebagai steel pipe pile dengan menggunakan spesifikasi tiang pancang baja PT. Terdapat satu jenis tiang pancang dalam perencanaan dudukan catwalk, yaitu tiang pancang tegak dengan data sebagai berikut:

Dimensi Tiang Pancang Baja:

Diameter (D) = 812,8 mm

Tebal (t) = 16 mm

Luas (A) = 400,5 cm²

Momen Inersia (I) = 318.000 cm⁴

Berat = 314,39 kg/m

Section Modulus (Z) = 7.820 cm³

Jari-jari girasi (i) = 28,2 cm

Point of Fixity (Zf) = 7,6 m

Jumlah Titik = 2 titik

Mutu Baja:

E = 2.100.000 kg/cm²

fy = 2.900 kg/cm² (BJ 50)

fu = 5.000 kg/cm² (BJ50)

a. Kedalaman Tiang Pancang

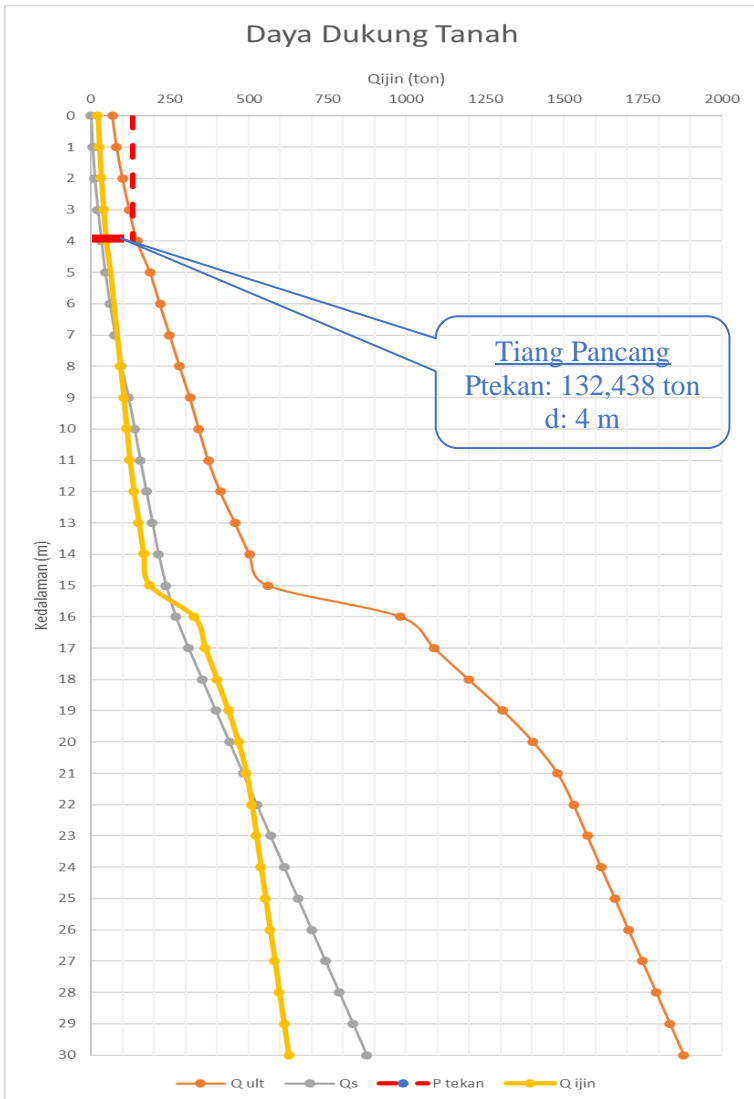
Digunakan tiang pancang tegak dan tiang pancang miring untuk perencanaan struktur breasting dolphin dengan safety faktor 3.

Tiang Pancang Tegak

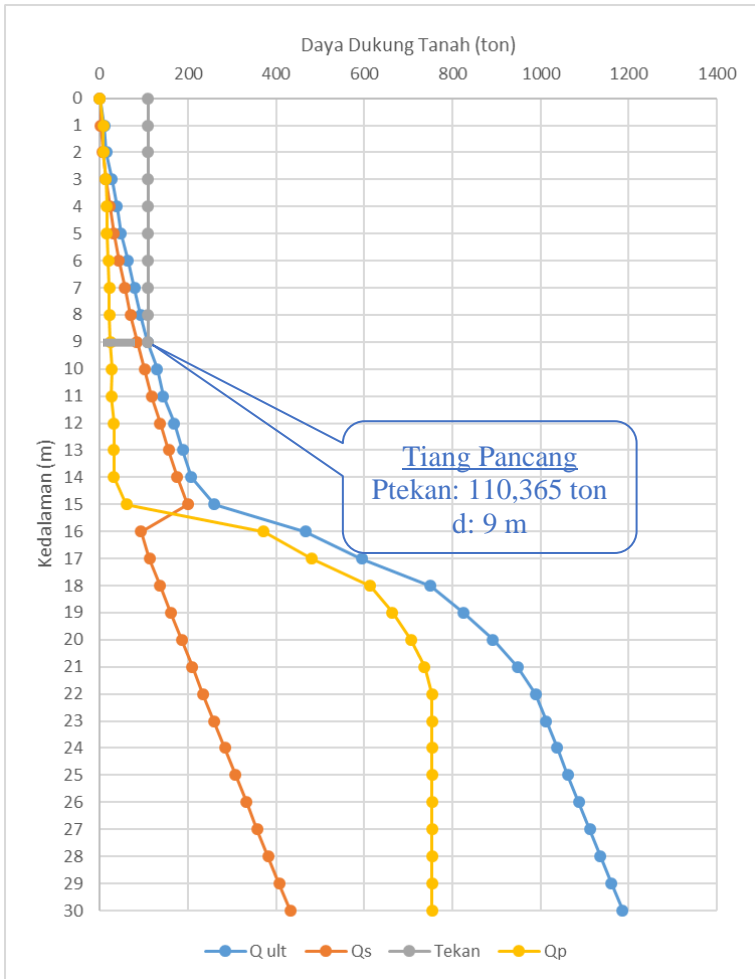
Tekan:

$$\begin{aligned} QL &= 3 \times 44,146 \text{ t} \\ &= 132,438 \text{ t} \end{aligned}$$

Dari grafik dalam Gambar 7. 44, didapatkan kedalaman minimum tiang pancang tegak sedalam 9 m dibawah seabed, maka tiang pada bantalan catwalk ini dipancang sedalam -9 m dari seabed atau -19 mLWS (10+9).



Gambar 7. 44 Kedalaman Minimum Pondasi Tiang Dudukan Catwalk Berdasarkan Luciana De Court



Gambar 7. 45 Kedalaman Minimum Pondasi Tiang Dudukan Catwalk Berdasarkan OCDI

b. Kontrol

• Kontrol Momen

Momen bahan dicari dengan perumusan sebagai berikut:

$$\sigma = \frac{P}{A} \pm \frac{M \times y}{I}$$

$$M = \left(\sigma - \frac{P}{A} \right) \times \frac{I}{y}$$

Dimana,

$$P = -44,146 \text{ t}$$

$$Y = 0,5 \times \text{diameter tiang pancang}$$

$$= 0,5 \times 812,8$$

$$= 406,4 \text{ mm}$$

Maka,

$$M = \left(2900 - \frac{44146}{400,5} \right) \times \frac{318000}{40,64}$$

$$M = 21829422,86 \text{ kg cm}$$

$$M = 218,294 \text{ tm}$$

Tiang Pancang Tegak

Mu aktual < Mu bahan

19,62 t m < 218,294 t m **OK!**

• Kontrol Kekuatan Bahan

Tegangan akibat beban aksial (P) dan momen (M) pada tiang pancang yang didapat dari analisa SAP 2000 v.14 harus lebih kecil dari tegangan ijin tiang pancang (f_y). Tegangan pada tiang pancang dapat dihitung dengan perumusan sebagai berikut:

$$\sigma = \frac{P}{A} \pm \frac{M}{W}$$

$$\sigma = \frac{44146}{0,04005} + \frac{19620}{314,39}$$

$$\sigma = 1102334,566 \text{ kg/m}^2$$

$$\sigma = 110,233 \text{ kg/cm}^2 < 2500 \text{ kg/cm}^2 \text{ (OK)}$$

- Kontrol Kuat Lateral

Beban yang dipikul oleh tiang pancang tidak hanya beban vertikal tetapi juga beban horizontal. Oleh karena itu perlu dilakukan pengecekan ketahanan tiang pancang terhadap beban horizontal. Gaya horizontal yang terjadi (hasil SAP 2000) harus lebih kecil dari gaya horizontal yang mampu dipikul bahan (H_u). Perhitungan daya dukung tiang terhadap beban lateral menggunakan cara Tomlinson dalam “Daya Dukung Pondasi Dalam oleh Prof. Dr. Ir. Herman Wahjudi hal 103”:

Fixed-headed pile:

$$H_u = \frac{2 \times M_u}{e + Z_f}$$

Dimana:

$$M_u = \text{Momen ultimate bahan} = 218,294 \text{ tm}$$

$$Z_f = 7,6 \text{ m}$$

$$e = 13,8 \text{ m}$$

$$H_u = \frac{2 \times 218,294}{13,8 + 7,6} = 20,4 \text{ t}$$

Tiang Pancang Tegak

$$V_2 = 1,69 \text{ t} < H_u = 20,4 \text{ t OK!}$$

- Kontrol Kuat Tekuk

$$P_{cr} = \frac{\pi^2 \times E \times I_{min}}{(Z_f + e)^2}$$

$$P_{cr} = \frac{\pi^2 \times 2.100.000 \times 318000}{(760 + 1380)^2}$$

$$P_{cr} = 1.440350 \text{ kg} = 1440,35 \text{ t}$$

Tiang Pancang Tegak

$P_{cr} > P_u$

1440,35 t > 44,146 t **OK!**

- Kemampuan Tiang Berdiri Sendiri

Tiang pancang pada saat pelaksanaan harus dikontrol terhadap frekuensi gelombang. Sehingga tiang akan stabil walaupun pada saat berdiri sendiri. ω gelombang diambil sebesar 1/6 s-1. Adapun cara menghitung ω tiang adalah dengan perumusan berikut:

$$\omega_t = 1,73 \times \sqrt{\frac{EI}{\left(\frac{wi^3}{g}\right)}} \geq \omega$$

Dimana,

$$\begin{aligned} w &= \text{berat tiang (kg)} \\ &\text{- untuk tiang tegak} &&= 314,39 \text{ kg/m} \times H \\ &&&= 314,39 \text{ kg/m} \times 12,3 \text{ m} \\ &&&= 3866,993 \text{ kg} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} i &= \text{tinggi tiang di atas tanah (m)} \\ &= 11,3 \text{ m (tiang tegak)} \end{aligned}$$

$$g = 9,8 \text{ m/s}^2$$

ω tiang pancang tegak

$$\omega_t = 1,73 \times \sqrt{\frac{(2,1 \times 10^6) \times 318000}{\left(\frac{3866,993 \times 1130^3}{980}\right)}} \geq \omega$$

$$\omega_t = 16,5 \text{ s}^{-1} > \omega_{\text{gelombang}} (0,17 \text{ s}^{-1}) \text{ **OK!**}$$

Jadi dapat disimpulkan bahwa tiang pancang tegak dan tiang pancang miring stabil terhadap frekuensi gelombang dan bisa berdiri sendiri.

- Kontrol Defleksi Tiang

Berdasarkan BS 6349, defleksi horizontal yang diizinkan adalah sebagai berikut:

$$U_{ijin} = \frac{H}{300} = \frac{3350}{300} = 11,2 \text{ cm}$$

$$U < U_{ijin}$$

$$0,36 \text{ cm} < 11,2 \text{ cm OK!}$$

c. Kontrol Tiang Pancang Terhadap Korosi

Korosi merupakan salah satu permasalahan yang dapat terjadi pada tiang pancang. Terutama saat tiang pancang berada di pantai/laut lepas. Dalam perencanaan ini, korosi tiang diasumsikan terjadi sampai tiang ditumbuhi karang yaitu selama 10 tahun. Dengan asumsi tingkat korosi = 0,3 mm/tahun, maka untuk waktu perencanaan 10 tahun, tebal tiang yang digunakan adalah: $16 - (0,3 \times 10) = 13 \text{ mm}$. Metode perawatan digunakan dengan menyediakan alokasi tebal tiang yang akan terkorosi yaitu setebal 3 mm. Selain itu dapat digunakan juga lapisan HDPE yang akan melindungi tiang pancang.

d. Kalendering Tiang Pancang

Perumusan kalendering yang dipakai adalah Alfred Hilley formula:

$$Qu = \frac{\alpha \times W \times H}{S + 0,5C} \times \frac{W + (n^2 \times Wp)}{W + Wp}$$

Karena perhitungan dilakukan sebelum pemancangan, maka yang dihitung adalah nilai s atau penetrasi / blow, yaitu pengamatan yang dilakukan rata – rata di tiga set terakhir, dengan 10 pukulan tiap setnya. Dan diisyaratkan apabila untuk kedalaman yang sama $S > S'$ maka pemancangan dihentikan.

Kalendering Tiang Pancang Tegak:

Dimana:

Qu	= 339,067 t
α	= 2,5
W	= 10 ton (diesel hammer)
Wp	= Berat pile
	= 314,39 kg/m x 19,9 / 1000
	= 6,26 t
L	= 12,3 + 7,6 = 19,9 m
H	= diambil 2 m untuk kondisi normal
n	= 0,55 (hammer on steel pile without cushion)
S	= nilai penetrasi/ blow rencana dari perhitungan
S'	= nilai penetrasi/ blow saat pemancangan
C1	= 0 (untuk without cushion)
C2	= 10 mm (Steel Pile)
C3	= 4 (soft ground)
C	= C1 +C2 +C3
	= 14 mm

Maka:

$$339,067 = \frac{2,5 \times 10 \times 2}{S + 0,5 \times 0,014} \times \frac{10 + (0,55^2 \times 6,26)}{10 + 6,26}$$

$$339,067 = \frac{36,573}{S + 0,007}$$

$$S = \frac{36,573}{339,067} - 0,007 = 0,1 \text{ m} = 100 \text{ mm}$$

Maka final set kalendering yang digunakan untuk tiang pancang miring adalah 100 mm/10 blow atau 10 mm/blow.

BAB VIII

METODE PELAKSANAAN

8.1. Umum

Setelah semua perencanaan sudah terpenuhi, maka dibutuhkan metode pelaksanaan konstruksi secara umum dari hasil perencanaan yang telah dilakukan dimana pada proses pekerjaan konstruksi tidak boleh mengganggu proses berjalannya kegiatan di sekitar lokasi pembangunan. Metode pelaksanaan ini sangat berpengaruh terhadap keberhasilan suatu proyek sehingga jika metode pelaksanaan direncanakan dengan matang maka pekerjaan akan selesai dalam waktu yang diinginkan dan memiliki nilai ekonomis yang tinggi.

Bab ini akan membahas mengenai metode pelaksanaan pekerjaan dermaga LNG. Berikut adalah point yang akan dibahas:

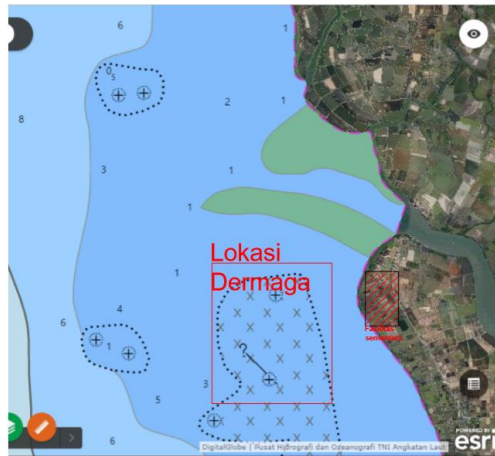
1. Pekerjaan Persiapan
2. Pekerjaan *Unloading Platform*
3. Pekerjaan *Mooring Dolphin*
4. Pekerjaan *Breasting Dolphin*
5. Pekerjaan *Catwalk*

8.2. Pekerjaan Persiapan

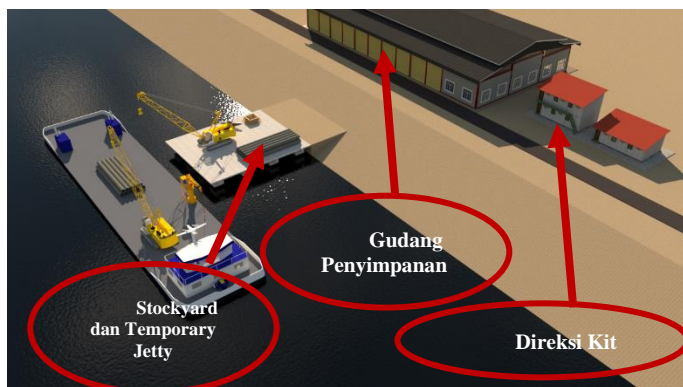
Sebelum melaksanakan tahapan konstruksi dermaga maka perlu dilakukan beberapa tahapan, yaitu:

1. Persiapan perizinan diantaranya izin penetapan lokasi, izin pembangunan, dan izin pengoprasian.
2. Pembersihan lahan di sekeliling area proyek yang akan mengganggu jalannya pelaksanaan proyek
3. Mengatur lokasi proyek beserta fasilitas-fasilitas yang dibutuhkan agar konstruksi berjalan dengan lancar tanpa mengganggu operasional bongkar muat maupun konstruksi yang berlangsung. Fasilitas-fasilitas yang diperlukan antara lain:
 - a. Pembuatan pagar sementara di sekeliling lokasi kerja serta tanda-tanda pengaman, pos jaga dan lampu
 - b. Direksi kit, meliputi: kantor, mesh pekerja, dll

- c. Gudang penyimpanan material dan alat yang tidak dapat terkena air seperti semen, pompa air, vibrator dll.
- d. Workshop sebagai tempat untuk perakitan besi tulangan
- e. *Stock Yard* sebagai tempat penumpukan sementara material sebelum digunakan di lokasi proyek
- f. *Temporary Jetty* sebagai tempat berlabuh kapal ponton atau barge saat akan mengambil material dari darat ke laut.



Gambar 8. 1 Lokasi Fasilitas Sementara



Gambar 8. 2 Ilustrasi Penempatan Fasilitas Sementara

4. Pengadaan material konstruksi berupa besi, tiang pancang, semen, besi serta pengadaan alat berat seperti pontoon, crane, drop hammer untuk keperluan pemancangan tiang pancang. Pengadaan material dilakukan saat malam hari agar tidak mengganggu aktivitas yang ada di sekelilingnya serta mengurangi kemacetan lalu lintas di jalan akibat truk pengangkut material dan alat.

8.3. Pekerjaan Unloading Platform

Pekerjaan pembangunan dan *unloading platform* meliputi pekerjaan tiang pancang dan pekerjaan beton (poer, balok, dan slab).

8.3.1 Pekerjaan Tiang Pancang

Spesifikasi Pemancangan

a. Tiang Pancang

Tiang pancang yang digunakan adalah tiang pancang baja dari PT. Swarna Bajapasific dengan diameter 812,8 mm. (Gambar 8. 3). Tiang pancang ini berjenis pipa baja dengan ujung terbuka (Open ended pile pipe).



Gambar 8. 3 Tiang Pancang Baja PT. Swarna Bajapasific

Pada bagian ujung pile nantinya bagian tersebut akan disambung dibuat permukaan miring (bevel) untuk pengelasan dengan sudut 35° (Lihat Gambar 8. 4).



Gambar 8. 4 Bevel Pada Ujung Tiang Pancang Yang disambung

Sambungan tiang pancang dengan pile cap berupa stek tiang baja tulangan, agar tiang pancang serta pile cap dapat menyatu maka tiang pancang diisi dengan beton bertulang setinggi 2 m sehingga beban-beban struktur atas dapat ditransfer oleh beton pengisi ke tiang pancang. Pada bagian luar tiang pancang perlu dilapisi dengan selimut beton setebal 15 cm untuk membantu menyambungkan tiang pancang ke pile cap.

b. Alat Pancang

Untuk Pemancangan di proyek ini dibutuhkan *barge* dan *crane* (lihat Gambar 8. 5) yang mampu mengakomodir panjang tiang pancang di atas elevasi seabed kisaran 23 m dengan diameter 81,28 cm. Digunakan juga pile driver dengan sistem *hydraulic hammer* yang dipasang di ujung atas pile ladder. Spesifikasi *hydraulic hammer* yang digunakan memiliki *strike energy* minimal 120 kNm, dan *ram weight* minimal 10 ton (lihat Gambar 8. 6 dan Gambar 8. 7).



Gambar 8. 5 Contoh Barge dengan Crane dan Pile Ladder



Gambar 8. 6 Contoh *Power Pack Hammer*

Hydraulic hammer	Model	Unit	HHP4	HHP5	HHP8	HHP10	HHP12	HHP14	HHP16
	Max. Strike Energy	kN.m	48	60	120	150	180	210	240
	Max. Stroke of hammer	mm	1200	1200	1500	1500	1500	1500	1500
	Strike frequency (max./min)	tpm	90/36	90/36	90/36	90/36	90/36	90/36	90/36
	Ram Weight	kg	4000	5000	8000	10000	12000	14000	16000
	Lifting Hydraulic Cylinder	Single Lifting Hydraulic Cylinder							
	Height of hammer -A (w/o Pile cap)	mm	4820	5130	6595	7320	7460	7460	7520
	Hammer weight (w/o pile cap)	kg	7000	8250	12900	16420	18100	21000	23650
Tripp gear weight	kg	390	390	595	630	630	630	690	

Power pack	Hydraulic Hammer Model		HHP4	HHP5	HHP8	HHP10	HHP12	HHP14	HHP16		
	Power Pack Model		P525		EP200	EP250	P400		P600		
	Power of diesel engine	kw	182	194	219	---	269	298	336	403	
	Power of electric motor	kw	---	---	---	7542	9062	---	---	---	
	Rated pressure	mpa	24	24	24	24	24	24	24	24	
	Max flow	L/min	260	280	380	377	493	380	520	520	760
Power pack weight	kg	5000	5100	6250	4200	4500	6100	6100	6200	6500	6800

Gambar 8. 7 Spesifikasi *Hydraulic Hammer* dan *Power Pack*

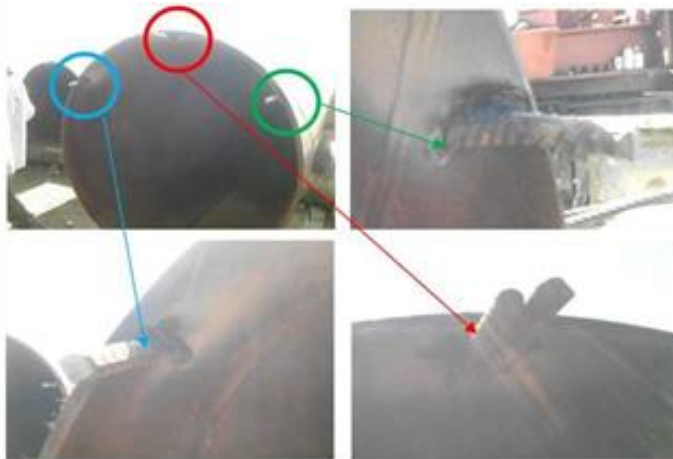
Joint Tiang Pancang di Darat

a. Alat dan bahan

- *Crane* : digunakan crane dengan kapasitas 30 ton
- *Welder generator*
- Perlengkapan safety : helm proyek, sepatu safety, helm las, sarung tangan.
- Tiang pancang ukuran : 12 m + 12 m. Maksimal joint tiang pancang adalah 25 m.
- Kawat las (*welding electrodes*) : RD 360 E7016 (diameter 4 mm), RD 360 E7016 (diameter 3.2 mm)
- Besi penahan (*stopper*) D13 panjang 10 cm

b. Pemasangan Besi Penahan (*Stopper*)

Besi penahan (*stopper*) dipasang pada tiga titik kritis pada bagian dalam permukaan atas pile di sisi kanan, tengah, dan kiri (lihat Gambar 8. 8). Sedangkan di bagian bawah sudah ditopang oleh perletakan yang diletakkan di tepi kiri, tengah, dan kanan pile. Stopper menggunakan besi D13 dengan panjang 10 cm. Stopper dipasang agar tidak terjadi geser pada pile saat pengelasan.



Gambar 8. 8 Titik Pemasangan Stopper

c. Penyambungan Tiang Pancang

Proses penyambungan dimulai dengan melilitkan tali crane pada bahan pile PE, kemudian secara perlahan disambungkan ke pile non-PE. Penyambungan dilakukan pada bagian yang berbentuk miring (Bevel). Hal ini untuk membentuk sudut las yang diinginkan, serta berpengaruh dalam kekuatan las (Gambar 8. 9). jika tidak memungkinkan penyambungan tiang pancang di area kerja maka disambung sebagian di darat hingga maksimum 24.



Gambar 8. 9 Proses Penggabungan Tiang Pancang

Proses pengelasan tiang pancang terdapat 3 lapisan las yaitu lapisan route, lapisan filler, dan lapisan capping. Untuk lapisan route digunakan kawat las RD 360 E7016 (diameter 3.2 mm), sedangkan untuk lapisan filler dan lapisan capping digunakan kawat las RD 360 E7016, diameter 4 mm lihat (Gambar 8. 10).



Gambar 8. 10 Proses Pengelasan Tiang Pancang di Darat

Setelah pengelasan selesai dilakukan dengan baik maka dilakukan pelapisan bahan cat anti karat pada permukaan tiang pancang yang di las (lihat Gambar 8. 11).



Gambar 8. 11 Pelapisan Bahan Anti Karat Pada Permukaan Las

Mobilisasi Material Tiang Pancang

Mobilisasi material tiang pancang pada area stock yard direncanakan menggunakan bantuan kapal ponton atau tongkang dikarenakan jarak terjauh daratan ke tiang pancang unloading

platform mencapai 1 km, sehingga dalam pelaksanaan ini diperlukan kapal pontoon lebih dari 1 untuk mengangkut material tiang pancang. Proses mobilisasi tiang pancang dari daratan ke lautan dengan bantuan kapal ponton dapat dilihat pada Gambar 8. 12.



Gambar 8. 12 Mobilisasi Tiang Pancang

Pemancangan Tiang

Pekerjaan pemancangan tiang pancang untuk substruktur pada pelaksanaan struktur ini dilaksanakan di wilayah perairan, sehingga pelaksanaan pemancangan harus menggunakan ponton sebagai alat angkut tiang pancang. Jumlah ponton yang harus disediakan minimal 2 buah, yaitu untuk mengangkut hammer dan stockpile dari tiang pancang.

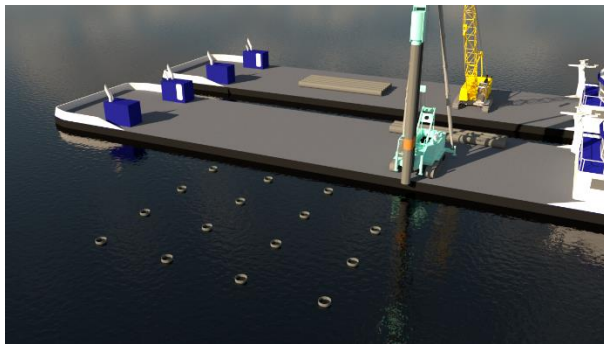
Dalam pekerjaan pemancangan, tiang pancang baja yang dipakai memiliki diameter D812,8. Pemancangan dilakukan dengan 2 buah ponton, dimana 1 ponton untuk membawa *hydraulic hammer* dan ponton crane untuk mobilisasi tiang pancang dari areal penumpukan ke ponton pancang. Alat Teodolit dipergunakan untuk mengukur ketepatan posisi dan kemiringan tiang pada waktu proses pemancangan. Alat yang dipergunakan dalam pekerjaan pemancangan ini antara lain:

- 1 buah kapal pancang (*piling barge*)
- 1 buah kapal pontoon (lihat Gambar 8. 13)

- 2 buah teodolit/waterpass



Gambar 8. 13 Ponton Pancang dan Ponton Crane
(Sumber: products.damen.com)



Gambar 8. 14 Pemancangan

Tahapan Pemancangan Tiang Pancang

1. Pengiriman tiang pancang baja ke kapal pancang. Dilakukan pemberian garis ukuran untuk mempermudah penunjukkan kedalaman sebelum pemancangan. Pengiriman tiang pancang dilakukan dengan mengangkat tiang pancang dari lapangan penumpukkan menggunakan crane ke kapal ponton.
2. Penentuan titik koordinat tiang pancang dengan theodolite.
3. Pemancangan.

- a. Tiang pancang dipasang pada alat pancang.
 - b. Penempatan tiang pancang dasar (yang sudah di las di darat), dengan bantuan *crane*, pada koordinat yang sudah ditentukan oleh surveyor.
 - c. Pengecekan koordinat tiang pancang dengan alat bantu theodolit. Jika pile belum berada di koordinat yang tepat maka pile digerakkan dengan menggunakan robot. Jika sudah tepat maka pile akan pegang oleh robot yang kemudian *crane* digunakan untuk mengangkat drop hammer.
 - d. Memasukkan tumpuan pada mulut pile. Tumpuan ini berfungsi sebagai penopang pile ketika di pancang.
 - e. Pemancangan dimulai dengan mengangkat dan menjatuhkan hammer secara terus-menerus ke atas tumpuan tiang yang sudah dipasang.
 - f. Apabila level tanah keras belum tercapai dan kepala tiang sudah mendekati muka air, pemancangan dihentikan sementara untuk dilakukan penyambungan tiang pancang dengan metode pengelasan kemudian dilanjutkan dengan pemancangan kembali sampai mencapai level tanah keras.
 - g. Untuk pemberhentian proses pemancangan pada sepuluh pukulan terakhir dilakukan kalendering, apabila $S_{rencana} > S_{lapangan}$ maka pemancangan dapat dihentikan. Lalu cek apakah elevasi telah sesuai dengan perencanaan menggunakan waterpass.
4. Setelah semua tiang pancang terpasang dilakukan pemotongan tiang sesuai elevasi yang direncanakan. Panjang tiang pancang yang dipotong berbeda-beda tergantung kekerasan tanah di lokasi yang dipancang.
 5. Untuk perlindungan dari karat, tiang pancang perlu dilakukan perlindungan dengan sarung beton pada daerah splash zone. Kurang lebih 2,8 m dari ujung atas tiang pancang sampai $\pm 0,00$ LWS (tiang yang tidak terendam air pada saat surut). Dengan tebal 100 mm.

6. Pemasangan tulangan spiral tiang pancang dari ujung atas tiang pancang 1,5 m. Pada bagian bawah dari tulangan ini dipasang plat tebal 2 mm agar cor-coran tertahan.
7. Cor in-situ tahap 1 beton isian tiang pancang hingga kedalaman -1,00 mLWS.

Quality Control

a. PDR (*Pile Driving Record*)

Pile Driving Record (PDR) merupakan pencatatan pada saat dilakukan pemancangan. Pencatatan meliputi spesifikasi alat pancang, data pemancangan, spesifikasi tiang pancang dan jumlah pukulan hammer tiap meternya (lihat Gambar 8. 15). Pencatatan ini menunjukkan bahwasanya di hari tersebut telah dilakukan pemancangan.

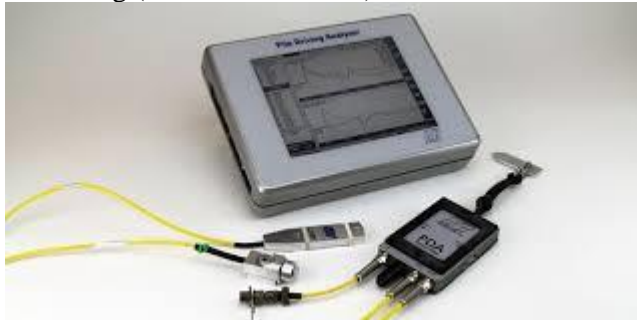


Gambar 8. 15 Contoh Pencatatan Pile Driving Record

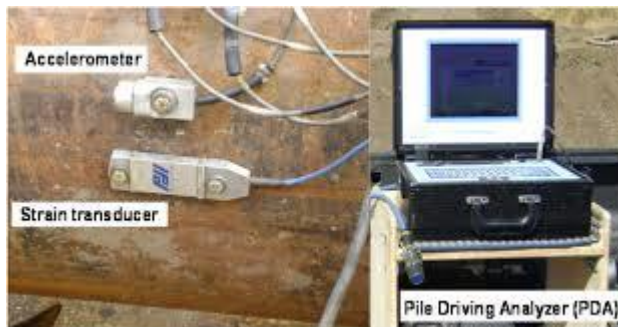
b. PDA (*Pile Dynamic Analyzer*)

Pile Dynamic Analyzer Test merupakan sebuah test untuk mengukur kapasitas tiang tekan secara dinamik pada fondasi dalam baik itu tiang pancang atau tiang bor, integritas tiang, dan energi dari hammer. Alat PDA Test sendiri berupa komputer khusus yang telah dibuat untuk mampu mengukur variabel yang dibutuhkan dalam perhitungan dinamik tersebut dengan menggunakan prinsip *wave mechanics* (Gambar 8. 16). Kriteria pengetesan ini diatur dalam standard ASTM D-4945-

89. PDA mengukur regangan dan akselerasi menggunakan *strain transducer* dan *accelerometer* yang dibaut di dekat bagian atas tiang (lihat Gambar 8. 17).



Gambar 8. 16 Alat PDA
(Sumber: geo-forensik.com)



Gambar 8. 17 Contoh Pemasangan Strain Transducer dan Accelerometer
(Sumber: ascelibrary.org)

Yang terukur langsung dari alat PDA adalah sebagai berikut:

1. Kapasitas daya dukung tiang
2. Nilai kutuhan tiang
3. Penurunan /displacement tiang

4. Efisiensi dari transfer diberi pukulan palu/hammer terhadap tiang.

c. Calendering

- Alat dan bahan

Alat yang digunakan untuk pencatatan calendering ini adalah milimeter block dan marker (spidol).

- Cara kerja

- Dilakukan di sepuluh terakhir pukulan dengan persetujuan konsultan. Sepuluh pukulan terakhir dapat dilihat melalui Total Station.
- Kertas milimeter block ditempel pada tiang pancang.
- Marker dipegang dalam keadaan konstan.
- Kertas milimeter block akan bergerak naik dan turun sesuai dengan gerakan tiang pancang yang akan menghasilkan sebuah grafik (lihat Gambar 8. 18).

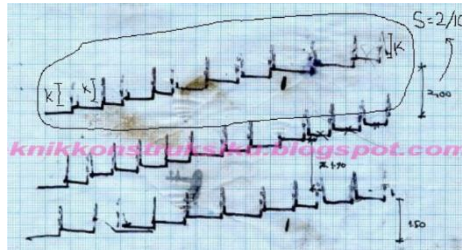


Gambar 8. 18 Contoh Proses Pencatatan Data Calendering
(Sumber: kitasipil.com)

- Hasil Calendering

- Rebound (cm):
Pemantulan kembali tiang pancang saat di pancang
- Penetrasi per 10 pukulan

Kedalaman tiang pancang yang tertanam di dalam tanah per 10 pukulan



Gambar 8. 19 Hasil Pencatatan Calendering

d. UT (Ultrasonic Test)

Ultrasonic Testing (UT) merupakan pengecekan cacat las tanpa harus merusak benda uji hingga ke bagian dalam. Dengan pengujian ini kita dapat mengetahui kedalaman, letak, dan besarnya cacat pada las. Dalam hal ini benda uji nya adalah pengelasan pada sambungan tiang pancang. Prinsip kerja UT adalah memanfaatkan pantulan dari gelombang ultrasonic apabila ditransmisikan pada sampel uji.

COP (Cutting of Pile)

a. Alat dan bahan

- Crane untuk menyanggah pile agar saat dipotong tidak bergerak serta untuk mengangkat dudukan orang yang memotong.
- Alat level untuk mengukur di elevasi dimana tiang pancang harus dipotong sesuai dengan perencanaan.
- *Blender/cutting torch* merupakan tempat pencampuran gas asetilen dan oksigen yang kemudian dikeluarkan melalui nose tembaga.
- Tabung asetilin sebagai bahan bakar api yang dibakar oleh gas oksigen. Sehingga dapat diatur panasnya api yang ingin dikeluarkan dengan mengatur komposisi asetilin dan oksigen.

b. Penentuan Titik Potong

Penentuan titik potong pada tiang pancang dengan menggunakan alat level.

c. Pemotongan Pile

Pemotongan pile dengan menggunakan cutting torch api yang dihasilkan oleh *cutting torch* ini berasal dari gas asitelin yang merupakan bahan bakar dan oksigen. Selama proses pemotongan, tiang pancang dipegang oleh crane (Gambar 8. 20).



Gambar 8. 20 Contoh Proses Pemotongan Tiang Pancang

8.3.2 Pekerjaan Beton (Pengecoran)

Pekerjaan beton ini dilakukan untuk poer, balok, dan slab.

a. **Alat dan Bahan**

1. Air

Kegunaan air dalam proses pekerjaan beton adalah pada proses pembuatan curing dan membasahi lapisan pipa tiang pancang.

2. Beton Readymix

Beton yang diproduksi di batching plant yang diaduk dalam suatu mesin pengaduk stasioner atau dalam truk mixer. Beton yang digunakan dalam keadaan segar menggunakan truk mixer dengan kualitas dan spesifikasi yang ditentukan dalam perencanaan ini adalah K350.

3. Tulangan

Tulangan yang dipakai memiliki mutu dengan diameter sesuai dengan perhitungan diatas.

4. Perancah

Perancah atau landasan untuk bekisting berupa sabuk pengikat yang dibaut dengan baut untuk tiap pengikatnya pada tiang pancang atau bisa disebut web flage steel jacketing dengan baja profil I.

5. Bekisting

Beksiting ini berupa papan kayu polywood 12 mm yang berfungsi sebagai vetakan pada saat pengecoran. Dipasang secara konvensional dan diikat oleh tie rod dan penyangga kayu.

6. Vibrator

Vibrator adalah alat yang berfungsi untuk meratakan dan memadatkan material beton sehingga tidak terjadi rongga pada beton pada saat bekisting di lepas.

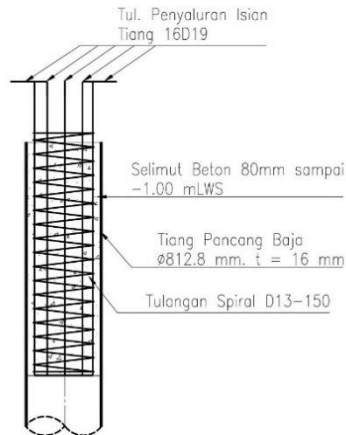
7. *Crane* dan *Barge*

Crane sebagai alat pengangkut dan pemindah material. Saat digunakan untuk pekerjaan dari sisi laut, crane harus diangkat dengan menggunakan barge atau ponton.

b. Pekerjaan Beton Isian Tiang Pancang

1. Penulangan

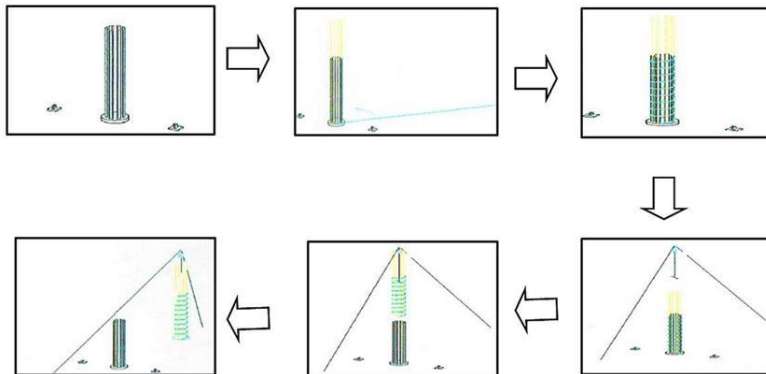
Perencanaan penulangan pada isian tiang pancang berupa baja 8D29 sebagai tulangan lentur, sipral D13-150 sebagai tulangan geser. Perencanaan tulangan isian tiang pancang seperti Gambar 8. 21 berikut.



Gambar 8. 21 Penulangan Isian Tiang Pancang

Tahapan produksi tulangan tiang pancang sebagai berikut (Lihat Gambar 8. 22):

- Persiapan cetakan pembesian. Dipakai cetakan tulangan agar setiap tulangan yang dibuat sama sesuai dengan perencanaan.
- Besi D29 sebanyak 8 buah dimasukkan diantara cetakan tulangan. Sedangkan besi D13 dibentuk spiral dengan menarik besi mengelilingi cetakan dan disusun dengan jarak 150.
- Proses pengikatan tulangan D29 dengan spiral menggunakan las.
- Persiapan alat angkat tulangan berupa tali dan besi.
- Alat bantu angkat dipasang ditulangan sipral dan tulangan D29 yang selanjutnya diangkat keluar dari cetakan pembesian.
- Tulangan isian diletakkan di stockyard untuk di lasdengan pelat besi yang berbentuk bulat pangkal pembesian tulangan isian serta pengelasan besi penyambung.



Gambar 8. 22 Proses Produksi Tulangan Tiang Pancang

2. Pemasangan Bekisting

Selain pengecoran untuk isian tiang pancang, dibutuhkan juga beton untuk selimut tiang pancang. Bekisting yang digunakan untuk pengecoran selimut tiang pancang dibentuk silinder sedemikian rupa sehingga agar dapat digunakan untuk pengecoran selimut tiang pancang.

3. Pengecoran

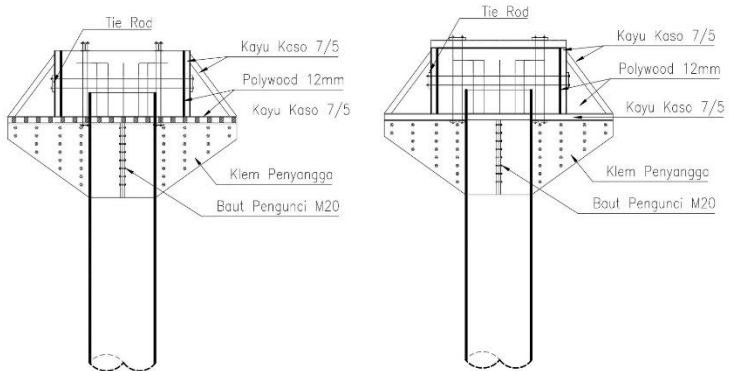
Pengecoran pada tiang pancang dilakukan dua tahap pengecoran insitu. Tahap pertama dilakukan pada dua meter dibawah cutting of pie sampai dengan elevasi pile cap, pengecoran ini dilaksanakan bersamaan dengan pengecoran pile cap *bottom*. Sedangkan tahap kedua dilaksanakan bersamaan dengan joint antar balok. Seluruh pekerjaan pengecoran pada semua bagian dermaga dilakukan saat muka air laut surut.

c. Pekerjaan Beton Pile Cap/Poer

1. Pemasangan Perancah dan Bekisting

Pekerjaan pertama pada pelaksanaan pekerjaan pile cap adalah pemasangan perancah yaitu berupa klem penyangga dari profil baja I untuk menyangga bekisting di atasnya. Setelah perancah dipasang, lalu perakitan bekisting dapat dilakukan.

Beksiting yang dipasang berbahan papan *polywood* 12 mm dengan ditahan oleh kayu kaso 7/5 dan tie road seperti pada Gambar 8. 23.



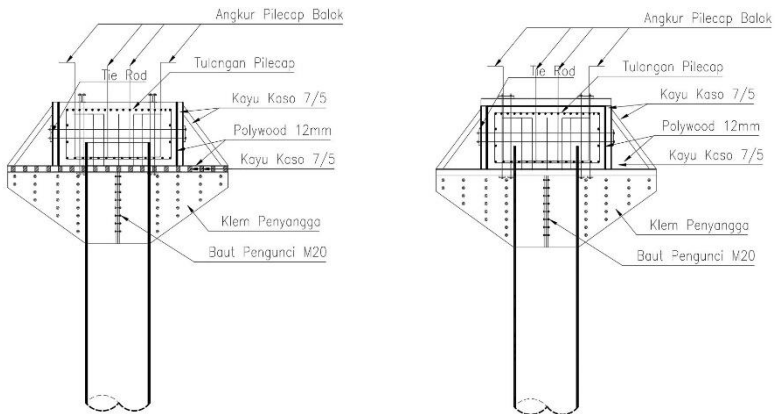
Gambar 8. 23 Pemasangan Perancah dan Beksiting Pile Cap



Gambar 8. 24 Ilustrasi Pemasangan Bekisting dan Perancah Pile Cap

2. Penulangan

Tulangan untuk pilecap dirangkai setelah bekisting bagian bawah dan perancah dipasang. Setelah tulangan dirangkai baru bekisting bagian samping dipasang (Gambar 8. 25).



Gambar 8. 25 Penulangan Pile Cap

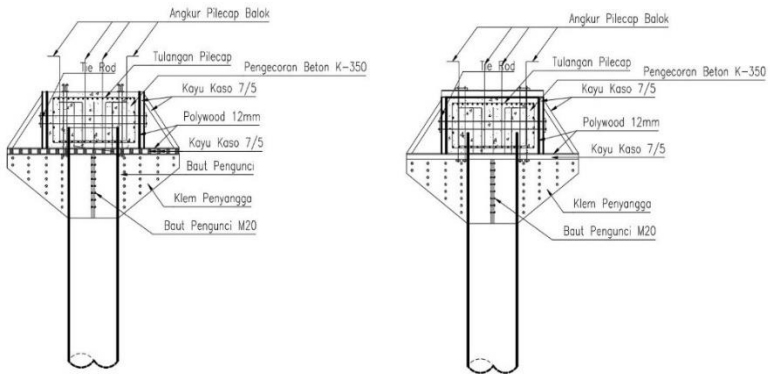
3. Pengecoran

Sebelum pengecoran yang baru dilakukan, permukaan yang akan disambung harus disiram dengan air semen 1 PC:0,45 air, kemudian permukaan sambungan dilapisi dengan lem beton dan dicor kembali. Pekerjaan beton in situ menggunakan kapal tongkang, mixer concrete, dan concrete pump. Pengecoran ini harus dilakukan secara terus menerus dan hanya bisa berhenti di tempat tertentu yang dianggap aman dan telah direncanakan sebelumnya. Proses peralatan beton dibantu dengan alat *vibrator* untuk memudahkan pasta semen masuk mengisi rongga – rongga yang kosong pada bekisting. Apabila proses pengecoran akan dihentikan maka permukaan harus di buat kasar agar hasil pengecoran yang baru dapat melekat dengan sempurna pada permukaan yang lama. Proses pengecoran dapat dilihat pada Gambar 8. 26. Selama waktu pengerasan, beton harus dilindungi dengan air bersih atau ditutup dengan karung basah terus menerus selama paling tidak 10 hari setelah pengecoran. Pembongkaran bekisting beton tidak boleh dilakukan sebelum waktu pengerasan menurut PBI 1971

dipenuhi dan pembongkarannya dilakukan hati-hati agar jangan sampai merusak beton yang sudah mengeras.



Gambar 8. 26 Pekerjaan Pengecoran di Laut



Gambar 8. 27 Pengecoran Beton K-350

4. Perawatan Beton (*Curing*) dan Pembongkaran Bekisting

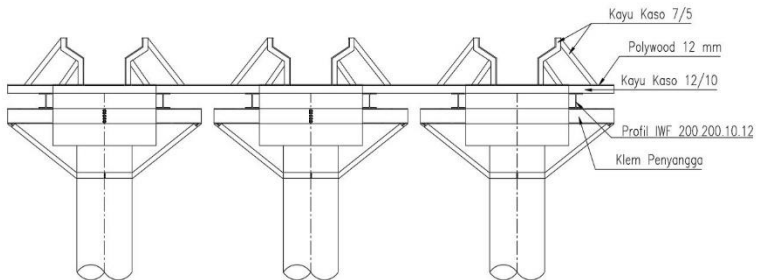
Selama waktu pengerasan, beton harus dilindungi dengan air bersih atau ditutup dengan karung basah terus menerus selama paling tidak 10 hari setelah pengecoran. Pembongkaran bekisting beton tidak boleh dilakukan sebelum waktu pengerasan menurut PBI 1971 dipenuhi dan pembongkarannya

dilakukan hati-hati agar jangan sampai merusak beton yang sudah mengeras.

d. Pekerjaan Beton Balok dan Pelat

1. Pemasangan Perancah dan Bekisting Balok

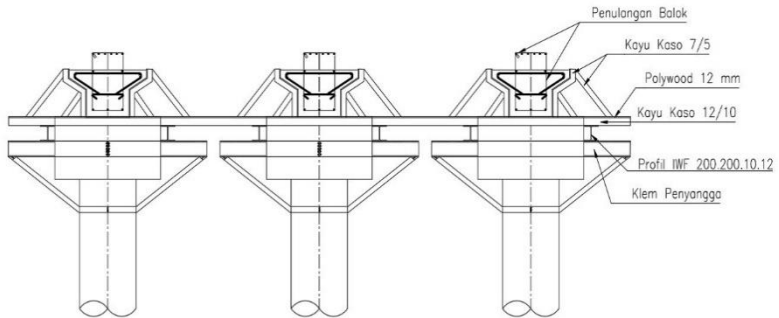
Sama seperti pada pile cap, perancah yang digunakan pada balok berupa klem penyangga (*Steel Jacketing*) dari profil baja profil. Setelah perancah terpasang, bekisting dipasang. Memasang bekisting balok melintang dan memanjang sesuai dengan ukuran rencana dan ditopang dengan landasan yang diletakkan pada pile cap (Lihat Gambar 8. 28).



Gambar 8. 28 Pemasangan Bekisting dan Perancah Balok

2. Penulangan

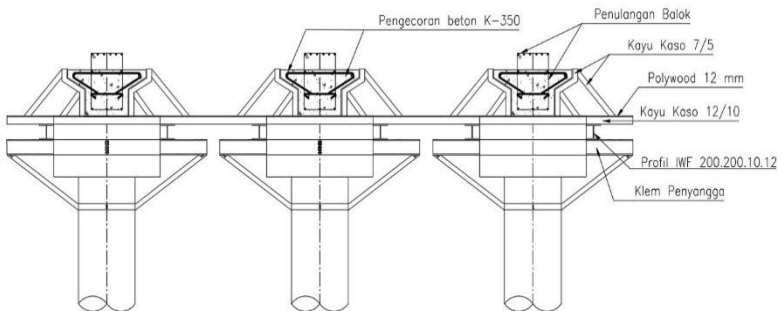
Tulangan untuk balok dirangkai di atas bekisting yang telah dipasang, pada saat pemasangan tulangan harus diperhatikan jaraknya agar selimut beton mendapatkan jarak minimum yaitu 7 cm, untuk mendapatkan tebal selimut beton ini dapat menggunakan beton *decking* agar tulangan tidak melendut (Lihat Gambar 8. 29). Bekisting untuk sisi balok dipasang setelah tulangan untuk balok telah dipasang dengan benar.



Gambar 8. 29 Penulangan Pada Balok

3. Pengecoran

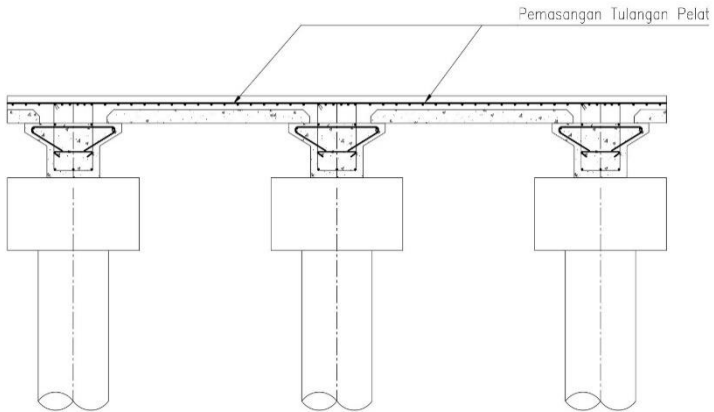
Proses pengecoran balok kurang lebih sama seperti pengecoran pada pile cap. (Lihat Gambar 8. 30).



Gambar 8. 30 Pengecoran Beton K-350 Balok

4. Pemasangan Tulangan Pelat

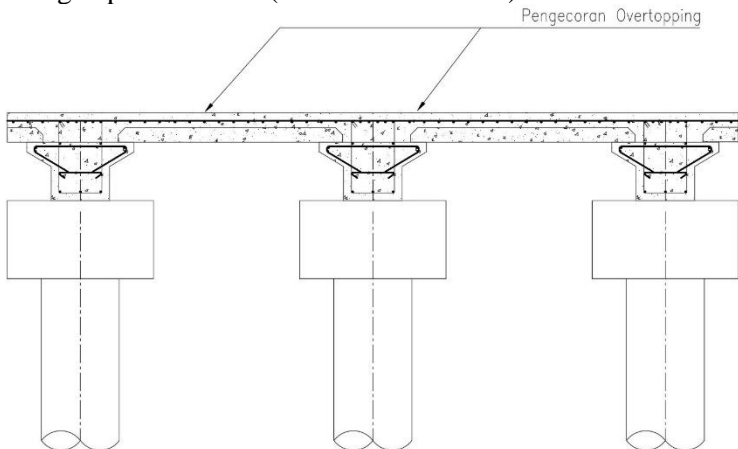
Pemasangan tulangan pelat dilakukan diatas pelat yang sudah di cor dengan bantuan beton decking sebagai selimut beton. (Lihat Gambar 8. 31)



Gambar 8. 31 Pemasangan Tulangan Pelat

5. Pengecoran *Overtopping*

Pengecoran *overtopping* dilakukan agar tebal pelat sesuai dengan perencanaan. (Lihat Gambar 8. 32)



Gambar 8. 32 Cor Overtopping

6. Perawatan Beton (*Curing*) dan Pembongkaran Bekisting

Selama waktu pengerasan, beton harus diliduni dengan dibasahi air bersih atau ditutupi dengan karung basah berkala

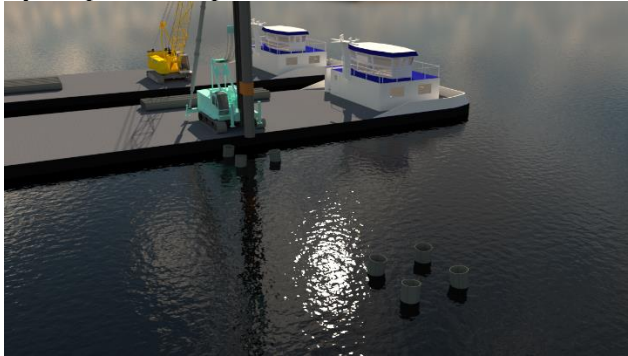
kurang lebih 10 hari agar tidak terjadi pengerasan yang terlalu cepat sehingga menimbulkan keretakan pada beton. Menurut PB 1971 pembongkaran bekisting tidak boleh dilakukan sebelum waktu pengerasan dipenuhi dan pembongkarannya harus dilakukan secara hati-hati agar tidak merusak beton yang telah mengeras.

8.4. Pekerjaan Mooring Dolphin

Pelaksanaan konstruksi *mooring dolphin* secara prinsip sama seperti pelaksanaan konstruksi *unloading platform*. Langkah-langkahnya meliputi pekerjaan tiang pancang, pekerjaan beton (Beton isian tiang dan Poer), dan Pemasangan *bollard*.

8.4.1. Pekerjaan Tiang Pancang

Pekerjaan tiang pancang pada *mooring dolphin* sama seperti pekerjaan tiang pada *unloading platform* pada sub bab sebelumnya. Ilustrasinya dapat dilihat pada Gambar 8. 33 Berikut.

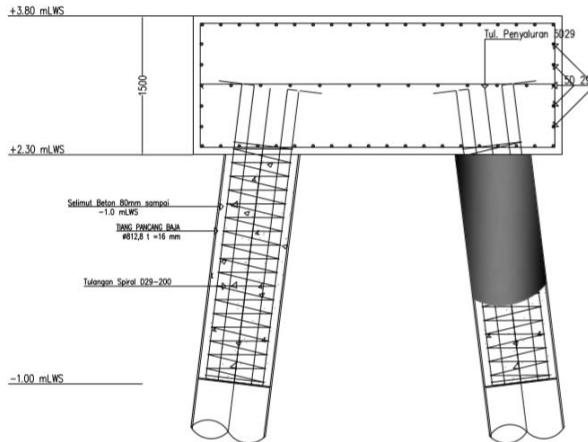


Gambar 8. 33 Pemancangan Mooring Dolphin

8.4.2. Pekerjaan Beton

a. Pekerjaan Beton Isian Tiang Pancang

Pelaksanaan beton isian tiang pancang mulai dari penulangan, pemasangan bekisting, dan pengecoran sama seperti pada pekerjaan *unloading platform*. Detail tulangan dapat dilihat pada Gambar 8. 34.

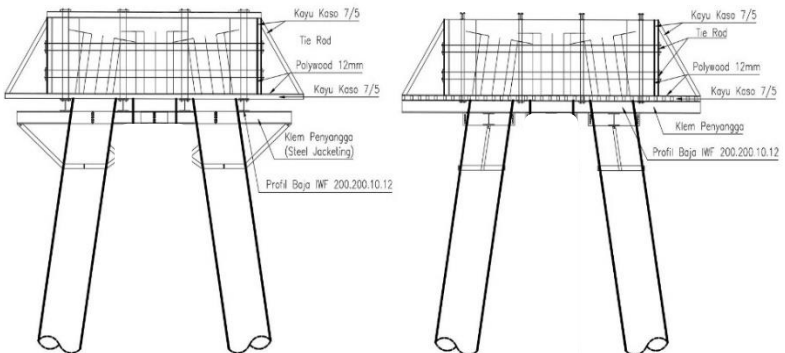


Gambar 8. 34 Detail Beton Isian Tiang Pancang Pada *Mooring Dolphin*

b. Pekerjaan Beton Poer

1. Pemasangan Perancah dan Bekisting

Penjelasan mengenai pemasangan perancah dan bekisting dapat dilihat pada Sub Bab 8.3.2.



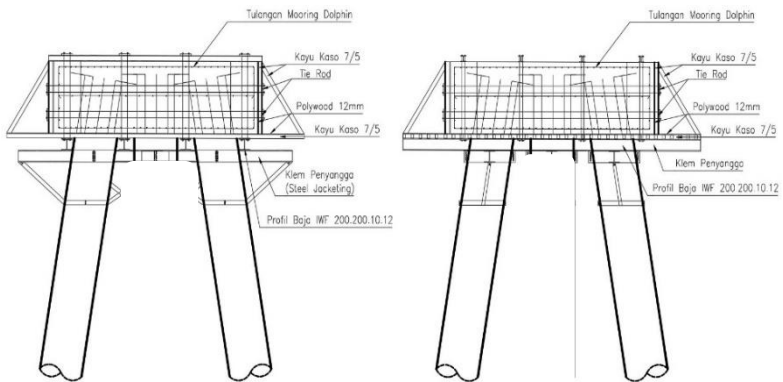
Gambar 8. 35 Pemasangan Perancah dan Bekisting *Mooring Dolphin*



Gambar 8. 36 Ilustrasi Beksiting *Mooring Dolphin*

2. Penulangan

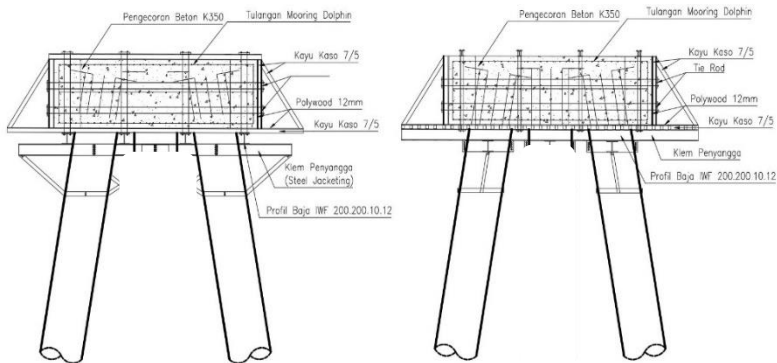
Penjelasan mengenai penulangan dapat dilihat pada Sub Bab 8.3.2.



Gambar 8. 37 Penulangan *Mooring Dolphin*

3. Pengecoran

Penjelasan mengenai pengecoran dapat dilihat pada Sub Bab 8.3.2.



Gambar 8. 38 Pengecoran Beton K-350 *Mooring Dolphin*

4. Perawatan Beton (*Curing*) dan Pembongkaran bekisting

Perawatan Beton dan pembongkaran bekisting sama seperti seperti pada sub bab sebelumnya (Lihat Sub Bab 8.3.2)

8.4.3. Pemasangan Quick Release Hook

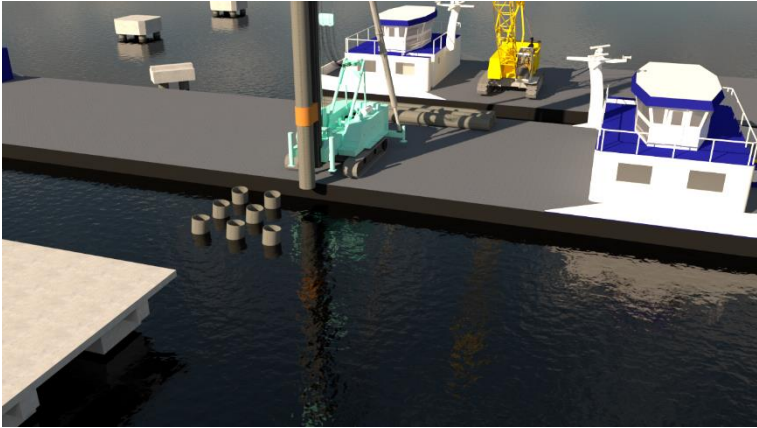
Digunakan bollard tipe double quick realese hook (QRH). Untuk pemasangan QRH sama seperti pada pemasangan fender. Setelah beton mengeras sempurna, QRH dipasang pada anker yang tertanam pada saat pengecoran dengan bantuan crane.

8.5. Pekerjaan Breasting Dolphin

Pelaksanaan konstruksi *breasting dolphin* secara prinsip sama seperti pelaksanaan konstruksi *unloading platform*. Langkah-langkah nya meliputi pekerjaan tiang pancang, pekerjaan beton (Beton isian tiang dan Poer), dan pemasangan *fender*.

8.5.1. Pemancangan Tiang Pancang

Pekerjaan tiang pancang pada *breasting dolphin* sama seperti pekerjaan tiang pada *unloading platform* pada sub bab sebelumnya. Ilustrasi nya dapat dilihat pada Gambar 8. 39 Berikut.

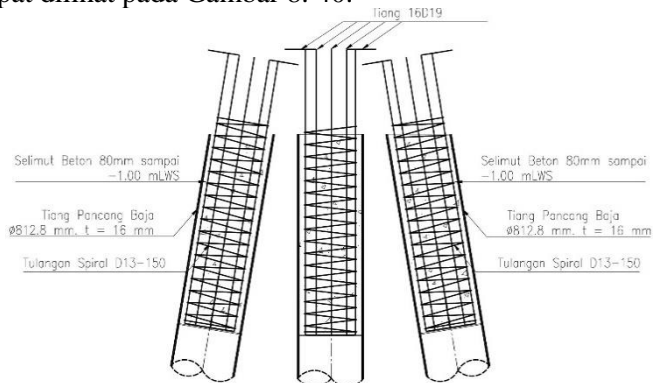


Gambar 8. 39 Pemancangan Tiang Pancang *Breasting Dolphin*

8.5.2. Pekerjaan Beton

a. Pekerjaan Beton Isian Tiang Pancang

Pelaksanaan beton isian tiang pancang mulai dari penulangan, pemasangan bekisting, dan pengecoran sama seperti pada pekerjaan *unloading platform*. Detail tulangan dapat dilihat pada Gambar 8. 40.

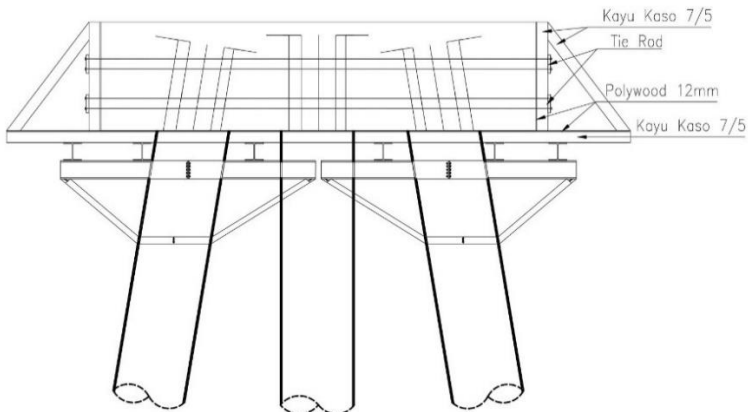


Gambar 8. 40 Beton Isian Tiang Pancang Pada *Breasting Dolphin*

b. Pekerjaan Beton Poer

1. Pemasangan Bekisting dan Perancah

Penjelasan mengenai pemasangan perancah dan bekisting dapat dilihat pada Sub Bab 8.3.2.



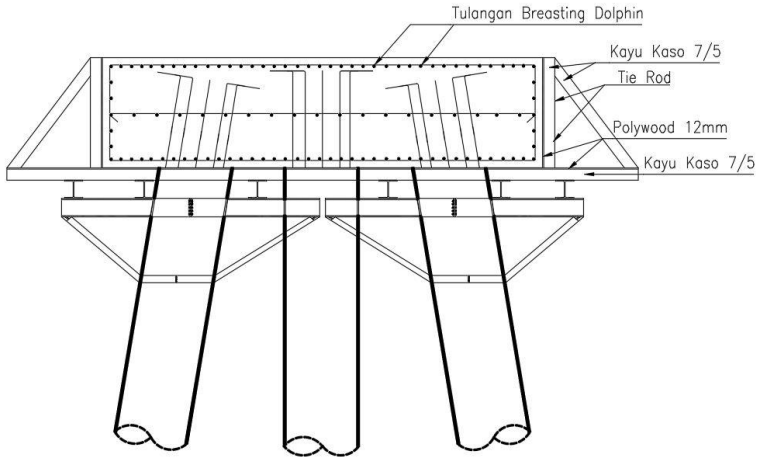
Gambar 8. 41 Pemasangan Perancah dan Bekisting *Breasting Dolphin*



Gambar 8. 42 Ilustrasi Pemasangan Bekisting Breasting Dolphin

2. Penulangan

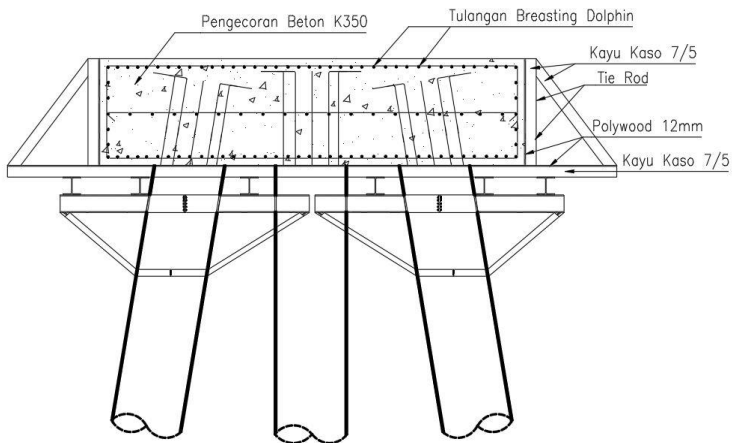
Penjelasan mengenai penulangan dapat dilihat pada Sub Bab 8.3.2.



Gambar 8. 43 Penulangan *Breasting Dolphin*

3. Pengecoran

Penjelasan mengenai pengecoran dapat dilihat Sub Bab 8.3.2.



Gambar 8. 44 Pengecoran Beton K-350 *Breasting Dolphin*

4. Perawatan Beton (*Curing*) dan Pembongkaran bekisting

Perawatan Beton dan pembongkaran bekisting sama seperti seperti pada sub bab sebelumnya (Lihat Sub Bab 8.3.2).

8.5.3. Pemasangan *Fender*

Setelah pekerjaan pengecoran in-situ selesai dilanjutkan dengan pemasangan *Fender*. Selanjutnya, pemasangan *fender* dimulai dengan memasang *fender* pada angker yang telah tertanam pada plank *fender breasting dolphin* dengan menggunakan baut. *Fender* yang digunakan adalah *fender* karet Type SCN 1800 merk *Trelleborg*.



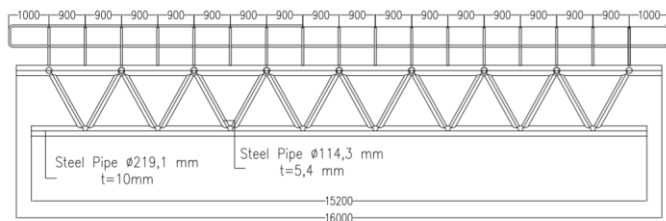
Gambar 8. 45 Pemasangan *Fender*

8.6. Pemasangan *Catwalk*

Dalam pelaksanaan struktur *Catwalk*, perencanaan dibagi menjadi 3 tahap:

8.6.1. Tahap Prakonstruksi

Tahap prakonstruksi dalam pelaksanaan struktur *catwalk* yaitu menyiapkan dudukan atau tempat perletakan dari *catwalk* itu sendiri. Dimana perletakan terbuat dari karet/elastomer yang dipasang di atas *Unloading platform*, *Mooring* dan *Breasting Dolphin*. Setelah dudukan selesai dibuat, didarat atau di bengkel fabrikasi sudah dirancang *catwalk* sesuai dengan bentang fasilitas.



POTONGAN A-A

Skala 1:100

Gambar 8. 46 Detail Struktur *Catwalk*

8.6.2. Tahap Konstruksi

Pada tahap konstruksi ini dilakukan dengan bantuan ponton, mobile crane dan teodolit. Ponton berfungsi untuk membawa potongan catwalk yang telah dilas di darat dan mobile crane berfungsi untuk mengangkat potongan catwalk untuk diletakkan di perletakan. Dalam pemasangannya dibantu dengan teodolit agar lebih presisi.



Gambar 8. 47 Pemasangan Catwalk

8.6.3. Tahap Pasca Konstruksi

Pada tahap ini, yaitu setelah catwalk selesai dibangun, kemudian dipasang pelat baja atau grating untuk injakan kaki serta pegangan tangan pada catwalknya.

“Halaman ini sengaja dikosongkan”

BAB IX

RENCANA ANGGARAN BIAYA

9.1. Umum

Rencana Anggaran Biaya (RAB) merupakan salah satu komponen penting dalam perencanaan sebuah proyek konstruksi. Hal ini dikarenakan RAB merupakan salah satu pertimbangan apakah suatu proyek dapat dilaksanakan atau tidak dengan biaya yang harus dikeluarkan. Dalam bab ini dijelaskan mengenai tata cara analisis biaya keseluruhan pembangunan dermaga LNG. Adapun prosedurnya adalah sebagai berikut:

1. Harga material dan upah
2. Analisis harga satuan
3. Rencana anggaran biaya
4. Rekapitulasi harga

9.2. Harga Material dan Upah

Harga material dan upah yang digunakan berasal dari “Peraturan Menteri Perhubungan PM 78 Tahun 2014“. Untuk daerah Kabupaten Maros harga yang telah ditetapkan dikalikan dengan nilai koefisien kemahalan standar biaya tahun 2016 yaitu sebesar 0,9168. Untuk rincian daftar harga upah, bahan dan material serta alat telah disajikan pada Tabel 9. 1.

Tabel 9. 1 Harga Material dan Upah

No	Uraian	Satuan	Harga Satuan
A	Upah Kerja		
1	Mandor	oh	Rp145.000
2	Kepala Tukang	oh	Rp145.000
3	Tukang	oh	Rp125.000
4	Buruh Terampil/Pekerja	oh	Rp100.000
5	Surveyor	oh	Rp185.000

No	Uraian	Satuan	Harga Satuan
6	Pembantu Surveyor	oh	Rp135.000
7	Operator/Driver	oh	Rp135.000
8	Pembantu Operator/Asisten Surveyor	oh	Rp100.000
9	Penyelam	oh	Rp220.000
10	Penjaga/Satpam	oh	Rp65.000
B	Bahan dan Material		
	Bahan Semen		
1	Semen PC	zak	Rp72.000
2	Beton Ready Mix K350	m ²	Rp1.457.000
	Material Alam		
1	Air Kerja	m ²	Rp40.000
2	Pasir Cor	m ²	Rp415.000
3	Sirtu	m ²	Rp235.000
4	Batu Pecah	m ²	Rp375.000
5	Papan Kayu Bekisting	m ²	Rp2.914.000
6	Kayu Meranti	m ²	Rp2.914.000
7	Kayu Perancah	m ²	Rp2.807.000
8	Papan Plywood 9 mm	lembar	Rp130.000
	Bahan Baja		
1	Steel Pipe Pile (SPP) Ø812,8 mm; t = 14 mm (on location)	m2	Rp12.414.000
2	Pelat Cincin Baja	kg	Rp16.000
3	Besi Tulangan	kg	Rp14.500
4	Kawat Ikat Beton	kg	Rp24.000

No	Uraian	Satuan	Harga Satuan
5	Paku	kg	Rp28.000
	Bahan Aksesoris Dermaga		
1	Double QRH Kap 80 t (on location)	unit	Rp543.252.000
2	Fender Karet Tipe SCN + Frontal Frame (on location)	unit	Rp750.000.000
3	MLA	unit	Rp525.675.000
4	Fire Monitor Tower	unit	Rp67.993.000
5	Tower Gangway	unit	Rp156.773.000
6	Docking Laser System	unit	Rp28.037.000
7	Pipa Gas Ø 12"	m	Rp65.217.000
8	Jib Crane	unit	Rp55.000.000
	Bahan Lain-Lain		
1	Alat Pile Dynamic Analyzer	unit	Rp3.350.000
2	Kawat Las	kg	Rp85.000
3	Peralatan P3K	set	Rp4.850.000
4	Tes Beton di Laboratorium	ls	Rp28.500.000
5	Oli	liter	Rp40.000
6	Solar	liter	Rp12.000
7	A C Marine Use (Anti Corrosive)	kg	Rp460.000
8	A F Marine Use (Anti Fouling)	liter	Rp436.000
9	Safety Helmet	buah	Rp115.000
10	Safety Shoes	buah	Rp950.000

No	Uraian	Satuan	Harga Satuan
11	Safety Glasses	buah	Rp115.000
12	Life Jacket	buah	Rp240.000
13	Biaya ATK	bulan	Rp2.400.000
14	Biaya Komputer dan Printer	bulan	Rp1.750.000
15	Biaya Komunikasi	bulan	Rp2.200.000
16	Biaya Operasional (listrik, air, kebersihan, dll)	bulan	Rp9.750.000
17	Direksi Keet 1 unit	bulan	Rp19.500.000
18	Sewa Mess 1 unit	bulan	Rp14.500.000
19	Workshop	bulan	Rp7.200.000
C	Peralatan		
1	Alat Bantu	ls	Rp5.300
2	Alat Bantu	bulan	Rp800.000
3	Alat grouting	buah	Rp550.000
4	Kuas	buah	Rp20.000
5	Anchor Boat	jam	Rp7.000.000
6	Concrete Mixer	jam	Rp105.000
7	Dump Truck 8 ton	jam	Rp420.000
8	Work Boat	jam	Rp1.600.000
9	Alat Bantu Pemotong Baja	hari	Rp694.000
10	Diesel Hammer	hari	Rp2.500.000
11	Concrete Vibrator	hari	Rp700.000
12	Concrete Pump	hari	Rp295.000
13	Crane	hari	Rp8.000.000
14	Excavator	hari	Rp2.200.000

No	Uraian	Satuan	Harga Satuan
15	Generator Set	hari	Rp4.700.000
16	Mesin Las	hari	Rp1.050.000
17	Ponton Pancang	hari	Rp7.000.000
18	Pontong Transport	hari	Rp3.582.000
19	Theodolite	hari	Rp510.000
20	Tugboat	hari	Rp5.320.000
21	Waterpass	hari	Rp362.000

Ket: oh = orang/hari
 Ls = lumpsum

9.3. Analisa Harga Satuan

Dalam analisa harga satuan pekerjaan, ditentukan harga satuan yang dihabiskan dalam pemenuhan setiap bagian pekerjaan perencanaan konstruksi. Analisa harga satuan pekerjaan dapat dilihat pada Tabel 9. 2.

Tabel 9. 2 Analisa Harga Satuan

No	Uraian	Vol	Satuan	Harga Satuan	Jumlah
I	Pekerjaan Persiapan				
1	(1 Ls) Penyiapan Lahan Pekerjaan dengan Alat Berat				Rp 84.334.000
2	(1 Ls) Mobilisasi dan Demobilisasi				Rp 734.200.000
3	(1 Ls) Stakeout dan Positioning				Rp 135.000.000
4	(1 Ls) Fasilitas Sementara				Rp 635.000.000
5	(1 Ls) Perlengkapan Keamanan dan Keselamatan Kerja				Rp 182.000.000
6	(1 Ls) Administrasi, Dokumentasi, dan Komunikasi				Rp 80.000.000
II	Pekerjaan Tiang Pancang				
1	(1 m) Pengadaan Tiang Pancang SPP Ø812,8 mm; t = 14 mm				
	Bahan:				
	SPP Ø812,8 mm; t = 14 mm (on location)	1	m	Rp 12.414.000	Rp 12.414.000
	Upah:				
	Pekerja	0,01	jam	Rp 100.000	Rp 1.000
	Alat:				

No	Uraian	Vol	Satuan	Harga Satuan	Jumlah
	Crane	0,01	Alat- jam	Rp 8.000.000	Rp 80.000
				Total	Rp 12.495.000
2	(lonjor) Pengangkutan Tiang Pancang ke Titik Pancang				
	Alat:				
	Ponton Transport	0,5	jam	Rp 3.582.000	Rp 1.791.000
	Work Boat	0,1	jam	Rp 1.600.000	Rp 160.000
	Anchor Boat	0,2	jam	Rp 7.000.000	Rp 1.400.000
	Crane	0,2	jam	Rp 8.000.000	Rp 1.600.000
	Upah:				
	Mandor	0,5	oh	Rp 145.000	Rp 72.500
	Operator	0,5	oh	Rp 135.000	Rp 67.500
	Pekerja	2	oh	Rp 100.000	Rp 200.000
	Biaya Pengangkutan (lonjor = 12 m)			Total	Rp 5.291.000
	Biayan Pengangkutan (m)			Total	Rp 440.917
3	(m) Pemancangan Tiang Tegak				

No	Uraian	Vol	Satuan	Harga Satuan	Jumlah
	Alat:				
	Pontong Pancang	1	hari	Rp 7.000.000	Rp 7.000.000
	Ponton Transport	1	hari	Rp 3.582.000	Rp 3.582.000
	Anchor Boat	1	hari	Rp 7.000.000	Rp 7.000.000
	Work Boat	1	hari	Rp 1.600.000	Rp 1.600.000
	Generator Set	1	hari	Rp 4.700.000	Rp 4.700.000
	Alat bantu	1	unit	Rp 800.000	Rp 800.000
	Upah:				
	Mandor	1	oh	Rp 145.000	Rp 145.000
	Operator	8	oh	Rp 135.000	Rp 1.080.000
	Pembantu Operator	8	oh	Rp 100.000	Rp 800.000
	Penyelam	3	oh	Rp 220.000	Rp 660.000
	Pekerja	8	oh	Rp 100.000	Rp 800.000
	Biaya Pemancangan per Hari				Rp 28.167.000
	Panjang Pemancangan per Hari				
	Tiang Tegak	60	m		
	Biaya Pemancangan per meter				

No	Uraian	Vol	Satuan	Harga Satuan	Jumlah
	Tiang Tegak	1	m		Rp 469.450
4	(m) Pemancangan Tiang Miring				
	Alat:				
	Pontong Pancang	1	hari	Rp 7.000.000	Rp 7.000.000
	Ponton Transport	1	hari	Rp 3.582.000	Rp 3.582.000
	Anchor Boat	1	hari	Rp 7.000.000	Rp 7.000.000
	Work Boat	1	hari	Rp 1.600.000	Rp 1.600.000
	Generator Set	1	hari	Rp 4.700.000	Rp 4.700.000
	Alat bantu	1	unit	Rp 800.000	Rp 800.000
	Upah:				
	Mandor	1	oh	Rp 145.000	Rp 145.000
	Operator	1	oh	Rp 135.000	Rp 135.000
	Pembantu Operator	4	oh	Rp 100.000	Rp 400.000
	Penyelam	1	oh	Rp 220.000	Rp 220.000
	Pekerja	5	oh	Rp 100.000	Rp 500.000
	Biaya Pemancangan per Hari				Rp 26.082.000
	Panjang Pemancangan per Hari				

No	Uraian	Vol	Satuan	Harga Satuan	Jumlah
	Tiang Tegak	30	m		
	Biaya Pemasangan per meter				
	Tiang Miring	1	m		Rp 869.400
5	(1 titik) Penyambungan Tiang Pancang Baja				
	Alat:				
	Mesin Las	1	jam	Rp 175.000	Rp 175.000
	Kawat Las	1	kg	Rp 85.000	Rp 85.000
	Upah:				
	Mandor	0,02	oh	Rp 145.000	Rp 2.900
	Tukang Las	0,2	oh	Rp 125.000	Rp 25.000
	Pekerja	0,2	oh	Rp 100.000	Rp 20.000
				Total	Rp 307.900
6	(1 titik) Pemotongan Tiang Pancang Baja				
	Alat:				
	Alat Bantu Pemotongan Tiang	1	hari	Rp 694.000	Rp 694.000
	Upah:				

No	Uraian	Vol	Satuan	Harga Satuan	Jumlah
	Mandor	0,25	oh	Rp 145.000	Rp 36.250
	Tukang Las	0,5	oh	Rp 125.000	Rp 62.500
	Pekerja	1	oh	Rp 100.000	Rp 100.000
				Total	Rp 892.750
7	(1 m2) Pengencatan Anti Korosi pada Las				
	Bahan:				
	A F Marine Use (Anti Fouling)	0,1	liter	Rp 436.000	Rp 43.600
	A C Marine Use (Anti Corrosive)	0,2	kg	Rp 460.000	Rp 92.000
	Kuas	1	buah	Rp 20.000	Rp 20.000
	Upah:				
	Mandor	0,008	oh	Rp 145.000	Rp 1.160
	Kepala tukang	0,025	oh	Rp 145.000	Rp 3.625
	Tukang	0,25	oh	Rp 125.000	Rp 31.250
	Pekerja	0,15	oh	Rp 100.000	Rp 15.000
				Total	Rp 206.635

No	Uraian	Vol	Satuan	Harga Satuan	Jumlah
8	(1 unit) Tes Pile Dynamic Analyzer				
	Bahan:				
	Alat Pile Dynamic Analyzer	1	unit	Rp 3.350.000	Rp 3.350.000
	Upah:				
	Pekerja	1	oh	Rp 100.000	Rp 100.000
				Total	Rp 3.450.000
III	Pekerja Beton				
1	(1 m²) Pemasangan Perancah				
	Bahan:				
	Kayu Perancah	0,04	kg	Rp 2.807.000	Rp 112.280
	Pelat Cincin Baja	39,92	kg	Rp 16.000	Rp 638.720
	Kawat Las	0,25	kg	Rp 85.000	Rp 21.250
	Paku	1	kg	Rp 28.000	Rp 28.000
	Alat:				
	Mesin Las	1	hari	Rp 1.050.000	Rp 1.050.000
	Upah:				

No	Uraian	Vol	Satuan	Harga Satuan	Jumlah
	Mandor	0,01	oh	Rp 145.000	Rp 1.450
	Kepala Tukang	0,05	oh	Rp 145.000	Rp 7.250
	Tukang	2	oh	Rp 125.000	Rp 250.000
	Pekerja	0,5	oh	Rp 100.000	Rp 50.000
	Pemakaian 1 kali			Total	Rp 2.158.950
	Pemakaian 2 kali			Total	Rp 1.079.475
2	(1 kg) Pembesian Ulir				
	Bahan:				
	Besi Tulangan	1,05	kg	Rp 14.500	Rp 15.225
	Kawat Beton	0,015	kg	Rp 24.000	Rp 360
	Alat:				
	Alat Bantu	1	Ls	Rp 5.300	Rp 5.300
	Upah:				
	Mandor	6E-04	oh	Rp 145.000	Rp 87
	Kepala tukang	0,001	oh	Rp 145.000	Rp 145
	Tukang	0,01	oh	Rp 125.000	Rp 1.225

No	Uraian	Vol	Satuan	Harga Satuan	Jumlah
	Pekerja	0,01	oh	Rp 100.000	Rp 980
				Total	Rp 23.322
3	(10 m²) Bekisiting				
	Bahan:				
	Papan Kayu Bekisting	0,052	m ³	Rp 2.914.000	Rp 151.528
	Papan Plywood 9 mm	4	bh	Rp 130.000	Rp 520.000
	Paku	4	kg	Rp 28.000	Rp 112.000
	Upah:				
	Mandor	0,1	oh	Rp 145.000	Rp 14.500
	Kepala tukang	0,5	oh	Rp 145.000	Rp 72.500
	Tukang	2	oh	Rp 125.000	Rp 250.000
	Pekerja	1	oh	Rp 100.000	Rp 100.000
	Biaya 10 m² Bekisting			Total	Rp 1.220.528
	Biaya 1 m² Bekisting			Total	Rp 122.053
4	(1 m3) Pengecoran Beton Ready Mix K-350				
	Bahan:				

No	Uraian	Vol	Satuan	Harga Satuan	Jumlah
	Beton Ready Mix K-350	1	m ³	Rp 1.457.000	Rp 1.457.000
	Alat:				
	Concrete Pump	0,5	jam	Rp 295.000	Rp 147.500
	Concrete Vibrator	0,5	jam	Rp 700.000	Rp 350.000
	Anchor Boat	0,3	jam	Rp 7.000.000	Rp 2.100.000
	Ponton	0,5	jam	Rp 3.582.000	Rp 1.791.000
	Alat Bantu	0,5	Ls	Rp 5.300	Rp 2.650
	Upah:				
	Mandor	0,1	oh	Rp 145.000	Rp 14.500
	Kepala tukang	0,5	oh	Rp 145.000	Rp 72.500
	Tukang	1	oh	Rp 125.000	Rp 125.000
	Pekerja	1	oh	Rp 100.000	Rp 100.000
				Total	Rp 6.160.150
5	(1 m3) Beton K350 Pengisi Tiang Pancang dan Selimut				
	Bahan:				
	Beton Ready Mix K-350	1,02	m ³	Rp 1.457.000	Rp 1.486.140

No	Uraian	Vol	Satuan	Harga Satuan	Jumlah
	Pembesian Tulangan Ulir	1206	kg	Rp 23.322	Rp 28.123.757
	Concrete Mixer	4	jam	Rp 105.000	Rp 420.000
	Pemasangan Perancah	0,33	m ²	Rp 1.079.475	Rp 356.227
	Pemasangan Bekisting	1	m ²	Rp 122.053	Rp 122.053
				Total	Rp 30.508.177
IV	Pekerjaan Lain-Lain				
1	(1 set) Pengadaan dan Pemasangan QRH				
	Bahan:				
	Double QRH Kap. 80 t	1	set	Rp 543.252.000	Rp 543.252.000
	Instalasi Listrik	1	set	Rp 400.000	Rp 400.000
	Alat:				
	Crane	0,5	hari	Rp 8.000.000	Rp 4.000.000
	Upah:				
	Mandor	0,1	oh	Rp 145.000	Rp 14.500
	Operator	1	oh	Rp 135.000	Rp 135.000
	Tukang	0,5	oh	Rp 125.000	Rp 62.500
	Pekerja	2	oh	Rp 100.000	Rp 200.000

No	Uraian	Vol	Satuan	Harga Satuan	Jumlah
				Total	Rp 548.064.000
2	(1 set) Pengadaan dan Pemasangan Fender dan Frontal Pad				
	Bahan:				
	Fender Karet Tipe SCN + Frontal Frame	1	set	Rp 750.000.000	Rp 750.000.000
	Alat:				
	Crane	1	hari	Rp 8.000.000	Rp 8.000.000
	Upah:				
	Mandor	0,1	oh	Rp 145.000	Rp 14.500
	Operator	1	oh	Rp 135.000	Rp 135.000
	Tukang	0,5	oh	Rp 125.000	Rp 62.500
	Pekerja	2	oh	Rp 100.000	Rp 200.000
				Total	Rp 758.412.000
3	(1 m) Pemasangan Catwalk				
	Bahan:				
	Profil Hollow 219,1	1	m	Rp 5.135.000	Rp 5.135.000
	Profil Hollow 114,3	1	m	Rp 3.270.000	Rp 3.270.000

No	Uraian	Vol	Satuan	Harga Satuan	Jumlah
	Pelat Grating 38 cm	1	m	Rp 4.985.000	Rp 4.985.000
	Alat:				
	Mesin Las	0,5	hari	Rp 1.050.000	Rp 525.000
	Upah:				
	Mandor	0,25	oh	Rp 145.000	Rp 36.250
	Tukang Las	1	oh	Rp 125.000	Rp 125.000
	Tukang	2	oh	Rp 125.000	Rp 250.000
				Total	Rp 14.326.250

9.4. Rencana Anggaran Biaya

Dalam rencana anggaran biaya ini, tahapan tiap pekerjaan yang dihitung meliputi:

1. Pekerjaan persiapan
2. Pekerjaan Breasting Dolphin
3. Pekerjaan Mooring Dolphin
4. Pekerjaan Unloading Platform
5. Pekerjaan Dudukan Catwalk
6. Pekerjaan Catwalk

Berikut ini adalah rincian kebutuhan biaya dari masing – masing pekerjaan pada pembangunan dermaga LNG ini dapat dilihat di Tabel 9. 3.

Tabel 9. 3 Rencana Anggaran Biaya

No	Uraian Pekerjaan	Vol	Satuan	Harga Satuan	Jumlah
				(Rp)	(Rp)
I	PEKERJAAN PERSIAPAN				
	1. Pembersihan lahan pekerjaan dengan alat berat	1	ls	Rp 84.334.000	Rp 84.334.000
	2. Mobilisasi dan demobilisasi alat	1	ls	Rp 734.200.000	Rp 734.200.000
	3. Stakeout dan positioning	1	ls	Rp 135.000.000	Rp 135.000.000
	4. Fasilitas sementara	1	ls	Rp 635.000.000	Rp 635.000.000
	5. Perlengkapan keamanan dan keselamatan kerja	1	ls	Rp 182.000.000	Rp 182.000.000
	6. Administrasi, dokumentasi, dan komunikasi	1	ls	Rp 80.000.000	Rp 80.000.000
	Jumlah I				Rp 1.850.534.000
II	PEKERJAAN MOORING DOLPHIN				
	1. Pemancangan SPP 812,8 mm, t = 14 mm				
	- Pengadaan tiang pancang baja	102	m	Rp 12.495.000	Rp 1.274.490.000
	- Pengangkatan tiang pancang ke titik pancang	102	m	Rp 440.917	Rp 44.973.500

No	Uraian Pekerjaan	Vol	Satuan	Harga Satuan	Jumlah
				(Rp)	(Rp)
	- Pemancangan tiang miring	102	m	Rp 869.400	Rp 88.678.800
	- Penyambungan tiang pancang baja	8,500	titik	Rp 307.900	Rp 2.617.150
	- Pengecatan anti korosi pada las	23,38	m ²	Rp 206.635	Rp 4.831.717
	- Pemotongan tiang pancang baja	4	titik	Rp 892.750	Rp 3.571.000
	- Beton isian dan selimut tiang pancang	17,89	m ³	Rp 30.508.177	Rp 545.791.283
	2. Pekerjaan Poer				
	- Pemasangan perancah	75,4	m ²	Rp 1.079.475	Rp 81.392.415
	- Pemasangan bekisting	37,7	m ²	Rp 122.053	Rp 4.601.391
	- Pemasangan tulangan	3630	kg	Rp 23.322	Rp 84.658.860
	- Pengecoran	24	m ³	Rp 6.160.150	Rp 147.843.600
	3. Bollard Mooring				
	- Double QRH kapasitas 80 t	1	unit	Rp 548.064.000	Rp 548.064.000
	Jumlah 1 Mooring Dolphin				Rp 2.831.513.715
	Jumlah II (4 Mooring Dolphin)				Rp 11.326.054.861

No	Uraian Pekerjaan	Vol	Satuan	Harga Satuan	Jumlah
				(Rp)	(Rp)
III	PEKERJAAN BREASTING DOLPHIN				
	1. Pemancangan SPP 812,8 mm, t = 14 mm				
	- Pengadaan tiang pancang baja	220	m	Rp 12.495.000	Rp 2.748.900.000
	- Pengangkatan tiang pancang ke titik pancang	220	m	Rp 440.917	Rp 97.001.667
	- Pemancangan tiang miring	220	m	Rp 869.400	Rp 191.268.000
	- Penyambungan tiang pancang baja	18,333	titik	Rp 307.900	Rp 5.644.833
	- Pengencatan anti korosi pada las	46,77	m ²	Rp 206.635	Rp 9.663.433
	- Pemotongan tiang pancang baja	8	titik	Rp 892.750	Rp 7.142.000
	- Beton isian dan selimut tiang pancang	29,815	m ³	Rp 30.508.177	Rp 909.601.291
	2. Pekerjaan Poer				
	- Pemasangan perancah	176,56	m ²	Rp 1.079.475	Rp 190.592.106
	- Pemasangan bekisting	88,28	m ²	Rp 122.053	Rp 10.774.821
	- Pemasangan tulangan	9075	kg	Rp 23.322	Rp 211.647.150
	- Pengecoran	61,88	m ³	Rp 6.160.150	Rp 381.190.082
	3. Fender				

No	Uraian Pekerjaan	Vol	Satuan	Harga Satuan	Jumlah
				(Rp)	(Rp)
	- Fender karet tipe SCN 1800	1	unit	Rp 758.412.000	Rp 758.412.000
	Jumlah 1 Breasting Dolphin				Rp 5.521.837.384
	Jumlah III (2 Breasting Dolphin)				Rp 11.043.674.768
IV	PEKERJAAN UNLOADING PLATFORM				
	1. Pemasangan SPP 812,8 mm, t = 14 mm				
	- Pengadaan tiang pancang baja	448	m	Rp 12.495.000	Rp 5.597.760.000
	- Pengangkatan tiang pancang ke titik pancang	448	m	Rp 440.917	Rp 197.530.667
	- Pemasangan tiang tegak	448	m	Rp 469.450	Rp 210.313.600
	- Penyambungan tiang pancang baja	37,333	titik	Rp 307.900	Rp 11.494.933
	- Pengencatan anti korosi pada las	107,11	m ²	Rp 206.635	Rp 22.132.380
	- Pemotongan tiang pancang baja	16	titik	Rp 892.750	Rp 14.284.000
	- Beton isian dan selimut tiang pancang	59,625	m ³	Rp 30.508.177	Rp 1.819.050.042
	2. Pekerjaan Poer				
	- Pemasangan perancah	256	m ²	Rp 1.079.475	Rp 276.345.600

No	Uraian Pekerjaan	Vol	Satuan	Harga Satuan		Jumlah	
				(Rp)		(Rp)	
	- Pemasangan bekisting	128	m ²	Rp	122.053	Rp	15.622.758
	- Pemasangan tulangan	23232	kg	Rp	23.322	Rp	541.816.704
	- Pengecoran	64	m ³	Rp	6.160.150	Rp	394.249.600
	3. Pekerjaan Balok Memanjang						
	- Pemasangan perancah	129,36	m ²	Rp	1.079.475	Rp	139.640.886
	- Pemasangan bekisting	64,68	m ²	Rp	122.053	Rp	7.894.375
	- Pemasangan tulangan	12419	kg	Rp	23.322	Rp	289.639.125
	- Pengecoran	27,36	m ³	Rp	6.160.150	Rp	168.541.704
	4. Pekerjaan Balok Melintang						
	- Pemasangan perancah	198,88	m ²	Rp	1.079.475	Rp	214.685.988
	- Pemasangan bekisting	99,44	m ²	Rp	122.053	Rp	12.136.930
	- Pemasangan tulangan	19100	kg	Rp	23.322	Rp	445.446.702
	- Pengecoran	42,24	m ³	Rp	6.160.150	Rp	260.204.736
	5. Pekerjaan Balok MLA						

No	Uraian Pekerjaan	Vol	Satuan	Harga Satuan	Jumlah
				(Rp)	(Rp)
	- Pemasangan perancah	68,4	m ²	Rp 1.079.475	Rp 73.836.090
	- Pemasangan bekisting	34,2	m ²	Rp 122.053	Rp 4.174.206
	- Pemasangan tulangan	5046,7	kg	Rp 23.322	Rp 117.699.371
	- Pengecoran	15,2	m ³	Rp 6.160.150	Rp 93.634.280
	6. Pekerjaan Pelat				
	- Pemasangan perancah	505,8	m ²	Rp 1.079.475	Rp 545.998.455
	- Pemasangan bekisting	252,9	m ²	Rp 122.053	Rp 30.867.153
	- Pemasangan tulangan	32731	kg	Rp 23.322	Rp 763.340.721
	- Pengecoran	104,5	m ³	Rp 6.160.150	Rp 643.735.675
	7. Pemasangan Utilitas Alat				
	- MLA	2	unit	Rp 568.250.000	Rp 1.136.500.000
	- Fire Monitor Tower	1	unit	Rp 73.500.000	Rp 73.500.000
	- Tower Gangway	1	unit	Rp 170.000.000	Rp 170.000.000
	- Jib Crane	1	unit	Rp 55.000.000	Rp 55.000.000

No	Uraian Pekerjaan	Vol	Satuan	Harga Satuan	Jumlah
				(Rp)	(Rp)
	- Laser Docking System	1	unit	Rp 31.000.000	Rp 31.000.000
	- Pipa Gas Diameter 12	40	m	Rp 70.500.000	Rp 2.820.000.000
	Jumlah IV				Rp 17.198.076.680
V	PEKERJAAN DUDUKAN CATWALK				
	1. Pemancangan SPP 812,8 mm, t = 14 mm				
	- Pengadaan tiang pancang baja	43	m	Rp 12.495.000	Rp 537.285.000
	- Pengangkatan tiang pancang ke titik pancang	43	m	Rp 440.917	Rp 18.959.417
	- Pemancangan tiang tegak	43	m	Rp 469.450	Rp 20.186.350
	- Penyambungan tiang pancang baja	3,58	titik	Rp 307.900	Rp 1.103.308
	- Pengencatan anti korosi pada las	11,597	m ²	Rp 206.635	Rp 2.396.376
	- Pemotongan tiang pancang baja	2	titik	Rp 892.750	Rp 1.785.500
	- Beton isian dan selimut tiang pancang	5,3	m ³	Rp 30.508.177	Rp 161.693.337
	2. Pekerjaan Poer				
	- Pemasangan perancah	23,4	m ²	Rp 1.079.475	Rp 25.259.715
	- Pemasangan bekisting	11,7	m ²	Rp 122.053	Rp 1.428.018
	- Pemasangan tulangan	981,61	kg	Rp 23.322	Rp 22.893.155

No	Uraian Pekerjaan	Vol	Satuan	Harga Satuan	Jumlah
				(Rp)	(Rp)
	- Pengecoran	3,6	m ³	Rp 6.160.150	Rp 22.176.540
	Jumlah 1 Dudukan Catwalk				Rp 815.166.715
	Jumlah V (2 Dudukan Catwalk)				Rp 1.630.333.431
VI	PEKERJAAN CATWALK				
	1. Pemasangan catwalk	158	m	Rp 14.326.250	Rp 2.263.547.500
	Jumlah VI				Rp 2.263.547.500
	TOTAL (I+II+III+IV+V+VI), BELUM PPN 10%				Rp 45.312.221.240

9.5. Rekapitulasi Harga

Rekapitulasi harga adalah hasil dari penjumlahan dari setiap pekerjaan dan ditambahkan Pajak Pertambahan Nilai sebesar 10 %. Berikut adalah rekapitulasi biaya pembangunan Dermaga Island Berth yang disajikan dalam

Tabel 9. 4 Rekapitulasi Rencana Anggaran Biaya

REKAPITULASI BIAYA		
No	URAIAN PEKERJAAN	HARGA PEKERJAAN
I	PEKERJAAN PERISAPAN	Rp 1.850.534.000
II	PEKERJAAN MOORING DOLPHIN	Rp 11.326.054.861
III	PEKERJAAN BREASTING DOLPHIN	Rp 11.043.674.768
IV	PEKERJAAN UNLOADING PLATFORM	Rp 17.198.076.680
V	PEKERJAAN DUDUKAN CATWALK	Rp 1.630.333.431
VI	PEKERJAAN CATWALK	Rp 2.263.547.500
Total		Rp 45.312.221.240
PPn 10%		Rp 4.531.222.124
Jumlah Akhir		Rp 49.843.443.364
Jumlah Akhir (dibulatkan)		Rp 49.843.444.000

Terbilang: *Empat puluh sembilan miliar delapan ratus empat puluh tiga juta empat ratus empat puluh empat ribu rupiah*

BAB X

KESIMPULAN

Berdasarkan hasil analisa, perencanaan, serta evaluasi yang dilakukan pada bab-bab sebelumnya, diperoleh beberapa kesimpulan sebagai berikut:

1. Hasil evaluasi (perairan dan daratan):

Layout Perairan:

- Areal Penjangkaran
R = 230 m
n = 4 buah
h = -14 mLWS
- Alur Masuk
w = 84 m (one-way channel)
l = 2750 m
h = -10 mLWS
- Kolam Putar
D = 290 m (dibantu oleh kapal pandu)
h = -10 mLWS
- Kolam Dermaga
L = 30 m
P = 180 m
h = -10 mLWS

Layout Daratan:

- Struktur yang direncanakan terdiri dari unloading platform, breasting dolphin, mooring dolphin, catwalk.
- Mooring Dolphin
 - Dimensi struktur : 4 x 4 m
 - Selimut beton : 8 cm
 - Tebal poer : 1 m
 - Mutu beton : K 350
 - Mutu baja : U 32
 - Tulangan lentur : D 29
 - Tiang pancang : Ø812,8 mm
 - : t = 16 mm

Kemiringan tiang	: 8:1
Kedalaman tiang	: -23 mLWS
Panjang tiang miring	: 102 m
Bollard	: 1 unit (Double QRH 80 t)

- Breasting Dolphin

Dimensi struktur	: 5,4 x 5,2 m
Selimut beton	: 8 cm
Tebal poer	: 1,5 m
Mutu beton	: K 350
Mutu baja	: U 32
Tulangan lentur	: D 29
Tiang pancang	: Ø812,8 mm
	: t = 16 mm

Kemiringan tiang	: 8:1
Kedalaman tiang	: -25 mLWS
Panjang tiang miring	: 220 m
Fender	: 2 unit (SCN 1800 F0.7)

- Unloading Platform

Dimensi struktur	: 22 x 19 m
Dimensi balok melintang	: 60 x 80 cm
Dimensi balok memanjang	: 60 x 80 cm
Dimensi balok MLA	: 100 x 80 cm
Selimut beton pelat	: 7 cm
Selimut beton balok	: 8 cm
Tebal pelat	: 25 cm
Mutu beton	: K 350
Mutu baja	: U 32
Tulangan pelat	: D 16
Tulangan lentur	: D 29
Tulangan geser	: D 29
Pilce cap tunggal	: 200 x 200 x 100 cm
Tiang pancang	: Ø812,8 mm
	: t = 16 mm

Kedalaman tiang : -25,5 mLWS
 Panjang tiang tegak : 448 m

- Struktur Catwalk direncanakan sebagai struktur baja circular hollow section dengan spesifikasi:
 - Bentang struktur : 7 m, 16 m, 28 m
 - Dimensi balok utama : CHS 219 x 10
 - Lebar pelat : 1 m
 - Tinggi rangka : 1,5 m
2. Adapun metode pembangunan dermaga adalah sebagai berikut:
 1. Pekerjaan persiapan yang meliputi persiapan perizinan, pembersihan lahan di sekitar proyek, mengatur lokasi proyek beserta fasilitas-fasilitas yang dibutuhkan, dan pengadaan material konstruksi.
 2. Pekerjaan mooring dolphin terdiri dari pekerjaan pemancangan, pilecap, dan bollard.
 3. Pekerjaan dudukan catwalk terdiri dari pekerjaan pemancangan dan pekerjaan pilecap.
 4. Pekerjaan breasting dolphin terdiri dari pekerjaan pemancangan, pilecap, plank fender, dan pemasangan fender.
 5. Pekerjaan loading platform terdiri dari pekerjaan pemancangan, pilecap, balok, pelat, dan pemasangan utilitas alat.
 6. Pekerjaan catwalk yang terdiri dari pemasangan perletakan catwalk, penempatan catwalk fabrikasi dengan theodolite, pemasangan pelat grating sebagai injakan kaki, dan dipasang pegangan tangan pada sisi catwalk.
 3. Rencana anggaran biaya yang diperlukan untuk pembangunan dermaga LNG untuk kapal 10.000 DWT ini sebesar: **Rp. 49.843.444.000** (Empat puluh sembilan miliar delapan ratus empat puluh tiga juta empat ratus empat puluh empat ribu rupiah).

“Halaman ini sengaja dikosongkan”

DAFTAR PUSTAKA

- Panitia Pembeharuan Peraturan Beton Bertulang Indonesia. 1971. Peraturan Beton Bertulang Indonesia. Bandung : Departemen Pekerjaan Umum dan Tenaga Listrik
- Standar Nasional Indonesia. 2012. SNI-03-1726-2012-Standar Perencanaan Ketahanan Gempa Untuk Struktur Bangunan Gedung. Bandung
- CERC. 1984. Shore Protection Manual. US Army Corps of Engineers, Washington
- Triatmodjo, Bambang. 2012. Teknik Pantai. Beta Offset, Yogyakarta. : Beta Offset
- Tiatmodjo, Bambang. 2011. Perencanaan Bangunan Pengaman Pantai. Yogyakarta : Beta Offset.
- 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.
- International Safety Guide for Oil Tankers & Terminals (ISGOTT). 1996. International Association of Ports and Harbors. England: Witherby & Co. Ltd
- PIANC. 2002. Guidelines for Design of Fender System. Belgium: PIANC General Secretariat
- PIANC. 2014. Harbour Approach Channels Design Guidelines. Belgium: PIANC General Secretariat
- Taneja, P., W. E. Walker, and H. Ligteringen, (2011). Flexibility in Port Planning and Design. European Journal of Transport and Infrastructure Research, Delft, Delft University of Technology
- Michael Rustell, Aurora Orsini, Soon-Thiam Khu, Yaochu Jin, and Ben Gouldby, (2014). Decision Support for Designing New LNG Terminals. PIANC World Congress, San Francisco USA
- Widyastuti, Dyah Iriani. 2017. Perencanaan Pelabuhan. Surabaya : Absolute Media

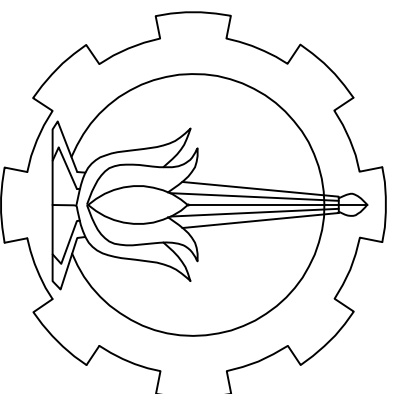
“Halaman ini sengaja dikosongkan”

BIODATA PENULIS



Penulis bernama Fahmi Shofi Aulia, dilahirkan di Surabaya 18 Desember 1996, merupakan anak kedua dari 2 bersaudara. Penulis telah menempuh pendidikan formal di SD Al-Azhar 6 Jakapermai (Bekasi), SMP Labschool Rawamangun (Jakarta), dan SMA Negeri 61 (Jakarta). Setelah lulus dari SMA Negeri 61 Jakarta tahun 2015, Penulis diterima di Jurusan Teknik Sipil FTSPK-ITS dengan jalur SBMPTN pada tahun 2015 dan terdaftar dengan NRP 3115 100 082. Penulis juga aktif dalam berbagai organisasi, yaitu pernah terlibat didalam Kementerian Kebijakan Publik BEM ITS periode 2016/2017 sebagai staff dan pernah menjadi Wakil Ketua Himpunan II di Himpunan Mahasiswa Sipil FTSP-ITS periode 2017/2018. Di Departemen S1 Teknik Sipil penulis mengambil bidang studi Perhubungan (Bangunan Transportasi Laut). Penulis sempat mengikuti kerja praktik di “PT. Freeport Indonesia” pada tahun 2018. Apabila ingin berkomunikasi dengan penulis, dapat melalui email: fahmishfl@gmail.com.

TUGAS AKHIR RC-141501
PERENCANAAN DERMAGA LNG KABUPATEN MAROS SULAWESI
SELATAN



Nama Mahasiswa
FAHMI SHOFI AULLA (03111540000082)

Dosen Pembimbing
1. Ir. FUDDOLY, M.Sc
2. Ir. DYAH IRIANI, M.Sc

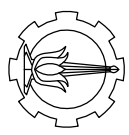
PROGRAM STUDI S-1
DEPARTEMEN TEKNIK SIPIL
FAKULTAS TEKNIK SIPIL LINGKUNGAN DAN KEBUMIHAN
INSTITUT TEKNOLOGI SEPULUH NOPEMBER
SURABAYA
2019

DRAWING LIST	
DRAWING NO.	DRAWING TITLE
001	COVER
002	DRAWING TABLE OF CONTENT
003	GENERAL LAYOUT
004	LAYOUT DARATAN
005	LAYOUT UNLOADING PLATFORM
006	TAMPAK SAMPIING UNLOADING PLATFORM
007	DENAH DAN PENULANGAN UNLOADING PLATFORM
008	DENAH DAN POTONGAN BALOK
009	DENAH DAN POTONGAN BALOK MLA
010	TAMPAK PILE CAP
011	POTONGAN PILE CAP
012	LAYOUT DAN POTONGAN MOORING DOLPHIN
013	TAMPAK DAN POTONGAN MOORING DOLPHIN
014	LAYOUT BREASTING DOLPHIN
015	TAMPAK BREASTING DOLPHIN
016	POTONGAN BREASTING DOLPHIN
017	SAMBUNGAN LAS
018	QUICK RELEASE HOOK
019	FENDER
020	CATWALK TIPE 1
021	CATWALK TIPE 2
022	CATWALK TIPE 3
023	DUDUKAN CATWALK

LEGENDA DAN KETERANGAN

CATATAN

1. SEMUA DIMENSI DITULIS DALAM SATUAN MILIMETER
2. KECAKUPAN KETERANGAN LAIN
3. SEMUA LEVEL DALAM METER DI UKUR DARI LWS ±0.00
4. MATERIAL BETON MENGGUNAKAN $f'_c = 29,05 \text{ MPa}$
5. MATERIAL TANG PANGANG HARUS MENGGUNAKAN $f_y = 4252$
6. GRADE 2 DENGAN TEGANGAN LEBIH 2400 kg/cm^2
7. TANG PANGANG DIPROTEKSI DENGAN COATING
8. DIBERIKAN TULANGAN MENGGUNAKAN RADA SNI
9. DAN HARUS TULANGAN ULIR DENGAN $f_y = 390 \text{ MPa}$
10. ϕ MENYANDIKAN TULANGAN POLOS DENGAN $f_y = 240 \text{ MPa}$
11. PROFIL BALOK HARUS MENGGUNAKAN A36
12. SEMUA GAMBAR SESUAI DENGAN SPESIFIKASI



PERENCANAAN DERMAKA LNG KABUPATEN MAROS SULAWESI SELATAN

Dosen Pembimbing :
 Ir. FUDDOLY, M.Sc.
 Ir. DITAH IRMANI, M.Sc.

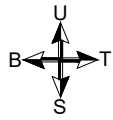
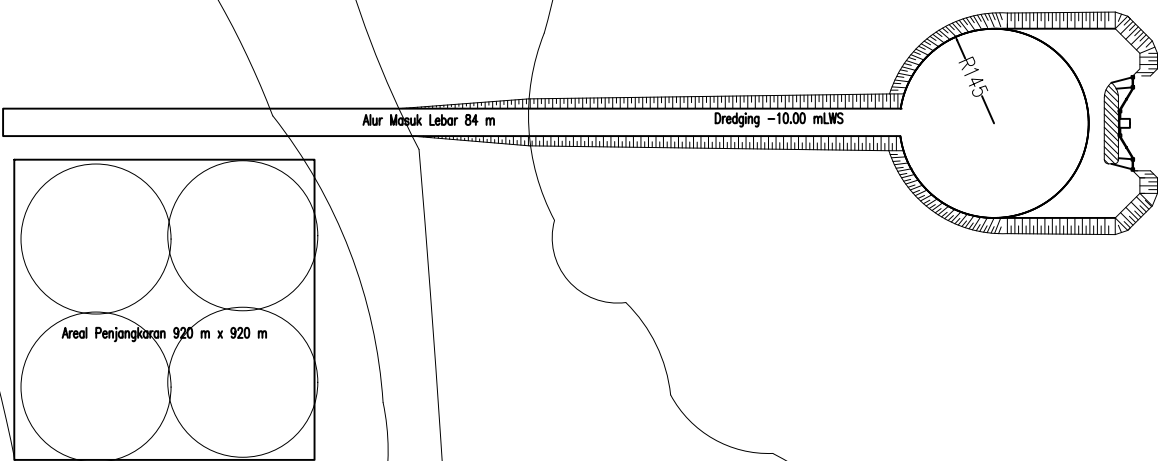
Mahasiswa :
 FAHMI SHOFI AULIA
 0311154000082

Judul Gambar :
 DRAWING TABLE OF CONTENT

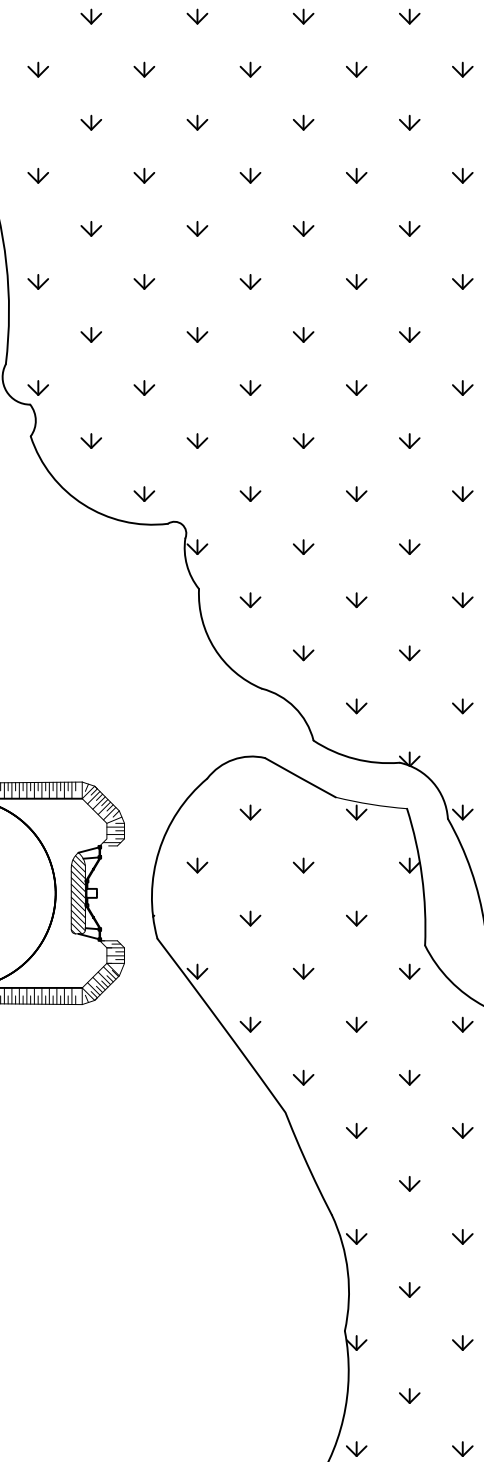
Nomor Drawing : 002

Scale : -

-20m -14m -11m -10m -5m



SKALA
0 150 450 900 (m)



LEGENDA DAN KETERANGAN

CATATAN

1. SEMUA DIMENSI DITULIS DALAM SATUAN MILIMETER KECUALI KETERANGAN LAIN
2. SEMUA LEVEL DALAM METER DI UKUR DARI LWS ±0.00
3. MATERIAL BETON MENGGUNAKAN $f'c = 29,05 \text{ MPa}$
4. MATERIAL TANG PANGANG HARUS MENGACU ASTM A252
5. GRADE 2 DENGAN TEGANGAN LELEH 2400 kg/cm^2
5. TIANG PANGANG DIPROTEKSI DENGAN COATING DAN HDPE
6. MUTU BAJA TULANGAN MENGACU PADA SNI
6. D MENANDAKAN TULANGAN ULIR DENGAN $f_y = 390 \text{ MPa}$
6. D MENANDAKAN TULANGAN POLOS DENGAN $f_y = 240 \text{ MPa}$
7. PROFIL BAJA HARUS MENGACU ASTM A36
8. SEMUA GAMBAR SESUAI DENGAN SPESIFIKASI



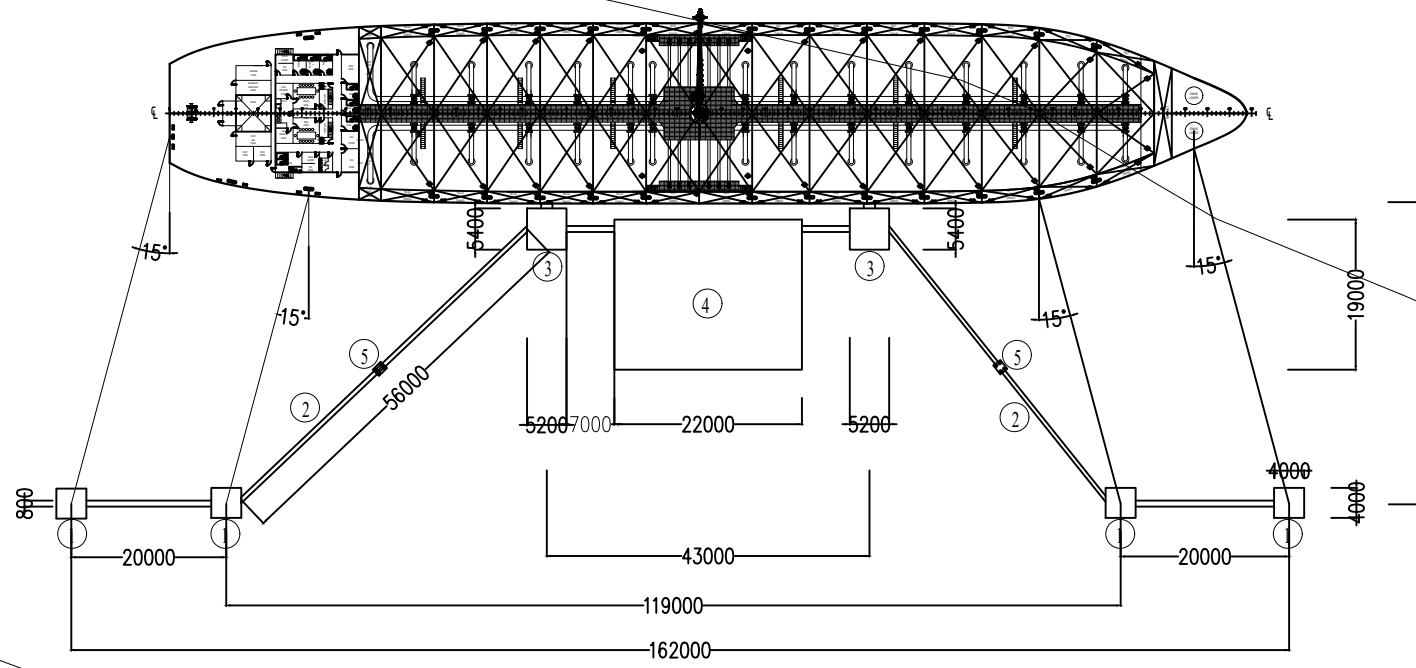
PERENCANAAN DERMAGA LNG KABUPATEN MAROS SULAWESI SELATAN

Dosen Pembimbing :
Ir. FUDDOLY, M.Sc
Ir. DYAH IRIANI, M.Sc

Mahasiswa :
FAHMI SHOFI AULIA
0311154000082

Judul Gambar :
DRAWING TABLE OF CONTENT

Nomor Drawing	Rev	Skala
003	A	-



LEGENDA DAN KETERANGAN

1. MOORING DOLPHIN
2. CATWALK
3. BREASTING DOLPHIN
4. UNLOADING PLATFORM
5. DUDUKAN CATWALK

CATATAN

1. SEMUA DIMENSI DITULIS DALAM SATUAN MILIMETER KECUALI KETERANGAN LAIN
2. SEMUA LEVEL DALAM METER DI UKUR DARI LWS ±0.00
3. MATERIAL BETON MENGGUNAKAN $f'_c = 29,05 \text{ MPa}$
4. MATERIAL TANG PANGANG HARUS MENGACU ASTM A252
GRADE 2 DENGAN TEGANGAN LELEH 2400 kg/cm^2
5. TIANG PANGANG DIPROTEKSI DENGAN COATING DAN HDPE
6. MUTU BAJA TULANGAN MENGACU PADA SNI D MENANDAKAN TULANGAN ULIR DENGAN $f_y = 390 \text{ MPa}$
7. MENANDAKAN TULANGAN POLOS DENGAN $f_y = 240 \text{ MPa}$
8. PROFIL BAJA HARUS MENGACU ASTM A36
9. SEMUA GAMBAR SESUAI DENGAN SPESIFIKASI



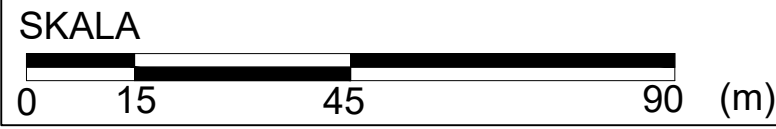
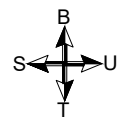
PERENCANAAN DERMAGA LNG KABUPATEN MAROS SULAWESI SELATAN

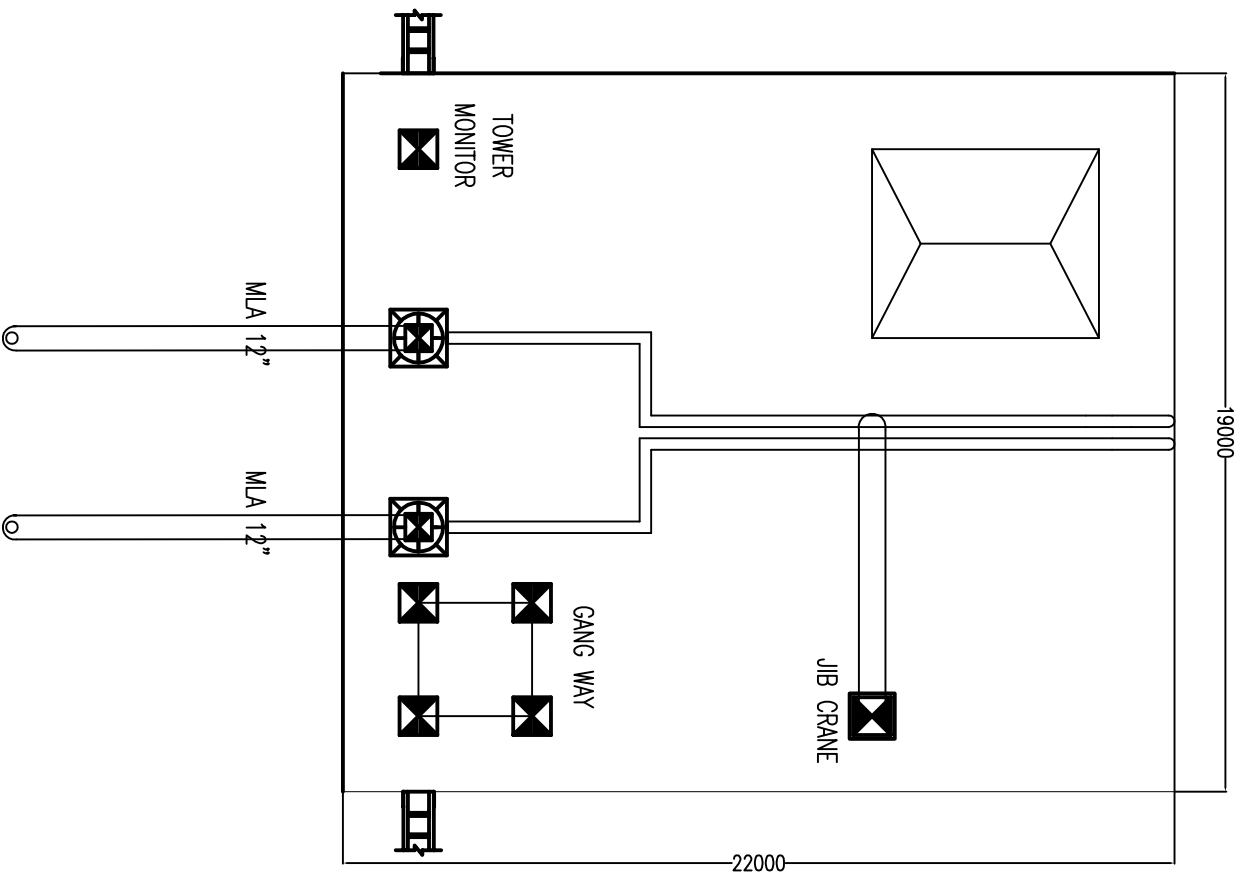
Dosen Pembimbing :
Ir. FUDDOLY, M.Sc
Ir. DYAH IRIANI, M.Sc

Mahasiswa :
FAHMI SHOFI AULIA
0311154000082

Judul Gambar :
DRAWING TABLE OF CONTENT

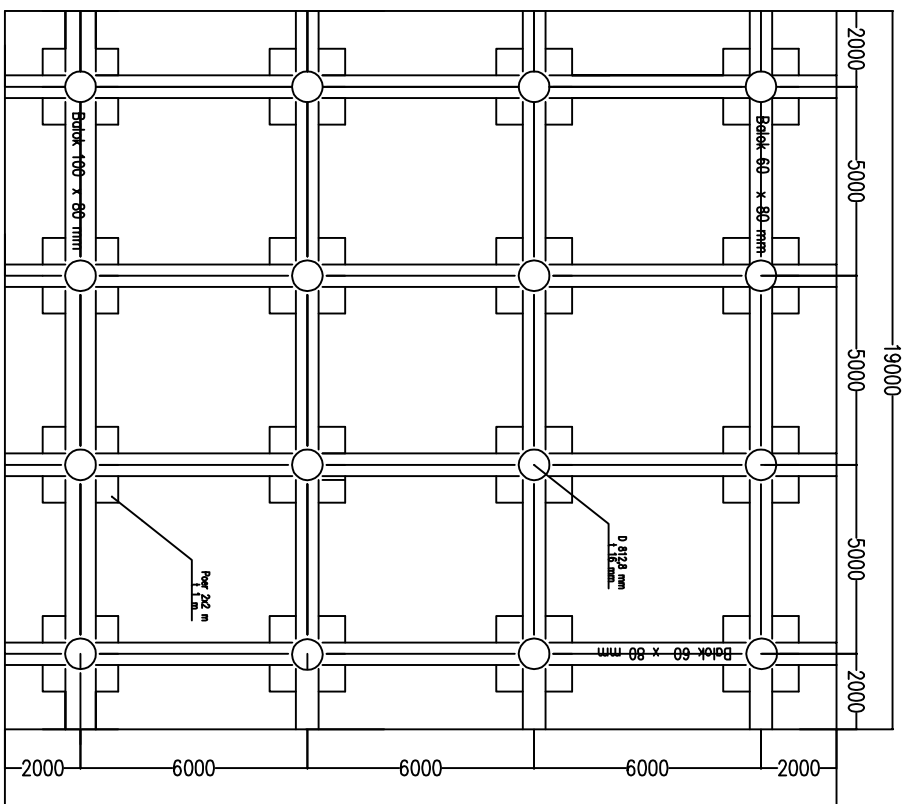
Nomor Drawing	Skala
004	—





LAYOUT UNLOADING PLATFORM

Skala 1:200



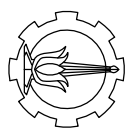
DENAH BALOK UNLOADING PLATFORM

Skala 1:200

LEGENDA DAN KETERANGAN	

CATATAN	

1. SEMUA DIMENSI DITULIS DALAM SATUAN MILIMETER KECAJU KETERANGAN LAIN
2. SEMUA LEVEL DALAM METER DI UKUR DARI LWS ±0.00
3. MATERIAL BETON MENGGUNAKAN $f'_c = 29.05 \text{ MPa}$
4. MATERIAL TANG PANGANG HARUS MENGGU ASTM A572
5. GRADE 2 DENGAN TEGANGAN LELET 2400 kg/cm^2
6. PROFIL BALOK TUJANGAN MENGGU BOLD SNI DAN PROFIL BALOK TUJANGAN UJIR DENGAN $f_y = 390 \text{ MPa}$
7. PROFIL BALOK HARUS MENGGU ASTM A36
8. SEMUA GAMBAR SESUAI DENGAN SPESIFIKASI



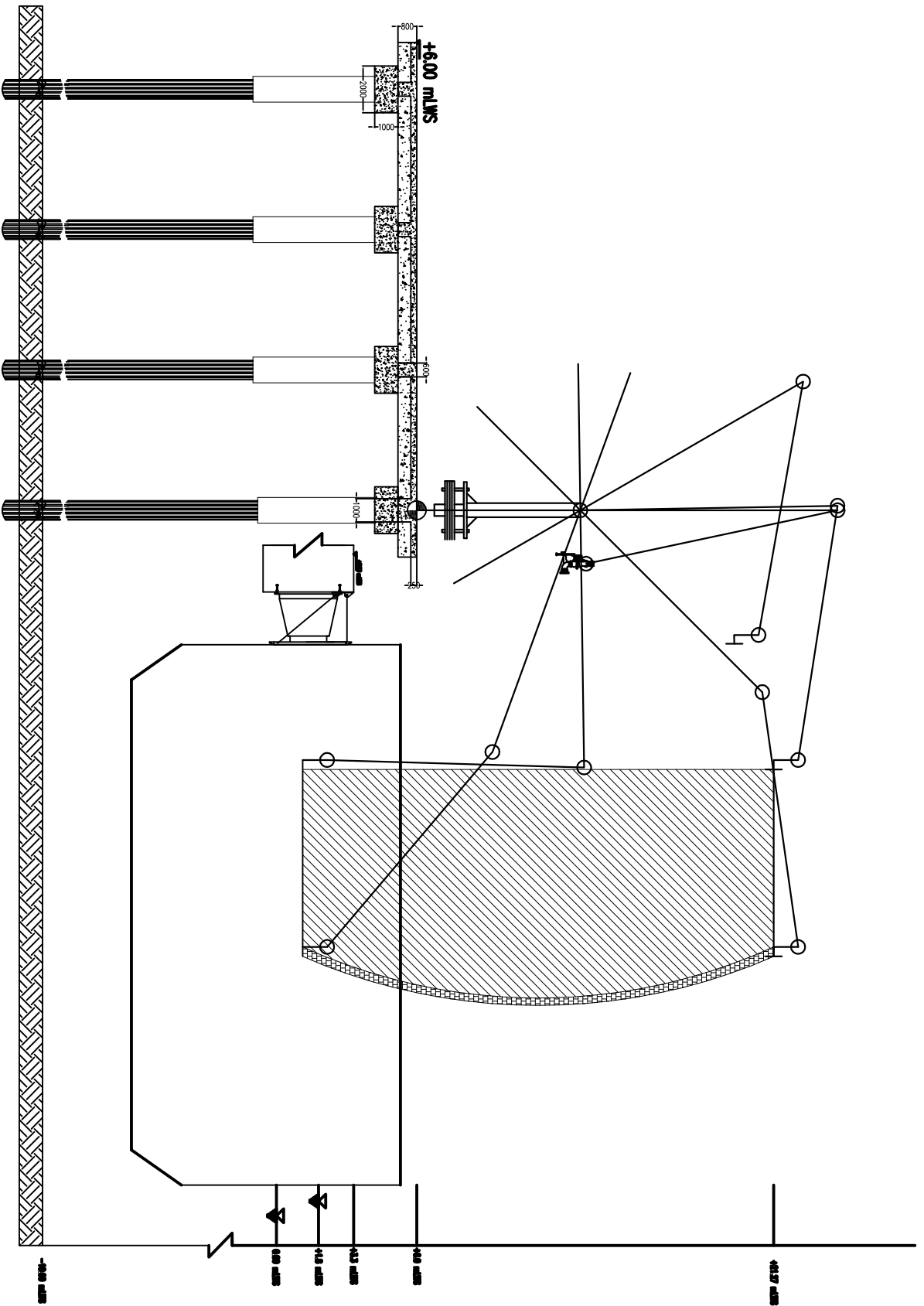
PERENCANAAN DERMAKA LNG KABUPATEN MAROS SULAWESI SELATAN

Dosen Pembimbing :
 Ir. FUDDOLY, M.Sc
 Ir. DYAH IRANI, M.Sc

Mahasiswa :
 FAHMI SHOFI AULIA
 0311154000082

Judul Gambar :
 DRAWING TABLE OF CONTENT

Nomor Drawing	Scale
005	-



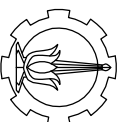
TAMPAK SAMPIING UNLOADING PLATFORM

Skala 1:250

LEGENDA DAN KETERANGAN

CATATAN

1. SEMUA DIMENSI DITULIS DALAM SATUAN MILIMETER KEUALI KETERANGAN LAIN
2. SEMUA LEVEL DALAM METER DI UKUR DARI LMS 10.00
3. MATERIAL BETON MENGGUNAKAN $f'c = 29.05$ MPa
4. MATERIAL TANG PANGANG HARUS MENGGU ASIM 4252
5. TANG PANGANG DENGAN LEJER 2400 kg/cm² DAN PROFIL BALU HARUS MENGGU ASIM A36
6. DIBERIKAN TULANGAN HINGGA 240 MPa
7. PROFIL BALU HARUS MENGGU ASIM A36
8. SEMUA GAMBAR SESUAI DENGAN SPESIFIKASI



PERENCANAAN DERMAKA LING KABUPATEN
MAROS SULAWESI SELATAN

Dosen Pembimbing :

Ir. FUDDOIY, M.Sc
Ir. DYAH IRANI, M.Sc

Konvensional :

FAHMI SHOFI AULIA
0311154000082

Judul Gambar :

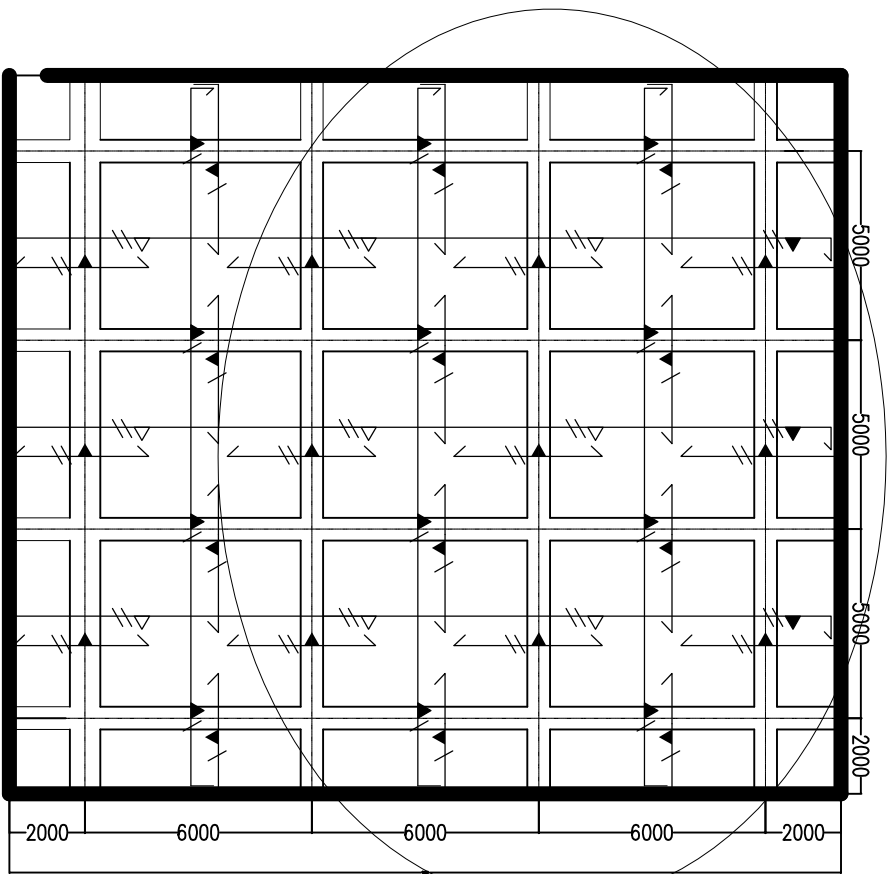
DRAWING TABLE OF CONTENT

Nomor Drawing

006

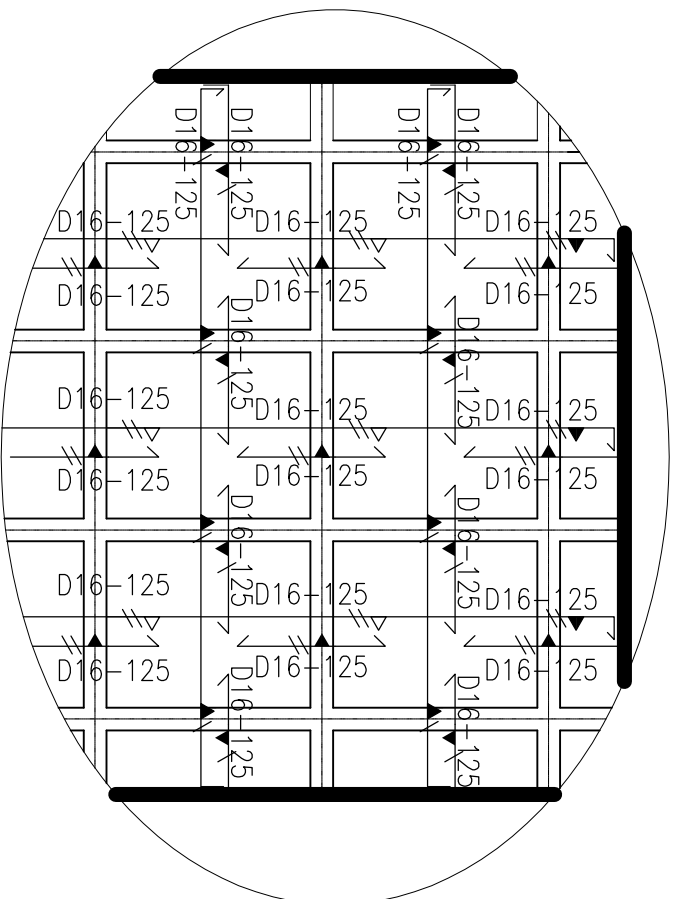
Scale

-



DENAH PENULANGAN

Skala 1:200



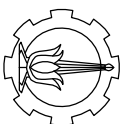
DETAIL TULANGAN

Skala 1:100

LEGENDA DAN KETERANGAN

CATATAN

1. SEMUA DIMENSI DITULIS DALAM SATUAN MILIMETER KECAJAL KETERANGAN LAIN
2. SEMUA LEVEL DALAM METER DI UKUR DARI LWS ±0.00
3. MATERIAL BETON MENGGUNAKAN $f'_c = 29,05$ MPa
4. MATERIAL TANG PANGANG HARUS MENGGU ASIM 4252
5. TANG PANGANG DENGAN TEBAL 2400 kg/cm²
6. DIBERIKAN TULANGAN DENGAN COATING
7. PROFIL BALAH HARUS MENGGU ASIM A36
8. SEMUA GAMBAR SESUAI DENGAN SPESIFIKASI



PERENCANAAN DERMAKA LING KABUPATEN
MAROS SULAWESI SELATAN

Dosen Pembimbing :

Ir. FUDDOIY, M.Sc
Ir. D/AN IRANI, M.Sc

Mahasiswa :

FAHMI SHOFI AULIA
0311154000082

Judul Gambar :

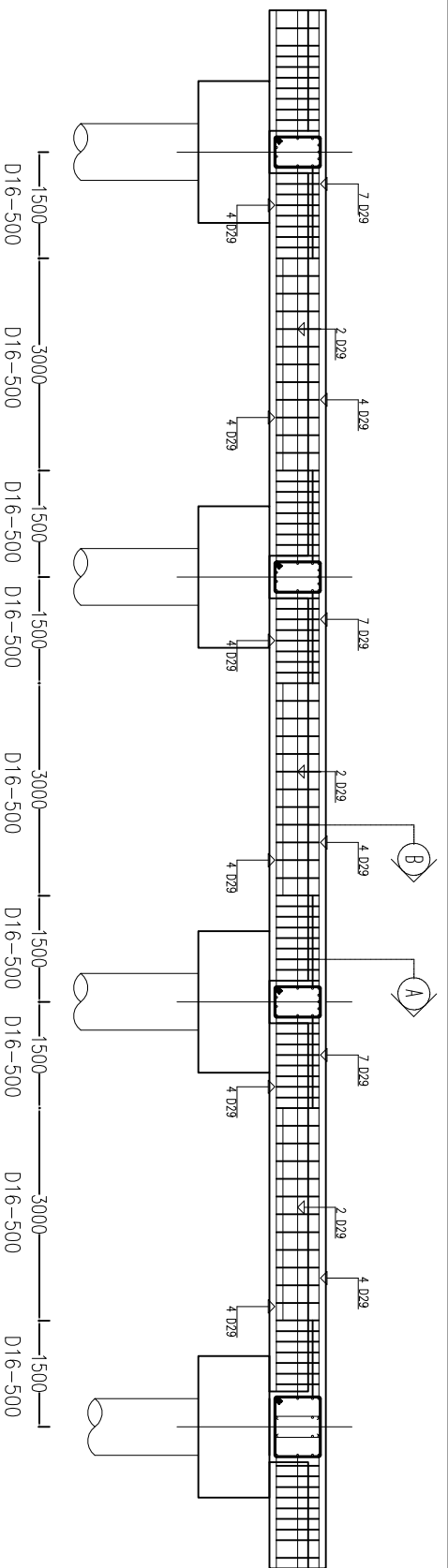
DRAWING TABLE OF CONTENT

Nomor Drawing

007

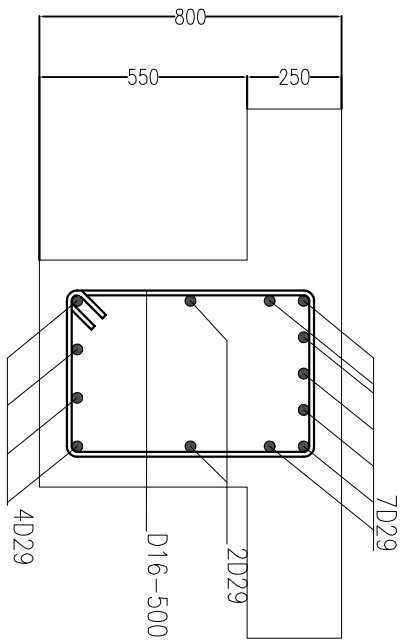
Scale

-



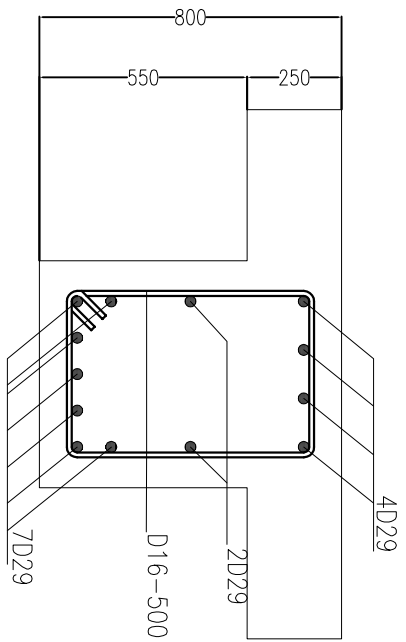
TAMPAK SAMPIING

Skala 1:80



POTONGAN A-A

Skala 1:20



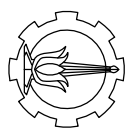
POTONGAN B-B

Skala 1:20

LEGENDA DAN KETERANGAN

CATATAN

1. SEMUA DIMENSI DITULIS DALAM SATUAN MILIMETER KECAJU KETERANGAN LAIN
2. SEMUA LEVEL DALAM METER DI UKUR DARI LWS ±0.00
3. MATERIAL BETON MENGGUNAKAN $f'_c = 29,05$ MPa
4. MATERIAL TANG PANGANG HARUS MENGGU ASIM 4252
5. GRADE 2 DENGAN TEGANGAN LELEH 2400 kg/cm²
6. TANG PANGANG HARUS MENGGU ASIM DAN HARUS BUKAN TULANGAN HINGGA PADA SNI
7. PROFIL BAJA HARUS MENGGU ASIM A36
8. SEMUA GAMBAR SESUAI DENGAN SPESIFIKASI



PERENCANAAN DERMAKA LING KABUPATEN MAROS SULAWESI SELATAN

Desain Pembinng :

Ir. FUDDOLY, M.Sc
Ir. DYAH IRANI, M.Sc

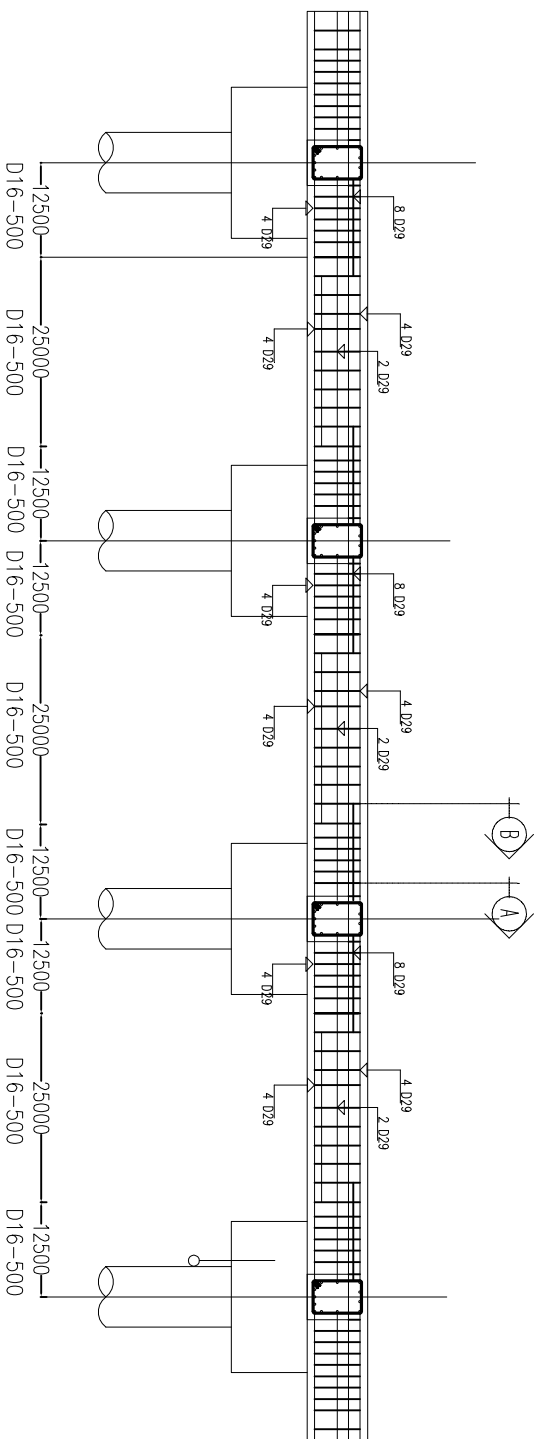
Konvensional :

FAHMI SHOFI AULIA
0311154000082

Judul Gambar :

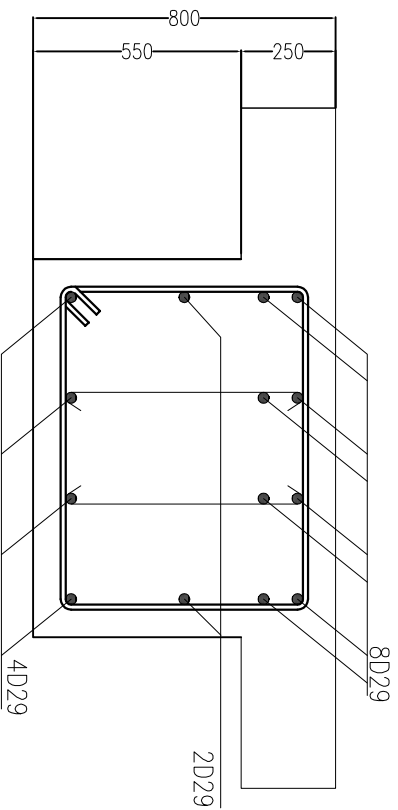
DRAWING TABLE OF CONTENT

Nomor Drawing	Scale
008	-



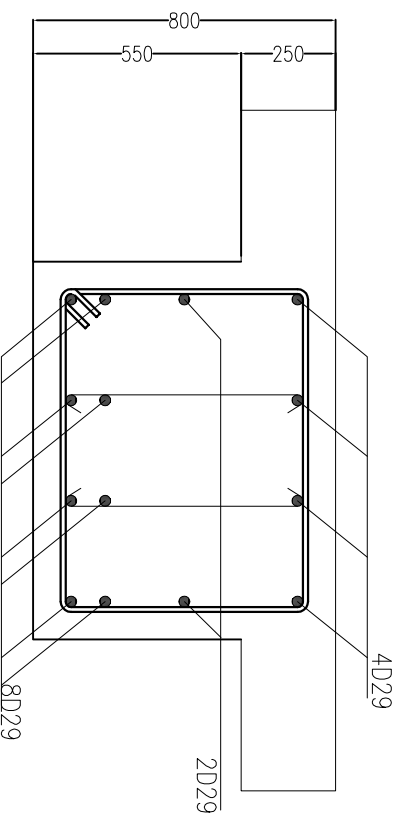
TAMPAK SAMPIING

Skala 1:80



POTONGAN A-A

Skala 1:20



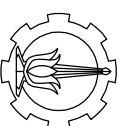
POTONGAN B-B

Skala 1:20

LEGENDA DAN KETERANGAN

CATATAN

1. SEMUA DIMENSI DITULIS DALAM SATUAN MILIMETER
2. KECAJIL KETERANGAN LAIN
3. SEMUA LEVEL DALAM METER DI UKUR DARI LWS ±0.00
4. MATERIAL BETON MENGGUNAKAN $f'_c = 29.05$ MPa
5. MATERIAL TANG PANGANG HARUS MENGGU ASIM 4252
6. TANG PANGANG TERANGAN LEH 2400 kg/cm²
7. TANG PANGANG DIKOROSI DENGAN COATING
8. D PERAWAKAN TULANGAN ULIR DENGAN fy = 390 MPa
9. MENAWANDAKAN TULANGAN POLOS DENGAN fy = 240 MPa
10. PROFIL BALAH HARUS MENGGU ASIM A36
11. SEMUA GAMBAR SESUAI DENGAN SPESIFIKASI



PERENCANAAN DERMAKA LING KABUPATEN
MAROS SULAWESI SELATAN

Dosen Pembimbing :

Ir. FUDDOIY, M.Sc
Ir. DYAH IRANI, M.Sc

Mahasiswa :

FAHMI SHOFI AULIA
0311154000082

Judul Gambar :

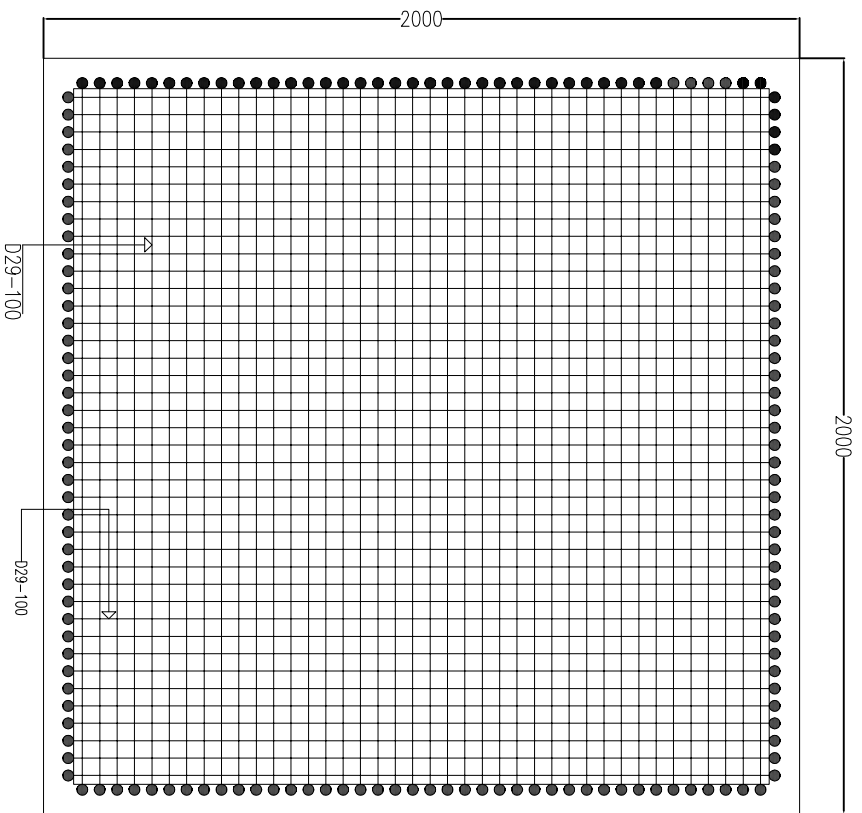
DRAWING TABLE OF CONTENT

Nomor Dwiang

009

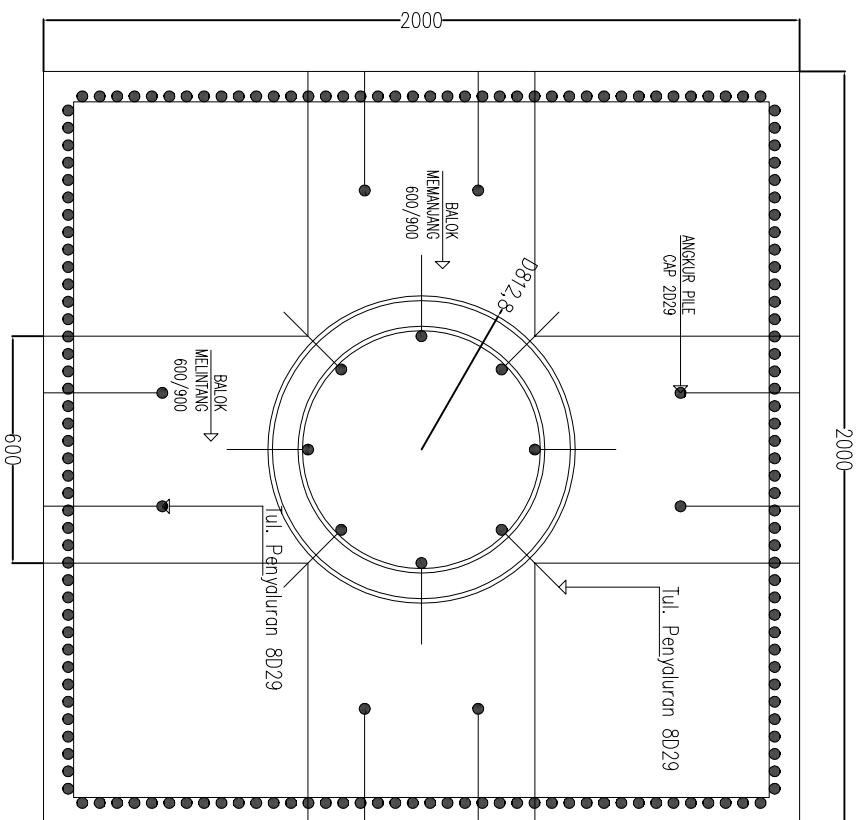
Skala

-



TAMPAK ATAS PILE CAP

Skala 1:20



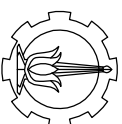
TAMPAK TENGAH PILE CAP

Skala 1:20

LEGENDA DAN KETERANGAN

CATATAN

1. SEMUA DIMENSI DITULIS DALAM SATUAN MILIMETER KECAJU KETERANGAN LAIN
2. SEMUA LEVEL DALAM METER DI UKUR DARI LWS ±0.00
3. MATERIAL BETON MENGGUNAKAN $f'_c = 29,05$ MPa
4. MATERIAL TANG PANGANG HARUS MENGGU ASTM A572
5. TANG PANGANG DIPROTEKSI DENGAN COATING
6. DAN HARUS TULANGAN MENGGU BOLA SNI
7. PROFIL BALU HARUS MENGGU ASTM A36
8. SEMUA GAMBAR SESUAI DENGAN SPESIFIKASI



PERENCANAAN DERMAKA LING KABUPATEN
MAROS SULAWESI SELATAN

Dosen Pembimbing :

Ir. FUDDOLY, M.Sc
Ir. DYAH IRANI, M.Sc

Mahasiswa :

FAHMI SHOFI AULIA
0311154000082

Judul Gambar :

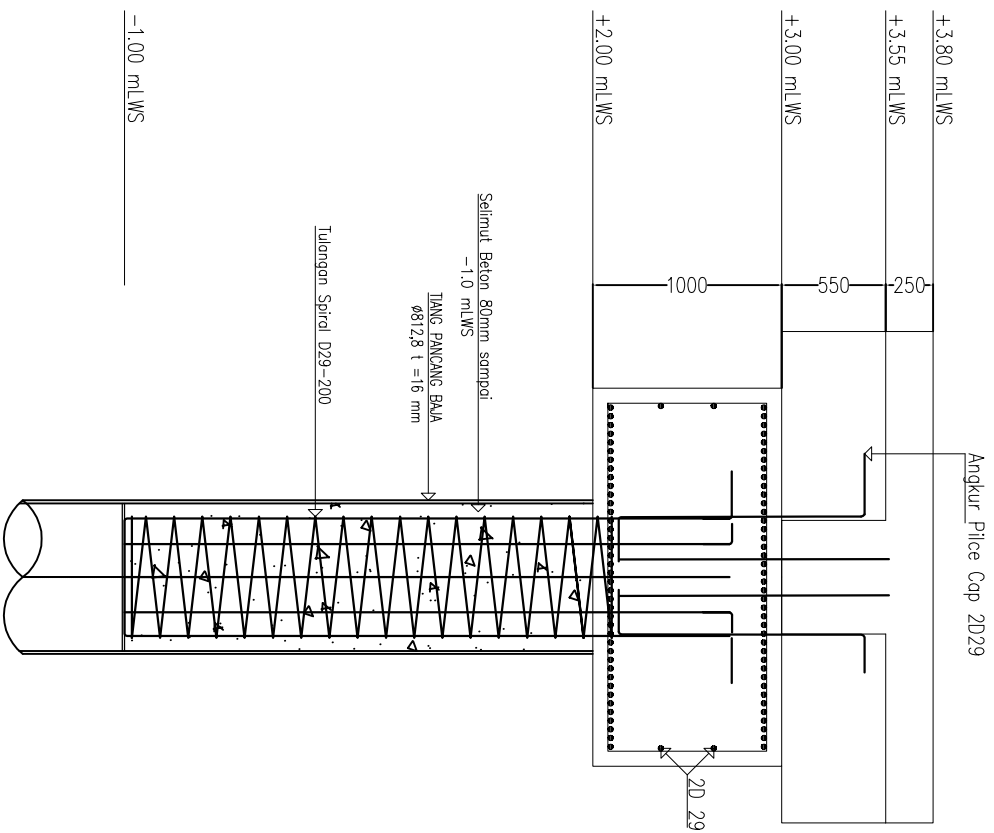
DRAWING TABLE OF CONTENT

Nomor Drawing

010

Scale

-



POTONGAN SAMPIING PILE CAP
Skala 1:50

LEGENDA DAN KETERANGAN	

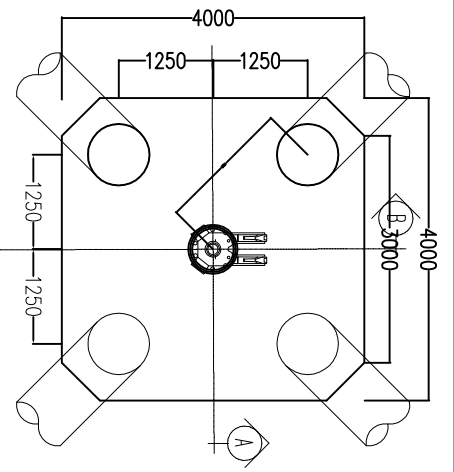
CATATAN	
1.	SEMUA DIMENSI DITULIS DALAM SATUAN MILIMETER KECAJU KETERANGAN LAIN
2.	SEMUA LEVEL DALAM METER DI UKUR DARI LWS ±0.00
3.	MATERIAL BETON MENGGUNAKAN $f'_c = 29.05$ MPa
4.	MATERIAL TIANG PANGCANG HARUS MENGGU ASIM 4252
5.	GRADE 2 DENGAN TEGANGAN ELEH 2400 kg/cm ²
6.	TANG PANGCANG DIPROTEKSI DENGAN COATING DAN PROFIL BAJA HARUS MENGGU RADA SNI
7.	DIPERIKSA DAN DIVERIFIKASI DENGAN COATING
8.	DI PERIKSA DAN DIVERIFIKASI DENGAN COATING
9.	DI PERIKSA DAN DIVERIFIKASI DENGAN COATING
10.	DI PERIKSA DAN DIVERIFIKASI DENGAN COATING
11.	DI PERIKSA DAN DIVERIFIKASI DENGAN COATING
12.	DI PERIKSA DAN DIVERIFIKASI DENGAN COATING
13.	DI PERIKSA DAN DIVERIFIKASI DENGAN COATING
14.	DI PERIKSA DAN DIVERIFIKASI DENGAN COATING
15.	DI PERIKSA DAN DIVERIFIKASI DENGAN COATING
16.	DI PERIKSA DAN DIVERIFIKASI DENGAN COATING
17.	DI PERIKSA DAN DIVERIFIKASI DENGAN COATING
18.	DI PERIKSA DAN DIVERIFIKASI DENGAN COATING
19.	DI PERIKSA DAN DIVERIFIKASI DENGAN COATING
20.	DI PERIKSA DAN DIVERIFIKASI DENGAN COATING
21.	DI PERIKSA DAN DIVERIFIKASI DENGAN COATING
22.	DI PERIKSA DAN DIVERIFIKASI DENGAN COATING
23.	DI PERIKSA DAN DIVERIFIKASI DENGAN COATING
24.	DI PERIKSA DAN DIVERIFIKASI DENGAN COATING
25.	DI PERIKSA DAN DIVERIFIKASI DENGAN COATING
26.	DI PERIKSA DAN DIVERIFIKASI DENGAN COATING
27.	DI PERIKSA DAN DIVERIFIKASI DENGAN COATING
28.	DI PERIKSA DAN DIVERIFIKASI DENGAN COATING
29.	DI PERIKSA DAN DIVERIFIKASI DENGAN COATING
30.	DI PERIKSA DAN DIVERIFIKASI DENGAN COATING
31.	DI PERIKSA DAN DIVERIFIKASI DENGAN COATING
32.	DI PERIKSA DAN DIVERIFIKASI DENGAN COATING
33.	DI PERIKSA DAN DIVERIFIKASI DENGAN COATING
34.	DI PERIKSA DAN DIVERIFIKASI DENGAN COATING
35.	DI PERIKSA DAN DIVERIFIKASI DENGAN COATING
36.	DI PERIKSA DAN DIVERIFIKASI DENGAN COATING
37.	DI PERIKSA DAN DIVERIFIKASI DENGAN COATING
38.	DI PERIKSA DAN DIVERIFIKASI DENGAN COATING
39.	DI PERIKSA DAN DIVERIFIKASI DENGAN COATING
40.	DI PERIKSA DAN DIVERIFIKASI DENGAN COATING
41.	DI PERIKSA DAN DIVERIFIKASI DENGAN COATING
42.	DI PERIKSA DAN DIVERIFIKASI DENGAN COATING
43.	DI PERIKSA DAN DIVERIFIKASI DENGAN COATING
44.	DI PERIKSA DAN DIVERIFIKASI DENGAN COATING
45.	DI PERIKSA DAN DIVERIFIKASI DENGAN COATING
46.	DI PERIKSA DAN DIVERIFIKASI DENGAN COATING
47.	DI PERIKSA DAN DIVERIFIKASI DENGAN COATING
48.	DI PERIKSA DAN DIVERIFIKASI DENGAN COATING
49.	DI PERIKSA DAN DIVERIFIKASI DENGAN COATING
50.	DI PERIKSA DAN DIVERIFIKASI DENGAN COATING
51.	DI PERIKSA DAN DIVERIFIKASI DENGAN COATING
52.	DI PERIKSA DAN DIVERIFIKASI DENGAN COATING
53.	DI PERIKSA DAN DIVERIFIKASI DENGAN COATING
54.	DI PERIKSA DAN DIVERIFIKASI DENGAN COATING
55.	DI PERIKSA DAN DIVERIFIKASI DENGAN COATING
56.	DI PERIKSA DAN DIVERIFIKASI DENGAN COATING
57.	DI PERIKSA DAN DIVERIFIKASI DENGAN COATING
58.	DI PERIKSA DAN DIVERIFIKASI DENGAN COATING
59.	DI PERIKSA DAN DIVERIFIKASI DENGAN COATING
60.	DI PERIKSA DAN DIVERIFIKASI DENGAN COATING
61.	DI PERIKSA DAN DIVERIFIKASI DENGAN COATING
62.	DI PERIKSA DAN DIVERIFIKASI DENGAN COATING
63.	DI PERIKSA DAN DIVERIFIKASI DENGAN COATING
64.	DI PERIKSA DAN DIVERIFIKASI DENGAN COATING
65.	DI PERIKSA DAN DIVERIFIKASI DENGAN COATING
66.	DI PERIKSA DAN DIVERIFIKASI DENGAN COATING
67.	DI PERIKSA DAN DIVERIFIKASI DENGAN COATING
68.	DI PERIKSA DAN DIVERIFIKASI DENGAN COATING
69.	DI PERIKSA DAN DIVERIFIKASI DENGAN COATING
70.	DI PERIKSA DAN DIVERIFIKASI DENGAN COATING
71.	DI PERIKSA DAN DIVERIFIKASI DENGAN COATING
72.	DI PERIKSA DAN DIVERIFIKASI DENGAN COATING
73.	DI PERIKSA DAN DIVERIFIKASI DENGAN COATING
74.	DI PERIKSA DAN DIVERIFIKASI DENGAN COATING
75.	DI PERIKSA DAN DIVERIFIKASI DENGAN COATING
76.	DI PERIKSA DAN DIVERIFIKASI DENGAN COATING
77.	DI PERIKSA DAN DIVERIFIKASI DENGAN COATING
78.	DI PERIKSA DAN DIVERIFIKASI DENGAN COATING
79.	DI PERIKSA DAN DIVERIFIKASI DENGAN COATING
80.	DI PERIKSA DAN DIVERIFIKASI DENGAN COATING
81.	DI PERIKSA DAN DIVERIFIKASI DENGAN COATING
82.	DI PERIKSA DAN DIVERIFIKASI DENGAN COATING
83.	DI PERIKSA DAN DIVERIFIKASI DENGAN COATING
84.	DI PERIKSA DAN DIVERIFIKASI DENGAN COATING
85.	DI PERIKSA DAN DIVERIFIKASI DENGAN COATING
86.	DI PERIKSA DAN DIVERIFIKASI DENGAN COATING
87.	DI PERIKSA DAN DIVERIFIKASI DENGAN COATING
88.	DI PERIKSA DAN DIVERIFIKASI DENGAN COATING
89.	DI PERIKSA DAN DIVERIFIKASI DENGAN COATING
90.	DI PERIKSA DAN DIVERIFIKASI DENGAN COATING
91.	DI PERIKSA DAN DIVERIFIKASI DENGAN COATING
92.	DI PERIKSA DAN DIVERIFIKASI DENGAN COATING
93.	DI PERIKSA DAN DIVERIFIKASI DENGAN COATING
94.	DI PERIKSA DAN DIVERIFIKASI DENGAN COATING
95.	DI PERIKSA DAN DIVERIFIKASI DENGAN COATING
96.	DI PERIKSA DAN DIVERIFIKASI DENGAN COATING
97.	DI PERIKSA DAN DIVERIFIKASI DENGAN COATING
98.	DI PERIKSA DAN DIVERIFIKASI DENGAN COATING
99.	DI PERIKSA DAN DIVERIFIKASI DENGAN COATING
100.	DI PERIKSA DAN DIVERIFIKASI DENGAN COATING

PERENCANAAN DERMAKA LING KABUPATEN MAROS SULAWESI SELATAN	
PERENCANAAN DERMAKA LING KABUPATEN MAROS SULAWESI SELATAN	

Desain Pembimbing :	
Ir. FUDDOIY, M.Sc	
Ir. DYAH IRANI, M.Sc	

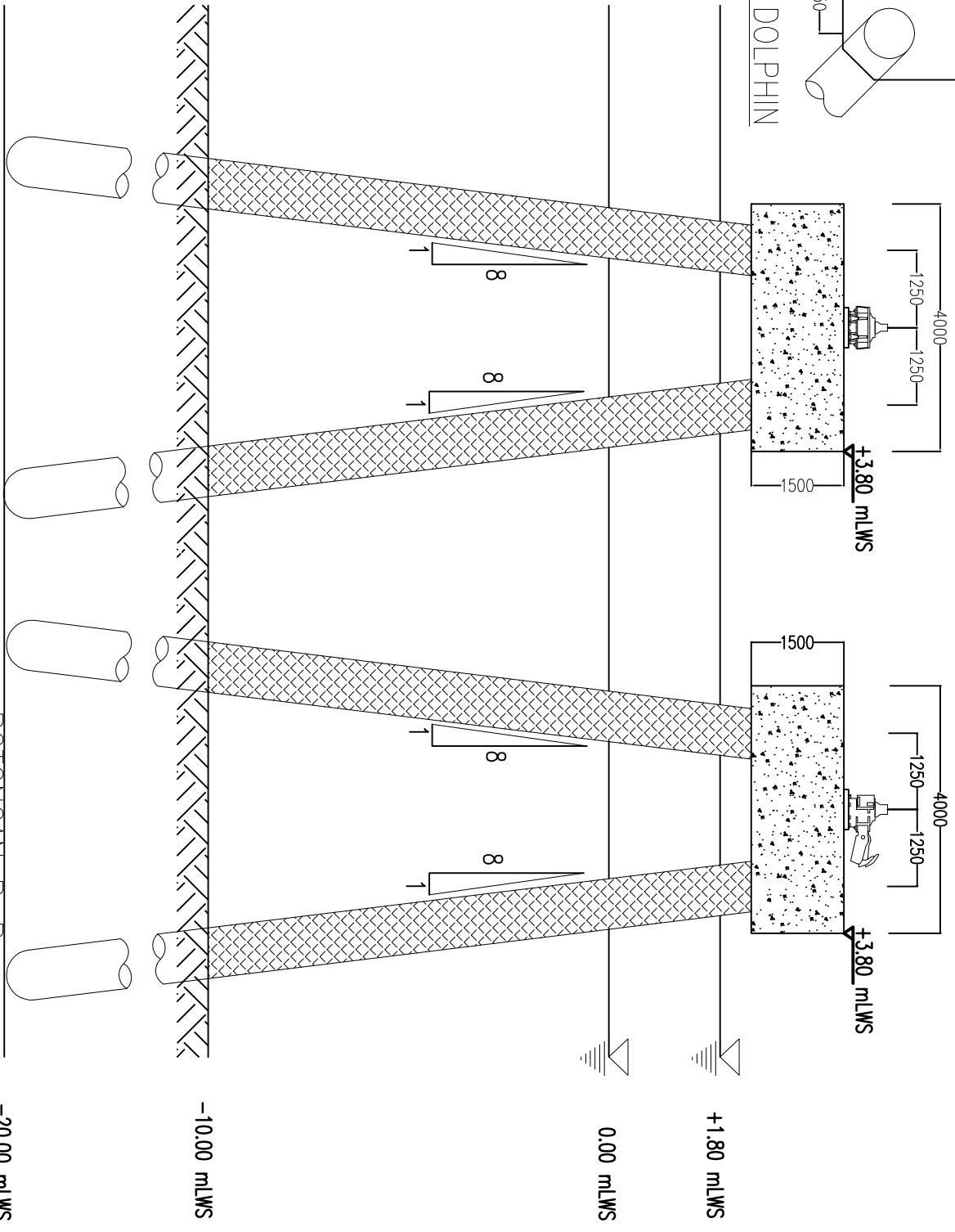
Mohasiswa :	
FAHMI SHOFI AULIA	
0311154000082	

Judul Gambar :	
DRAWING TABLE OF CONTENT	
Nomor Drawing	Scale
011	-



LAYOUT MOORING DOLPHIN

Skala 1:100



POTONGAN A-A

Skala 1:100

POTONGAN B-B

Skala 1:100

-20.00 m LWS

-10.00 m LWS

0.00 m LWS

+1.80 m LWS

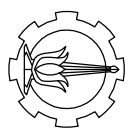
+3.80 m LWS

+3.80 m LWS

LEGENDA DAN KETERANGAN

CATATAN

1. SEMUA DIMENSI DITULIS DALAM SATUAN MILIMETER KECAJU KETERANGAN LAIN
2. SEMUA LEVEL DALAM METER DI UKUR DARI LWS ±0.00
3. MATERIAL BETON MENGGUNAKAN $f'_c = 29.05$ MPa
4. MATERIAL TANG PANGANG HARUS MENGGU ASIM 4252
5. TANG PANGANG DENGAN LEJER 2400 kg/cm²
6. DAN PROFIL BOLA TULANGAN MENGAU RUDA SNI
7. D HARUS DILAKUKAN TULANGAN ULIR DENGAN $f_y = 390$ MPa
8. ϕ MENAMPAKAN TULANGAN POLOS DENGAN $f_y = 240$ MPa
9. PROFIL BOLA HARUS MENGAU ASIM A36
10. SEMUA GAMBAR SESUAI DENGAN SPESIFIKASI



PERENCANAAN DERMAKA LING KABUPATEN MAROS SULAWESI SELATAN

Dosen Pembimbing :

Ir. FUDDOIY, M.Sc
Ir. DYAH IRANI, M.Sc

Mahasiswa :

FAHMI SHOFI AULIA
0311154000082

Judul Gambar :

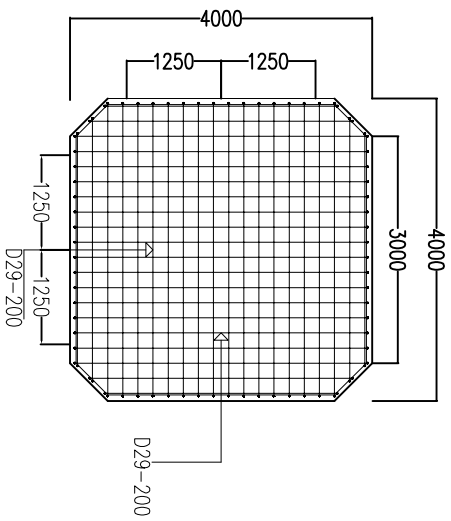
DRAWING TABLE OF CONTENT

Nomor Dwgng

012

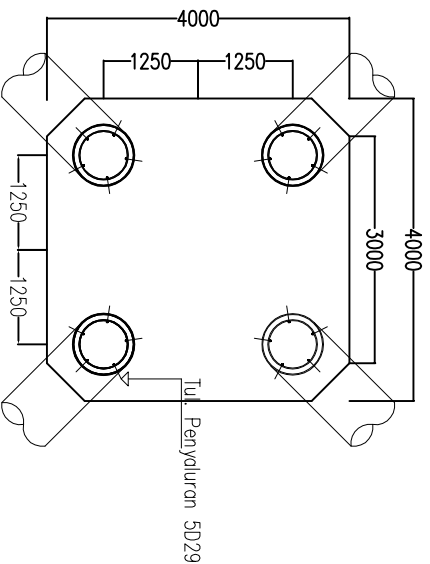
Skala

-



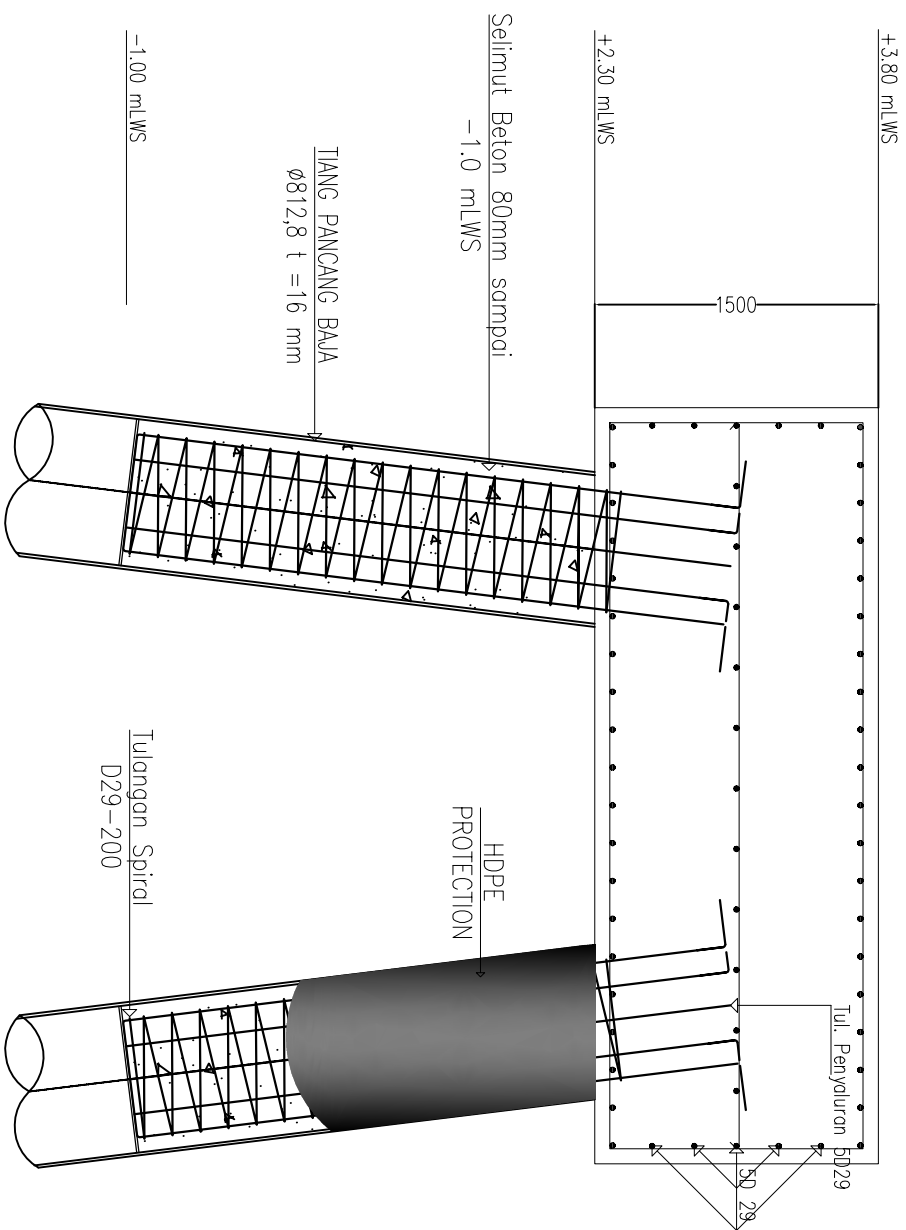
TAMPAK TENGAH

Skala 1:100



TAMPAK BAWAH

Skala 1:100



POTONGAN SAMPIING

Skala 1:40

- CATATAN**
1. SEMUA DIMENSI DITULIS DALAM SATUAN MILIMETER KECAJU KETERANGAN LAIN
 2. SEMUA LEVEL DALAM METER DI UKUR DARI LWS ±0.00
 3. MATERIAL BETON MENGGUNAKAN $f_c = 29.05$ MPa
 4. MATERIAL TIANG PANCANG HARUS MENGGU ASIM 4252
 5. TIANG PANCANG TEMANGAN LEJAH 2400 kg/cm²
 6. DARI PROFIL BAJA TULANGAN MENGGU RADA SNI
 7. PROFIL BAJA HARUS MENGGU ASIM A36
 8. SEMUA GAMBAR SESUAI DENGAN SPESIFIKASI



PERENCANAAN DERMAKA LING KABUPATEN
MAROS SULAWESI SELATAN

Dosen Pembimbing :
Ir. FUDDOIY, M.Sc
Ir. DYAH IRANI, M.Sc

Mahasiswa :
FAHMI SHOFI AULIA
0311154000082

Judul Gambar :

DRAWING TABLE OF CONTENT

LEGENDA DAN KETERANGAN

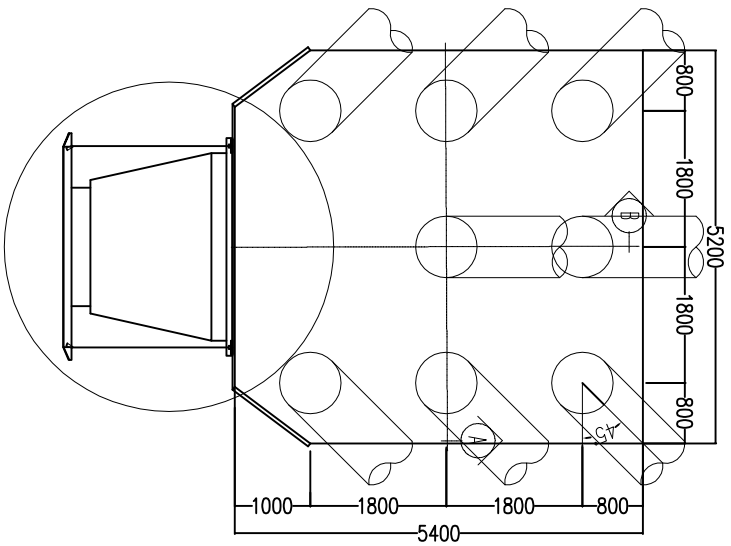
CATATAN

Nomor Drawing

013

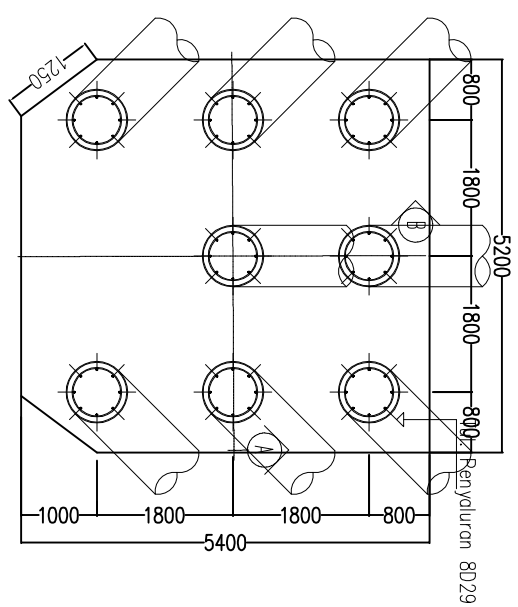
Scale

-



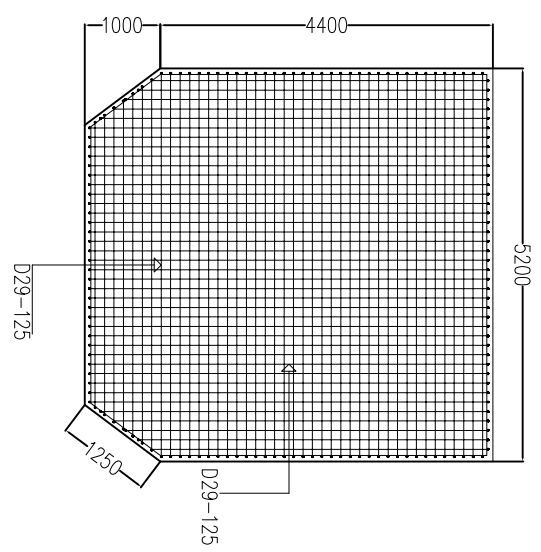
LAYOUT BREASTING DOLPHIN

Skala 1:100



LAYOUT BREASTING DOLPHIN

Skala 1:100



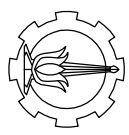
TAMPAK TENGAH

Skala 1:100

LEGENDA DAN KETERANGAN

CATATAN

1. SEMUA DIMENSI DITULIS DALAM SATUAN MILIMETER KECAJU KETERANGAN LAIN
2. SEMUA LEVEL DALAM METER DI UKUR DARI LWS ±0.00
3. MATERIAL BETON MENGGUNAKAN $f'_c = 29,05$ MPa
4. MATERIAL TANG PANGANG HARUS MENGGU ASTM A292
5. TANG PANGANG DENGAN LEJER 2400 kg/cm² DAN TITIK BALU TULANGAN MENGGU P024 SNI
6. DI MENAMBAH TULANGAN ULIR DENGAN $f_y = 390$ MPa
7. PROFIL BALU HARUS MENGGU ASTM A36
8. SEMUA GAMBAR SESUAI DENGAN SPESIFIKASI



PERENCANAAN DERMAKA LING KABUPATEN MAROS SULAWESI SELATAN

Dosen Pembimbing :

Ir. FUDDOIY, M.Sc
Ir. DYAH IRANI, M.Sc

Mahasiswa :

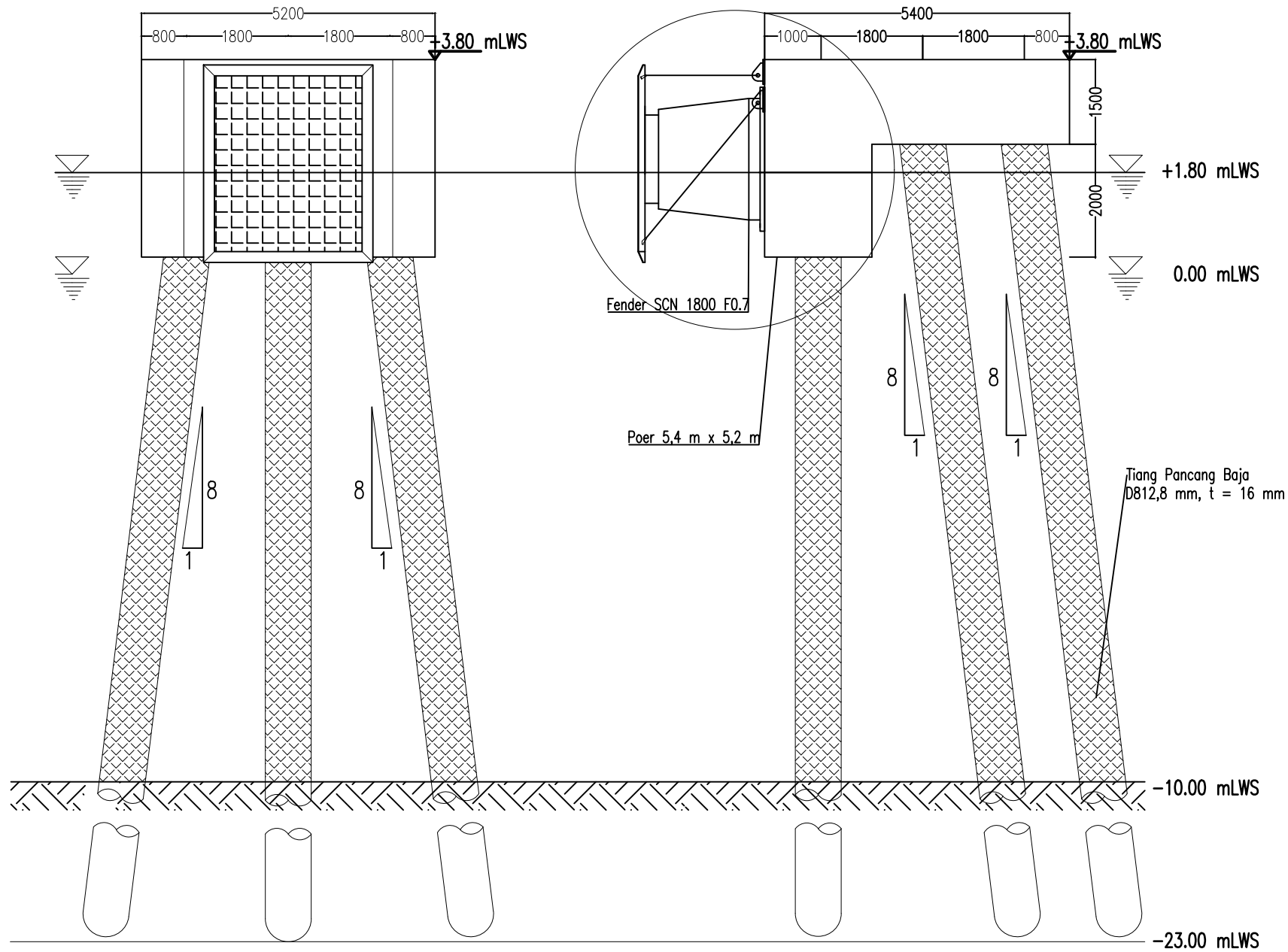
FAHMI SHOFI AULIA
0311154000082

Judul Gambar :

DRAWING TABLE OF CONTENT

Nomor Drawing : 014

Scale : -



POTONGAN A-A

Skala 1:100

POTONGAN B-B

Skala 1:100

LEGENDA DAN KETERANGAN

CATATAN

1. SEMUA DIMENSI DITULIS DALAM SATUAN MILIMETER KECUALI KETERANGAN LAIN
2. SEMUA LEVEL DALAM METER DI UKUR DARI LWS ± 0.00
3. MATERIAL BETON MENGGUNAKAN $f'_c = 29,05$ MPa
4. MATERIAL TANG PANGCANG HARUS MENGACU ASTM A252
5. GRADE 2 DENGAN TEGANGAN LELEH 2400 kg/cm²
6. TIANG PANGCANG DIPROTEKSI DENGAN COATING DAN HOPE
7. MUTU BAJA TULANGAN MENGACU PADA SNI
8. MENANDAKAN TULANGAN ULIR DENGAN $f_y = 390$ MPa
9. MENANDAKAN TULANGAN POLOS DENGAN $f_y = 240$ MPa
7. PROFIL BAJA HARUS MENGACU ASTM A36
8. SEMUA GAMBAR SESUAI DENGAN SPESIFIKASI



PERENCANAAN DERMAGA LNG KABUPATEN MAROS SULAWESI SELATAN

Dosen Pembimbing :

Ir. FUDDOLY, M.Sc.
Ir. DYAH IRIANI, M.Sc.

Mahasiswa :

FAHMI SHOFI AULIA
0311154000082

Judul Gambar :

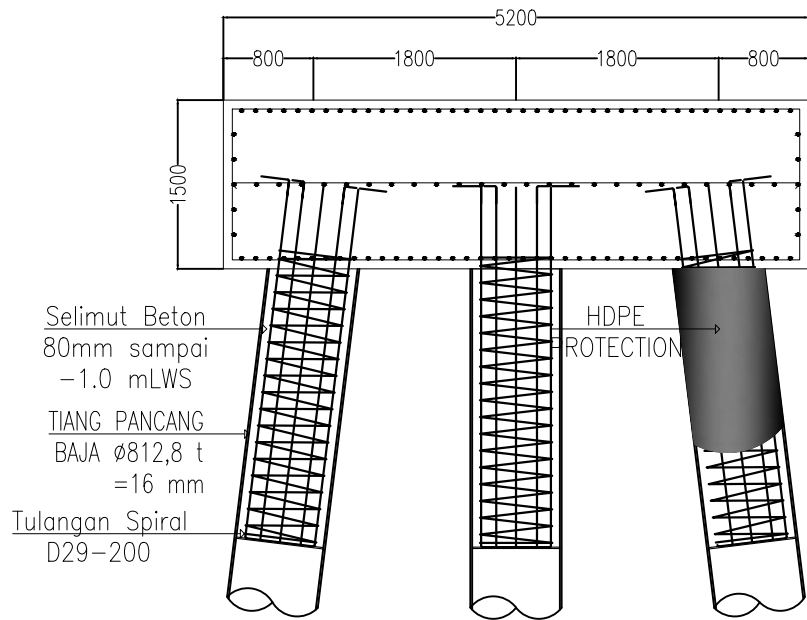
DRAWING TABLE OF CONTENT

Nomor Drawing

015

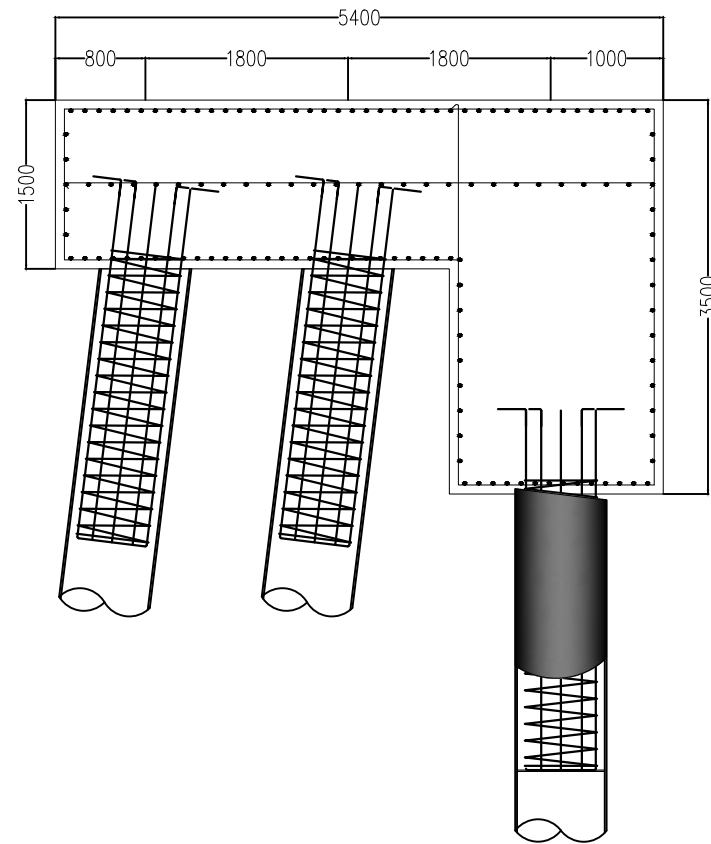
Skala

-



POTONGAN A-A

Skala 1:60



POTONGAN B-B

Skala 1:60

LEGENDA DAN KETERANGAN

CATATAN

1. SEMUA DIMENSI DITULIS DALAM SATUAN MILIMETER KECUALI KETERANGAN LAIN
2. SEMUA LEVEL DALAM METER DI UKUR DARI LWS ±0.00
3. MATERIAL BETON MENGGUNAKAN $f'c = 29,05 \text{ MPa}$
4. MATERIAL TANG PANCANG HARUS MENGACU ASTM A252
5. GRADE 2 DENGAN TEGANGAN LELEH 2400 kg/cm^2
5. TIANG PANCANG DIPROTEKSI DENGAN COATING DAN HDPE
6. MUTU BAJA TULANGAN MENGACU PADA SNI
6. D MENANDAKAN TULANGAN ULIR DENGAN $f_y = 390 \text{ MPa}$
6. Ø MENANDAKAN TULANGAN POLOS DENGAN $f_y = 240 \text{ MPa}$
7. PROFIL BAJA HARUS MENGACU ASTM A36
8. SEMUA GAMBAR SESUAI DENGAN SPESIFIKASI



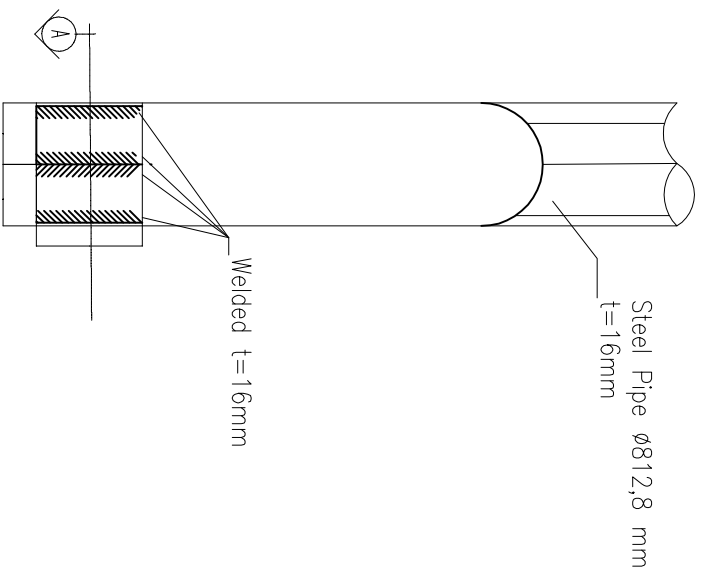
PERENCANAAN DERMAGA LNG KABUPATEN MAROS SULAWESI SELATAN

Dosen Pembimbing :
 Ir. FUDDOLY, M.Sc
 Ir. DYAH IRIANI, M.Sc

Mahasiswa :
 FAHMI SHOFI AULIA
 0311154000082

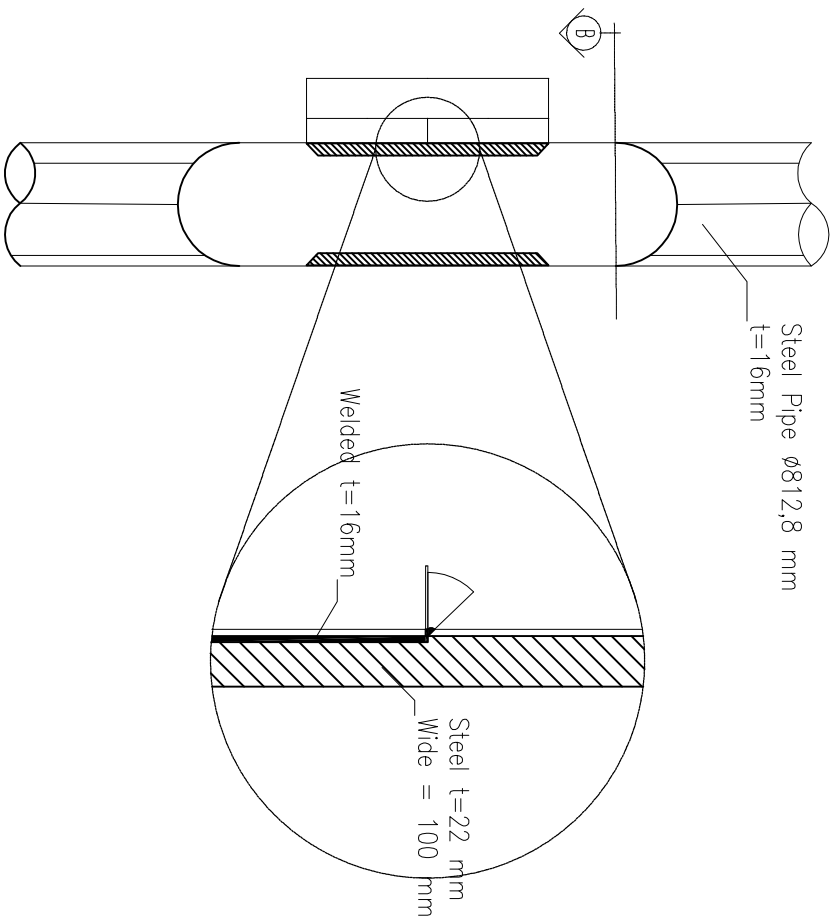
Judul Gambar :
 DRAWING TABLE OF CONTENT

Nomor Drawing	Skala
016	—



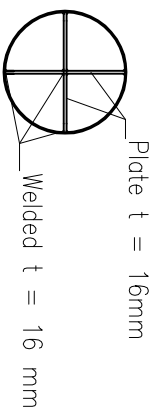
DETAIL SAMBUNGAN LAS

Skala 1:50



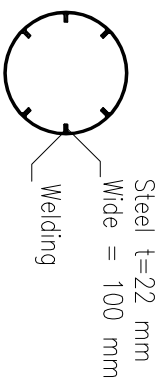
DETAIL SAMBUNGAN LAS

Skala 1:50



POTONGAN A-A

Skala 1:50



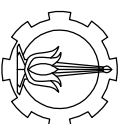
POTONGAN B-B

Skala 1:50

LEGENDA DAN KETERANGAN

CATATAN

1. SEMUA DIMENSI DITULIS DALAM SATUAN MILIMETER KECAJU KETERANGAN LAIN
2. SEMUA LEVEL DALAM METER DI UKUR DARI LWS ±0.00
3. MATERIAL BETON MENGGUNAKAN $f'_c = 29.05$ MPa
4. MATERIAL TANG PANGANG HARUS MENGGU ASIM 4252
5. TANG PANGANG DENGAN LEJER 2400 kg/cm² DAN TANG BAJA TULANGAN MENGAJU PLOD. SNI
6. DI HANDBOOK TULANGAN ULIR DENGAN $f_y = 390$ MPa
7. PROFIL BALAH HARUS MENGAJU ASIM A36
8. SEMUA GAMBAR SESUAI DENGAN SPESIFIKASI



PERENCANAAN DERMAKA LING KABUPATEN
MAROS SULAWESI SELATAN

Dosen Pembimbing :

Ir. FUDDOIY, M.Sc
Ir. DYAH IRANI, M.Sc

Mahasiswa :

FAHMI SHOFI AULIA
0311154000082

Judul Gambar :

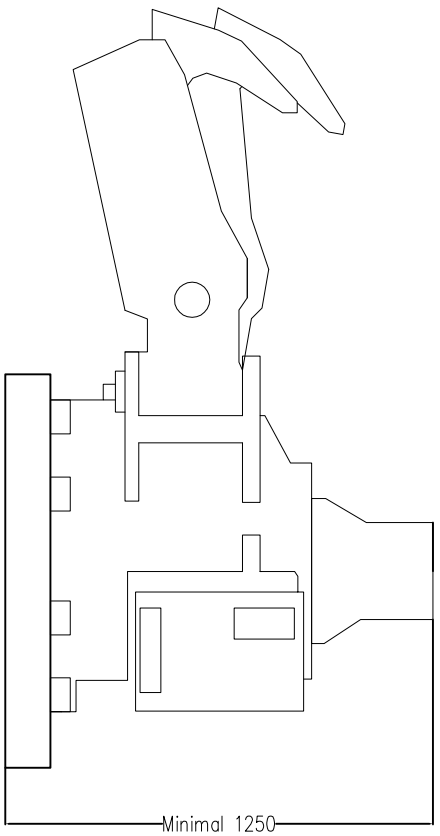
DRAWING TABLE OF CONTENT

Nomor Drawing

017

Scale

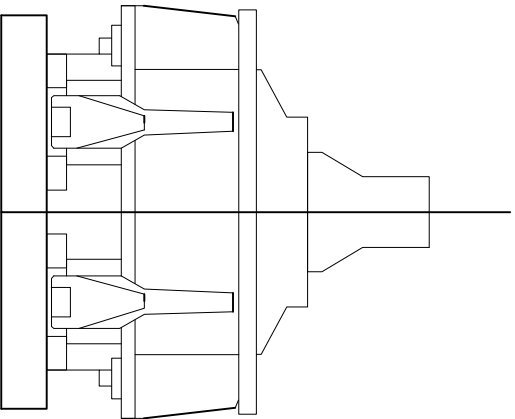
-



TAMPAK SAMPIING QRH

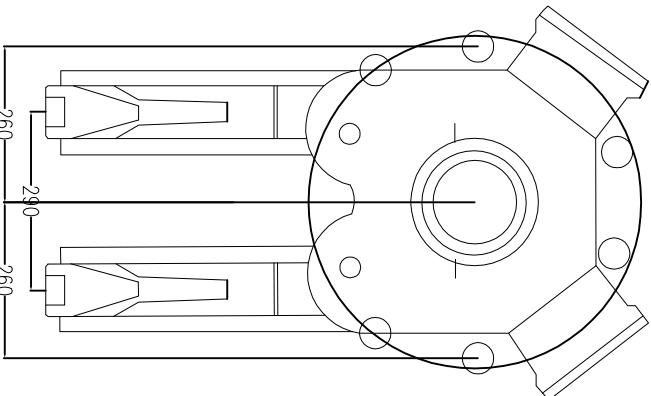
Skala 1:20

Minimal 1250



TAMPAK DEPAN QRH

Skala 1:20



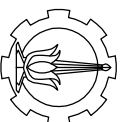
TAMPAK ATAS QRH

Skala 1:20

LEGENDA DAN KETERANGAN

CATATAN

1. SEMUA DIMENSI DITULIS DALAM SATUAN MILIMETER KECAJU KETERANGAN LAIN
2. SEMUA LEVEL DALAM METER DI UKUR DARI LWS ±0.00
3. MATERIAL BETON MENGGUNAKAN $f'_c = 29,05$ MPa
4. MATERIAL TANG PANGANG HARUS MENGGU ASIM 4252
5. TANG PANGANG DENGAN LEJAH 2400 kg/cm²
6. DARI PROFIL BAJA HARUS MENGGU RADA SNI DAN HARUS MELAKUKAN TULANGAN UJIR DENGAN $f_y = 390$ MPa
7. PROFIL BAJA HARUS MENGGU ASIM A36
8. SEMUA GAMBAR SESUAI DENGAN SPESIFIKASI



PERENCANAAN DERMAKA LING KABUPATEN
MAROS SULAWESI SELATAN

Desain Pembimbing :

Ir. FUDDOLY, M.Sc
Ir. DYAH IRANI, M.Sc

Mahasiswa :

FAHMI SHOFI AULIA
0311154000082

Judul Gambar :

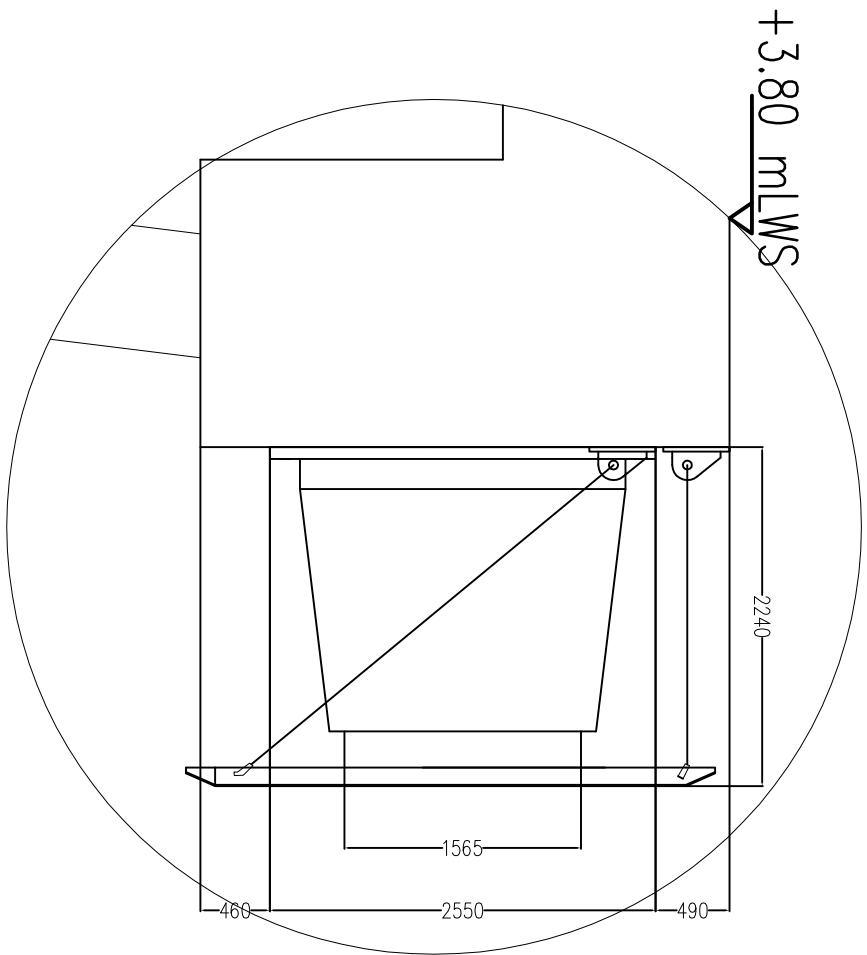
DRAWING TABLE OF CONTENT

Nomor Drawing

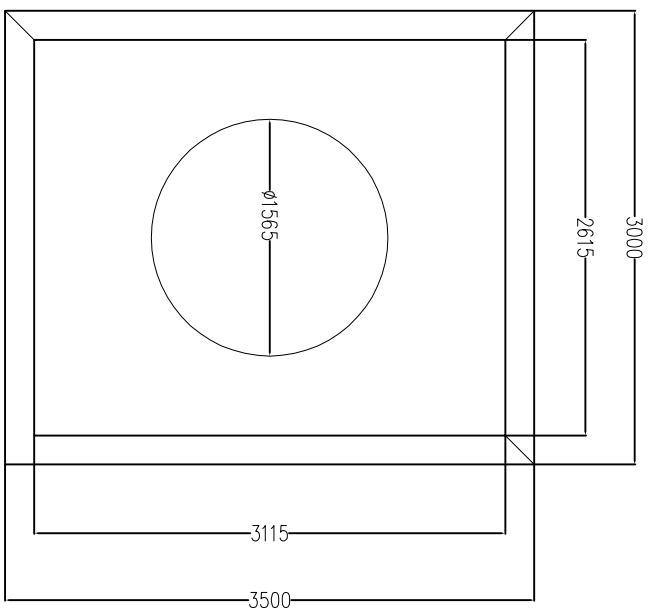
018

Scale

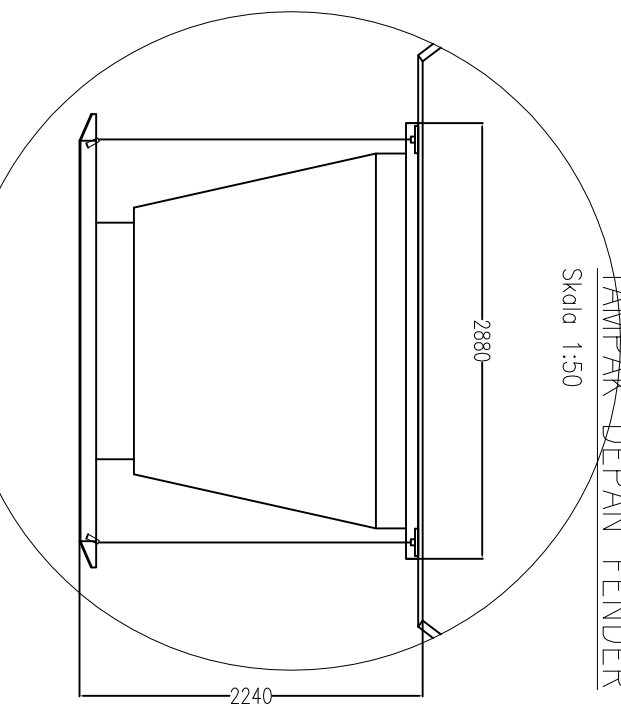
-



TAMPAK SAMPIING FENDER
Skala 1:50



TAMPAK DEPAN FENDER
Skala 1:50

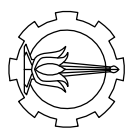


TAMPAK ATAS FENDER
Skala 1:50

LEGENDA DAN KETERANGAN

CATATAN

1. SEMUA DIMENSI DITULIS DALAM SATUAN MILIMETER KECAJU KETERANGAN LAIN
2. SEMUA LEVEL DALAM METER DI UKUR DARI LWS ±0.00
3. MATERIAL BETON MENGGUNAKAN $f'_c = 29.05 \text{ MPa}$
4. MATERIAL TANG PANGANG HARUS MENGGU ASIM 4252
5. TANG PANGANG DENGAN LEHET 2400 kg/cm²
6. PROFIL BAJA HARUS MENGGU ASIM A36 DAN HARUS DILAKUKAN TULANGAN LENGKAP SNI
7. PROFIL BAJA HARUS MENGGU ASIM A36
8. SEMUA GAMBAR SESUAI DENGAN SPESIFIKASI



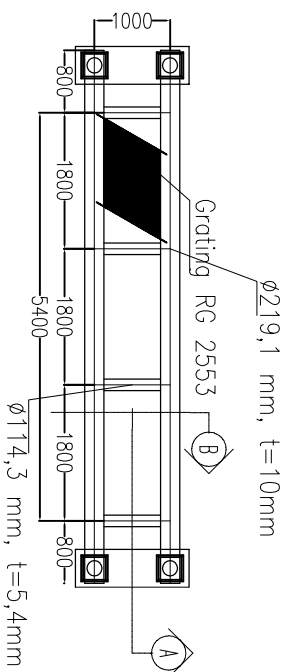
PERENCANAAN DERMAKA LING KABUPATEN MAROS SULAWESI SELATAN

Dosen Pembimbing :
Ir. FUDDOIY, M.Sc
Ir. D/AN IRANI, M.Sc

Mahasiswa :
FAHMI SHOFI AULIA
0311154000082

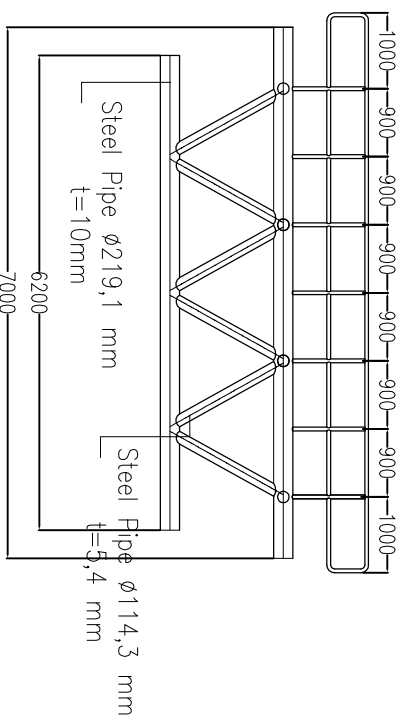
DRAWING TABLE OF CONTENT

Nomor Dwiang	Skala
019	-



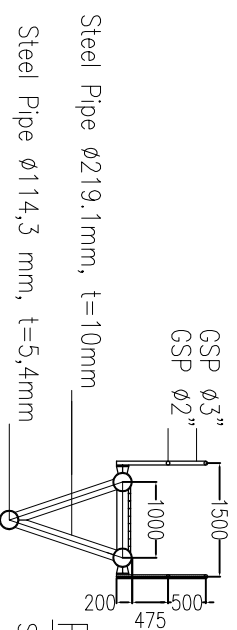
DENAH CATWALK TIPE 1

Skala 1:100



POTONGAN A-A

Skala 1:100



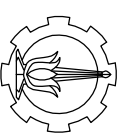
POTONGAN B-B

Skala 1:100

LEGENDA DAN KETERANGAN

CATATAN

1. SEMUA DIMENSI DITULIS DALAM SATUAN MILIMETER KECUALI KETERANGAN LAIN
2. SEMUA LEVEL DALAM METER DI UKUR DARI LWS ±0,00
3. MATERIAL BETON MENGGUNAKAN $f'_c = 29,05$ MPa
4. MATERIAL TANG PANGANG HARUS MENGGU ASIM 4252
5. TANG PANGANG TERANGSI LELIH 2400 kg/cm² DAN TANG BAJA TULANGAN MENGGU RADA SNI
6. DI HENDAKKAN TULANGAN ULIR DENGAN $f_y = 390$ MPa
7. PROFIL BAJA HARUS MENGGU ASIM A36
8. SEMUA GAMBAR SESUAI DENGAN SPESIFIKASI



PERENCANAAN DERMAKA LNG KABUPATEN MAROS SULAWESI SELATAN

Dosen Pembimbing :

Ir. FUDDOIY, M.Sc
Ir. DYAH IRANI, M.Sc

Mahasiswa :

FAHMI SHOFI AULIA
0311154000082

Judul Gambar :

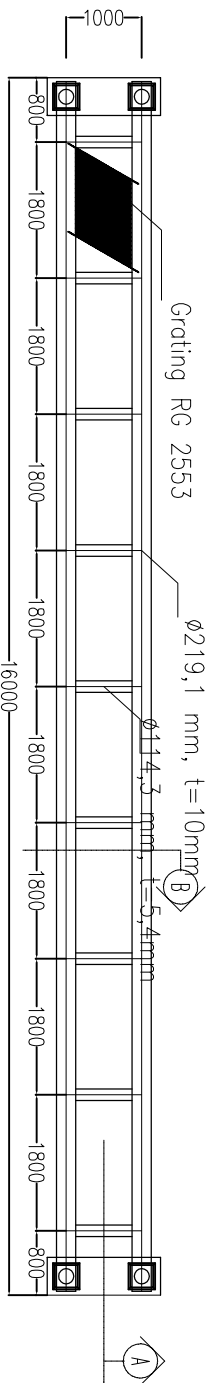
DRAWING TABLE OF CONTENT

Nomor Drawing

020

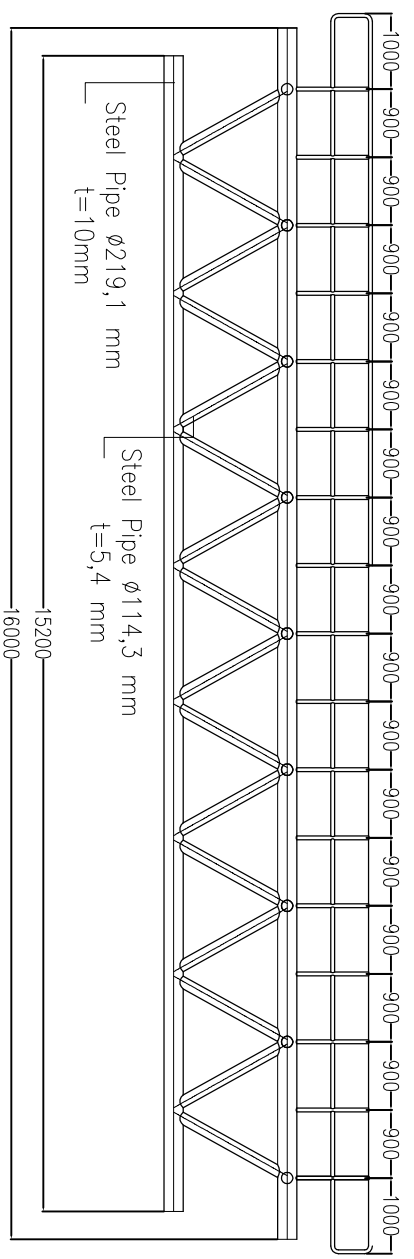
Scale

-



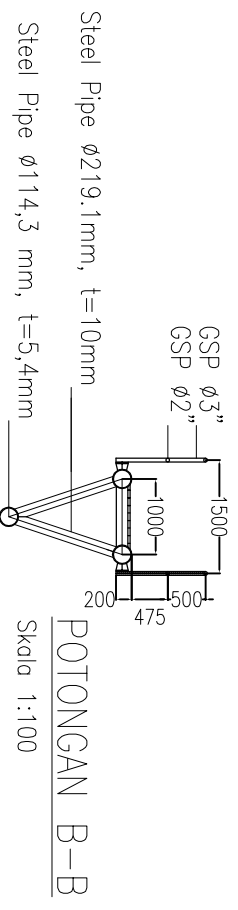
DENAH CATWALK TPE 2

Skala 1:100



POTONGAN A-A

Skala 1:100



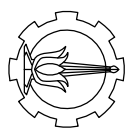
POTONGAN B-B

Skala 1:100

LEGENDA DAN KETERANGAN

CATATAN

1. SEMUA DIMENSI DITULIS DALAM SATUAN MILIMETER KECAJAL KETERANGAN LAIN
2. SEMUA LEVEL DALAM METER DI UKUR DARI LWS ±0.00
3. MATERIAL BETON MENGGUNAKAN $f'_c = 29,05 \text{ MPa}$
4. MATERIAL TANG PANGANG HARUS MENGGU ASTM A36
5. TANG PANGANG DIPROTEKSI DENGAN COATING DAN TITIK BALU TULANGAN MENGAJU PADA SNI
6. DI MENAMPILKAN TULANGAN ULIR DENGAN $f_y = 390 \text{ MPa}$
7. PROFIL BALU HARUS MENGGU ASTM A36
8. SEMUA GAMBAR SESUAI DENGAN SPESIFIKASI



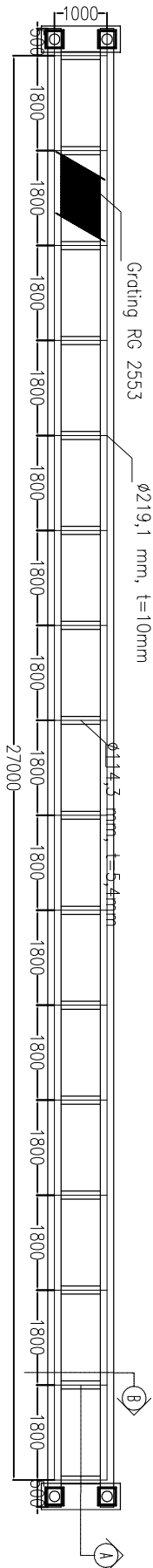
PERENCANAAN DERMAKA LING KABUPATEN MAROS SULAWESI SELATAN

Dosen Pembimbing :
 Ir. FUDDOLY, M.Sc
 Ir. DWAN IRANI, M.Sc

Mahasiswa :
 FAHMI SHOFI AULIA
 0311154000082

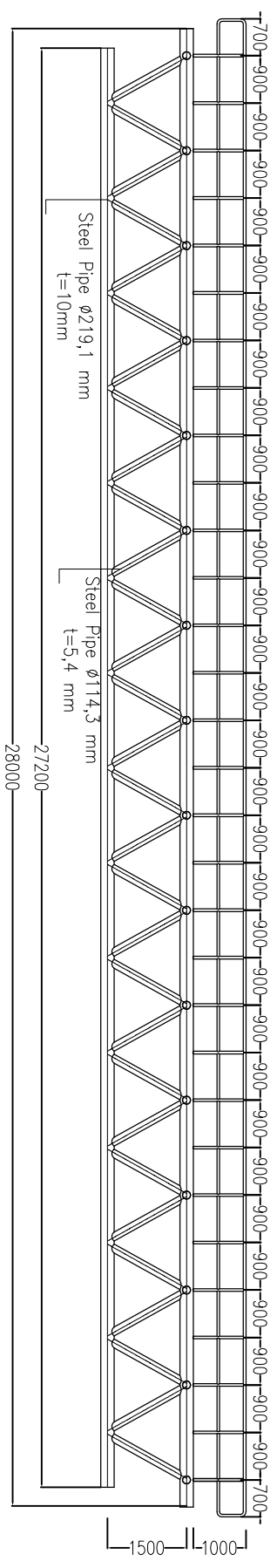
DRAWING TABLE OF CONTENT

Nomor Drawing	Scale
021	-



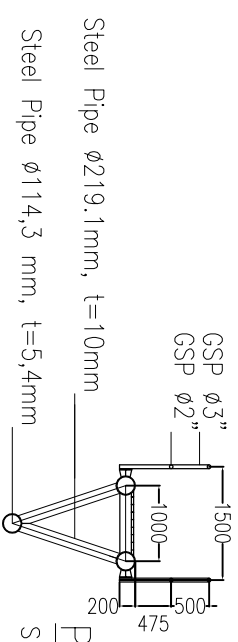
DENAH CATWALK TIPE 3

Skala 1:125



POTONGAN A-A

Skala 1:125



POTONGAN B-B

Skala 1:100

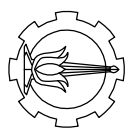
LEGENDA DAN KETERANGAN	
CATATAN	
1.	SEMUA DIMENSI DITULIS DALAM SATUAN MILIMETER KECUALI KETERANGAN LAIN
2.	SEMUA LEVEL DALAM METER DI UKUR DARI LWS ±0.00
3.	MATERIAL BETON MENGGUNAKAN $f'_c = 29,05 \text{ MPa}$
4.	MATERIAL TANG PANGANG HARUS MENGGUAI ASTM A572
5.	GRADE 2 DENGAN TEGANGAN LELEH 2400 kg/cm ²
6.	TANG PANGANG TIJANGAN HINGGAU RADA SNI DAN HARUS BERSAMA SAMA DENGAN COATING
7.	PROFIL BALOK HARUS MENGGUAI ASTM A36
8.	SEMUA GAMBAR SESUAI DENGAN SPESIFIKASI

PERENCANAAN DERMAKA LING KABUPATEN MAROS SULAWESI SELATAN

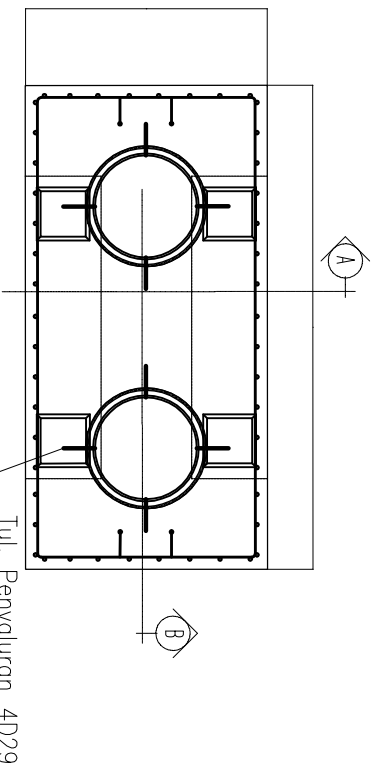
Dosen Pembimbing :
 Ir. FUDDOIY, M.Sc
 Ir. DYAH IRANI, M.Sc

Mahasiswa :
 FAHMI SHOFI AULIA
 0311154000082

Judul Gambar :

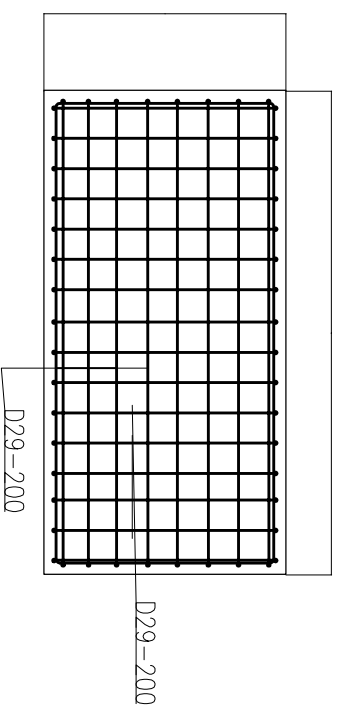


DRAWING TABLE OF CONTENT	
Nomor Drawing	Scale
022	-



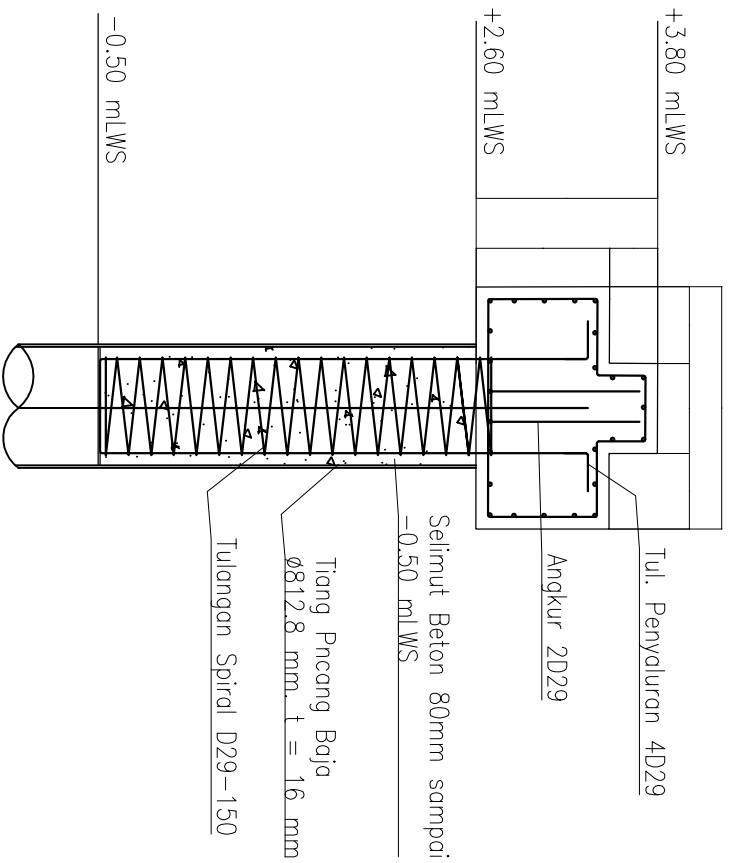
TAMPAK TENGAH

Skala 1:50



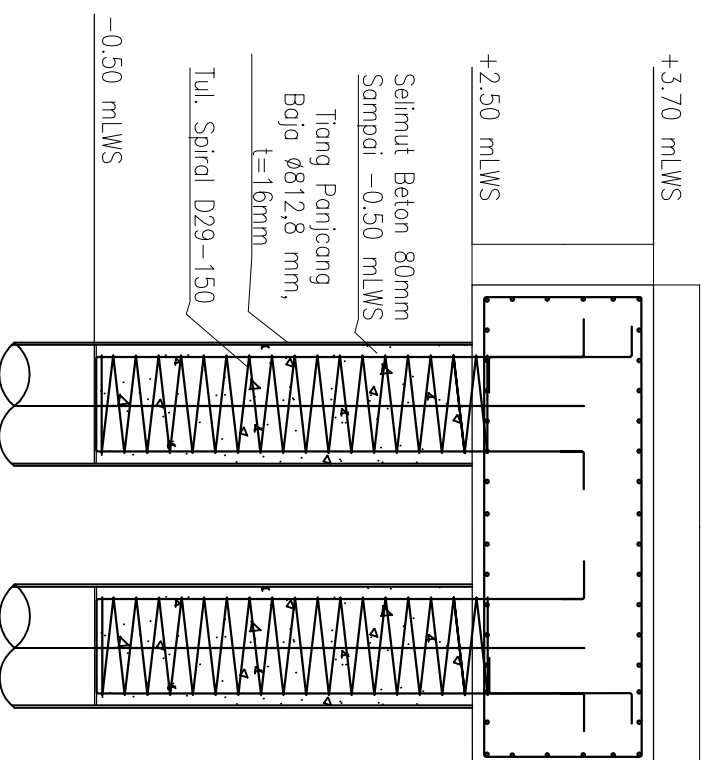
TAMPAK ATAS

Skala 1:50



POTONGAN A-A

Skala 1:50



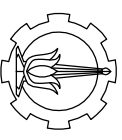
POTONGAN B-B

Skala 1:50

LEGENDA DAN KETERANGAN

CATATAN

1. SEMUA DIMENSI DITULIS DALAM SATUAN MILIMETER KECUALI KETERANGAN LAIN
2. SEMUA LEVEL DALAM METER DI UKUR DARI LWS ±0.00
3. MATERIAL BETON MENGGUNAKAN $f'_c = 29,05 \text{ MPa}$
4. MATERIAL TANG PANGCANG HARUS MENGGU ASIM 4252
5. TANG PANGCANG DENGAN LETIH 2400 kg/cm² DAN TITIK BALU TULANGAN MENGGU PADA SNI
6. DI HANCIK TULANGAN ULIR DENGAN $f_y = 390 \text{ MPa}$
7. PROFIL BALU HARUS MENGGU ASIM A36
8. SEMUA GAMBAR SESUAI DENGAN SPESIFIKASI



PERENCANAAN DERMAKA LING KABUPATEN
MAROS SULAWESI SELATAN

Dosen Pembimbing :

Ir. FUDDOIY, M.Sc
Ir. DYAH IRANI, M.Sc

Mahasiswa :

FAHMI SHOFI AULIA
0311154000082

Judul Gambar :

DRAWING TABLE OF CONTENT

Nomor Dwiang

023

Skala

-

INSTITUT TEKNOLOGI SEPULUH NOPEMBER
FAKULTAS TEKNIK SIPIL, PERENCANAAN DAN KEBUMIHAN
PROGRAM SARJANA (S1) DEPARTEMEN TEKNIK SIPIL FTSPK – ITS

BERITA ACARA PENYELENGGARAAN UJIAN
SEMINAR DAN LISAN
TUGAS AKHIR

Pada hari ini **Senin** tanggal **13 Januari 2020** jam **09:00 WIB** telah diselenggarakan **UJIAN SEMINAR DAN LISAN TUGAS AKHIR** Program Sarjana (S1) Departemen Teknik Sipil FTSPK-ITS bagi mahasiswa:

NRP	Nama	Judul Tugas Akhir
0311154000082	Fahmi Shofi Aulia	Perencanaan Dermaga LNG Kabupaten Maros Sulawesi Selatan

1. Dengan perbaikan/penyempurnaan yang harus dilakukan adalah :

- cek perhitungannya
- cek RAB!
- Tabel 5.2 tolak paku.
- cek layout u/ pengembang
- detekt daerah 45°
- cek penulisan dan koreksi
- dua margin 2 dosen.

2. Rentang nilai dari hasil diskusi Tim Penguji Tugas Akhir adalah : A / AB / B / BC / C / D / E

3. Dengan hasil ujian (wajib dibacakan oleh Ketua Sidang di depan Peserta Ujian dan Penguji) :

- Lulus Tanpa Perbaikan Mengulang Ujian Seminar dan Lisan
 Lulus Dengan Perbaikan Mengulang Ujian Lisan

Tim Penguji (Anggota)	Tanda Tangan
Ir. Fuddoly, MSc (Pembimbing 1)	
Ir. Dyah Iriani Widyastuti, MSc (Pembimbing 2)	
Prof. Dr. Ir. Herman Wahyudi	
Cahya Buana, ST. MT	

Surabaya, 13 Januari 2020

Mengetahui,
Sekretaris Departemen
Bidang Akademik dan Kemahasiswaan

Ketua Sidang

Data Iranata, ST. MT Phd
 NIP 19800430 200501 1 002

Cahya Buana, ST. MT
 (.....)
 Nama terang



Form AK/TA-04
rev01

PROGRAM STUDI S-1 JURUSAN TEKNIK SIPIL FTSP - ITS
LEMBAR KEGIATAN ASISTENSI TUGAS AKHIR (WAJIB DIISI)

Jurusan Teknik Sipil It.2, Kampus ITS Sukolilo, Surabaya 60111

Telp.031-5946094, Fax.031-5947284



NAMA PEMBIMBING	: Ir. Fudddy, MSc
NAMA MAHASISWA	: Fahmi Shofi Aulia
NRP	: 03111540000082
JUDUL TUGAS AKHIR	: Perencanaan Dermaga LNG Kabupaten Maras Sulawesi Selatan
TANGGAL PROPOSAL	: 11 Januari 2019
NO. SP-MMTA	: 14652 / IT 2.VI.4.1 / PP.05.02.00 / 2019

NO	TANGGAL	KEGIATAN		PARAF ASISTEN
		REALISASI	RENCANA MINGGU DEPAN	
1	25/02/19	<ul style="list-style-type: none"> - Data Angin cari di NOAA - Data kapal disesuaikan dengan Trelleberg - Batimetri di lengkapi 	<ul style="list-style-type: none"> - Skripsi pada layout dermaga dan Perencanaan 	(
2	11/03/19	<ul style="list-style-type: none"> - Notasi gambar diperjelas - layout disesuaikan dengan OCIMF - Dimensi leleh diperjelas 	<ul style="list-style-type: none"> - Sudah dalam bentuk penulisan di word untuk bab 4 dan 5 - Mulai merencanakan dimensi struktur 	g
3	25/03/19	<ul style="list-style-type: none"> - sudut ikatan bollard di cantumkan dan disesuaikan dengan PATEL - Analisis perhitungannya selambang dan Angin 	<ul style="list-style-type: none"> - Hitung energi kapal - Hitung pender dan bollard - Desain struktur 	g



Form AK/TA-04
rev01

PROGRAM STUDI S-1 JURUSAN TEKNIK SIPIL FTSP - ITS
LEMBAR KEGIATAN ASISTENSI TUGAS AKHIR (WAJIB DIISI)

Jurusan Teknik Sipil Lt.2, Kampus ITS Sukolilo, Surabaya 60111
Telp.031-5946094, Fax.031-5947284



NAMA PEMBIMBING	: Ir. Fuddoly, MSc
NAMA MAHASISWA	: Fahmi Shofi Aliq
NRP	: 03111540000002
JUDUL TUGAS AKHIR	: Perencanaan Dermaga L46 Kabupaten Maros Sulawesi Selatan
TANGGAL PROPOSAL	: 11 Januari 2019
NO. SP-MMTA	: 14652 / IT2 . VI . 4 . I / PP . 05 . 02 . 00 / 2019

NO	TANGGAL	KEGIATAN		PARAF ASISTEN
		REALISASI	RENCANA MINGGU DEPAN	
4	06/04/19	Bab Perhitungan Struktur - Perhitungan untuk ballast menggunakan SWL - Arus dimasukkan untuk perhitungan - Angin dimasukkan untuk perhitungan	- Fiksasi bab Perhitungan Struktur	
5	01/08/19 10	- Membahas Breastling Dolphin - Membahas Mooring Dolphin	- Perbaiki Tiang Rancangan masih not ok	
6	16/08/19 10	- Membahas semua elemen struktur (Mooring, Breastling, Unloading)	- Memeriksa semua perhitungan struktur	
7	4/11/19	- Semua perhitungan sudah OK	- lanjut Metode & RAB	



Form AK/TA-04
rev01

PROGRAM STUDI S-1 JURUSAN TEKNIK SIPIL FTSP - ITS
LEMBAR KEGIATAN ASISTENSI TUGAS AKHIR (WAJIB DIISI)

Jurusan Teknik Sipil Lt.2, Kampus ITS Sukotilo, Surabaya 60111

Telp.031-5946094, Fax.031-5947284



NAMA PEMBIMBING	: Ir. Dyah Irianti Widayastuti, MSc
NAMA MAHASISWA	: Fahmi Shaga Aulia
NRP	: 0311540000082
JUDUL TUGAS AKHIR	: Perencanaan Dermaga LNB Kabupaten Maros Sulawesi Selatan
TANGGAL PROPOSAL	: 11 Januari 2019
NO. SP-MMTA	: 14652 / IT2.VI.4.1 / PP.05.02.00 / 2019

NO	TANGGAL	KEGIATAN		PARAF ASISTEN
		REALISASI	RENCANA MINGGU DEPAN	
1	08/04/19	- Fiksasi Bab II - Format Penulisan	- Revisi Bab II	A
2	22/04/19	- Revisi Bab II - Fiksasi Bab III	- Revisi Bab III	A
3	13/05/19	- Meninjau ulang bab II & III	- Melanjutkan ke Bab IV	A
4	19/06/19	- Melengkapi detail - detail yang dibutuhkan dalam Bab III	- Melanjutkan ke Bab IV	A
5	1/07/19	- Permindahan bab antara kriteria desain dengan evaluasi layout	- Revisi layout	A
6	5/08/19	- Layout Revisi serta detail perku direvisi ulang	- Pembahasan	A



PROGRAM STUDI S-1 JURUSAN TEKNIK SIPIL FTSP - ITS
LEMBAR KEGIATAN ASISTENSI TUGAS AKHIR (WAJIB DIISI)

Jurusan Teknik Sipil It.2, Kampus ITS Sukolilo, Surabaya 60111

Telp.031-5946094, Fax.031-5947284



Form AK/TA-04
rev01

NAMA PEMBIMBING	: Ir. Dyah Iriani Widyastuti, MS C
NAMA MAHASISWA	: Fahmi Shasi Adira
NRP	: 0311154 0000082
JUDUL TUGAS AKHIR	: Perencanaan Permaga LNB Kabupaten Maros Sulawesi Selatan
TANGGAL PROPOSAL	: 11 Januari 2019
NO. SP-MMTA	: B/67272 / 112.VI.4.1/PP.05.02.00/2019

NO	TANGGAL	KEGIATAN		PARAF ASISTEN
		REALISASI	RENCANA MINGGU DEPAN	
7	2/09/19	Membahas Tentang Layout	- Perbaiki Auto cad	
8	9/09/19	Membahas Layout dan cara kebutuhan kapal yang berlaku untuk	- Melanjutkan ke bab selanjutnya	
9	28/11/19	Membahas total keawali Metode Pelaksanaan	- Fokuskan semuanya	