TUGAS AKHIR – RC14-1501

PERENCANAAN DERMAGA JETTY 2 : UNTUK UNLOADING MUATAN KAPAL MULTIPURPOSE 6800 DWT PADA DERMAGA SISI SELATAN, DI TERMINAL KHUSUS PT. BADAK NGL, BONTANG

FAROQ NOVRIANDI
NRP. 3112 100 087

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

Dosen Pembimbing II
Prof. Dr. Ir. Herman Wahyudi, DEA

JURUSAN TEKNIK SIPIL
Fakultas Teknik Sipil dan Perencanaan
Institut Teknologi Sepuluh Nopember
Surabaya 2017

TUGAS AKHIR – RC14-1501

PERENCANAAN DERMAGA JETTY 2 : UNTUK UNLOADING MUATAN KAPAL MULTIPURPOSE 6800 DWT PADA DERMAGA SISI SELATAN, DI TERMINAL KHUSUS PT. BADAK NGL, BONTANG

FAROQ NOVRIANDI
NRP. 3112 100 087

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

Dosen Pembimbing II
Prof. Dr. Ir. Herman Wahyudi, DEA

JURUSAN TEKNIK SIPIL
Fakultas Teknik Sipil dan Perencanaan
Institut Teknologi Sepuluh Nopember
Surabaya 2017

FINAL PROJECT – RC14-1501

DETAIL ENGINEERING DESIGN OF PORT JETTY 2: FOR MULTIPURPOSE VESSEL 6800 DWT CARGO UNLOADING AT SOUTH SIDE OF PORT , IN SPECIAL PURPOSE TERMINAL OF PT. BADAK NGL, BONTANG

FAROQ NOVRIANDI
NRP. 3112 100 087

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

Supervisor II
Prof. Dr. Ir. Herman Wahyudi, DEA

DEPARTMENT OF CIVIL ENGINEERING
Faculty of Civil Engineering and Planning
Sepuluh Nopember Institute of Technology
Surabaya 2017

LEMBAR PENGESAHAN TUGAS AKHIR

PERENCANAAN DERMAGA JETTY 2 : UNTUK UNLOADING MUATAN KAPAL MULTIPURPOSE 6800 DWT PADA DERMAGA SISI SELATAN, DI TERMINAL KHUSUS PT. BADAK NGL, BONTANG

TUGAS AKHIR

Diajukan Untuk Memenuhi Salah Satu Syarat
Memperoleh Gelar Sarjana Teknik
Pada
Program Studi S-1 Reguler Teknik Sipil
Fakultas Teknik Sipil Dan Perencanaan
Institut Teknologi Sepuluh Nopember

Oleh:
FAROQ NOVRIANDI
NRP. 3112 100 087

Disetujui oleh Pembimbing Tugas Akhir:

1. Ir. Dyah Iriani W., M.Sc. .....
   NIP. 196112191986032002

2. Prof. Dr. Ir. Herman Wahyudi, DEA .....
   NIP. 195503291980031002

SURABAYA
DESEMBER, 2016

PERENCANAAN DERMAGA JETTY 2 : UNTUK UNLOADING MUATAN KAPAL MULTIPURPOSE 6800 DWT PADA DERMAGA SISI SELATAN, DI TERMINAL KHUSUS PT. BADAK NGL, BONTANG

Nama Mahasiswa	: Faroq Novriandi
NRP	: 311210087
Jurusan	: Teknik Sipil FTSP – ITS
Dosen Pembimbing	: 1. Ir. Dyah Iriani W., M.Sc
	2. Prof. Dr. Ir. Herman Wahyudi, DEA

Abstrak

Pemerintah Indonesia berencana membangun kilang minyak baru berkapasitas 300 ribu barel stream day (MBSD) untuk memenuhi kebutuhan bahan bakar. Kilang minyak direncanakan akan dibangun di Bontang, Kalimantan Timur dengan PT. Pertamina selaku kaki tangan pemerintah dengan perwakilan PT. Badak NGL.

Dikarenakan akan dibangun kilang minyak baru, maka akan ada aktivitas distribusi dan bongkar muat di terminal khusus milik PT. Badak NGL yang dekat dengan lokasi kilang minyak. Terdapat 3 dermaga yang direncanakan sebagai fasilitas utama distribusi dan bongkar muat untuk curah kering, curah cair dan kargo. Untuk bongkar muat kargo sendiri dilakukan oleh kapal multipurpose di jetty 2.

Tipe dermaga kargo yang direncanakan ini adalah jetty dengan metode konstruksi pracetak. Meskipun membutuhkan perhitungan tambahan pada saat perencanaan, akan tetapi metode ini memberikan banyak manfaat pada saat pelaksanaannya seperti

kemudahan pengerjaan, efisiensi waktu dan biaya serta keterjagaan mutu struktur pelaksanaan kontruksi.

Tujuan dari Tugas Akhir ini adalah menghasilkan detail struktur dermaga jetty 2 sesuai dengan acuan atau standart perencanaan struktur dermaga.

Hasil perhitungan dimensi struktur didapatkan : tebal pelat 400 mm, balok melintang 800x1200 mm^2, balok memanjang 800x1200 mm^2, plank fender 2200x2000x600 mm^3, poer tunggal 2000x2000x1000 mm^3, poer ganda 4000x2000x1000 mm^2. Sedangkan untuk pondasi digunakan tiang pancang baja dengan diameter terluar 1000 mm dan tebal 16 mm.

Kata Kunci : Terminal Khusus, Jetty, Kargo, Kapal Multipurpose, Pracetak, Tiang Pancang Baja

DETAIL ENGINEERING DESIGN OF PORT JETTY 2: FOR MULTIPURPOSE VESSEL 6800 DWT CARGO UNLOADING AT SOUTH SIDE OF PORT , IN SPECIAL PURPOSE TERMINAL OF PT. BADAK NGL, BONTANG

Name	: Faroq Novriandi
NRP	: 311210087
Department	: Civil Engineering FTSP – ITS
Supervisor	: 1. Ir. Dyah Iriani W., M.Sc
	2. Prof. Dr. Ir. Herman Wahyudi, DEA

Abstract

The Indonesian government planned to build a new oil refinery with a capacity of 300 thousand barrels stream day (MBSD) to meet the fuel needs. The oil refinery was planned to be built in Bontang, East Kalimantan by PT. Pertamina as the government stooge, along with the representatives of PT. Badak NGL.

Regarding the construction of the new oil refinery, there will be a distribution and unloading in the special purpose terminal of PT. Badak NGL near the refinery site. Three ports were planned to be the main facilities for the distribution and unloading of dry bulk, wet bulk and cargo. In addition, the multipurpose vessel loads and unloads the cargo in jetty 2.

The type of cargo port which was designed was jetty by using the precast construction method. Even though it requires additional calculations during designing, but this method gives many benefits in the implementation processes, such as the ease of

execution, time efficiency, cost, and also the quality maintenance of construction method.

The purpose of this final assignment is to design a detailed structure of jetty 2 port according to the references or standard structural designs of the port.

Based on the calculation of the structure dimensions, it has obtained the following results: slab thickness 400 mm,longitudinal beams 800x1200 mm^2 transversal beams 800x1200 mm^2, fender plank 2200x2000x600 mm^3, single piers 2000x2000x1000 mm^3, double piers 4000x2000x1000 mm^2. Meanwhile for foundation is used steel pipe pile with outside diameter 1000 mm and thickness 16 mm.

Keywords : Special Purpose Terminal, Jetty, Cargo, Multipurpose Vessel, Precast, Steel Pipe Pile

KATA PENGANTAR

Puji Syukur kepada Tuhan Yang Maha Esa karena oleh anugerah-Nya lah Tugas Akhir ini dapat diselesaikan dengan baik dan lancar. Tugas Akhir ini berjudul "Perencanaan Dermaga Jetty 2 : untuk Unloading Muatan Kapal Multipurpose 6800 DWT pada Dermaga Sisi Selatan, di Terminal Khusus PT. Badak NGL, Bontang".

Tidak lupa saya mengucapkan terima kasih kepada semua pihak yang telah membantu pekerjaan Tugas Akhir ini hingga dapat diselesaikan, antara lain kepada :

1. Ir. Dyah Iriani W., M.Sc dan Prof. Dr. Ir. Herman Wahyudi, DEA selaku dosen bidang Pelabuhan Jurusan Teknik Sipil FTSP ITS dan dosen pembimbing yang telah banyak membimbing saya dalam mengerjakan Tugas Akhir yang saya kerjakan.
2. Orang Tua yang selalu memberikan dukungan untuk dapat memberikan semangat dalam proses pengerjaan Tugas Akhir ini.
3. Teman-teman seperjuangan yang mengambil Tugas Akhir Pelabuhan yaitu Mujahid Syamsuar, Bayu Argo dan Dimaz Irja.
4. Bibi saya Linda Susanti, SE. yang telah banyak membantu dan memotivasi saya.
5. Bapak Edi Jadmiko, ST., MT., Januar Karimuddin, ST. dan Wisnu Andhika Pratama, ST. yang telah memberi banyak pengalaman di dunia kerja.
6. Teman dan kerabat saya di Jurusan Teknik Sipil FTSP ITS yang memberikan dorongan dan motivasi selama proses penyusunan Tugas Akhir berlangsung.
7. Serta semua pihak yang tidak dapat saya sebutkan satu persatu di sini.

Penulis menyadari bahwa dalam pengerjaan Tugas Akhir ini masih terdapat kekurangan dalam beberapa hal. Semoga Tugas Akhir ini dapat bermanfaat bagi siapapun yang membacanya.

Surabaya, 19 Januari 2017

Hormat saya, Penulis

DAFTAR ISI

LEMBAR PENGESAHAN i
ABSTRAK ii
ABSTRACT iv
KATA PENGANTAR vi
DAFTAR ISI viii
DAFTAR GAMBAR xii
DAFTAR TABEL xvi
BAB I PENDAHULUAN 1
1.1 Latar Belakang 1
1.2 Perumusan Masalah 2
1.3 Tujuan Perencanaan 2
1.4 Lingkup Bahasan 3
1.5 Batasan Masalah 3
1.6 Manfaat 4
1.7 Lokasi Perencanaan 4
1.8 Metodologi 5
1.8.1 Bagan Alur Penyelesaian Tugas Akhir 5
1.8.2 Langkah Penyelesaian Tugas Akhir 6
1.8.3 Timeline Pengerjaan Tugas Akhir 12
BAB II TINJAUAN PUSTAKA 13
2.1 Data dan Analisis 13
2.1.1 Peta Bathymetri 13
2.1.2 Data Arus 13
2.1.3 Data Pasang Surut 14
2.1.4 Data Angin 15
2.1.5 Data Tanah 16
2.1.6 Data Kapal 16
2.1.7 Data Alat 18
2.2 Perencanaan Layout 18
2.2.1 Perencanaan Layout Perairan 18
2.2.2 Perencanaan Layout Dermaga 22
2.3 Pembebanan Dermaga 23

2.3.1 Beban Vertikal 23
2.3.2 Beban Horizontal 27
2.4 Perhitungan Fender dan Bollard 42
2.4.1 Fender 42
2.4.2 Bollard 45
2.5 Perhitungan Struktur Dermaga 47
2.5.1 Struktur Atas 47
2.5.2 Struktur Bawah 54
2.6 Desain Komponen Pracetak Dermaga 61
2.6.1 Langkah-Langkah Kontrol Komponen Pracetak..61
2.6.2 Perhitungan Kontrol Komponen Pracetak 61
2.6.3 Perhitungan Tambahan Kontrol Komponen Pracetak.....65
BAB III PENGUMPULAN DAN ANALISA DATA 67
3.1 Umum.....67
3.2 Bathymetri 67
3.3 Pasang Surut 69
3.4 Arus.....70
3.5 Tanah.....71
BAB IV KRITERIA DESAIN 79
4.1 Standar yang Digunakan.....79
4.2 Data Kapal 79
4.3 Material yang Digunakan 80
4.4 Pembebanan pada Struktur Dermaga 81
4.4.1 Beban Vertikal 81
4.4.2 Beban Horizontal 92
4.5 Perencanaan Fender dan Bollard.....98
4.5.1. Fender 98
4.5.2 Bollard 101
BAB V PERENCANAAN STRUKTUR JETTY.....103
5.1 Proses Bongkar Muat 103
5.2 Perencanaan Layout Dermaga 103
5.2.1 Layout Eksisting.....104
5.2.2 Evaluasi Layout Perairan 105
5.5.3 Evaluasi Layout Dermaga.....108

5.3 Perencanaan Komponen Dermaga 110
5.3.1 Perhitungan Tinggi Struktur 111
5.4 Perencanaan Pelat Dermaga 111
5.4.1 Penentuan Tipe Pelat 111
5.4.2 Pembebanan pada Pelat 114
5.4.3 Perhitungan Momen Pelat.....115
5.4.4 Penulangan Pelat 174
5.5 Perencanaan Balok, Plank Fender dan Poer Dermaga .187
5.5.1 Pembebanan Balok 187
5.5.2 Analisa Struktur 188
5.5.3 Penulangan Balok Melintang 191
5.5.4 Penulangan Balok Memanjang 199
5.5.5 Penulangan Plank Fender.....207
5.5.6 Penulangan Poer.....210
5.6 Perencanaan Tiang Pancang Dermaga 215
5.7 Perencanaan Komponen Pracetak Dermaga 226
5.7.1 Perencanaan Pelat Pracetak.....227
5.7.2 Perencanaan Balok Pracetak 233
5.7.3 Perencanaan Plank Fender Pracetak 236
5.7.4 Perencanaan Poer Pracetak 236
5.8 Perencanaan Struktur Trestle 237
5.9 Perencanaan Layout Trestle.....237
5.9.1 Layout Eksisting Trestle 237
5.9.2 Layout Rencana Trestle 238
5.10 Perencanaan Pelat Trestle 239
5.10.1 Penentuan Tipe Pelat 239
5.10.2 Pembebanan pada Pelat 240
5.10.3 Perhitungan Momen Pelat.....240
5.10.4 Penulangan Pelat 265
5.11 Perencanaan Balok dan Poer Trestle 274
5.11.1 Pembebanan Balok 274
5.11.2 Analisa Struktur 274
5.11.3 Penulangan Balok Melintang 278
5.11.4 Penulangan Balok Memanjang.....285
5.11.5 Penulangan Poer.....293

5.12 Perencanaan Tiang Pancang Trestle 298
5.13 Perencanaan Komponen Pracetak Trestle.....306
5.13.1 Perencanaan Pelat Pracetak.....306
5.13.2 Perencanaan Balok Pracetak 307
5.13.3 Perencanaan Poer Pracetak 308
BAB VI METODE PELAKSANAAN KONSTRUKSI.....309
6.1 Umum.....309
6.2 Pekerjaan Persiapan Dermaga.....311
6.3 Pelaksanaan Pembangunan Dermaga dan Trestle.....311
6.3.1 Pemancangan Tiang 311
6.3.2 Fabrikasi Komponen Pracetak 317
6.3.3 Pemasangan Komponen Pracetak 319
6.3.4 Pemasangan Fender 323
6.3.5 Pemasangan Bollard.....324
BAB VII RENCANA ANGGARAN BIAYA.....325
7.1 Umum.....325
7.2 Daftar Harga Satuan Dasar 325
7.3 Analisa Harga Satuan Pekerjaan 327
7.4 Rekapitulasi Anggaran Biaya 336
BAB VIII KESIMPULAN 339
DAFTAR PUSTAKA xx
LAMPIRAN xxi
BIODATA PENULIS xxii

DAFTAR GAMBAR

Gambar 1.1 Teluk Sekangat,Bontang. Skala 1:2.000.000..... 4
Gambar 1.2 Lokasi Jetty 2. Skala 1:50.000..... 5
Gambar 1.3 Bagan Alur Penyelesaian Tugas Akhir 6
Gambar 2.1 *Multipurpose Vessel Characteristics* 17
Gambar 2.2 Pembelokan Jalur Navigasi 18
Gambar 2.3 Mobile Harbour Crane 25
Gambar 2.4 Truk dan Trailer.....26
Gambar 2.5 Panjang Kapal.....31
Gambar 2.6 Posisi Kapal Bertambat.....32
Gambar 2.7 Koefisien Kuat Arus 34
Gambar 2.8 Keterangan Notasi untuk Perhitungan Jarak Fender43
Gambar 2.9 Grafik Radius Busur Kapal-Displacement Tonnage untuk Jenis Kapal General Cargo.....43
Gambar 2.10 Pillar Bollard 46
Gambar 2.11 Letak dari Nilai-nilai N dalam Perhitungan Np.....56
Gambar 2.12 Momen akibat Pengangkatan.....64
Gambar 3.1 Bathymetry di Jetty 2, NTS.....68
Gambar 3.2 Potongan A-A, NTS.....68
Gambar 3.3 Potongan B-B, NTS 69
Gambar 3.4 Potongan C-C, NTS 69
Gambar 3.5 Grafik Pasang Surut dari *Tidal Master Actual Record* 70
Gambar 3.6 *Current Rose Jetty 2* 71
Gambar 3.7 Lokasi Pengambilan Data Tanah Titik B-4 72
Gambar 3.8 Grafik Elevasi-NSPT dan Deskripsi Tanah pada Titik B-4.....73
Gambar 4.1 Kapal Multipurpose 6.800 DWT 80
Gambar 4.2 Tipe *Mobile Harbour Crane* 82
Gambar 4.3 *Mobile Harbour Crane Pad* 83
Gambar 4.4 Tampak Samping *Mobile Harbour Crane* 83
Gambar 4.5 Jarak Roda Memanjang MHC 84
Gambar 4.6 Beban As MHC 84

Gambar 4.7 Susunan Roda MHC 85
Gambar 4.8 Tampak Samping Pad MHC.....85
Gambar 4.9 Beban pada Pad MHC.....86
Gambar 4.10 Panjang dan Lebar Pad MHC 86
Gambar 4.11 (a) Tampak Samping *truck TR626i,*.....88
Gambar 4.12 Flatbed Full Trailer 89
Gambar 4.13 Dimensi Multiwheel Mammoth.....90
Gambar 4.14 Konfigurasi Roda Multiwheel Mammoth 90
Gambar 4.15 Karakteristik Multiwheel Mammoth.....90
Gambar 4.16 Konfigurasi Beban Multiwheel Mammoth.....92
Gambar 4.17 Arah Arus di Jetty 2 96
Gambar 4.18 Kecepatan dan Arah Angin pada Kapal 97
Gambar 4.19 Grafik *Performance SCN Fender* 99
Gambar 4.20 Dimensi Cone Fender.....99
Gambar 4.21 Tampak Samping dan Depan Panel Fender.....101
Gambar 4.22 Pillar Bollard 102
Gambar 5.1 Layout Perairan dan Daratan Eksisting.....104
Gambar 5.2 Layout Perairan dan Daratan Revisi 110
Gambar 5.3 Jenis Pelat Berdasarkan Perletakan.....112
Gambar 5.4 Tipe Pelat dan Dilatasi 113
Gambar 5.5 Dilatasi Sisi Kanan 114
Gambar 5.6 Pelat 7,5 x 7 m 115
Gambar 5.7 Posisi Roda Trailer Arah Memanjang.....119
Gambar 5.8 Beban Roda Trailer 1 120
Gambar 5.9 Beban Roda Trailer 2 122
Gambar 5.10 Beban Roda Trailer 3 123
Gambar 5.11 Beban Roda Trailer 4 124
Gambar 5.12 Beban Roda Trailer 5 125
Gambar 5.13 Beban Roda Trailer 6 126
Gambar 5.14 Posisi Roda Trailer Arah Melintang 131
Gambar 5.15 Beban Roda Trailer 1 131
Gambar 5.16 Beban Roda Trailer 1 134
Gambar 5.17 Beban Roda Trailer 3 135
Gambar 5.18 Beban Roda Trailer 4 136
Gambar 5.19 Beban Roda Trailer 5 137

Gambar 5.20 Beban Roda Trailer 6 138
Gambar 5.21 Posisi Roda MHC Arah Memanjang 143
Gambar 5.22 Beban Roda MHC 1.....144
Gambar 5.23 Beban Roda MHC 2.....146
Gambar 5.24 Beban Roda MHC 3.....147
Gambar 5.25 Beban Roda MHC 4.....148
Gambar 5.26 Posisi Roda MHC Arah Melintang.....153
Gambar 5.27 Beban Roda MHC 1.....153
Gambar 5.28 Beban Roda MHC 2.....156
Gambar 5.29 Beban Roda MHC 3.....157
Gambar 5.30 Beban Roda MHC 4.....158
Gambar 5.31 Posisi Pad MHC Arah Memanjang.....163
Gambar 5.32 Posisi Roda MHC Arah Melintang.....168
Gambar 5.33 Potongan Penampang Penulangan Pelat.....175
Gambar 5.34 Spektrum Gempa Kota Bontang.....187
Gambar 5.35 Tampak 3D Jetty 2 (Sisi Kiri).....189
Gambar 5.36 Jalur Truk MM dan Mobile Harbour Crane 189
Gambar 5.37 Kombinasi Envelope Gaya Aksial.....190
Gambar 5.38 Kombinasi Envelope Gaya Geser V22.....190
Gambar 5.39 Kombinasi Envelope Gaya Momen M33.....191
Gambar 5.40 Momen Ultimate pada Plank Fender 208
Gambar 5.41 Grafik Kedalaman-Daya Dukung Titik B4 218
Gambar 5.42 Pengaruh Korosi di Bagian Tiang Pancang Baja.224
Gambar 5.43 Jenis-Jenis Pelat Pracetak, (a) Pelat Pracetak Berlubang, (b) Pelat Pracetak Tidak Berlubang, (c) Pelat Pracetak T 226
Gambar 5.44 Segmen 1-4 Pelat Pracetak.....229
Gambar 5.45 Posisi Titik Angkat Pelat Pracetak.....229
Gambar 5.46 (a) Tampak 2D Titik Angkat Pelat Pracetak A, (b) Tampak 3D Titik Angkat Pelat Pracetak A 230
Gambar 5.47 Penampang Balok Memanjang Pracetak.....232
Gambar 5.48 Pengangkatan Balok Memanjang 7,5 m Pracetak233
Gambar 5.49 Dimensi Plank Fender.....235
Gambar 5.50 Pengangkatan Poer Tunggal Pracetak.....235
Gambar 5.51 Layout Eksisting Struktur Trestle.....237

Gambar 5.52 Layout Rencana Trestle.....238
Gambar 5.53 Pelat Tipe A 7,5 x 6 m pada Trestle.....239
Gambar 5.54 Posisi Roda Trailer Arah Memanjang pada Pelat 7,6 x 6 m^2 243
Gambar 5.55 Beban Roda Trailer 1 pada Pelat 7,5 x 6 m^2.....244
Gambar 5.56 Beban Roda Trailer 2 pada Pelat 7,5 x 6 m^2.....246
Gambar 5.57 Beban Roda Trailer 3 pada Pelat 7,5 x 6 m^2.....247
Gambar 5.58 Beban Roda Trailer 4 pada Pelat 7,5 x 6 m^2.....248
Gambar 5.59 Beban Roda Trailer 5 pada Pelat 7,5 x 6 m^2.....249
Gambar 5.60 Beban Roda Trailer 6 pada Pelat 7,5 x 6 m^2.....250
Gambar 5.61 Posisi Roda MHC Arah Memanjang pada Pelat 7,5 x 6 m^2 254
Gambar 5.62 Beban Roda MHC 1 pada Pelat 7,5 x 6 m^2 255
Gambar 5.63 Beban Roda MHC 2 pada Pelat 7,5 x 6 m^2 257
Gambar 5.64 Beban Roda MHC 3 pada Pelat 7,5 x 6 m^2 258
Gambar 5.65 Beban Roda MHC 4 pada Pelat 7,5 x 6 m^2 259
Gambar 5.66 Tampak 3D Trestle 274
Gambar 5.67 Jalur Truk dan MHC 275
Gambar 5.68 Kombinasi Envelope Gaya Aksial pada Trestle ..275
Gambar 5.69 Kombinasi Envelope Gaya Geser V22.....276
Gambar 5.70 Kombinasi Envelope Gaya Momen M33.....276
Gambar 5.71 Grafik Kedalaman-Daya Dukung Titik B4 300
Gambar 6.1 Tahapan Pelaksanaan Konstruksi 310
Gambar 6.2 Kapal Pontoon 312
Gambar 6.3 Kapal Pancang.....313
Gambar 6.4 Pemancangan Tiang Pancang Baja 314
Gambar 6.5 Tulangan Spiral Tiang Pancang.....315
Gambar 6.6 Arah Pemancangan Dermaga dan Trestle 316
Gambar 6.7 Tampak Atas Pemasangan Fabrikasi Balok Pracetak 321
Gambar 6.8 Tahapan Metode Konstruksi Sistem Pracetak.....322
Gambar 6.9 Pekerjaan Pemasangan Komponen Pracetak pada Struktur Jetty.....323
Gambar 6.10 Fender Tipe SCN 324
Gambar 6.11 Pillar Bollard 324

DAFTAR TABEL

Tabel 1.1 Bagan Alur Penyelesaian Tugas Akhir 12
Tabel 2.1 Kedalaman Jalur Minimum.....19
Tabel 2.2 Panjang Jalur Rekomendasi 20
Tabel 2.3 Luas Area Pengangkuran 21
Tabel 2.4 Diameter Kolam Putar 21
Tabel 2.5 Tinggi Gelombang Ijin Maksimum 21
Tabel 2.6 Panjang dan Kedalaman Minimum Dermaga 22
Tabel 2.7 Lebar Apron 23
Tabel 2.8 Elevasi tambahan dermaga 23
Tabel 2.9 Beban Hidup pada Dermaga 24
Tabel 2.10 Faktor Dinamis Alat/Kendaraan.....27
Tabel 2.11 Konversi Deadweight Tonnage atau Gross Tonnage ke Displacement Tonnage 28
Tabel 2.12 Kecepatan Menampat Kapal 29
Tabel 2.13 Konversi DWT ke Lpp 30
Tabel 2.14 Gaya Tarik yang Bekerja pada Mooring Post dan Bollard.....33
Tabel 2.15 Konversi DWT ke GT 33
Tabel 2.16 Freeboard Kapal 36
Tabel 2.17 *Drag Coefficient*.....37
Tabel 2.18 Klasifikasi Situs.....38
Tabel 2.19 Koefisien Modifikasi Respons 40
Tabel 2.20 Kategori risiko bangunan.....40
Tabel 2.21 Faktor keutamaan gempa 41
Tabel 2.22 Penentuan nilai C_t dan x.....41
Tabel 2.23 Koefisen Gempa Kota Bontang Kelas Situs SD.....42
Tabel 2.24 Minimum Tebal Lapisan Pelindung Panel Fender Baja 44
Tabel 2.25 Berat Panel Izin 44
Tabel 2.26 Nilai Tekanan Kontak Izin.....45
Tabel 2.27 Kapasitas dan Dimensi Bollard 46
Tabel 2.28 Harga koefisien ωp, C3, C4 dan C5 51

Tabel 2.29 Koefisien Karakteristik Tanah di Dasar Pondasi.....56
Tabel 2.30 Base Coefficient (α).....57
Tabel 2.31 Shaft Coefficient (β).....57
Tabel 2.32 Konversi Umur Beton.....62
Tabel 3.1 Kedalaman-Daya Dukung Tanah (Kedalaman 0-15 m) 74
Tabel 3.2 Kedalaman-Daya Dukung Tanah (Kedalaman 16-35 m) 75
Tabel 3.3 Kedalaman-Daya Dukung Tanah (Kedalaman 36-53 m) 76
Tabel 3.4 Kedalaman-Daya Dukung Tanah (Kedalaman 54-60 m) 77
Tabel 4.1 Safety Factor.....95
Tabel 4.2 Spesifikasi Bollard 102
Tabel 5.1 Dimensi Fasilitas Perairan Eksisting.....105
Tabel 5.2 Rekap Dimensi Fasilitas Dermaga Eksisting.....105
Tabel 5.3 Dimensi Fasilitas Perairan Rencana 108
Tabel 5.4 Dimensi Fasilitas Dermaga Rencana.....109
Tabel 5.5 Momen akibat Beban Mati dan Hidup (Pelat Tipe A-E) 117
Tabel 5.6 Momen akibat Beban Mati dan Hidup (Pelat Tipe F-I) 118
Tabel 5.7 Momen akibat Roda Truk Arah Memanjang 129
Tabel 5.8 Momen akibat Roda Truk Arah Memanjang 130
Tabel 5.9 Momen akibat Roda Truk Arah Melintang.....141
Tabel 5.10 Momen akibat Roda Truk Arah Melintang.....142
Tabel 5.11 Momen akibat Roda MHC Arah Memanjang.....151
Tabel 5.12 Momen akibat Roda MHC Arah Memanjang.....152
Tabel 5.13 Momen akibat Roda MHC Arah Melintang.....161
Tabel 5.14 Momen akibat Roda MHC Arah Melintang.....162
Tabel 5.15 Momen akibat Pad MHC Arah Memanjang 166
Tabel 5.16 Momen akibat Pad MHC Arah Memanjang 167
Tabel 5.17 Momen akibat Pad MHC Arah Melintang.....170
Tabel 5.18 Momen akibat Pad MHC Arah Melintang.....171
Tabel 5.19 Rekapitulasi Kombinasi Momen 172

Tabel 5.20 Rekapitulasi Kombinasi Momen 173
Tabel 5.21 Luas Tulangan Pelat Minimum 182
Tabel 5.22 Luas Tulangan Pelat Minimum 183
Tabel 5.23 Jarak Tulangan Pelat.....184
Tabel 5.24 Kontrol Retak (Pelat A-E) 185
Tabel 5.25 Kontrol Retak (Pelat F-I).....186
Tabel 5.26 Rekapitulasi Gaya Dalam Struktur Balok.....191
Tabel 5.27 Rekapitulasi Gaya Dalam Pada Poer 210
Tabel 5.28 Rekapitulasi Penulangan Komponen Struktur 215
Tabel 5.29 Rekapitulasi Gaya Dalam pada Tiang Pancang.....215
Tabel 5.30 Kecepatan Korosi pada Tiang Baja 225
Tabel 5.31 Ukuran Pelat Konvensional dan Pracetak.....227
Tabel 5.32 Konversi Umur Beton.....228
Tabel 5.33 Tipe Pelat pada Trestle 238
Tabel 5.34 Momen pada Pelat Akibat Beban Mati dan Hidup pada Trestle.....242
Tabel 5.35 Momen pada Pelat akibat Beban Berjalan MM 253
Tabel 5.36 Momen pada Pelat akibat Beban Berjalan MHC 262
Tabel 5.37 Rekapitulasi Momen yang Terjadi pada Pelat.....263
Tabel 5.38 Luas Tulangan Minimum Pelat Trestle 271
Tabel 5.39 Rekapitulasi Kontrol Retak Pelat Treatle.....272
Tabel 5.40 Rekapitulasi Jarak Penulangan Pelat 273
Tabel 5.41 Rekapitulasi Gaya Dalam Struktur Balok.....277
Tabel 5.42 Rekapitulasi Gaya Dalam Pada Poer 292
Tabel 5.43 Rekapitulasi Penulangan Struktur Balok 297
Tabel 5.44 Rekapitulasi Gaya Dalam pada Tiang Pancang.....297
Tabel 5.45 Ukuran Pelat Konvensional dan Pracetak.....304
Tabel 6.1 Dimensi Pelat Pracetak.....317
Tabel 7.1 Daftar Harga Satuan Dasar Upah Pekerja.....325
Tabel 7.2 Daftar Harga Satuan Dasar Bahan.....326
Tabel 7.3 Daftar Harga Satuan Dasar Sewa Alat.....327
Tabel 7.4 AHSP Pekerjaan Beton.....328
Tabel 7.5 AHSP Pekerjaan Tiang Pancang.....332
Tabel 7.6 AHSP Pekerjaan Aksesoris.....334
Tabel 7.7 Total Harga Pembangunan Jetty 2.....338

Tabel 8.1 Penulangan pada Pelat Dermaga 341
Tabel 8.2 Penulangan pada Pelat Trestle 342
Tabel 8.3 Penulangan pada Balok, Plank Fender dan Poer Dermaga 342
Tabel 8.4 Penulangan pada Balok dan Poer Trestle.....342

BAB I
PENDAHULUAN

1.1 Latar Belakang

Pemerintah Indonesia berencana membangun kilang minyak baru berkapasitas 300 ribu barel stream day (MBSD) untuk memenuhi kebutuhan bahan bakar. Kilang minyak direncanakan akan dibangun di Bontang, Kalimantan Timur dengan PT. Pertamina selaku kaki tangan pemerintah dengan perwakilan PT. Badak NGL.

PT. Badak *Natural Gas Liquefaction* atau lebih dikenal dengan PT. Badak NGL adalah perusahaan penghasil gas alam cair LNG (*Liquid Natural Gas*) terbesar di Indonesia yang memiliki salah satu kilang LNG yang terbesar di dunia. Perusahaan ini berlokasi di Bontang, Kalimantan Timur, dan memiliki 8 *process train* (A - H) yang mampu menghasilkan 22,5 Mtpa LNG (juta metrik ton LNG per tahun). PT Badak NGL merupakan salah satu penyumbang devisa terbesar bagi Kota Bontang maupun Indonesia.

Dikarenakan akan dibangun kilang minyak baru, maka akan ada aktivitas distribusi dan bongkar muat di terminal khusus milik PT. Badak NGL yang dekat dengan lokasi kilang minyak. Terdapat 3 dermaga yang direncanakan sebagai fasilitas utama distribusi dan bongkar muat untuk curah kering, curah cair dan kargo. Untuk bongkar muat kargo sendiri dilakukan oleh kapal multipurpose di jetty 2.

Kapal multipurpose mempunyai peran penting dalam arus bongkar muat yang ada pada dermaga khusus PT. Badak NGL, Bontang, Kalimantan Timur. Jenis kapal multipurpose sendiri sudah sangat banyak digunakan karena cocok dengan peralatan *cargo handling* dan mampu mengangkut hampir semua jenis kargo. Diperkirakan tahun 2035 arus bongkar muat multipurpose LNG mencapai 502.78 Mtpa/tahun. Kapasitas saat ini sudah tidak mampu melayani arus bongkar muat tersebut. Sebagai persiapan agar pelabuhan-pelabuhan di Bontang mampu melayani arus

bongkar muat khususnya kargo pada tahun 2035 nanti. PT. Badak sendiri menggunakan kapal multipurpose 6.800 DWT dengan bantuan truk multiwheel mammoth untuk pendistribusian kargo ke kilang minyak.

Dalam perencanaan dermaga multipurpose ini, hanya merencanakan satu dermaga dan trestle saja. Direncanakan dengan menggunakan struktur dermaga berbentuk jetty dengan metode *precast*.

1.2 Perumusan Masalah

Adapun perumusan masalah dalam perencanaan dermaga multipurpose untuk kapal general cargo 6.800 DWT di Teluk Sekangat, Bontang, Kalimantan Timur adalah :

1. Dibutuhkannya penambahan dermaga baru akibat pengembangan produksi gas LNG, diperlukan alat-alat khusus seperti mobile harbour crane dan multiwheel mammoth yang harus didatangkan dari luar negeri
2. Tanah di sekitar lokasi terdiri dari coral dan sandy silt, bagaimana merencanakan persiapan dan pelaksanaan pekerjaan dermaga pada jenis tanah tersebut
3. Untuk penambatan dermaga diperlukan bollard, pada perencanaan awal sisi selatan dermaga terdapat dua mooring post, pengevaluasian desain dermaga berkaitan hal ini diperlukan untuk mencari struktur yang lebih efisien dan murah

1.3 Tujuan Perencanaan

Mendapatkan perencanaan detail struktur jetty dan trestle yang mampu menopang alat-alat berat untuk kepentingan LNG

1. Mendapatkan desain jetty sesuai alat dan kendaran khusus yang digunakan.
2. Mendapatkan perencanaan dermaga dan trestle pada tanah *coral* dan *sandy silt* yang stabil dan sesuai masa layan.
3. Mendapatkan rencana anggaran biaya untuk pembangunan jetty 2.

1.4 Lingkup Bahasan

1. Analisis data
    a. Data bathymetry
    b. Data arus
    c. Data pasang surut
    d. Data angin
    e. Data tanah
    f. Data kapal
    g. Data alat
2. Evaluasi layout
    a. Layout perairan
    b. Layout dermaga dan trestle
3. Kriteria desain
    a. Standar dan acuan
    b. Material
    c. Pembebanan
    d. Fender dan bollard
4. Perencanaan struktur
    a. Perhitungan struktur atas
    b. Perhitungan struktur bawah
5. Perencanaan struktur precast
6. Metode pelaksanaan konstruksi
7. Rencana anggaran biaya
    a. Harga material dan upah
    b. Analisis harga satuan
    c. Volume pekerjaan
    d. Rencana anggaran biaya
8. Desain gambar dermaga

1.5 Batasan Masalah

1. Tidak menganalisis gelombang
2. Tidak merencanakan *causeway*
3. Tidak merencanakan pengerukan
4. Tidak merencanakan warehouse dan container yard

1.6 Manfaat

1. Sebagai pengaplikasian ilmu dari mahasiswa, khususnya tentang perencanaan dermaga tipe jetty dengan metode *precast*.
2. Sebagai referensi untuk mahasiswa, instansi, dan pihak lainnya yang berencana melakukan pengembangan dermaga serupa.

1.7 Lokasi Perencanaan

Lokasi perencanaan dermaga multipurpose jetty di Teluk Sekangat, Bontang dan bekoordinat di 0°04'21.2"N 117°28'40.2"E dapat dilihat pada Gambar 1.1 dan Gambar 1.2

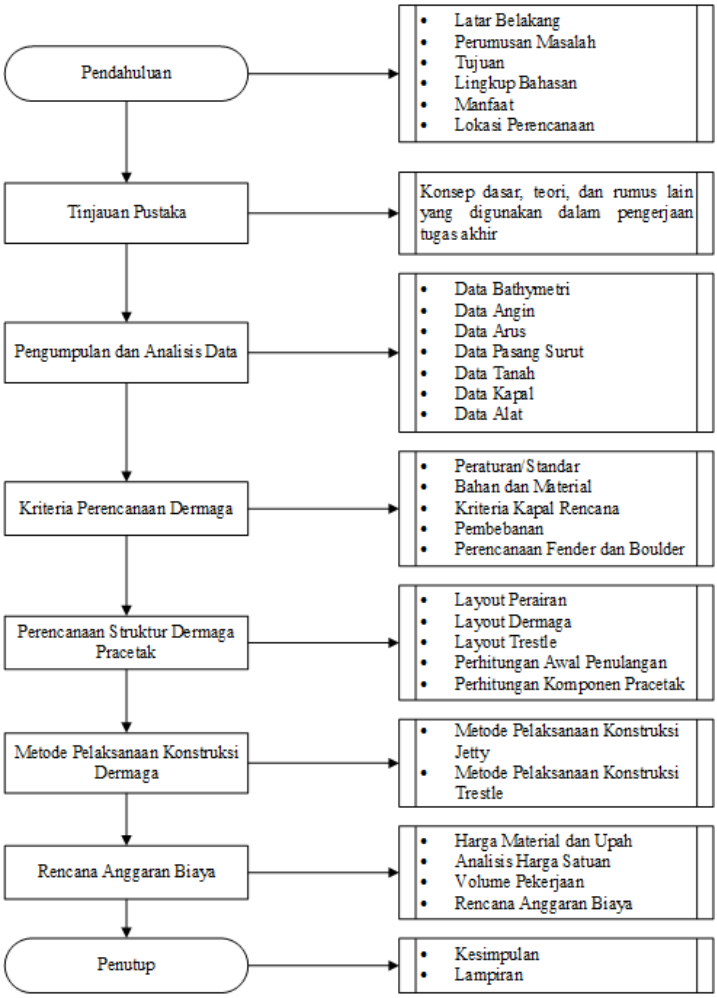
Gambar 1.1 Teluk Sekangat,Bontang. Skala 1:2.000.000
(sumber: Google Maps, 2015)

Gambar 1.2 Lokasi Jetty 2. Skala 1:50.000
(sumber: Google Maps, 2015)

1.8 Metodologi

1.8.1 Bagan Alur Penyelesaian Tugas Akhir

Langkah-langkah perencanaan dermaga kargo multipurpose di terminal khusus PT. Badak, Bontang dapat dilihat pada Gambar 1.3



Gambar 1.3 Bagan Alur Penyelesaian Tugas Akhir

1.8.2 Langkah Penyelesaian Tugas Akhir

Adapun keterangan dari bagan metodologi di atas adalah sebagai berikut:

A. Pendahuluan

Mempelajari latar belakang, permasalahan, tujuan, lingkup bahasan, manfaat dan lokasi proyek.

B. Tinjauan Pustaka

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

C. Pengumpulan Data dan Analisa

Data yang digunakan untuk perencanaan adalah data sekunder yaitu :

- Data Hidrooseanografi
  - Data pasang surut
  - Data arus
  - Data angin
  - Data bathymetry
- Data tanah

Analisis data meliputi :

- Analisis data pasang surut
- Analisis data arus
- Analisis data tanah
- Analisis data kapal

D. Kriteria Desain

Terdiri dari acuan atau standar yang digunakan, data kapal, data alat, pembebanan, tipe fender dan tipe bollard yang akan digunakan dalam perencanaan.

E. Perencanaan Struktur Jetty

1. Evaluasi Layout Perairan

Evaluasi Layout perairan ini memperhatikan kedalaman perairan. Kedalaman perairan pada prinsipnya harus lebih dalam dari draft penuh kapal terbesar. Ukuran kapal sangat menentukan kedalaman perairan yang memperhatikan draft kapal. Karena dari draft kapal penuh tersebut dapat diketahui kebutuhan alur masuk kapal, kolam putar, kolam dermaga, dan kedalaman perairan.

2. Evaluasi Layout Dermaga

   a. Panjang Dermaga
      Dalam perhitungan kebutuhan panjang dermaga digunakan kapal rencana sesuai dengan fungsi dermaga dimana memeperhatikan data kapal, yaitu jenis kapal dan jumlah kapal yang bertambat pada dermaga rencana.

   b. 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.

   c. Elevasi Dermaga
      Elevasi dermaga dihitung pada saat air pasang dengan perumusan :
      El = beda pasang surut + (1 m s.d. 2 m)

3. Kriteria Perencanaan Dermaga
   Kriteria desain dalam perencanaan dermaga meliputi :

   a. Peraturan yang digunakan
   b. Kualitas bahan dan material
   c. Kriteria kapal rencana
      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.

   d. 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 horisontal meliputi: gaya fender, gaya bollard, gaya arus, tekanan angin dan beban gempa.

e. Layout pembalokan
f. Perencanaan fender dan bollard
   Perhitungan gaya tekan yang bekerja pada fender dan gaya tarik pada bollard untuk mendapatkan dimensi dan tipe fender maupun bollard beserta penulangannya.

4. Perhitungan Struktur Dermaga Pracetak
   Perencanaan konstruksi dermaga meliputi :

   a. Perhitungan awal

      i. Desain awal konstruksi
         Desain awal konstruksi adalah berupa desain dimensi masing-masing bagian struktur yaitu pelat, balok, poer dan tiang pancang.

      ii. Analisis struktur
         Analisis struktur bertujuan untuk mendapatkan output gaya dalam berupa gaya aksial, geser, dan momen. Analisis struktur dicari dengan dengan menggunakan *software* SAP 2000 dan peraturan PBI'71.

      iii. Perencanaan penulangan
         Perencanaan penulangan menggunakan metode elastis cara 'n' dalam PBI'71 untuk penulangan pelat, balok dan poer. Prinsip kerusakan dalam metode elastis ini adalah tulangan diharapkan akan leleh lebih dahulu sebelum beton retak, sehingga melindungi struktur dari karat akibat retak.

      iv. Perencanaan substruktur
         Struktur dermaga yang akan direncanakan adalah dermaga open pier dan memakai tiang pancang sebagai pendukungnya. Langkah - langkah untuk perencanaan tiang pancang adalah sebagai berikut:
         - Menentukan tipe material tiang pancang, yaitu memakai tiang pancang baja atau tiang pancang beton

- Menghitung daya dukung tiang pancang dengan metode Luciano Decourt
- Menentukan tinggi daerah jepit tiang (Zf)
- Mengontrol kekuatan bahan yaitu membandingkan besarnya tegangan yang terjadi akibat beban luar harus lebih kecil dari pada tegangan ijin bahan
- Mengontrol kekuatan tiang saat berdiri sendiri terhadap gelombang, dimana frekuensi tiang harus lebih besar dari pada frekuensi gelombang yang terjadi
- Menghitung daya dukung tiang pancang dengan sistem kalendering

b. Perhitungan pracetak
Setelah mengetahui gaya dan dilakukan perhitungan penulangan, direncanakan dan dikontrol dimensi struktur balok pracetak terhadap pengangkatan.

F. Metode Pelaksanaan Konstruksi

Dari sekian banyak bidang yang harus diselesaikan, perlu juga direncanakan mengenai metode pelaksanaan yang akan digunakan. Adapun metode-metode yang direncanakan adalah metode pelaksanaan struktur dermaga adalah sebagai berikut:

1. Pekerjaan persiapan
Persiapan meliputi pembersihan lahan, pembuatan pagar pembatas, pembangunan direksi kit, kontraktor kit, pembangunan los kerja, penyediaan penerangan di daerah kerja, penyediaan batching plant, mendirikan pos penjagaan dan pendatangan alat berat.

2. Pembangunan dermaga dan trestle
Berikut adalah tahap-tahap dalam pembangunan dermaga:

a. Pemancangan tiang pondasi
b. Fabrikasi komponen pracetak

c. Pemasangan komponen pracetak
d. Pemasangan fender
e. Pemasangan bollard

G. Rencana Anggaran Biaya

Analisa ini dilakukan sesuai dengan standar dan kebutuhan yang ada. Hal ini terutama perlu memperhatikan adanya pengaruh inflasi dan faktor risiko. Tahapan dari analisa ini yaitu :

1. Harga material dan upah
2. Perhitungan volume pekerjaan
3. Analisa harga satuan
4. Perhitungan rencana anggaran biaya

H. Kesimpulan Hasil Rencana

Menampilkan kesimpulan dari hasil perencanaan struktur dermaga tipe jetty, perencanaan tebal perkerasan lapangan penumpukan beserta plan profile-nya, penentuan metode pelaksanaan, dan perhitungan rencana anggaran biaya dalam pelaksaan tugas akhir ini.

1.8.3 Timeline Pengerjaan Tugas Akhir

Tabel 1.1 Bagan Alur Penyelesaian Tugas Akhir

No.	NAMA PEKERJAAN	JAN				FEB				MAR				APR				MEI				JUN				JUL				AGU				SEP				OKT				NOV				DES		
		2	3	4	1	2	3	4	1	2	3	4	1	2	3	4	1	2	3	4	1	2	3	4	1	2	3	4	1	2	3	4	1	2	3	4	1	2	3	4	1	2	3	4	1	2	3
1	Pendahuluan																																														
2	Tinjauan Pustaka																																														
3	Pengumpulan dan Analisa Data																																														
4	Kriteria Desain																																														
5	Perencanaan Struktur Dermaga																																														
6	Metode Pelaksanaan Konstruksi																																														
7	Rencana Anggaran Biaya																																														
8	Kesimpulan																																														
9	Gambar Detail Perencanaan																																														
10	Pengumpulan																																														
	Rencana																																														
	Aktualisasi																																														

BAB II
TINJAUAN PUSTAKA

2.1 Data dan Analisis

2.1.1 Peta Bathymetri

Peta bathymetri menunjukkan kontur kedalaman dasar laut diukur dari posisi ±0.00 m LWS. Dengan referensi LWS peta akan selalu menunjukkan kedalaman air minimum sehingga pembaca peta dapat mencari kedalaman perairan yang aman. Alat ukur positioning digunakan oleh surveyor pada adalah GPS (*Geographic Positioning System*) maupun *Microwave*. Sedang alat ukur kedalaman digunakan *Echo Sounder* dan *Transducer*.

Kegunaan bathymetri sendiri bisa untuk menentukan kedalaman akan jalur kapal dan basin sehingga lancar bernavigasi dan tidak oleng saat penjangkaran. Kegunaan bathymetry pada garis pantai untuk menentukan lokasi jetty yang pas seperti bentuk jetty dan kedalaman di sekitar jetty untuk tempat bertambat kapal.

Data bathymetry di teluk Sekangat didapat dari LPPM ITS sebagai konsultan pelaksana pembangunan dermaga.

2.1.2 Data Arus

Arus terjadi oleh beberapa sebab meliputi adanya perbedaan muka dasar tanah dibawah air, perbedaan level permukaan air, perbedaan kerapatan/ densitas air, dan perbedaan suhu air menghasilkan jenis arus pasang surut (*tidal currents*), arus pantai (*coastal currents*), arus permukaan lautan (*surface ocean currents*), dan arus putaran global (*global conveyor belt*).

Kegunaan data arus pada perencanaan pelabuhan untuk :

- Menghindari pengaruh tekanan arus berarah tegak lurus kapal, agar dapat bermanuver dengan cepat dan mudah, kecepatan arus maksimum = 3 knot.
- Evaluasi stabilitas garis atau morfologi pantai (erosi atau sedimentasi), untuk sungai, digunakan menghitung debit air, intrusi air laut, sedimentasi.

- Mendapatkan gaya yang terjadi sejajar atau tegak lurus kapal akibat arus

Pada umumnya yang dibutuhkan adalah mengetahui frekuensi arah dan kecepatan arus terhadap pola aliran pasang surut. Untuk itu data diolah dan ditampilkan bersama data pasang surut.

Data arus di Teluk Sekangat didapat dari LPPM ITS sebagai konsultan pelaksana pembangunan dermaga.

2.1.3 Data Pasang Surut

Pasang surut terjadi akibat pengaruh gaya tarik matahari terhadap bumi dan terhadap bulan, sedang pengaruh bintang serta benda angkasa lain relatif kecil. Spring tide merupakan rangkaian perubahan muka air pasang surut dengan perbedaan antara elevasi pasang dan surut relatif tinggi. *Neap tide* menghasilkan perbedaan antara elevasi pasang dan surut relatif rendah dan dengan rangkaian lama kejadian baik *neap tide* maupun *spring tide* sekitar 4 sampai 6 hari. Siklus perputaran bulan mengelilingi bumi terjadi selama sekitar 30 hari tetapi siklus *spring tide* dan *neap tide* terjadi setiap 15 hari sekali. Siklus pasang surut ini membentuk pola yang disebut tipe pasang surut yaitu :

- Pasang harian tunggal (diurnal) bila terjadi 1 kali pasang dan surut dalam sehari sehingga dalam satu periode berlangsung sekitar 12 jam 50 menit.
- Pasang harian ganda (semi diurnal) bila terjadi 2 kali pasang dan 2 kali surut dalam sehari.
- Pasang surut campuran (mixed) : baik dengan didominasi semi diurnal maupun diurnal.

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.

Komponen penting yang perlu diketahui sebagai hasil analisis data pasang surut adalah:

- LWS = Low Water Spring = merupakan hasil perhitungan level muka air rata-rata terendah (surut), sering disebut juga MLWS (mean low water spring).
- MSL = Mean Sea Level = adalah elevasi rata-rata muka air pada kedudukan pertengahan antara muka air terendah dan tertinggi.
- HWS = High Water Spring = adalah elevasi rata-rata muka air tertinggi (pasang), disebut juga MHWS (mean high water spring).

Dalam perencanaan pelabuhan data pasang surut digunakan untuk mengatahui elevasi tertinggi dan terendah. Pada umumnya elevasi tertinggi atau elevasi muka air pasang digunakan untuk menentukan tinggi dermaga atau breakwater. Sedangkan nilai elevasi terendah atau surut digunakan untuk menentukan alur kedalaman dalam pelayaran.

2.1.4 Data Angin

Data angin pada umumnya dipilah berdasarkan statistik distribusi kecepatan dan arah angin serta prosentasenya, atau lebih dikenal dengan istilah *wind rose* (dengan periode bulanan, tahunan atau beberapa tahun pencatatan). Dengan diagram *wind rose* ini maka karakteristik angin dapat dibaca dengan tepat dan cepat. Data angin ini, nantinya dipakai untuk mengetahui distribusi arah dan kecepatan angin tepat di rencana lokasi pelabuhan atau di wilayah survei.

Informasi mengenai kecepatan dan arah angin sangat diperlukan dalam mempelajari proses pantai karena:

1. Gelombang laut terbentuk oleh angin, dimana gelombang laut ini nantinya dapat menyebabkan erosi dan sedimentasi.
2. Sudut gelombang datang yang dibentuk oleh gelombang yang terbentuk oleh angin terhadap garis pantai akan menyebabkan terjadinya arus sejajar dan tegak lurus pantai yang merupakan parameter penting dalam perhitungan transport sedimen di sepanjang pantai dan juga fenomena perubahan garis pantai.

Data angin digunakan untuk mencari gaya angin pada kapal yang berpengaruh dalam perencanaan fender dan struktur atas dermaga lainnya. Dalam tugas akhir ini, didapat kecepatan angin dominan tertinggi pada musim barat laut (Desember-Januari-Februari) yaitu berkisar 2-4 m/s dengan arah timur laut(30^o terhadap lintang utara) sehingga kejadian gelombang sangat kecil, kurang dari 0,3 m dan tidak memerlukan analisa data gelombang dikarenakan fetch angin hanya 2 km.

2.1.5 Data Tanah

Dalam perencanaan dermaga, survei data tanah digunakan untuk mengetahui kondisi tanah yang akan digunakan untuk perencanaan struktur bawah dermaga. Data tanah ini dapat diperoleh dengan melakukan pengeboran dengan mesin bor di beberapa titik yang ditinjau. Bor harus dilindungi oleh casing agar tanah sekitar tidak runtuh. Selain itu dilakukan uji SPT ,dimana dalam uji SPT ini didapatkan nilai N SPT guna mengetahui lapisan-lapisan tanahnya.

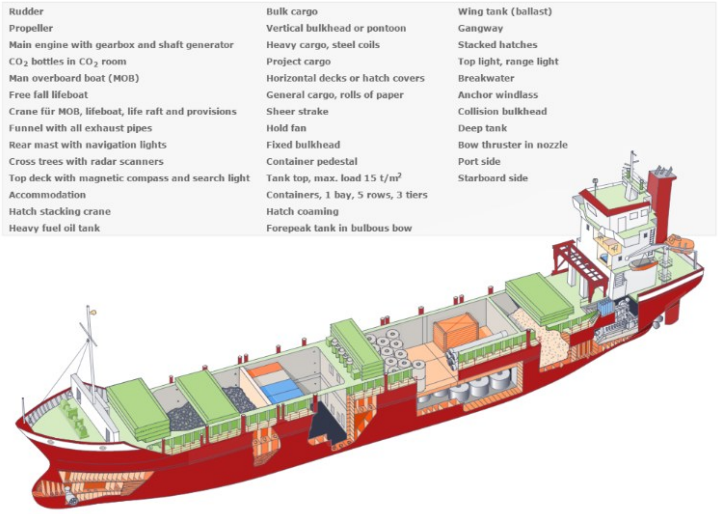
Prosedur yang dilakukan untuk mendapatkan nilai SPT tanah adalah sebagai berikut:

1. Memasukkan pengambil sampel tanah atau *standard split spoon sampler* ke bagian bawah bor. Kedalaman 152 mm pertama untuk memuat *driving shoe* pada tanah tak terganggu.
2. Menghitung jumlah pukulan (N) untuk setiap kelipatan kedalaman 305 mm.
3. Menggunakan beban 63,5 kg yang dijatuh bebaskan pada ketinggian 760 mm untuk mendorong *standard split spoon sampler* ke dalam tanah.

2.1.6 Data Kapal

Data kapal didapat dari LPPM ITS, sesuai kebutuhan ukuran kapal dari PT. Badak NGL. Pada umumnya data kapal yang digunakan adalah bobot kapal, panjang kapal (LOA), lebar kapal dan draft/sarat penuh kapal. Dimensi untuk kapal *multipurpose* adalah sebagai berikut:

Kapasitas = 6.800 DWT
LOA = 110 m
Breadth = 16 m
Draught = 5 m



Gambar 2.1 *Multipurpose Vessel Characteristics*

2.1.7 Data Alat

Tujuan penggunaan alat seperti crane pada pelabuhan adalah untuk mengutangi beban pekerja dan mempercepat dan menjamin keamanan tergantung dari kapal yang akan dilayani dan spesifikasi alat itu sendiri.

Luas area harus ditentukan dan posisi alat harus ditempatkan pada lokasi yang tepat agar tidak mengganggu aktifitas lainnya.

Dalam perencanaan pelabuhan data alat digunakan untuk mengetahui pembebanan yang membebani struktur dermaga yang direncanakan. Khusus perencanaan jetty membutuhkan *mobile crane harbour* untuk unloading muatan dan truk *multiwheel mammoth* untuk transportasi kargo ke kilang minyak.

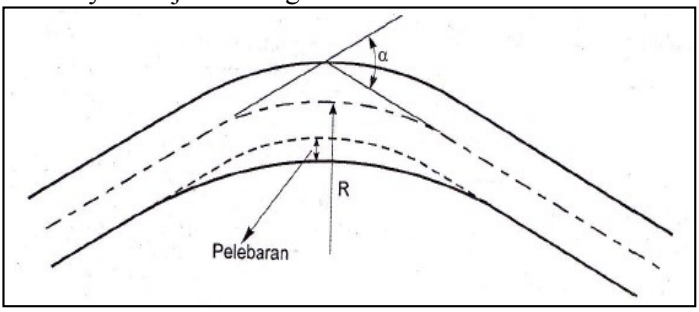
2.2 Perencanaan Layout

Dalam perencanaan lay out ini bertujuan agar layout sesuai dengan standar yang ada. Perencanaan layout dibagi menjadi 2 yaitu perencanaan layout perairan dan perencanaan layout dermaga. Perencanaan layout perairan meliputi perencanaan alinyemen jalur navigasi, perencanaan area penjangkaran (*anchorage area*), alur masuk, kolam putar (*turning basin*) dan kolam dermaga (*basin*), perencanan layout dermaga, dan perencanaan layout trestle berupa serta masing-masing elevasi yang dibutuhkan.

2.2.1 Perencanaan Layout Perairan

A. Jalur Navigasi

1. Alinyemen jalur navigasi



Gambar 2.2 Pembelokan Jalur Navigasi

Sudut yang dibentuk pada belokan jalur navigasi tidak boleh melebihi 30^o atau boleh melewati 30^o asal dimodifikasi dengan menambahkan arc yang radiusnya = 4LOA.
$R \geq 3LOA$ untuk $\alpha < 25°$
$R \geq 5LOA$ untuk $25° < \alpha < 35°$
$R \geq 10LOA$ untuk $\alpha > 35°$
Untuk perencanaan akan digunakan $R \geq 3LOA$ untuk $\alpha < 25°$ karena teluk Sekangat yang cenderung lurus.

2. Lebar jalur

Kapal Perumusan untuk kebutuhan panjang alur masuk dapat dilihat dalam Keputusan Menteri Perhubungan KM 54 tahun 2002 seperti dibawah ini :

A = W.L
W = 5B + 30 m (*one-way traffic*)
W = 9B + 30 m (*two-way traffic*)

Dimana :

A = Luas area alur (m^2)
W = Lebar alur (m)
L = Panjang alur pemandu & penundaan di dalam DLKR (m)
B = Lebar kapal maksimum (m)

3. Kedalaman alur

Perairan di teluk Sekangat merupakan perairan tenang dan untuk menentukan kedalaman jalur mengacu ke Keputusan Menteri Perhubungan KM 54 tahun 2002 seperti dibawah ini:

Tabel 2.1 Kedalaman Jalur Minimum

Keterangan	Kedalaman perairan
Perairan tenang	1.15 draft kapal
Perairan terbuka bergelombang	1.2 draft kapal
Perairan sekitar pintu masuk dengan gelombang tinggi	1.5 draft kapal

(sumber: Keputusan Menteri Perhubungan no 54, 2002)

4. Panjang jalur

Perumusan untuk kebutuhan panjang jalur dapat dilihat dalam Keputusan Menteri Perhubungan KM 54 tahun 2002 seperti dibawah ini :

Tabel 2.2 Panjang Jalur Rekomendasi

Keterangan	Panjang jalur
±10.000 DWT, 16 knots	7×LOA
±200.000 DWT, 16 knots	18×LOA
±10.000 DWT, 5 knots	1×LOA
±200.000 DWT, 5 knots	3×LOA
Kapal ballast/kosong	3×LOA

(sumber: Keputusan Menteri Perhubungan no. 54, 2002)

B. Basin

Dalam merencanakan dan mendesain *basin*, setiap pertimbangan harus diperhitungkan untuk menjamin keamanan pengangkuran, kemudahan manuver kapal, efisiensi bongkar muat, serta kondisi cuaca dan laut.

1. Kolam dermaga

   Kolam dermaga yang berada di depan dermaga perlu ditentukan apabila kedalaman perairan perlu dikeruk dan untuk menentukan jarak antar dermaga yang saling berhadapan. Secara keseluruhan kolam ukuran kolam sebagai berikut:

   Panjang = 1,25×LOA (dibantu dengan tugboat)
   = 1,50×LOA (tanpa dibantu tugboat)
   Lebar = 4×B+50 m (1 demaga berhadapan)
   = 2×B+50 m (>1 dermaga berhadapan)
   = 1,25×B (dermaga bebas)

   Kapal bertambat dibantu dengan tugboat serta terdapat jetty 1 di sisi utara jetty 2 yang sedang direncanakan.

2. Luas pengangkuran

   Kapal multipurpose memiliki 2 angkur dan kondisi di teluk Sekangat relatif baik.

Tabel 2.3 Luas Area Pengangkuran

Metode pengangkuran	Material permukaan laut atau kecepatan angin	Radius
1 angkur (swinging)	Pengangkuran baik	L+6D
	Pengangkuran jelek	L+6D+30 m
2 angkur	Pengangkuran baik	L+4,5D
	Pengangkuran jelek	L+4,5D+25 m

(sumber: Technical Standard for Port and Harbour Facilities in Japan, 2002)

3. Kolam putar
   Kapal dibantu tugboat dalam proses navigasi ke dermaga.

Tabel 2.4 Diameter Kolam Putar

Keterangan	Diameter Kolam Putar
Dengan panduan tugboat	2L
Tanpa panduan tugboat	3L

(sumber: Technical Standard for Port and Harbour Facilities in Japan, 2002)

4. Tinggi gelombang ijin
   Kapal multipurpose 6.800 DWT sendiri berada pada golongan kapal sedang dan besar

Tabel 2.5 Tinggi Gelombang Ijin Maksimum

Ukuran Kapal	Tinggi Maksimum Ijin ($H_{\frac{1}{3}}$)
Kecil (<500 GRT)	0,3 m
Sedang dan besar (500-500.000 GRT)	0,5 m
Sangat besar (<500.000 GRT)	0,7-1,5 m

(sumber: *Technical Standard for Port and Harbour Facilities in Japan*, 2002)

2.2.2 Perencanaan Layout Dermaga

1. Panjang dan Kedalaman Dermaga
   Berdasarkan peraturan OCDI, panjang dan kedalaman dermaga dapat dicari dengan Tabel 2.6 di bawah ini:

Tabel 2.6 Panjang dan Kedalaman Minimum Dermaga

Deadweight Tons (DWT)	Panjang Dermaga	Kedalaman Dermaga
1.000	80 m	4,5 m
2.000	100	5,5
3.000	110	6,5
5.000	130	7.5
10.000	160	9,0
12.000	170	10,0
18.000	190	11,0
30.000	240	12,0
40.000	260	13,0
55.000	280	14,0
70.000	300	15,0
90.000	320	16,0
100.000	330	17,0
150.000	370	19,0

(sumber: *Technical Standard for Port and Harbour Facilities in Japan*, 2002)

2. Lebar dermaga
   Lebar dermaga disesuaikan dengan ruang operasional bongkar muat. Lebar apron antara 15-50 m (lihat Tabel 2.7).

Tabel 2.7 Lebar Apron

Kedalaman Dermaga	Lebar Apron
<4,5 m	10 m
4,5-7,5 m	15 m
>7,5 m	20 m

(sumber: *Technical Standard for Port and Harbour Facilities in Japan*, 2002)

Kedalaman dermaga setelah dikeruk adalah lebih dari 7,5 m

3. Elevasi tambahan dermaga
   Karena pengaruh pasang surut, diperlukan elevasi tambahan lebih tinggi dari elevasi muka air tertinggi (HWS) agar menjamin kelancaran kapal bertambat dengan acuan Tabel 2.8.

Tabel 2.8 Elevasi tambahan dermaga

	Selisih pasang naik-pasang surut lebih dari 3 m	Selisih pasang naik-pasang surut kurang dari 3 m
Fasilitas tambatan untuk kapal besar (kedalaman ≥ 4,5 m)	+ 0,5~1,5 m	+ 1,0~2,0 m
Fasilitas tambatan untuk kapal kecil (kedalaman < 4,5 m)	+ 0,3~1,0 m	+ 0,5~1,5 m

(sumber: *Technical Standard for Port and Harbour Facilities in Japan*, 2002)

Dengan kedalaman lebih dari 4,5 m dan selisih pasang surut kurang dari 3 m

2.3 Pembebanan Dermaga

2.3.1 Beban Vertikal

Beban vertikal dermaga terdiri dari:

A. Beban mati

Beban mati adalah berat sendiri konstruksi yang secara permanen membebani selama hidup konstruksi. Komponen tersebut seperti perkerasan, fender, bollard, pile cap, balok, deck dan fasilitas-fasilitas lainnya

B. Beban hidup

1. Beban hidup merata

Beban hidup merata terjadi akibat muatan yang dianggap merata di atas apron, beban hidup dermaga multipurpose ≥50 kN/m^3(lihat Tabel 2.9), apabila gempa terjadi, beban hidup merata dapat diasumsikan bernilai ½ dari beban orisinil.

Tabel 2.9 Beban Hidup pada Dermaga

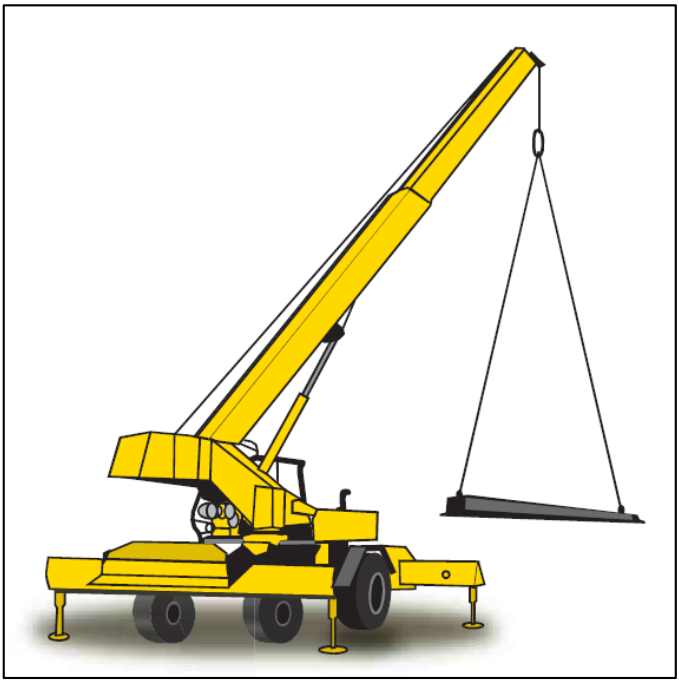
Type of traffic and cargo	Loading: kN/m^2
General loading	
Light traffic or small cars	≥5
Heavy traffic or trucks	≥10
General cargo	≥20
Palletised general cargo	20–30
Multi-purpose facility	≥50
Offshore feeder bases	50–200
Heavy vehicles, heavy crane, crawler crane, etc., that operate from the berth front and 3 m inboard	≥60
Heavy vehicles, heavy crane, crawler crane, etc., that operate from 3 m behind the berth front and further inwards	40–100
Container loading:	
Empty and stacked four high	15
Full and stacked two high	35
Full and stacked four high	55
General ro/ro loads	30–50
Special berths	
Oil jetties	≥20
Fish industry	≥15
Timber berths	30

(sumber: *Port Designer Handbook*, Thoressen)

2. Beban hidup terpusat

Beban hidup terpusat yang terjadi merupakan akibat beban alat dan kendaran yang digunakan di atas dermaga tersebut dan harus diposisikan sedemikian rupa sehingga menghasilkan pembebanan yang paling kritis.

a. Mobile Harbour Crane



Gambar 2.3 Mobile Harbour Crane

$$W = \frac{W_T}{M}$$

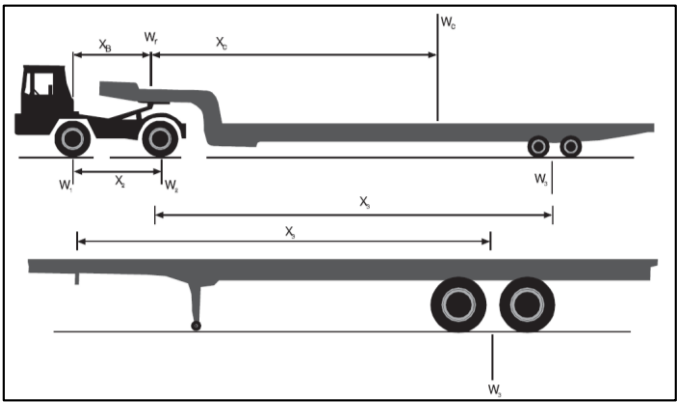
Dimana:

W = berat roda MHC

W_T = berat sendiri MHC

M = jumlah roda MHC

b. Multiwheel Mammoth



Gambar 2.4 Truk dan Trailer

$$W_1 = [1 + f_d] \times \left[U_1 + \frac{W_c[1-A]\times[1-B]}{M_1}\right]$$

$$W_2 = [1 + f_d] \times \left[U_2 + \frac{W_c[1-A]\times B}{M_2}\right]$$

$$W_3 = [1 + f_d] \times \left[U_3 + \frac{W_c \times A}{M_3}\right]$$

$$A = \frac{X_c}{X_3}$$

$$B = \frac{X_b}{X_2}$$

Dimana:

W_1 = berat roda depan truk
W_2 = berat roda belakang truk
W_3 = berat roda trailer
W_c = berat kontainer
M_1 = jumlah roda depan truk
M_2 = jumlah roda belakang truk
M_3 = jumlah roda trailer
U_1 = berat roda depan truk (kosong)

U_2 = berat roda belakang truk (kosong)
U_3 = berat roda trailer (kosong)
f_d = faktor dinamis

Tabel 2.10 Faktor Dinamis Alat/Kendaraan

Condition	Plant Type	fd
Braking	Reach Stacker/Front Lift Truck	±30%
	Straddle Carrier	±50%
	Side Lift Truck	±20%
	Tractor and Trailer	±10%
	Rubber Tyred Gantry Crane (RTG)*	±10%
Cornering	Reach Stacker/Front Lift Truck	40%
	Straddle Carrier	60%
	Side Lift Truck	30%
	Tractor and Trailer	30%
	Rubber Tyred Gantry Crane (RTG)*	zero
Acceleration	Reach Stacker/Front Lift Truck	10%
	Straddle Carrier	10%
	Side Lift Truck	10%
	Tractor and Trailer	10%
	Rubber Tyred Gantry Crane (RTG)*	±5%
Uneven Surface	Reach Stacker/Front Lift Truck	20%
	Straddle Carrier	20%
	Side Lift Truck	20%
	Tractor and Trailer	20%
	Rubber Tyred Gantry Crane (RTG)*	±10%

(sumber: *the Structural Design of Heavy Duty Pavements for Ports and Other Industries*, John Knapton, 1989)

2.3.2 Beban Horizontal

A. Energi tambatan kapal

Energi akibat kapal menambat pada dermaga akan direduksi oleh fender sebelum menjadi gaya horizontal yang menekan struktur dermaga. Energi tambatan kapal dapat dihitung dengan rumus sebagai berikut:

$$E_f = \left(\frac{M_s.V^2}{2}\right).C_e.C_m.C_s.C_c/g \text{ [ton-m]}$$

Dimana:

Ef = Energi tambatan kapal (ton.m)
Ms = masa kapal (Displacement Tonnage) (ton)
V = kecepatan menambat kapal (m/s)
Ce = faktor eksentrisitas
Cm = faktor masa virtual
Cs = faktor kelunakan
Cc = faktor konfigurasi tambatan
G = gravitasi [9,8m/s^2]

Tabel 2.11 Konversi Deadweight Tonnage atau Gross Tonnage ke Displacement Tonnage

Type of Vessel	DWT or GT to DT
Cargo ships (< 10.000 DWT)	log(DT)=0.550+0.899 log(DWT)
Cargo ships (≥ 10.000 DWT)	log (DT) =0.511+0.913 log (DWT)
Container ships	log (DT) =0.365+0.953 log (DWT)
Ferries (long distance)	log (DT) =1.388+0.683 log (GT)
Ferries (short-medium distance)	log (DT) =0.506+0.904 log (GT)
Roll-on/roll-of vessels	log (DT) =0.657+0.909 log (DWT)
Passenger ships (Japanese)	log (DT) =0.026+0.981 log (GT)
Passenger ships (foreign)	log (DT) =0.341+0.891 log (GT)

Oil carriers	log (DT) =1.915+0.588 log (GT)
Oil tankers	log (DT) =0.332+0.956 log (DWT)

(sumber: *Technical Standard for Port and Harbour Facilities in Japan*, 2002)

Tabel 2.12 Kecepatan Menampat Kapal

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

(sumber: *PIANC*, 2002)

Dimana :

a = kondisi kapal mudah bertambat dan pelabuhan terlindung

b = kondisi kapal sulit bertambat dan pelabuhan terlindung

c = kondisi kapal mudah bertambat dan pelabuhan tidak terlindung

d = kondisi kapal cukup mudah bertambat dan pelabuhan tidak terlindung

e = kondisi kapal sulit bertambat dan pelabuhan tidak terlindung

- Faktor Eksentrisitas (Ce)
  Merupakan koefisien perbandingan antara energy yang tersisa akibat merapatnya kapal terhadap energy kapal saat merapat

$$C_e = \frac{1}{1 + \left(\frac{l}{r}\right)^2}$$

Dimana:
l = jarak anatara posisi kapal menyentuh fender ke center gravity kapal

$$l = \frac{1}{4} \text{LOA} \rightarrow \text{dermaga}$$

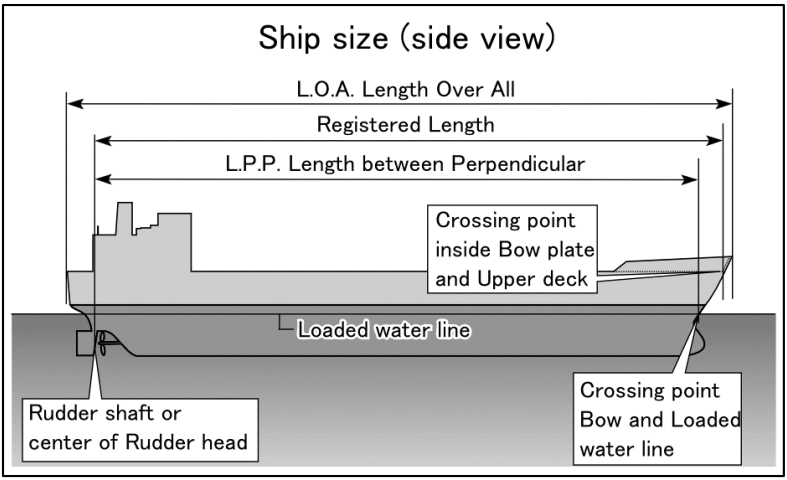
$$l = \frac{1}{6} \text{LOA} \rightarrow \text{dolphin}$$

r = radius girasi kapal
$r = (0{,}19C_b + 0{,}11)L_{pp}$

Tabel 2.13 Konversi DWT ke Lpp

Cargo ships (less than 10,000 *DWT*) :	$\log (L_{pp}) = 0.867 + 0.310 \log (DWT)$
Cargo ships (10,000 *DWT* or more) :	$\log (L_{pp}) = 0.964 + 0.285 \log (DWT)$
Container ships :	$\log (L_{pp}) = 0.516 + 0.401 \log (DWT)$
Ferries (long distance, 13,000 *GT* or less) :	$\log (L_{pp}) = \log (94.6 + 0.00596GT)$
Ferries (short-to-medium distance, 6,000 t or less) :	$\log (L_{pp}) = 0.613 + 0.401 \log (GT)$
Roll-on/roll-off vessels :	$\log (L_{pp}) = 0.840 + 0.349 \log (DWT)$
Passenger ships (Japanese) :	$\log (L_{pp}) = 0.679 + 0.359 \log (GT)$
Passenger ships (foreign) :	$\log (L_{pp}) = 0.787 + 0.330 \log (GT)$
Car carriers :	$\log (L_{pp}) = 1.046 + 0.280 \log (GT)$
Oil tankers :	$\log (L_{pp}) = 0.793 + 0.322 \log (DWT)$

(sumber: *Technical Standard for Port and Harbour Facilities in Japan*, 2002)



Gambar 2.5 Panjang Kapal

- Faktor Masa Virtual (Cm)
  Saat kapal bertambat(dengan massa Ms) dan air yang mengelilingi kapal (massa Ms) keduanya melambat

$$C_m = 1 + \frac{\pi}{2 \cdot C_b} \times \frac{d}{B}$$

$$C_b = \frac{\nabla}{L_{pp} \cdot B \cdot d}$$

Dimana :

Cb = koefisien block

∇ = volume kapal yang tenggelam (m^3)

$$\nabla = \frac{DT}{\rho_a}$$

DT = deadweight tonnage

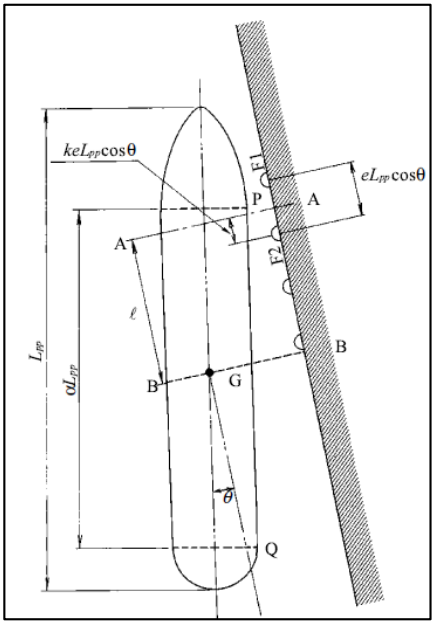
ρ_a = massa jenis air laut [1,03 t/m^3]

Lpp = panjang antar tegak lurus kapal (m)

B = lebar kapal (m)

d = draft (m)

- Faktor Kelunakan (Cs)
  Merupakan rasio dari energi setelah bertambat terhadap energi awal, biasanya diasumsikan tidak ada terjadi perubahan energi sehingga nilai Cs= 1
- Faktor Konfigurasi Tambatan (Cc)
  Merupakan koefisien konfigurasi struktur tambatan dalam rangka memperhitungkan adanya efek bantalan air. Efek ini timbul karena adanya massa air yan terjepit antara posisi kapal merapat dengan tambatan
  Cc = 0,8 untuk wharf
  Cc = 1 untuk jetty



Gambar 2.6 Posisi Kapal Bertambat

B. Gaya tarikan kapal

Energi tarikan kapal bekerja pada mooring post atau bollard pada dermaga. Gaya tarikan kapal dapat dicari dengan Tabel 2.14

Tabel 2.14 Gaya Tarik yang Bekerja pada Mooring Post dan Bollard

Gross tonnage (GT) Kapal (tons)	Gaya Tarik pada Mooring Post (kN)	Gaya Tarik pada Bollard (kN)
200<GT≤500	150	150
500<GT≤1,000	250	250
1,000<GT≤2,000	350	250
2,000<GT≤3,000	350	350
3,000<GT≤5,000	500	350
5,000<GT≤10,000	700	500
10,000<GT≤20,000	1,000	700
20,000<GT≤50,000	1,500	1,000
50,000<GT≤100,000	2,000	1,000

(sumber: *Technical Standard for Port and Harbour Facilities in Japan*, 2002)

Tabel 2.15 Konversi DWT ke GT

Jenis Kapal	Rumus DWT ke GT
Kapal Kargo	GT= 0,541DWT
Kapal Kontainer	GT= 0,880DWT
Kapal Tanker	GT= 0,553DWT
Kapal Ro-ro	GT= 0,808DWT

(sumber: *Technical Standard for Port and Harbour Facilities in Japan*, 2002)

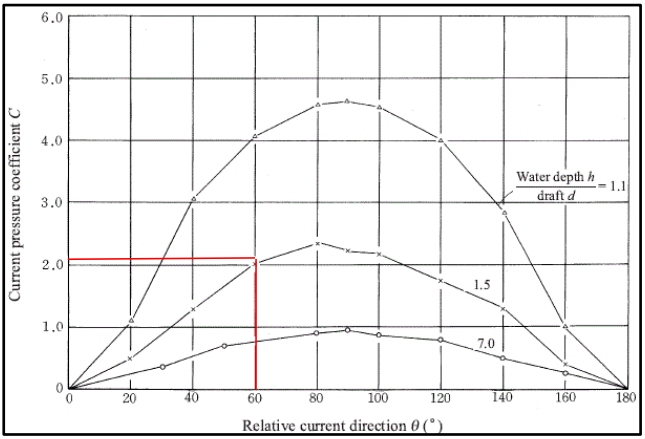
C. Gaya akibat arus

Tekanan akibat arus di sisi kapal yang tertambat:

$$P_c = \frac{C_c.\gamma_c.A_c.V_c^{\,2}}{2g}$$

Dimana :

γC = Berat jenis air laut (=1,03 t/m^3)
A_C = Luasan kapal di bawah permukaan air (m^2)
V_C = Kecepatan arus (m/dt)
C_C = Koefisien arus (Gambar 2.7)



Gambar 2.7 Koefisien Kuat Arus
(sumber: *Technical Standard for Port and Harbour Facilities in Japan*, 2002)

D. Gaya akibat angin

Gaya angin sangatlah kuat di laut jika dibandingkan kawasan padat penduduk di mana sering terjadi benturan atau tarikan kapal, gaya angin diperhitungkan untuk menentukan reaksi yang diterima oleh bollard.

Gaya angin pada sisi badan kapal yang ada di atas air dihitung dengan rumus :

$$R = \frac{1}{2} \cdot \rho_a \cdot U^2 \cdot A_L \cdot C$$

Dimana :

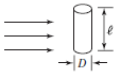
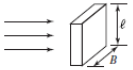
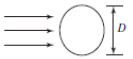
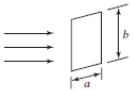
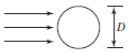
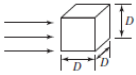
R = gaya angin pada kapal yang bertambat (kN)
ρ_a = massa jenis udara [1,23 x 10^{-3} t/m^3]
U = kecepatan angin (m^2)
A_L = LOA x freeboard (Tabel 2.16)
C = *drag coefficient* (Tabel 2.17)

Tabel 2.16 Freeboard Kapal

Length of ship (m)	Freeboard (mm)	Length of ship (m)	Freeboard (mm)	Length of ship (m)	Freeboard (mm)
24	200	55	503	86	996
25	208	56	516	87	1015
26	217	57	530	88	1034
27	225	58	544	89	1054
28	233	59	559	90	1075
29	242	60	573	91	1096
30	250	61	587	92	1116
31	258	62	601	93	1135
32	267	63	615	94	1154
33	275	64	629	95	1172
34	283	65	644	96	1190
35	292	66	659	97	1209
36	300	67	674	98	1229
37	308	68	689	99	1250
38	316	69	705	100	1271
39	325	70	721	101	1293
40	334	71	738	102	1315
41	344	72	754	103	1337
42	354	73	769	104	1359
43	364	74	784	105	1380
44	374	75	800	106	1401
45	385	76	816	107	1421
46	396	77	833	108	1440
47	408	78	850	109	1459
48	420	79	868	110	1479
49	432	80	887	111	1500
50	443	81	905	112	1521
51	455	82	923	113	1543
52	467	83	942	114	1565
53	478	84	960	115	1587
54	490	85	978	116	1609

(sumber: Singapore Statutes Online - 5 - Merchant Shipping (Load Line) Regulations, 2011)

Tabel 2.17 *Drag Coefficient*

Shape	Projected area	Drag coefficient
Circular cylinder (rough surface) 	$D\ell$	$1.0\ (\ell > D)$
Rectangular prism 	$B\ell$	$2.0\ (\ell > B)$
Circular disc 	$\frac{\pi}{4}D^2$	1.2
Flat plate 	$a\,b$	$a/b=1 \rightarrow 1.12$ $a/b=2 \rightarrow 1.15$ $a/b=4 \rightarrow 1.19$ $a/b=10 \rightarrow 1.29$ $a/b=18 \rightarrow 1.40$ $a/b=\infty \rightarrow 2.01$
Sphere 	$\frac{\pi}{4}D^2$	0.5～0.2
Cube 	D^2	1.3～1.6

(sumber : Technical Standard for Port and Harbour Facilities in Japan, 2002)

E. Gaya akibat gempa

Dengan Kota Bontang yang masuk zona 1 yang walaupun relative aman namun gaya gempa wajib untuk diperhitungkan, analisa gaya gempa dilakukan dengan menggunakan software SAP2000 dengan model analisa dinamis.

Berdasarkan SNI 1726-2012, berikut prosedur menentukan gaya gempa yang terjadi pada struktur:

1. Menentukan kelas situs

   Profil tanah di situs harus diklasifikasikan sesua dengan Tabel 2.18 berdasarkan tanah lapisan 30 m paling atas. Klasifikasi situs dapat ditentukan berdasarkan nilai N SPT

rata – rata. Nilai N rata – rata dapat dihitung dengan persamaan berikut:

$$\overline{N}=\frac{\sum_{i=1}^{n} d_i}{\sum_{i=1}^{n} \frac{d_i}{N_i}}$$

dimana:

d_i = tebal tiap lapisan

N_i = nilai N rata – rata tiap lapisan

i = 30 (sampai kedalaman 30 m)

$$\overline{N} = \frac{\sum_{i=1}^{n} d_i}{\sum_{i=1}^{n} \frac{d_i}{N_i}}$$

$$\overline{N} = \frac{30}{\frac{1}{8,3}+\frac{1}{8,6}\cdots\frac{1}{26,17}} = 15,1 \text{ (kelas situs SD)}$$

Tabel 2.18 Klasifikasi Situs

Kelas situs	$\overline{v}_s$ (m/detik)	$\overline{N}$ atau $\overline{N}_{ch}$	$\overline{s}_u$ (kPa)
SA (batuan keras)	>1500	N/A	N/A
SB (batuan)	750 sampai 1500	N/A	N/A
SC (tanah keras, sangat padat dan batuan lunak)	350 sampai 750	>50	≥100
SD (tanah sedang)	175 sampai 350	15sampai 50	50 sampai100
SE (tanah lunak)	< 175	<15	< 50
	Atau setiap profil tanah yang mengandung lebih dari 3 m tanah dengan karateristik sebagai berikut : 1. Indeks plastisitas, $PI > 20$, 2. Kadar air, $w \geq 40\,\%$, 3. Kuat geser niralir $\overline{s}_u < 25$ kPa		

(sumber: SNI 1726-2012)

2. Gaya gempa lateral

$$F_x = C_{vx} \cdot V$$

Dimana:

C_{vx} = faktor distribusi vertikal

V = gaya geser seismik

3. Faktor distribusi vertikal

$$C_{vx} = \frac{w_x \cdot h_x{}^k}{\sum_{i=1}^{n} w_i \cdot h_i{}^k}$$

Dimana:

w_x = berat seismik efektif
h_x = tinggi struktur
w_i = berat seismik efektif tingkat ke-i
h_i = tinggi struktur ke-i
k = eksponen
= 1 ($T \leq 0{,}5$ s)
= 2 ($T \geq 2{,}5$ s)

4. Gaya geser seismik

$$V = C_s \cdot W$$

Dimana:

C_s = koefisien respons seismik
W = berat seismik efektif

5. Koefisien respons seismik

$$0{,}044 \cdot S_{DS} \cdot I_e > C_s = \frac{S_{DS}}{\left(\frac{R}{I_e}\right)} > \frac{S_{D1}}{T\left(\frac{R}{I_e}\right)}$$

Dimana:

S_{DS} = parameter percepatan spektral
I_e = faktor keutamaan gempa (Tabel 2.21)
R = koefisien modifikasi respons (Tabel 2.19)
S_{D1} = parameter percepatan spektral (Tabel 2.23)
T = periode getar fundamental struktur

Tabel 2.19 Koefisien Modifikasi Respons

Sistem penahan-gaya seismik	Koefisien modifikasi respons, R^a	Faktor kuat-lebih sistem, $\Omega_0{}^g$	Faktor pembesaran defleksi, $C_d{}^b$
24. Dinding rangka ringan dengan panel geser dari semua material lainnya	2½	2½	2½
25. Rangka baja dengan bresing terkekang terhadap tekuk	8	2½	5
26. Dinding geser pelat baja khusus	7	2	6
C. Sistem rangka pemikul momen			
1. Rangka baja pemikul momen khusus	8	3	5½
2. Rangka batang baja pemikul momen khusus	7	3	5½
3. Rangka baja pemikul momen menengah	4½	3	4
4. Rangka baja pemikul momen biasa	3½	3	3
5. Rangka beton bertulang pemikul momen khusus	8	3	5½
6. Rangka beton bertulang pemikul momen menengah	5	3	4½
7. Rangka beton bertulang pemikul momen biasa	3	3	2½
8. Rangka baja dan beton komposit pemikul momen khusus	8	3	5½
9. Rangka baja dan beton komposit pemikul momen menengah	5	3	4½
10. Rangka baja dan beton komposit terkekang parsial pemikul momen	6	3	5½
11. Rangka baja dan beton komposit pemikul	3	3	2½

(sumber: SNI 1726 2012)

Tabel 2.20 Kategori risiko bangunan

Semua gedung dan struktur lain, kecuali yang termasuk dalam kategori risiko I,III,IV, termasuk, tapi tidak dibatasi untuk: - Perumahan - Rumah toko dan rumah kantor - Pasar - Gedung perkantoran - Gedung apartemen/ Rumah susun - Pusat perbelanjaan/ Mall - Bangunan industri - Fasilitas manufaktur - Pabrik	II

(sumber: SNI 1726 2012)

Tabel 2.21 Faktor keutamaan gempa

Kategori risiko	Faktor keutamaan gempa, I_e
I atau II	1,0
III	1,25
IV	1,50

(sumber: SNI 1726 2012)

6. Periode getar fundamental struktur

$$T=T_a=C_t \cdot h_n^{\ x}$$

C_t = parameter pendekatan
h_n = tinggi struktur (m)
x = parameter pendekatan

Tabel 2.22 Penentuan nilai C_t dan x

Tipe struktur	C_t	x
Sistem rangka pemikul momen di mana rangka memikul 100 persen gaya gempa yang disyaratkan dan tidak dilingkupi atau dihubungkan dengan komponen yang lebih kaku dan akan mencegah rangka dari defleksi jika dikenai gaya gempa:		
Rangka baja pemikul momen	0,0724 [a]	0,8
Rangka beton pemikul momen	0,0466 [a]	0,9
Rangka baja dengan bresing eksentris	0,0731 [a]	0,75
Rangka baja dengan bresing terkekang terhadap tekuk	0,0731 [a]	0,75
Semua sistem struktur lainnya	0,0488 [a]	0,75

(sumber: SNI 1726 2012)

7. Koefisien gempa

Koefisien gempa lain didapatkan melalaui puskim.go.id untuk hasil yang lebih akurat. Koefisien gempa untuk Kota Bontang dapat dilihat pada Tabel 2.23

Tabel 2.23 Koefisen Gempa Kota Bontang Kelas Situs SD

Tanah Sedang(D)	
Variabel	Nilai
PGA (g)	0.088
SS (g)	0.203
S1 (g)	0.118
CRS	1.026
CR1	1.341
FPGA	1.600
FA	1.600
FV	2.326
PSA (g)	0.141
SMS (g)	0.324
SM1 (g)	0.275
SDS (g)	0.216
SD1 (g)	0.184
T0 (detik)	0.170
TS (detik)	0.849

(sumber: puskim.go.id)

2.4 Perhitungan Fender dan Bollard

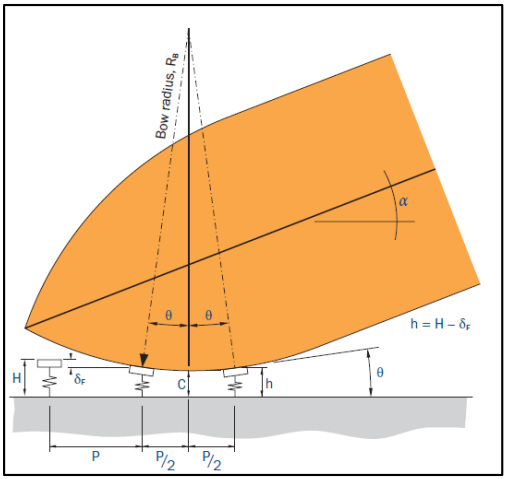
2.4.1 Fender

A. Jarak antar fender

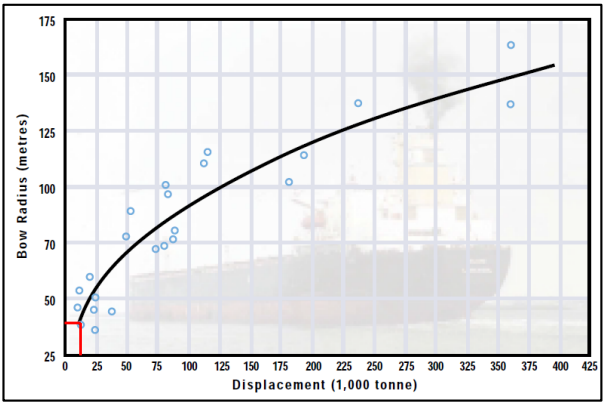
$$P \leq 2 \cdot \sqrt{R_B{}^2 - (R_B - h + C)^2}$$

Dimana:

P = jarak spasi yang dibutuhkan (m)
R_B = radius busur kapal (m)
h = tinggi efektif fender setelah defleksi (m)
C = jarak izin terlindung [5-10%(H+Z)] (m)



Gambar 2.8 Keterangan Notasi untuk Perhitungan Jarak Fender
(sumber: Trelleborg's Fender Brochure)



Gambar 2.9 Grafik Radius Busur Kapal-Displacement Tonnage untuk Jenis Kapal General Cargo
(sumber: Trelleborg's Fender Brochure)

B. Desain panel fender

Dimensi panel perlu ditentukan agar lambung kapal tidak rusak saat bertambat. Berikut persamaan untuk menentukan dimensi panel fender:

$$P = \frac{\sum R}{W_2 H_2} \leq P_p$$

Dimana :

P = tekananan kontak lambung kapal (kN/m^3)
ΣR = Reaksi maksimum fender (kN)
W = Lebar panel (m)
H = Tinggi panel (m)
P_p = tekanan kontak izin (kN/m^3)

Tabel 2.24 Minimum Tebal Lapisan Pelindung Panel Fender Baja

Kondisi	Tebal panel (mm)
Dua sisi terekspos air	≥12
Satu sisi terekspos air	≥9
Tidak terekspos air	≥8

Dikarenakan cone fender hanya mampu menahan berat panel tertentu, untuk itu berat izin panel yang mampu ditahan oleh fender harus diketahui. Berat izin panel didapat dari Tabel 2.25

Tabel 2.25 Berat Panel Izin

Energy Index	Permissible Panel Weight (kg)
E1	n x 1.0 x Super Cone weight
E2	n x 1.3 x Super Cone weight
E3	n x 1.5 x Super Cone weight

Dimana:
E = nilai indeks energi
n = jumlah fender

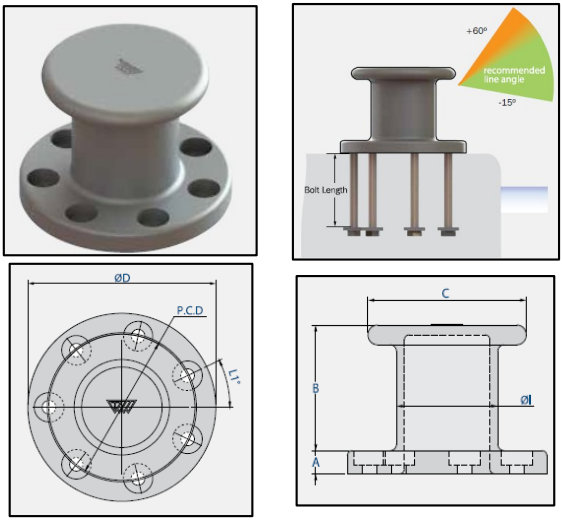
Tabel 2.26 Nilai Tekanan Kontak Izin

Vessel type	Size/class	Hull pressure (kN/m²)
Container ships	< 1000 teu (1st/2nd generation) < 3000 teu (3rd generation) < 8000 teu (4th generation) > 8000 teu (5th/6th generation)	< 400 < 300 < 250 < 200
General cargo	≤ 20000 DWT > 20000 DWT	400–700 < 400
Oil tankers	≤ 20000 DWT ≤ 60000 DWT > 60000 DWT	< 250 < 300 150–200
Gas carriers	LNG/LPG	< 200
Bulk carriers		< 200
RoRo Passenger/cruise SWATH		Usually fitted with beltings (strakes)
Source: PIANC 2002; Table 4.4.1		

(sumber: PIANC, 2002)

2.4.2 Bollard

Bollard berfungsi sebagai penahan tarikan kapal, untuk menentukan jenis bollard terlebih dahulu harus mengetahui jenis kapal yang akan bersandar dan gaya tarikan yang dihasilkan oleh kapal.



Gambar 2.10 Pillar Bollard

Tabel 2.27 Kapasitas dan Dimensi Bollard

DIMENSION	BOLLARD CAPACITY (tonnes)							
	10	15	30	50	75	100	150	200
A	35	40	50	60	70	70	80	90
B	180	280	320	350	380	410	450	480
C	200	300	390	430	500	580	680	740
ØD	270	420	500	580	630	700	800	900
P.C.D	190	300	365	450	490	550	600	700
ØI	125	200	240	280	320	360	400	450
L1	0	0	0	12.9°	12.9°	25.7°	0	0
Bolt	M20	M24	M30	M36	M42	M48	M56	M64
Bolt Length	350	400	550	800	1000	1000	1000	1000
P*	50	55	65	75	85	85	95	105
Quantity	4	4	4	7	7	7	8	8

P* = bollard base recess mounting depth = hold-down bolt protrusion height [units: mm]

(sumber: Trellerborg Fentek's Catalogue)

2.5 Perhitungan Struktur Dermaga

Kriteria struktur perencanaan dermaga yang telah dijelaskan pada poin 2.2 tersebut, maka dapat dilakukan perencanaan secara detail. Adapun prosedur perencanaannya adalah sebagai berikut:

1. Perencanaan layout untuk penentuan ukuran dermaga dan bentuk keseluruhan tata letak fasilitas lainnya.
2. Penentuan layout struktur jetty, posisi tiang pancang dan aksesoris struktur jetty seperti fender dan bollard.
3. Penentuan dimensi struktur dermaga.
4. Penentuan beban yang bekerja pada struktur dermaga.
5. Perhitungan kekuatan struktur dan penulangan struktur.
6. Pengecekan terhadap stabilitas stuktur secara keseluruhan terhadap beban-beban yang bekerja pada struktur itu sendiri dan kondisi tanah.
7. Pembuatan detail gambar dan spesifikasi bahan.

2.5.1 Struktur Atas

Struktur atas dermaga terdiri dari balok, deck, fender, bollard dan pile cap. Analisis struktur dilakukan dengan menggunakan program bantu analisis struktur SAP 2000. Analisis struktur bertujuan untuk mendapatkan output gaya dalam berupa gaya aksial, geser, dan momen. Analisis struktur dicari dengan dengan menggunakan software SAP 2000 dan peraturan PBI'71.

A. Perhitungan Pelat

1. Momen pelat

   a. Akibat beban terbagi rata

      Pada perhitungan pelat diasumsikan terjepit elastis karena pelat menerus ke sisi lain. Menurut PBI 71 tabel 13.3.1 momen tumpuan dan momen lapangan menggunakan persamaan berikut:

      $$Ml = 0{,}001.q.lx^2.X$$
      $$Mt = -0{,}001.q.lx^2.X$$

      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 13.3.1 PBI 1971

b. Akibat beban terpusat
Terdapat beban terpusat pada pelat yang berbentuk persegi akibat roda truk dan *mobile harbour crane*. Menurut Ir. Sutami "Konstruksi Beton Indonesia", momen tumpuan dan momen lapangan pelat dapat dicari dengan persamaan berikut:

$$M=\frac{a_1\cdot\frac{b_x}{I_x}+a_2\cdot\frac{b_y}{I_y}+a_3}{\frac{b_x}{I_x}+\frac{b_y}{I_y}+a_4}\cdot W$$

Dimana :
M = momen maksimum
a_1,a_2,a_3,a_4 = koefisien
b_x = panjang beban sejajar I_x
b_y = panjang beban sejajar I_y
I_x = panjang bersih terpendek pelat
I_y = panjang bersih terpanjang pelat
W = beban terpusat
Dengan pengurangan momen tumpuan sebesar $(h/d)^2$xMt apabila beban terpusat tidak terletak pada sisi pelat. Momen maks baik lapangan dan tumpuan dapat dicari dengan membagi momen dengan lebar pembesian :

$$s_x=\left(0{,}4\text{-}c_2+0{,}4\cdot\frac{b_x}{I_x}+0{,}2\cdot\frac{b_y}{I_y}\text{-}0{,}3\cdot\frac{b_x}{I_x}\cdot\frac{b_y}{I_y}\right)\cdot I_x$$

$$s_y=\left(0{,}4\text{-}c_1+0{,}2\cdot\frac{b_x}{I_x}+0{,}4\cdot\frac{b_y}{I_y}\text{-}0{,}3\cdot\frac{b_x}{I_x}\cdot\frac{b_y}{I_y}\right)\cdot I_y$$

$$s_{tx}=\left(0{,}6-c_2+0{,}1\cdot\frac{b_x}{I_x}-0{,}1\cdot\frac{b_y}{I_y}+0{,}1\cdot\frac{b_x}{I_x}\cdot\frac{b_y}{I_y}\right)\cdot I_x$$

$$s_{ty}=\left(0{,}6-c_1-0{,}1\cdot\frac{b_x}{I_x}+0{,}1\cdot\frac{b_y}{I_y}+0{,}1\cdot\frac{b_x}{I_x}\cdot\frac{b_y}{I_y}\right)\cdot I_y$$

Dimana:

c_1 = 0 (jika kedua sisi sejajar dengan bentang terkecil (I_x) ditumpu bebas)
= 0,1 (jika kedua sisi sejajar dengan bentang terkecil (I_x) ditumpu jepit)
= 0,05 (jika satu sisi sejajar dengan bentang terkecil (I_x) ditumpu jepit dan lainnya bebas)

c_2 = 0 (jika kedua sisi sejajar dengan bentang terbesar (I_y) ditumpu bebas)
= 0,1 (jika kedua sisi sejajar dengan bentang terbesar (I_y) ditumpu jepit)
= 0,05 (jika satu sisi sejajar dengan bentang terbesar (I_y) ditumpu jepit dan lainnya bebas)

2. Penulangan pelat

Pada pelat dipakai tulangan rangkap dengan asumsi bahwa struktur adalah statis tertentu.

Metode penulangan pelat meliputi :

a. Menentukan besarnya momen ultimate (Mu) pada pelat
b. Menentukan perbandingan antara luas tulangan tarik dengan tulangan tekan (δ)
c. Menghitung nilai Ca 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 = 1000 mm)

M = momen ultimate
n = Ea/Ec (angka ekivalensi baja beton)
σ'_a = tegangan ijin baja (tabel 10.4.1 PBI'71)
Setelah menemukan nilai Ca kemudian mencari nilai φ dan 100nω dari "Tabel Perhitungan Lentur dengan Cara-n disesuaikan kepada peraturan Beton Bertulang Indonesia 1971 oleh Ir. Wiratman W"

$$\emptyset > \emptyset_0 = \frac{\sigma'_a}{(n \times \sigma'_b)}$$

Dimana :
$\sigma'b$ = Tegangan tekan beton akibat lentur tanpa dan atau dengan gaya normal tekan
= 0,33$\sigma'bk$

d. Mencari kebutuhan tulangan
As = ω x b x h

e. 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 ωp, C3, C4 dan C5 yang harus diambil dari Tabel 10.7.1, PBI 1971 (lihat Tabel 2.28)

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

Dimana:
w = lebar retak (cm)
α = 1,2 (tulangan polos)
= 1 (tulangan ulir)
c = tebal penutup beton (cm)
d = diameter batang polos atau ulir (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)

Tabel 2.28 Harga koefisien ωp, C3, C4 dan C5

Uraian	ω_p	C_3	C_4	C_5
Balok persegi dan balok T yang mengalami lentur murni	$\frac{A}{b_0.h}$	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: PBI 1971)

B. Perhitungan Balok dan Poer

1. Penulangan lentur balok dan poer
   Penulangan balok dihitung dengan menggunakan perhitungan lentur "n". Untuk perhitungan tulangan, poer dianalisis sebagai balok jika perbandingan antara tinggi poer dan lebar poer > 0,4. Metode perhitungan tulangan utama balok dan poer seperti pada pelat yaitu :

   a. Menentukan besarnya momen ultimit (Mu) yang bekerja pada balok dari hasil analisis SAP 2000.
   b. Menentukan perbandingan antar luas tulangan tarik dengan tulangan tekan (δ). Nilai δ diambil mulai dari 0 ; 0,2 ; 0,4 ; 0,6 ; 0,8 ; 1,0 ; 1,25 ; 1,67 sampai 2,50
   c. Menghitung nilai Ca
   d. Mencari nilai φ, dan 100nω
   e. Menghitung luas tulangan tarik dan tekan

A = ω x b x h (tulangan tarik)
A' = δ x A (tulangan tekan)
Untuk balok dengan tinggi lebih dari 90 cm perlu dipasang tulangan samping sebesar minimum 10% dari tulangan tariknya (PBI '71 Pasal.9.3(5)).

f. Kontrol terhadap retak
Metode perhitungan tulangan geser balok dan poer adalah sebagai berikut :

i. Menentukan nilai α dan c (cover), dimana:
α= 1,2 (tulangan polos)
α= 1 (tulangan ulir)

ii. Menentukan nilai ω_p
iii. Menentukan nilai σ_a (tabel 10.4.1 PBI'71)
iv. Menentukan nilai C_3, C_4 dan C_5

2. Penulangan geser balok dan poer

a. Perhitungan tulangan geser lentur:
Menghitung tegangan geser yang terjadi pada balok dan poer:

$$\tau_b = \frac{V_u}{b \times \frac{7}{8} h}$$

Dimana:
V_u = gaya geser yang terjadi pada balok
b = lebar balok atau poer
h = tinggi manfaat balok atau poer

b. Perhitungan geser puntir
Menghitung gaya geser akibat puntir pada balok dan poer:

$$\tau'_b = \frac{\psi \times T_u}{h_t \times b^2}$$

$$\psi = 3 + \frac{2{,}6}{0{,}45 + \frac{h_t}{b}}$$

Dimana:

T_u = gaya geser pada balok atau poer
h_t = tinggi balok atau poer
b = lebar balok atau poer
ψ = koefisien

c. Kontrol dimensi balok
Tegangan beton yang diizinkan berdasarkan PBI '71 tabel 10.4.2 akibat geser lentur dengan puntir, dengan tulangan geser:
Untuk pembebanan tetap:
$\bar{\tau}_{bm-t} = 1{,}35\sqrt{\sigma'_{bk}}$
Untuk pembebanan sementara:
$\bar{\tau}_{bm-s} = 2{,}12\sqrt{\sigma'_{bk}}$
Dimana sesuai PBI '97 pasal 11.8 ayat (2) apabila:
$\tau_b + \tau'_b \leq \bar{\tau}_{bm-t}$ (dimensi balok tidak perlu diperbesar)

d. Jarak tulangan geser
Perencanaan jarak tulangan geser sesuai PBI '71 pasal 9.3.6, jarak minimum tulangan adalah sebagai berikut:

s = 30 cm
s = 2/3 h_t
dipakai nilai yang terkecil untuk jarak tulangan geser.

e. Perhitungan tulangan penyaluran

i. Panjang penyaluran tulangan tarik
Berdasarkan PBI '71 pasal 8.6.2 , kebutuhan tulangan tarik dapat dicari dengan persamaan berikut:

$$L_d = 0{,}07 \frac{A \cdot \sigma'_{au}}{\sqrt{\sigma'_{bk}}} \geq 0{,}0065 \cdot d_p \cdot \sigma'_{au}$$

Dimana:
L_d = panajng penyaluran yang dibutuhkan
d_p = diameter tulangan tarik lentur
A = luas tulangan tarik lentur
σ'_{au}= kekuatan baja rencana (tabel 10.4.3 PBI ’71)
σ'_{bk}= kekuatan beton rencana

ii. Panjang penyaluran tulangan tekan
Berdasarkan PBI ’71 pasal 8.7.2, kebutuhan tulangan tekan dapat dicari dengan persamaan berikut:

$$L_d = 0{,}09\frac{d \cdot \sigma'_{au}}{\sqrt{\sigma'_{bk}}} \geq 0{,}005 \cdot d_p \cdot \sigma'_{au}$$

L_d = panajng penyaluran yang dibutuhkan
d_p = diameter tulangan tarik lentur
A = luas tulangan tarik lentur
σ'_{au}= kekuatan baja rencana (tabel 10.4.3 PBI ’71)
σ'_{bk}= kekuatan beton rencana

2.5.2 Struktur Bawah

Struktur bawah dermaga hanya terdiri dari spun pile. Tipe material untuk tiang pancang meliputi: kayu, beton precast, beton prestress, pipa baja bulat maupun kotak dengan atau tanpa sepatu tiang , baja pita yang dibentuk pipa, profil baja bentuk I atau H dengan atau tanpa selimut beton, tiang ulir baja, dan sebagainya. Daya dukung tiang pada masing-masing kedalaman menggunakan perumusan Luciano Decourt sehingga dihasilkan grafik kurva daya dukung untuk beberapa ukuran dan tipe tiang.

Kontrol kekuatan internal bahan dilakukan dengan mengecek besarnya tegangan yang terjadi akibat beban luar harus lebih rendah dari tegangan ijin bahan, dan momen yang terjadi harus lebih kecil dari kekuatan momen ultimate atau momen crack dari bahan. Tiang juga perlu dicek kekuatannya pada saat berdiri sendiri, khususnya terhadap frekuensi gelombang. Frekuensi tiang harus lebih besar dari frekuensi gelombang supaya tiang tidak bergoyang dan patah saat setelah pemancangan.

A. Daya Dukung Tiang Pancang

Perhitungan Daya Dukung Tanah dengan Metode Decourt (1996) :

$$Q_L = Q_P + Q_S$$

Dimana :

Q_L = Daya dukung tanah maksimum pondasi (ton)
Q_P = Resistance ultimate di dasar pondasi (ton)
Q_S = Resistance ultimate akibat tekanan lateral (ton)

$$Q_P = q_P + A_p = \alpha \times \bar{N}p \times K \times A_P$$

Dimana:

Ňp = harga rata-rata SPT di sekitar 4B di atas hingga 4B di bawah dasar tiang pondasi (B = diameter tiang pondasi)

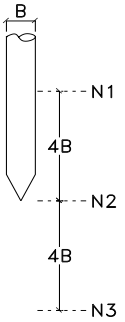
$$\bar{N}_p = \sum_{i=1}^{n} \frac{Ni}{n}$$

K = koefisien karakteristik tanah di dasar pondasi
A_p = luas penampang dasar tiang (m2)
Q_p = tegangan di ujung tiang (ton)

Catatan :

Apabila tanah dalam kondisi terendam atau di bawah muka air tanah, maka harga Np tersebut harus dikoreksi sebagai :

$$N' = 15 + 0.5\ (N\text{-}15)$$



Gambar 2.11 Letak dari Nilai-nilai N dalam Perhitungan $\bar{N}_p$

Tabel 2.29 koefisien karakteristik tanah di dasar pondasi

Jenis Tanah	Nilai K (metrik)	Nilai K (imperial)
Lempung	12 t/m^2	117,7 kPa
Lempung berlanau	20	196
Pasir berlanau	25	245
Pasir	40	392

$$Q_S=q_S+A_S=\beta\times\left(\frac{\bar{N}_S}{3}+1\right)\times A_S$$

Dimana:

qs = tegangan akibat tekanan lateral dalam (ton)

Ns = harga rata-rata sepanjang tiang yang terbenam, dengan batasan ; 3≤N≤50, khusus untuk aspek friction

As = keliling X panjang tiang yang terbenam (luas selimut tiang) (m^2)

Koefisien α dan β berturut-turut adalah base dan shaft coefficient menurut Decourt yang nilainya seperti Tabel 2.30 dan Tabel 2.31

Tabel 2.30 Base Coefficient (α)

Soil/Pile	Driven pile	Bored pile	Bored pile (bentonite)	Continous hollow auger	Root pile	Injected pile (high pressure)
Clay	1	0.85	0.85	0.30	0.85	1
Intermediate Soil	1	0.60	0.60	0.30	0.60	1
Sand	1	0.50	0.50	0.30	0.50	1

(sumber : Decourt and Quaresma, 1978:Decourt et al., 1996)

Tabel 2.31 Shaft Coefficient (β)

Soil/Pile	Driven pile	Bored pile	Bored pile (bentonite)	Continous hollow auger	Root pile	Injected pile (high pressure)
Clay	1	0.80	0.90	1	1.5	3
Intermediate Soil	1	0.65	0.75	1	1.5	3
Sand	1	0.50	0.60	1	1.5	3

(sumber : Decourt and Quaresma, 1978:Decourt et al., 1996)

B. Titik Jepit Tiang

Posisi titik jepit tiang (**Error! Reference source not found.**) dari permukaan tanah (Zf) untuk normally consolidated clay dan granular soil adalah 1.8 T, di mana T adalah faktor kekakuan yang dihitung sebagai berikut:

$$T = \sqrt[5]{\frac{EI}{n_h}}$$

Dimana :

T = faktor kekakuan

n_h = untuk cohesionless soil diperoleh dari Terzaghi; untuk normally consolidated clays = 350 s/d 700 KN/m3 dan soft organic silts = 150 KN/m3.
E = modulus elastisitas Young
I = momen inersia

C. Kontrol Kekuatan Bahan

Kontrol kekuatan bahan dilakukan dengan mengecek besarnya tegangan dan momen yang terjadi pada tiang pancang yang harus lebih kecil daripada tegangan dan momen crack bahan. Tegangan dan momen pada tiang pancang didapatkan dari perhitungan SAP2000 sedangkan momen crack bahan didapatkan dari spesifikasi bahan oleh produsen:

$$\sigma = \frac{P}{A} \pm \frac{M \cdot y}{I} < fy$$

$$M_{tp} < M_{crack}$$

D. 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:

$$\omega t = 1{,}73 \sqrt{\frac{EI}{wl^3/g}}$$

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 :

$$\omega = \frac{1}{T}$$

Dimana:

ω = frekuensi gelombang

T = periode gelombang (s)

E. Perhitungan Kalendering

Perhitungan kalendering pada saat pemancangan tiang pancang berguna untuk mengetahui daya dukung dari tiang yang dipancang, dalam kata lain guna mengetahui kapan pemancangan dihentikan atau apakah kedalaman pemancangan sudah memenuhi. Final set adalah nilai penetrasi tiang pancang tiap pukulan yang bisa diperoleh dari hasil kalendering. Perumusan kalendering yang dipakai adalah Alfred-Hiley Formula (1930)

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

Dimana :

Qu = bearing capacity of pile (ton)

α = efisiensi hammer
2,5 untuk hydraulic hammer
1,0 untuk diesel hammer
0,75 untuk drop hammer

W = berat hammer (ton)

Wp = weight of pile (ton)

H = tinggi jatuh hummer (m)

n = coefficient of restitusion
= 0,55 (hammer on steel pile without cushion)

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 :

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

C2 = kompresi sementara dari tiang

$$C2=\frac{Q_u \cdot L}{A_p \cdot E_{pile}}$$

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 adalah 2,5 mm

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

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 set nya. Dan disyaratkan apabila untuk kedalaman yang sama S>S'dengan S' adalah nilai setting kalendering di lapangan, maka pemancangan dihentikan.

F. Kontrol Kuat Tekuk

Untuk kontol tekuk terhadap kelangsingan tiang dapat menggunakan rumus :

- Free headed condition

$$P_{cr}=\frac{\pi \cdot E \cdot I_{min}}{4(Z_f+e)^2} > Pu$$

- Fixed and translating headed condition

$$P_{cr}=\frac{\pi \cdot E \cdot I_{min}}{(Z_f+e)^2}>Pu$$

Dimana :

P_{cr} = daya dukung tiang kritis
e = jarak lateral load dengan muka tanah (m)
Zf = posisi titik jepit tanah terhadap sebuah tiang (m)
I_{min} = momen inersia minimum tiang (m^4)

2.6 Desain Komponen Pracetak Dermaga

Dalam melakukan konstruksi perlu mempertimbangkan kecepatan waktu pelaksanaan dan jaminan mutu hasil konstruksi di lapangan sehingga pelaksanaan pengecoran menggunakan metode pracetak dimana dalam perencanaannya terdapat perhitungan tambahan atau kontrol yang diperlukan.

Beberapa kontrol dalam perhitungan struktur pracetak dermaga perlu dilakukan agar struktur pracetak yang direncanakan tidak mengalami kegagalan pada saat pabrikasi maupun setelah pabrikasi.

2.6.1 Langkah-Langkah Kontrol Komponen Pracetak

A. Kontrol plat

1. Kontrol pengangkatan (7 hari)
2. Kontrol retak

B. Kontrol balok memanjang dan balok melintang

1. Kontrol pengangkatan (7 hari)
2. Kontrol retak

2.6.2 Perhitungan Kontrol Komponen Pracetak

A. Menghitung kuat tekan beton pada umur x hari

σ'_{bk} = faktor konversi kuat beton x f'c

Dimana :

σ'_{bk} = Kuat tekan beton pada umur x hari

f'c = Kuat tekan beton

Kuat tekan beton perlu dikonversi sesuai dengan umur beton tersebut. Berikut faktor konversi kuat tekan beton berdasarkan PBI 1971 tabel 4.1.4.

Tabel 2.32 Konversi Umur Beton

Umur Beton	**Jenis Semen**	
(hari)	**Portland biasa**	**Portland dengan kekuatan awal yang tinggi**
3	0,4	0,55
7	0,65	0,75
14	0,88	0,9
21	0,95	0,95
28	1	1
90	1,2	1,15
365	1,35	1,2

(sumber: PBI 1971 tabel 4.1.4)

Faktor umur kekuatan beton yang tidak tercantum dalam Tabel 2.32 dapat dihitung dengan cara interpolasi dengan rumus sebagai berikut :

$$\frac{c\text{-}a}{k_x\text{-}k_1} = \frac{b\text{-}a}{k_2\text{-}k_1}$$

Dimana :

c = umur beton yang dicari

a = umur beton di bawah beton yang dicari

b = umur beton di atas umur beton yang dicari

k1= koefisien umur beton a

k2= koefisien umur beton b

kx= koefisien umur beton c

B. Menghitung angka ekivalensi antara satuan luas baja dengan satuan luas beton (n)

$$n = \frac{Es}{Ec}$$

Dimana :

n = angka ekivalensi antara satuan luas baja dengan satuan luas beton

Es = Modulus Elastisitas baja

Ec = Modulus Elastisitas beton

Menghitung momen

$$M = \frac{1}{8} q l^2$$

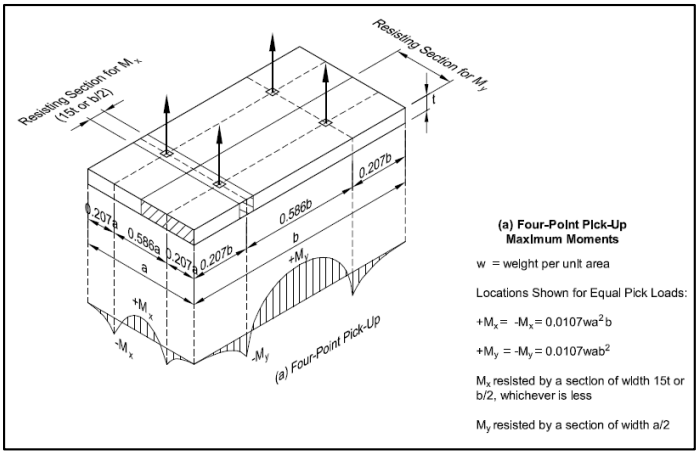
Dimana :

*M = Momen yang terjadi pada kondisi tertentu

**q = beban terbagi rata akibat beban yang ada

1. Pada saat pengangkatan

   Momen saat pengangkatan tergantung pada jumlah titik angkat (2 titik atau 4 titik). Momen ini dapat dihitung dengan menggunakan rumus yang tertera pada Gambar 2.12 di bawah ini.



Gambar 2.12 Momen akibat Pengangkatan
(sumber : PCI Design Handbook Precast & Prestressed Concrete)

M= Momen yang terjadi akibat pengangkatan
q = beban terbagi rata akibat berat sendiri komponen pracetak

2. Menghitung nilai Ca untuk mendapatkan koefisien φ, φ', ξ dan 100nω

$$Ca = \frac{h}{\sqrt{\frac{n \times M}{b \times \sigma_a}}}$$

Dimana :
h = tinggi manfaat penampang
= h tot – selimut beton – φ sengkang - ½ φ tulangan lentur
n = angka ekivalensi antara satuan luas baja dengan satuan luas beton
b = lebar penampang
σ_a= tegangan tarik baja yang diijinkan menurut PBI 1971 tabel 10.4.1

3. Menghitung luas tulangan yang diperlukan
   A perlu < A min

2.6.3 Perhitungan Tambahan Kontrol Komponen Pracetak

A. Kontrol lendutan (* Hanya dikontrol pada plat dan plat fender)**

Menurut pasal 10.5.2 PBI 1971, apabila tinggi manfat pelat $> \frac{1}{35}$ bentang maka tidak perlu dilakukan kontrol lendutan.

B. Kontrol retak

Kontrol retak komponen pracetak berdasarkan PBI 1971 pasal 10.7 sama dengan kontrol retak pada plat.

"halaman ini sengaja dikosongkan"

BAB III
PENGUMPULAN DAN ANALISA DATA

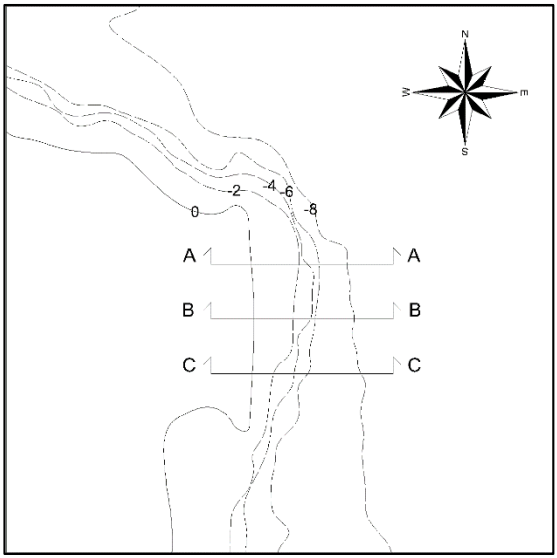
3.1 Umum

Dalam perencaaan terminal multipurpose TUKS pertama-tama diperlukan data-data yang berkaitan seperti: bathymetry, pasang surut, arus, angin, tanah, alat dan kapal. Dari data-data tersebut akan dianalisa masing-masing sehingga dalam perencanaan dan pembangunan terminal optimal.

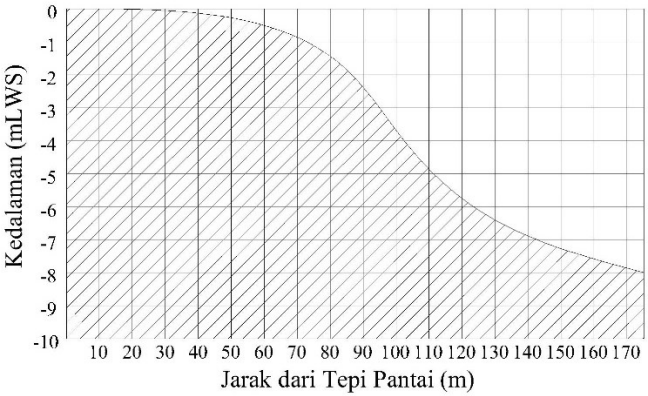
3.2 Bathymetry

Di bagian dalam teluk Sekangat terdapat banyak mangrove dan koral pada garis pantai. Jalur navigasi dan kolam putar sendiri berkedalaman -14 m sampai -24 m dari teluk Sekangat menuju selat Makasar

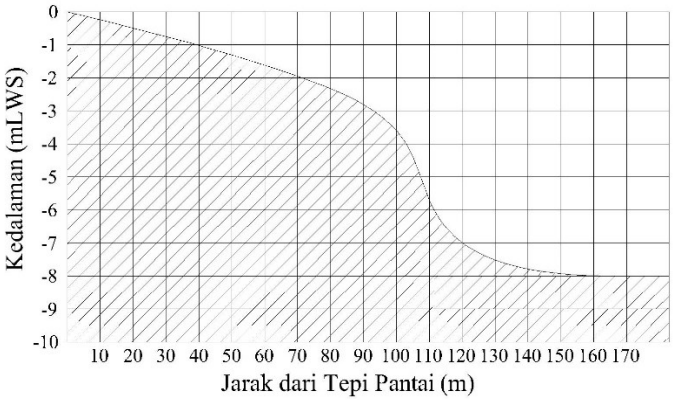
Dari Gambar 3.1 dengan koordinat 0°04'21.2"N 117°28'40.2"E terlihat bahwa kondisi kedalaman perairan untuk basin/kolam dermaga hanya -2 mLWS dan tidak mencukupi untuk bertambatnya kapal yang memerlukan kedalaman -8 mLWS, maka dari itu pada bagian kolam dermaga akan dilakukan pengerukan sesuai kebutuhan kapal bersandar.



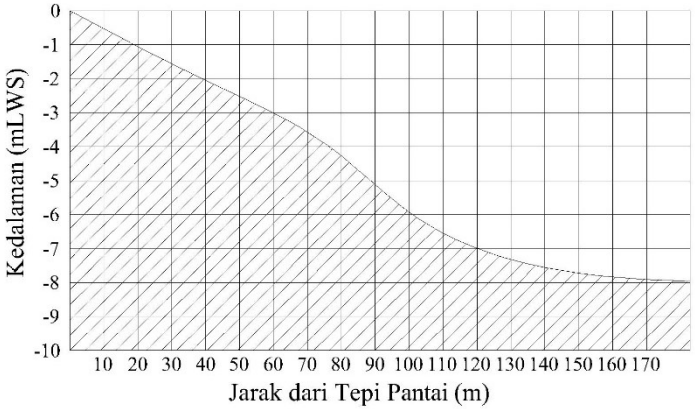
Gambar 3.1 Bathymetry di Jetty 2, NTS



Gambar 3.2 Potongan A-A, NTS



Gambar 3.3 Potongan B-B, NTS



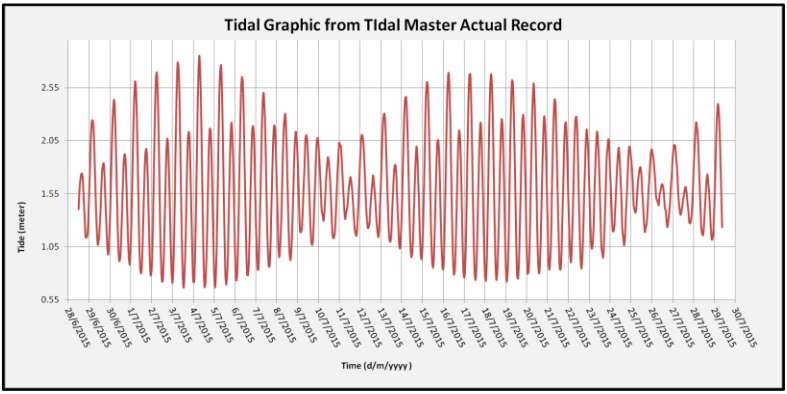
Gambar 3.4 Potongan C-C, NTS

3.3 Pasang surut

Data yang didapat untuk pasang surut sendiri berasal dari survey dengan alat *TideMaster Actual Record* yang dianalisa oleh T-Tide selama 32 hari pengamatan yaitu dari tanggal 28 Juni 2015 sampai 30 Juli 2015, lihat Gambar 3.5

Berdasarkan hasil pengamatan, dapat disimpulkan pasang surut yang terjadi di Bontang adalah sebagai berikut:

- Tipe pasang surut *mixed dominantly semidiurnal tides*
- Elevasi HWS (High Water Spring) pada ± **2,50 mLWS**
- Elevasi MSL (Mean Sea Level) pada ± **1,25 mLWS**
- Elevasi LWS (Low Water Spring) pada ± **0,00 MLWS**
- Beda pasang surut **2,50 m**



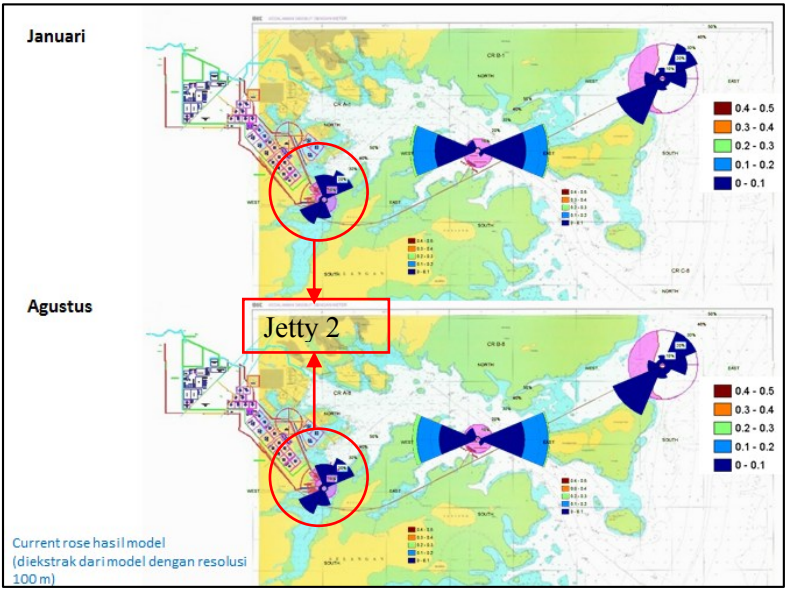
Gambar 3.5 Grafik Pasang Surut dari *Tidal Master Actual Record*

3.4 Arus

Jumlah lokasi pengamatan diambil minimal 2 titik pada suatu areal terbuka tanpa hambatan atau disesuaikan dengan kondisi lapangan apabila lokasinya berkelok-kelok atau kontur permukaan laut yang tidak beraturan. Pola arus dan kecepatan arus dicari untuk menentukan:

- Bentuk dan arah jetty, kapal sebisa mungkin bertambat saat arus dominan sejajar kapal bukan tegak lurus arah kapal (*cross current*)
- Kecepatan arus maksimum yang memungkinkan kapal untuk bertambat adalah 3 knot (1,5m/dt)

Adapun data arus di lokasi perencanaan jetty 2 seperti pada Gambar 3.6



Gambar 3.6 *Current Rose Jetty 2*

Dari data arus bulan Januari sampai Agustus dapat disimpulkan bahwa kondisi arus secara dominan mengarah timur laut dan barat daya dengan kecepatan antara 0,00-0,10 m/dt. Data tersebut menunjukkan bahwa kecepatan arus di lokasi jetty 2 sangat kecil dengan arah dominan utara-timur laut dan selatan-barat daya, hal ini sesuai dengan garis pantai yang membentang dengan arah yang sama.

3.5 Tanah

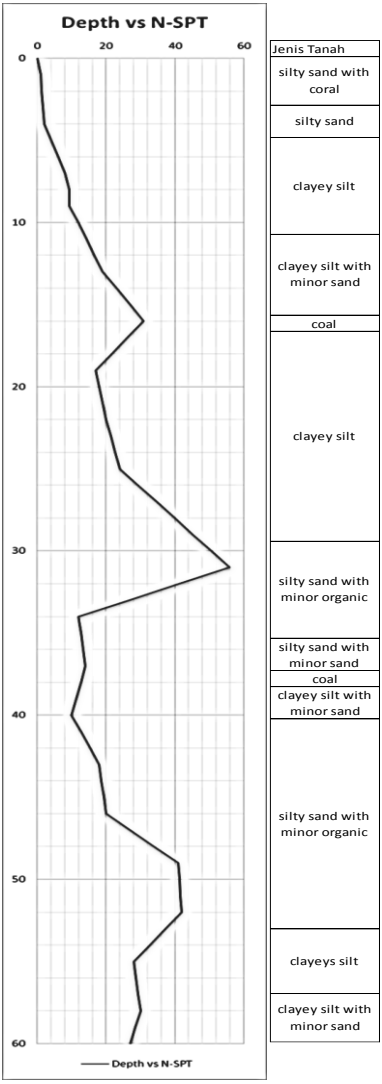
Data tanah diperlukan dalam perencanaan tiang pancang, jalan atau areal terbuka lain.

Untuk perencanaan struktur tiang pancang, analisa data tanah diperlukan untuk mendapatkan daya dukung ijin terhadap kedalaman tiang.

Data tanah yang didapat dari soil investigation dalam bentuk SPT dan borelog, untuk di jetty 2 sendiri digunakan data pada titik B-4. Peta lokasi pengambilan data tanah dapat dilihat pada Gambar 3.7

Dari hasil bor dan SPT yang dilakukan, diketahui bahwa lapisan tanah di lokasi dermaga didominasi oleh tanah lanau berlempung. Untuk grafik elevasi-NSPT tanah pada titik B-4 dapat dilihat pada Gambar 3.8

Gambar 3.7 Lokasi Pengambilan Data Tanah Titik B-4



Gambar 3.8 Grafik Elevasi-NSPT dan Deskripsi Tanah pada Titik B-4

Tabel 3.1 Kedalaman-Daya Dukung Tanah
(Kedalaman 0-15 m)

Kedalaman	Jenis Tanah	N	Ňp	N'	α	K	Ap	Qp	Ňs	β	As	Qs	Qu	Qizin
(m)						t/m2	m2	ton			m2	ton	ton	ton
0	silty sand with coral	0	1,20	8,10	1	25,00	0,79	159,04	3,00	1	0,00	0,00	159,04	53
1		1	1,67	8,33	1	25,00	0,79	163,62	3,00	1	3,14	6,28	169,91	57
2		1	2,29	8,64	1	25,00	0,79	169,70	3,00	1	6,28	12,57	182,27	61
3	silty sand	2	3,00	9,00	1	25,00	0,79	176,71	3,00	1	9,42	18,85	195,56	65
4		2	3,70	9,35	1	25,00	0,79	183,62	3,00	1	12,57	25,13	208,76	70
5	clayey silt	4	4,74	9,87	1	20,00	0,79	155,04	3,17	1	15,71	32,29	187,33	62
6		6	5,96	10,48	1	20,00	0,79	164,64	3,57	1	18,85	41,29	205,93	69
7		8	7,41	11,20	1	20,00	0,79	175,99	4,13	1	21,99	52,23	228,22	76
8		9	9,07	12,04	1	20,00	0,79	189,08	4,70	1	25,13	64,54	253,62	85
9		9	10,96	12,98	1	20,00	0,79	203,91	5,17	1	28,27	76,97	280,88	94
10		12	13,07	14,04	1	20,00	0,79	220,49	5,79	1	31,42	92,03	312,52	104
11	clayey silt with minor sand	14	15,41	15,20	1	20,00	0,79	238,82	6,50	1	34,56	109,43	348,25	116
12		17	17,96	16,48	1	20,00	0,79	258,89	7,28	1	37,70	129,21	388,10	129
13		19	19,85	17,43	1	20,00	0,79	273,73	8,12	1	40,84	151,37	425,10	142
14		23	21,22	18,11	1	20,00	0,79	284,49	9,11	1	43,98	177,56	462,05	154
15		27	21,78	18,39	1	20,00	0,79	288,85	10,23	1	47,12	207,80	496,66	166

Tabel 3.2 Kedalaman-Daya Dukung Tanah
(Kedalaman 16-35 m)

Kedalaman	Jenis Tanah	N	Ňp	N'	α	K	Ap	Qp	Ňs	β	As	Qs	Qu	Qizin
(m)						t/m2	m2	ton			m2	ton	ton	ton
16	coal	31	22,19	18,59	1	40,00	0,79	584,10	11,45	1	50,27	242,13	826,23	275
17	clayey silt	26	22,44	18,72	1	20,00	0,79	294,09	12,28	1	53,41	271,98	566,07	189
18		22	22,56	18,78	1	20,00	0,79	294,96	12,77	1	56,55	297,29	592,25	197
19		17	22,37	18,69	1	20,00	0,79	293,51	12,98	1	59,69	318,02	611,52	204
20		18	21,89	18,44	1	20,00	0,79	289,72	13,22	1	62,83	339,76	629,48	210
21		19	21,11	18,06	1	20,00	0,79	283,62	13,48	1	65,97	362,52	646,14	215
22		20	21,44	18,22	1	20,00	0,79	286,23	13,77	1	69,12	386,31	672,54	224
23		21	22,89	18,94	1	20,00	0,79	297,58	14,08	1	72,26	411,46	709,04	236
24		23	25,44	20,22	1	20,00	0,79	317,65	14,43	1	75,40	437,98	755,63	252
25		24	28,48	21,74	1	20,00	0,79	341,50	14,79	1	78,54	465,87	807,37	269
26		29	32,00	23,50	1	20,00	0,79	369,14	15,33	1	81,68	499,16	868,30	289
27		35	36,00	25,50	1	20,00	0,79	400,55	16,02	1	84,82	537,89	938,44	313
28		40	38,22	26,61	1	20,00	0,79	418,01	16,85	1	87,96	582,05	1000,06	333
29		45	38,67	26,83	1	20,00	0,79	421,50	17,80	1	91,11	631,67	1053,17	351
30	silty sand with minor organic	51	37,33	26,17	1	25,00	0,79	513,78	18,84	1	94,25	686,08	1199,86	400
31		56	35,48	25,24	1	25,00	0,79	495,60	19,81	1	97,39	740,57	1236,17	412
32		41	33,11	24,06	1	25,00	0,79	472,33	20,46	1	100,53	786,31	1258,64	420
33		27	30,22	22,61	1	25,00	0,79	443,97	20,65	1	103,67	817,18	1261,15	420
34		12	26,59	20,80	1	25,00	0,79	408,33	20,40	1	106,81	833,15	1241,48	414
35		13	22,22	18,61	1	25,00	0,79	365,43	20,19	1	109,96	849,78	1215,21	405

Tabel 3.3 Kedalaman-Daya Dukung Tanah
(Kedalaman 36-53 m)

Kedalaman	Jenis Tanah	N	Ňp	N'	α	K	Ap	Qp	Ňs	β	As	Qs	Qu	Qizin
(m)						t/m2	m2	ton			m2	ton	ton	ton
36	silty sand with minor sand	13	17,11	16,06	1	25,00	0,79	315,25	20,00	1	113,10	867,08	1182,33	394
37		14	13,93	14,46	1	25,00	0,79	283,98	19,84	1	116,24	885,05	1169,03	390
38	coal	13	12,67	13,83	1	40,00	0,79	434,59	19,66	1	119,38	901,65	1336,23	445
39	clayey silt with minor sand	11	13,33	14,17	1	20,00	0,79	222,53	19,45	1	122,52	916,87	1139,40	380
40		10	14,00	14,50	1	20,00	0,79	227,77	19,22	1	125,66	930,73	1158,49	386
41	silty sand with minor organic	13	14,67	14,83	1	25,00	0,79	291,25	19,06	1	128,81	947,30	1238,55	413
42		15	15,33	15,17	1	25,00	0,79	297,80	18,98	1	131,95	966,59	1264,38	421
43		18	16,93	15,96	1	25,00	0,79	313,43	18,95	1	135,09	988,60	1302,03	434
44		19	19,44	17,22	1	25,00	0,79	338,16	18,95	1	138,23	1011,30	1349,46	450
45		19	22,89	18,94	1	25,00	0,79	371,97	18,96	1	141,37	1034,68	1406,65	469
46		20	26,07	20,54	1	25,00	0,79	403,24	18,98	1	144,51	1058,74	1461,98	487
47		27	29,00	22,00	1	25,00	0,79	431,97	19,15	1	147,65	1089,98	1521,95	507
48		34	31,67	23,33	1	25,00	0,79	458,15	19,45	1	150,80	1128,41	1586,56	529
49		41	33,74	24,37	1	25,00	0,79	478,51	19,88	1	153,94	1174,03	1652,55	551
50		41	35,22	25,11	1	25,00	0,79	493,06	20,30	1	157,08	1220,02	1713,07	571
51		42	36,11	25,56	1	25,00	0,79	501,78	20,71	1	160,22	1266,36	1768,15	589
52		42	36,30	25,65	1	25,00	0,79	503,60	21,11	1	163,36	1313,07	1816,67	606
53		37	35,78	25,39	1	25,00	0,79	498,51	21,41	1	166,50	1354,99	1853,50	618

Tabel 3.4 Kedalaman-Daya Dukung Tanah
(Kedalaman 54-60 m)

Kedalaman (m)	Jenis Tanah	N	Ňp	N'	α	K t/m2	Ap m2	Qp ton	Ňs	β	As m2	Qs ton	Qu ton	Qizin ton
54	clayeys silt	33	34,56	24,78	1	20,00	0,79	389,21	21,62	1	169,65	1392,13	1781,33	594
55		28	33,13	24,06	1	20,00	0,79	378,01	21,73	1	172,79	1424,47	1802,48	601
56		29	31,50	23,25	1	20,00	0,79	365,21	21,85	1	175,93	1457,50	1822,71	608
57		29	30,19	22,59	1	20,00	0,79	354,90	21,98	1	179,07	1491,23	1846,13	615
58	clayey silt with minor sand	30	29,17	22,08	1	20,00	0,79	346,88	22,12	1	182,21	1525,64	1872,53	624
59		29	28,58	21,79	1	20,00	0,79	342,30	22,23	1	185,35	1558,52	1900,82	634
60		27	28,70	21,85	1	20,00	0,79	343,22	22,30	1	188,50	1589,85	1933,07	644

"halaman ini sengaja dikosongkan"

BAB IV
KRITERIA DESAIN

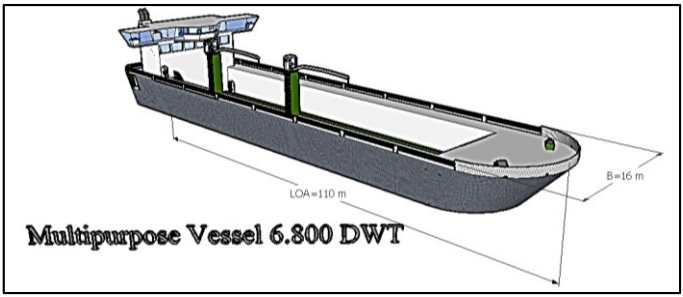
4.1 Standar yang Digunakan

Acuan atau standar perencananaan serta perhitungan yang digunakan dalam perencanaan dermaga untuk kapal multipurpose ini yaitu:

1. Keputusan Kementrian Perhubungan KM 54 tahun 2002
2. Technical Standard for Port and Harbour Facilities in Japan (OCDI) 2002
3. PBI 1971 Beton Bertulang
4. SNI 1726 Tata Cara Perencanaan Ketahanan Gempa untuk Struktur Bangunan Gedung dan non Gedung
5. Perhitungan Lentur dengan Cara 'n' Disesuaikan dengan PBI 1971
6. PCI Design Handbook Precast And Prestressed Concrete (6th Edition)
7. PIANC Guideleness for the Design of Fender System, 2002
8. The Structural Design of Heavy Duty Pavements for Ports and Other Industries, John Knapton

4.2 Data Kapal

Kapal yang digunakan untuk mengangkut kargo (Gambar 4.1) adalah kapal multipurpose yang memiliki spesifikasi sebagai berikut :



Gambar 4.1 Kapal Multipurpose 6.800 DWT
(sumber: LPPM ITS)

Kapasitas = 6.800 DWT
LOA = 110 m
Breadth = 16 m
Draught = 5 m

4.3 Material yang Digunakan

A. Beton

Dalam perencanaan dermaga multipurpose ini digunakan beton K-350 dengan spesifikasi sebagai berikut:

σ'_{bk} = 350 kg/cm^2 (kekuatan beton karakteristik)

σ'_b = 0,33σ'_{bk} (tegangan tekan beton akibat lentur tanpa/ dengan gaya normal tekan)
= 0,33 x 350
= 115,5 kg/cm^2

E_b = $6400\sqrt{\sigma'_{bk}}$ = 119733 kg/cm^2

C = 70 mm

B. Baja

Baja tulangan yang digunakan dalam perencanaan dermaga adalah baja tulangan U-32. Berikut spesifikasi mutu baja berdasarkan PBI 1971:

σ_{au} = 3200 kg/cm^2 (tegangan leleh karakteristik)

E_a = 2,1 x 10^6 kg/cm^2

σ_a = 1850 kg/cm^2 (keadaan elastis)

(tabel 10.4.1 PBI ’71)

σ'_{au} = 2780 kg/cm^2 (keadaan batas)
(tabel 10.4.3 PBI ’71)

C. Tiang Pancang

Tiang pancang baja digunakan karena modulus elastisitas yang lebih besar daripada tiang pancang beton dan kedalaman tiang pancang yang dibutuhkan sangat dalam (lebih dari 15 m).

Spesifikasi tiang pancang Sumitomo Metal yang digunakan adalah sebagai berikut:

Tipe = seamless pipe, heavy-duty anti-corrosion pipe piles
D = 1000 mm (diameter terluar)
t = 16 mm (tebal)
f_u = 415 MPa (ASTM A252 Grade 2)
f_y = 240 MPa
E_a = 2,1 x 10^6 kg/cm^2 (modulus elastisitas)
A = 300,24 cm^2 (luas penampang)
W = 457 kg/m^3 (berat tiang)
I = 380227,3 cm^4 (momen inersia)

4.4 Pembebanan pada Struktur Dermaga

4.4.1 Beban Vertikal

A. Beban mati (berat sendiri konstruksi)

1. Berat jenis beton bertulang (γ) = 2900 kg/m^3
2. Berat pelat = 0,4 x 2900 = 1160 kg/m^2

B. Beban hidup

Beban merata multipurpose = 5 t/m^2

C. Beban bergerak

1. Mobile Harbour Crane

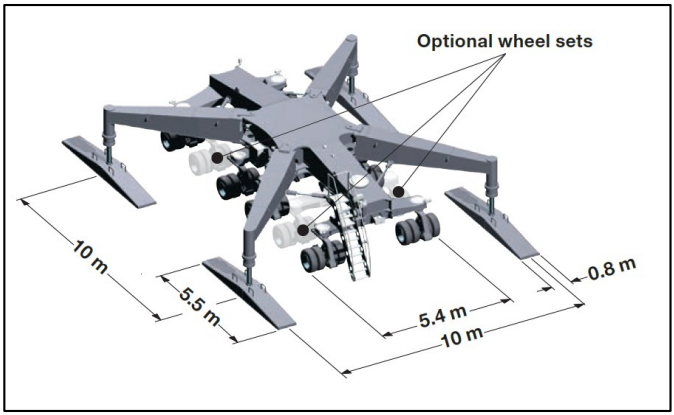
Mobile Harbour Crane atau MHC digunakan untuk bongkar muat karena dimensi jetty yang kecil, MHC mampu

bergerak bebas di atas dermaga sehingga sesuai dengan muatan kapal multipurpose yang terdiri dari kargo, kontainer dan alat industri.

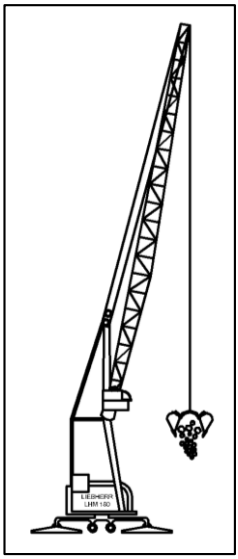
Prosedur pembongkaran oleh MHC sendiri sebagai berikut:

a. MHC bergerak menuju lokasi yang ditentukan oleh operator pelabuhan.
b. Setelah sampai di lokasi *x-shaped support pad* digunakan agar MHC melakukan bongkar muat secara stabil
c. Setelah proses bongkar muat *x-shaped support pad* diangkat kembali untuk memindahkan HMC ke lokasi berikutnya.
d. Spesifikasi alat unloading muatan mobile harbour crane sangat diperlukan untuk mengetahui beban kargo yang dapat diangkut dan mengetahui konfigurasi beban roda yang bekerja pada pelat yang seterusnya digunakan untuk pendesainan struktur (lihat Gambar 4.3)

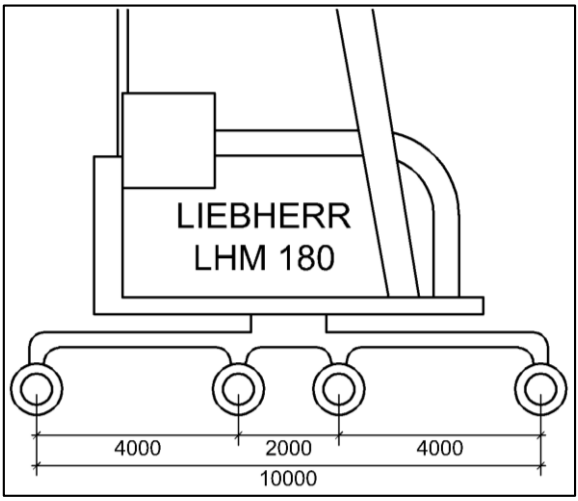
Gambar 4.2 Tipe *Mobile Harbour Crane*
(sumber*: http://www.liebherr.com*)



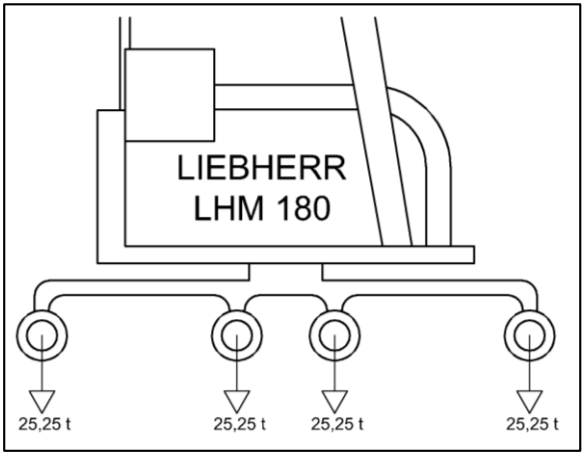
Gambar 4.3 *Mobile Harbour Crane Pad*
(sumber: *http://www.liebherr.com)*



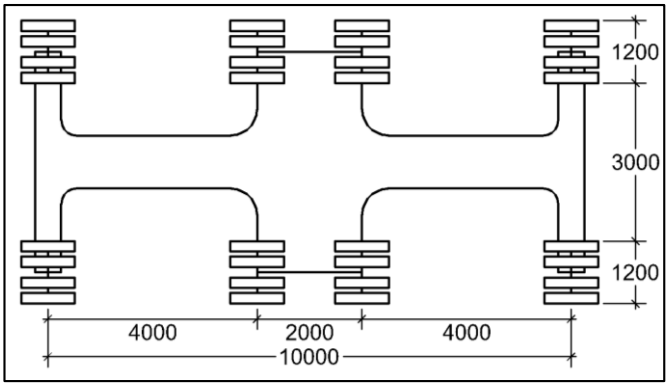
Gambar 4.4 Tampak Samping *Mobile Harbour Crane*



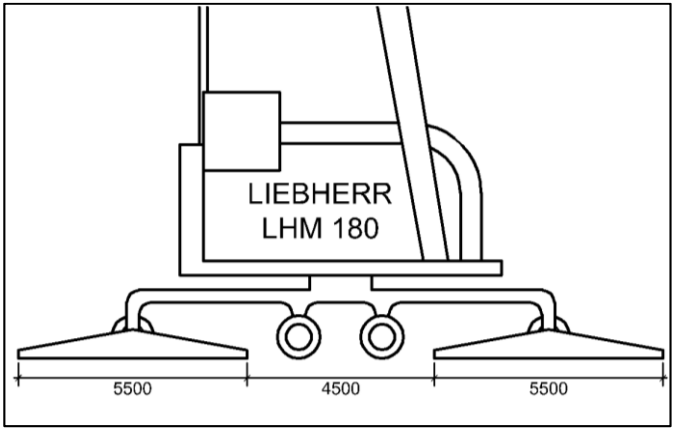
Gambar 4.5 Jarak Roda Memanjang MHC



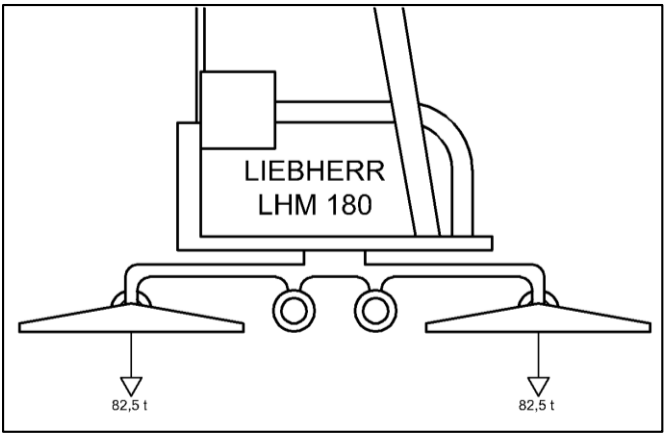
Gambar 4.6 Beban As MHC



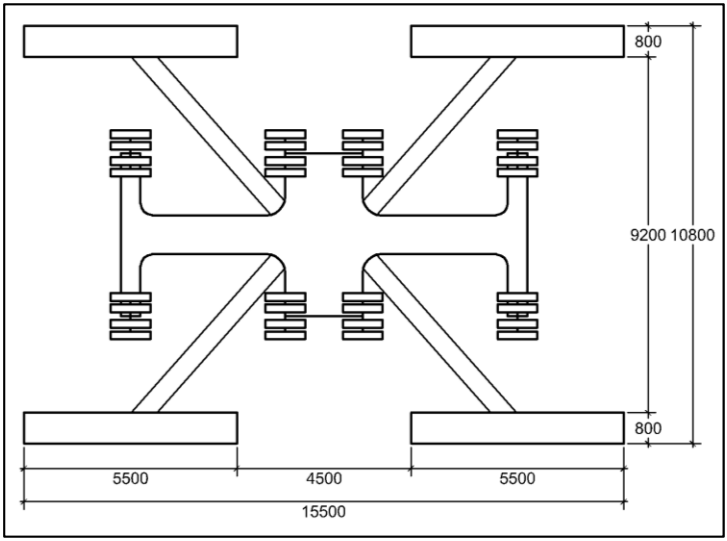
Gambar 4.7 Susunan Roda MHC



Gambar 4.8 Tampak Samping Pad MHC



Gambar 4.9 Beban pada Pad MHC



Gambar 4.10 Panjang dan Lebar Pad MHC

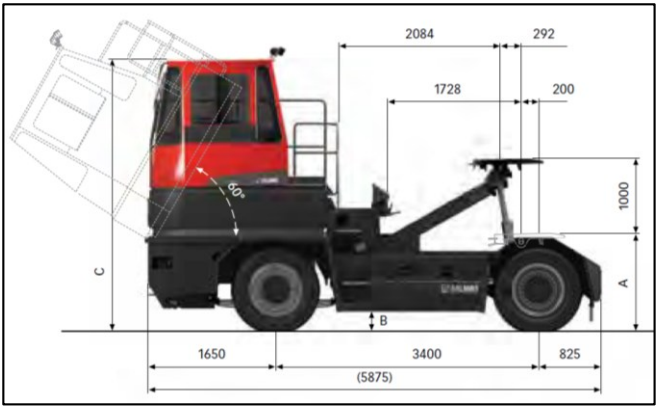
Spesifikasi *mobile harbour crane LHM 180* yang digunakan dalam perencanaan:

- Kapasitas angkat = 64 ton (maks)

- Berat MHC = 101 ton
- Panjang track = 10 m
- Jumlah roda = 32
- Jumlah roda per kaki = 8 (as depan dan belakang)
  = 16 (as tengah)
- Beban roda = 3,16 ton/roda
- Beban pad = 41,25 ton/pad

2. Multiwheel Mammoth
   Truk multiwheel mammoth digunakan untuk membawa alat berat atau industri ke pabrik yang terdiri dari truk dan trailer.

   a. Truk



(a)

(b)

Gambar 4.11 (a) Tampak Samping *truck TR626i,*
(b) Tampak Depan *truck TR626i*
(sumber: *https://www.kalmarglobal.com/*)

Karakteristik traktor :

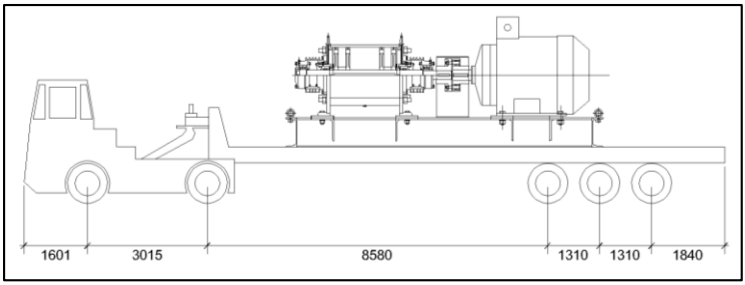
- Jenis = *multi trailer train*
- Aplikasi = industri alat berat
- Wheel base = 3400 mm
- Lebar = 2250 mm
- Berat = 14 ton
- Berat as = 9 ton (depan)
  = 5 ton (belakang)
- Jumlah roda = 2 (as depan)
  = 4 (as belakang)
- Jenis roda = 11-20/16PR

b. Trailer

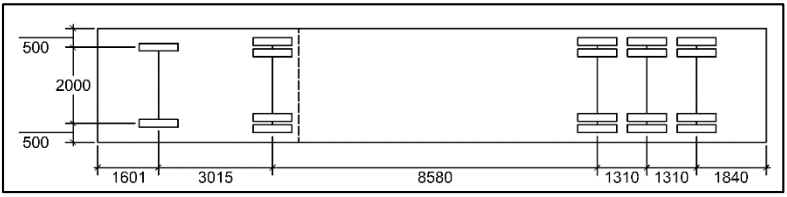
Gambar 4.12 Flatbed Full Trailer
(sumber: *https://cnoriemac.en.alibaba.com/*)

Karakteristik trailer:

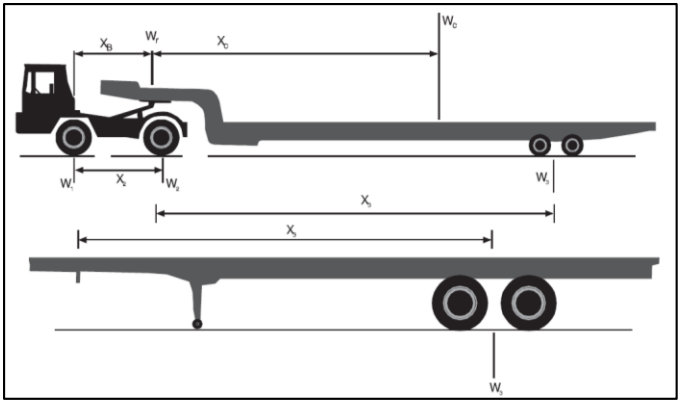
- Jenis = 9401TDP
- Aplikasi = alat berat
- Dimensi = 13000 x 3000 x 2015 mm
- Wheel base = 8580+1310+1310 mm
- Berat = 10 ton (kerb/trailer)
  = 30 ton (payload)
- Jumlah roda = 12



Gambar 4.13 Dimensi Multiwheel Mammoth



Gambar 4.14 Konfigurasi Roda Multiwheel Mammoth



Gambar 4.15 Karakteristik Multiwheel Mammoth

$$W_1 = [1 + f_d] \times \left[U_1 + \frac{W_c[1-A]\times[1-B]}{M_1}\right]$$

$$W_2 = [1 + f_d] \times \left[U_2 + \frac{W_c[1-A] \times B}{M_2}\right]$$

$$W_3 = [1 + f_d] \times \left[U_3 + \frac{W_c \times A}{M_3}\right]$$

$$A = \frac{X_c}{X_3}$$

$$B = \frac{X_b}{X_2}$$

Dimana:

W_1 = berat roda depan truk
W_2 = berat roda belakang truk
W_3 = berat roda trailer
W_c = 30 ton
M_1 = 2 buah
M_2 = 4 buah
M_3 = 12 buah
U_1 = 9/2 = 4,5 ton
U_2 = 5/4 = 1,25 ton
U_3 = 10/12 = 0,83 ton
f_d = 0,1 (tabel 2.11)

X_c = 9890 x ¾ = 7418 mm
X_3 = 9890 mm
X_b = 2908 mm
X_2 = 3400 mm

Perhitungan beban roda :

A $= \frac{7418}{9890} = 0{,}75$

B $= \frac{2908}{3400} = 0{,}85$

$W_1 = [1 + 0{,}1] \times \left[4{,}5 + \frac{30[1-0{,}75] \times [1-0{,}85]}{2}\right]$
$= 5{,}57$ ton

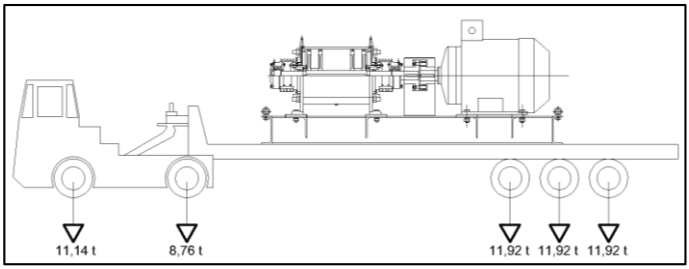
$W_2 = [1 + 0{,}1] \times \left[1{,}25 + \frac{30[1-0{,}75] \times 0{,}85}{4}\right]$
$= 2{,}19$ ton

$W_3 = [1 + 0{,}1] \times \left[0{,}83 + \frac{30 \times 0{,}75}{12}\right]$

$= 2{,}98$ ton

Berat per as:

a. As truk depan = 2 x 5,57 = 11,14 ton
b. As truk belakang = 4 x 2,19 = 8,76 ton
c. As trailer = 4 x 2,98 = 11,92 ton



Gambar 4.16 Konfigurasi Beban Multiwheel Mammoth

4.4.2 Beban Horizontal

A. Beban gempa

Variabel gempa dihitung dengan persamaan-persamaan dari subbab 2.3.2.E seperti berikut. Berdasarkan SNI 1726-2012, berikut prosedur menentukan gaya gempa yang terjadi pada struktur:

1. Koefisien gempa
   Koefisien gempa lain didapatkan melalaui puskim.go.id untuk hasil yang lebih akurat. Koefisien gempa untuk Kota Bontang dapat dilihat pada Tabel 2.23

2. Periode getar fundamental struktur

$$T = T_a = C_t \cdot h_n^{\,x}$$

C_t = 0,0466
h_n = 17,5 m
x = 0,9
T = $0{,}0466 \times 17{,}5^{0{,}9}$

= 0,612 s

3. Koefisien respons seismik

$$0{,}044 \cdot S_{DS} \cdot I_e > C_s = \frac{S_{DS}}{\left(\frac{R}{I_e}\right)} > \frac{S_{D1}}{T\left(\frac{R}{I_e}\right)}$$

Dimana:

S_{DS} = 0,216
I_e = 1 (Tabel 2.21)
R = 3 (Tabel 2.19)
S_{D1} = 0,184 (Tabel 2.23)
T = 0,612 s

$$0{,}044 \cdot 0{,}216 \cdot 1 > C_s = \frac{0{,}216}{\left(\frac{3}{1}\right)} > \frac{0{,}184}{0{,}612\left(\frac{3}{1}\right)}$$

$0{,}0095 > C_S = 0{,}072 > 0{,}1$ (OK)

C_S = 0,072

4. Gaya geser seismik

$$V = C_s \cdot W$$

Dimana:

C_s = 0,072
W = 3686,5 t (volume struktur atas x massa jenis struktur atas)
V = 265,4 t

5. Faktor distribusi vertikal

$$C_{vx} = \frac{w_x \cdot h_x{}^k}{\sum_{i=1}^{n} w_i \cdot h_i{}^k}$$

Dikarenakan struktur terdiri dari 1 tingkat maka $C_{vx} = 1$

6. Gaya gempa lateral

$$F_x = C_{vx} \cdot V$$

Dimana:

C_{vx} = 1

V = 265,4 t

F_x = 265,4 t (untuk 1 segmen atau 71 x 30 m^2)

$F_{x\text{-}x}$ = 265,4/10

= 26,54 t (gaya statis pada balok melintang)

$F_{x\text{-}y}$ = 265,4/5

= 53,08 t (gaya statis pada balok memanjang)

B. Beban tumbukan kapal

$$E_f = \left(\frac{M_s.V^2}{2}\right).C_e.C_m.C_s.C_c/g$$

Ms $=10^{0,550+0,899\log 8600}$ (Tabel 2.12)

Ms =9895 ton

V =0,109 m/s (kapal mudah bertambat dan pelabuhan terlindung, lihat Tabel 2.12)

Ce =0,61

Cm =1,46

Cs =1

Cc =1 (jetty)

- Mencari nilai Ce :

L_{pp} $= 10^{0,867+0,310\log(DWT)} = 10^{0,867+0,310\log(6800)}$

= 113,5 m

l $= \frac{1}{4}L_{pp} = \frac{1}{4}113,5 = 28,4$ m→dermaga

r $= (0,19C_b+0,11)L_{pp} = (0,19\cdot 1,1+0,11)113,5$

= 35,3 m

C_e $= \frac{1}{1+\left(\frac{l}{r}\right)^2} = \frac{1}{1+\left(\frac{28,4}{35,3}\right)^2} = 0,61$

- Mencari nilai Cm :

∇ $= \frac{DT}{\rho_a} = \frac{9895}{1,03} = 9607\ m^3$

C_b $= \frac{\nabla}{L_{pp}\cdot B\cdot d} = \frac{9607}{113,5\cdot 16\cdot 5} = 1,06$

$C_m = 1+\frac{\pi}{2 \cdot C_b} \times \frac{d}{B} = 1+\frac{\pi}{2 \cdot 1{,}06} \times \frac{5}{16}$

$= 1{,}46$

Sehingga:

$E_f = \left(\frac{9895.0{,}109^2}{2}\right).0{,}61.1{,}46.1.1/9{,}8$

$E_f = 5{,}3$ ton-m

Safety factor fender diambil dari PIANC berdasarkan jenis dan ukuran kapal

Tabel 4.1 Safety Factor

PIANC Factors of Safety (F_S)

Vessel type	Size	F_s
Tanker, bulk, cargo	Largest Smallest	1.25 1.75
Container	Largest Smallest	1.5 2.0
General cargo		1.75
RoRo, ferries		≥2.0
Tugs, workboats, etc		2.0

(sumber: PIANC, 2002)

Jenis kapal multipurpose sama dengan general cargo sehingga SF=1,75. Nilai akhir Ef_{akhir}=Ef x SF= 5,3 x 1,75= 9,3 ton-m= 91 kN-m

C. Beban tarikan kapal

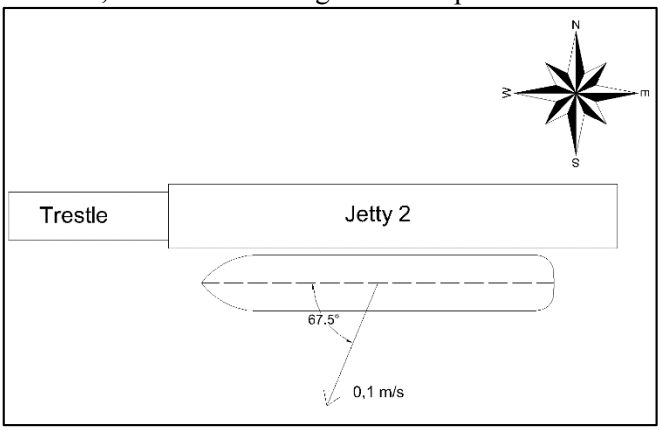
Gaya tarik kapal multipurpose 6800 DWT yang merapat dapat dicari dengan Tabel 2.14, sebelumnya kapasitas kapal dalam DWT harus dikonversikan ke GT (lihat Tabel 2.15).

GT =0,541DWT =0,541 x 6800 = 3679 ton

Dengan kapasitas kapal 3679 GT maka didapat gaya tarik yang terjadi pada bollard adalah 350 kN.

D. Beban tarikan akibat arus

Kecepatan arus maksimum di teluk Sekangat adalah 0,1 m/s ke arah utara-timur laut/selatan-barat daya atau membentuk sudut 67,5° dari sumbu longitudinal kapal



Gambar 4.17 Arah Arus di Jetty 2

Tekanan akibat arus pada kapal dapat dicari dengan persamaan :

$$P_c = \frac{C_c \cdot \gamma_c \cdot A_c \cdot V_c^2}{2g}$$

Dimana :

γ_c= 1,03 t/m^3

Ac = draft x Lpp

= 5 x 110

= 550 m^2

V_C = 0,1 m/s^2

h/d= 8/5= 1,6

C_C = 2,1 (Gambar 2.7)

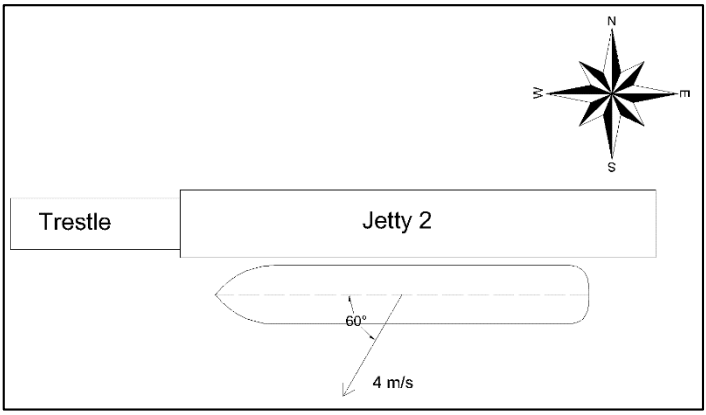
Sehingga nilai P_c:

$$P_c = \frac{C_c \cdot \gamma_c \cdot A_c \cdot V_c^2}{2g} = \frac{2{,}1 \cdot 1{,}03 \cdot 550 \cdot 0{,}1^2}{2 \cdot 9{,}8}$$

P_c = 0,61 t = 5,98 kN

E. Beban tarikan akibat angin

Sumber data sekunder menyebutkan bahwa kecepatan angin dominan adalah 4 m/s dengan arah 30^o dari lintang utara. Nilai tekanan angin pada kapal bertambat dapat dihitung dengan persamaan berikut :



Gambar 4.18 Kecepatan dan Arah Angin pada Kapal

$$R=\frac{1}{2}\cdot\rho_a\cdot U^2\cdot A_L\cdot C$$

ρ_a = 1,23 x 10^{-3} t/m^3

U = 4 m/s

A_L = 110 x 1,48

= 162,8 m^2

C = 1,5 (tabel 2.15)

R $=\frac{1}{2}\cdot\rho_a\cdot U^2\cdot A_L\cdot C$

$=\frac{1}{2}\cdot 1{,}23\times 10^{-3}\cdot 4^2\cdot 162{,}8\cdot 1{,}5$

= 2,4 t=23,5 kN

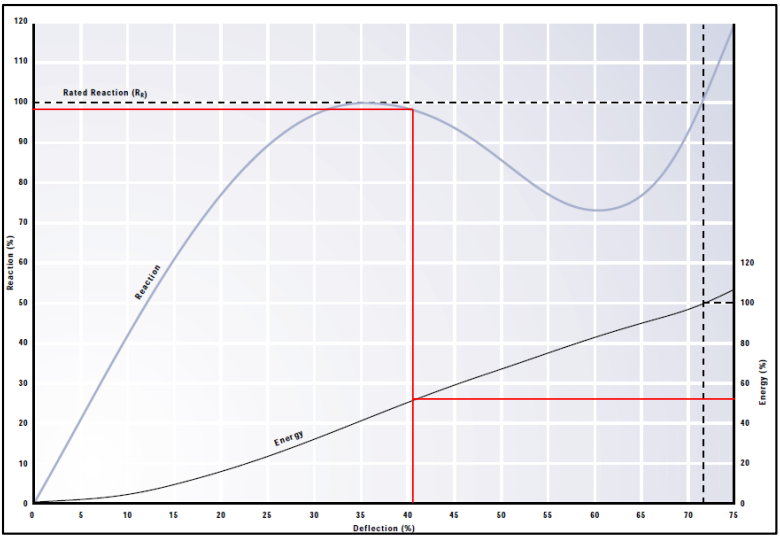
4.5 Perencanaan Fender dan Bollard

4.5.1 Fender

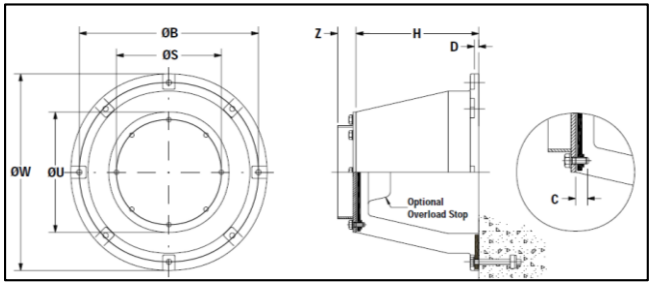
A. Pemilihan tipe fender

Dengan Ef_{maks}= 91 kN-m dan E_{fender}= 171 kN-m, maka rasio energi fender adalah = 91/171 = 0,53 atau 53%, sehingga direncanakan fender yang akan digunakan adalah:

- Produsen = Trelleborg
- Model = Super Cone Fender
- Tipe = SCN 800 (E0,9)
- Berat (W_{cone}) = 606 kg
- Energi = 171 kN-m
- Reaksi = 419 kN
- Rasio Reaksi = 98% (Gambar 4.19)
- Defleksi (δ) = 41 % (Gambar 4.19)
- Dimensi :
  - H = 800 mm
  - ΦW = 1280 mm
  - ΦU = 785 mm
  - C = 40-52 mm
  - D = 35 mm
  - ΦB = 1165 mm
  - ΦS = 685 mm
  - Z = 120 mm



Gambar 4.19 Grafik *Performance SCN Fender*
(sumber: *Fentek's Catalogue*)



Gambar 4.20 Dimensi Cone Fender

B. Pemasangan fender

1. Jarak antar fender

$$P \leq 2 \cdot \sqrt{R_B{}^2 - (R_B - h + C)^2}$$

Dimana:

R_B = 33 m

h = (100-δ)% x H

= (100-41)% x 0,8= 0,47 m

C =10% x (H+Z)

=10% x (0,8+0,12) = 0,09 m

Sehingga:

$P \leq 2 \cdot \sqrt{33^2-(33-0,47-0,09)^2} = 9,9$ m

Pakai P= 7,5 m (bentang portal)

2. Desain Panel Fender

$$P = \frac{\sum R}{W_2 H_2} \leq P_p$$

Dimana :

ΣR = 419 kN

W_2 = 1,5 m

H_2 = 3,5 m

t = 12 mm (Tabel 2.25)

Pp = 400 kN/m^2 (Tabel 2.26)

P = $\frac{419}{1,5 \times 3,5}$=80 kN/m^3

P ≤ P_p (OK)

W_{panel} = W_2 x H_2 x t x γ_{baja}

= 1,5 x 3 x 0,012 x 7850

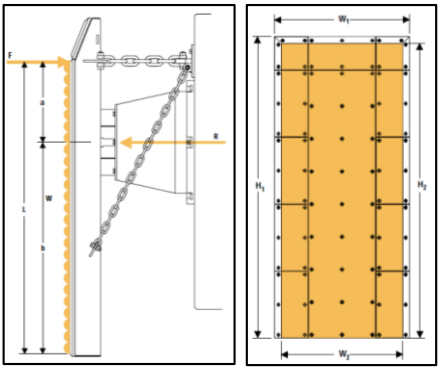
= 494 kg

W_{izin} = n x 1,0 x W_{cone}

= 1 x 1,0 x 606

= 606 kg

W_{panel} <W_{izin} (panel 1,5 x 3,5 m dapat digunakan)



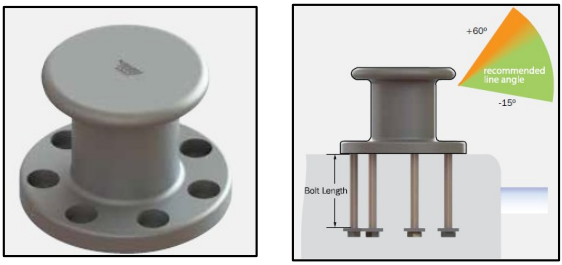
Gambar 4.21 Tampak Samping dan Depan Panel Fender

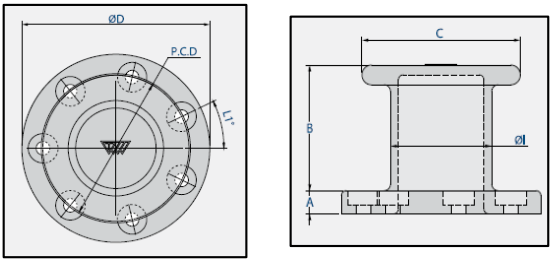
4.5.2 Bollard

A. Pemilihan tipe bollard

Gaya tarik yang terjadi akibat kapal= 350 kN, akibat arus= 5,98 kN dan akibat angin= 23,5 kN ,dari ketiga gaya tersebut gaya tarik akibat kapal adalah yang terbesar, maka gaya tarikan kapal diapakai acuan untuk menentukan tipe dan kapasitas bollard. Tipe bollard yang direncanakan adalah sebagai berikut:

- Produsen = Trelleborg
- Model = Pillar Bollard
- Kapasitas = 50 ton = 490 kN





Gambar 4.22 Pillar Bollard

Tabel 4.2 Spesifikasi Bollard

DIMENSION	BOLLARD CAPACITY (tonnes)							
	10	15	30	50	75	100	150	200
A	35	40	50	60	70	70	80	90
B	180	280	320	350	380	410	450	480
C	200	300	390	430	500	580	680	740
ØD	270	420	500	580	630	700	800	900
P.C.D	190	300	365	450	490	550	600	700
Øl	125	200	240	280	320	360	400	450
L1	0	0	0	12.9°	12.9°	25.7°	0	0
Bolt	M20	M24	M30	M36	M42	M48	M56	M64
Bolt Length	350	400	550	800	1000	1000	1000	1000
P*	50	55	65	75	85	85	95	105
Quantity	4	4	4	7	7	7	8	8

P* = bollard base recess mounting depth = hold-down bolt protrusion height [units: mm]

(sumber: Trelleborg Fentek's Catalogue)

B. Pemasangan bollard

Bollard dipasang dalam rentang 20-25 m (dipasang setiap 3-4 portal). Dalam perencanaan bollard untuk jetty 2 ini jumlah bollard yang dibutuhkan adalah 8 buah, sehingga jarak antar bollard yang diperlukan 22,5 m.

BAB V
PERENCANAAN STRUKTUR JETTY

5.1 Proses Bongkar Muat

Proses unloading kargo dari jetty 2 ke kapal multipurpose berlangsung lama, hal ini berkaitan dengan perizinan dan persiapan fisik di lapangan. Berdasarkan Peraturan Kepala Kantor Otoritas Pelabuhan Tanjung Priok no. UK.112/2/10/OP.TPK.11 berikut urutan proses unloading muatan ke kapal multipurpose dari jetty 2 PT. Badak LNG:

1. Kapal multipurpose menunggu di anchorage area untuk proses persetujuan surat perintah olah gerak (SPOG) dari Syahbandar
2. Kapal pandu diberikan surat perintah kerja (SPK) oleh Kantor Pelabuhan untuk memandu kapal ke dermaga
3. Mesin kapal dimatikan
4. Kapal multipurpose memasang tambatan ke bollard
5. *Mobile harbour crane* mengangkut kargo dari kapal multipurpose ke deck jetty atau langsung ke truk trailer
6. Truk trailer meninggalkan lokasi bongkar muat menuju pabrik
7. Kapal memberikan laporan keberangkatan kapal ke Kantor Pelabuhan
8. Kantor Pelabuhan mengeluarkan izin keberangkatan kapal bersamaan waktu pelaksanaan dan kapal pandu
9. Kapal meninggalkan pelabuhan

5.2 Perencanaan Layout Dermaga

Perencanaan layout terminal perlu dianalisa satu-persatu agar kegiatan operasional kapal dapat berjalan dengan lancar. Suatu terminal harus memiliki dimensi yang memadai sesuai jenis kapal yang akan bertambat pada dermaga.

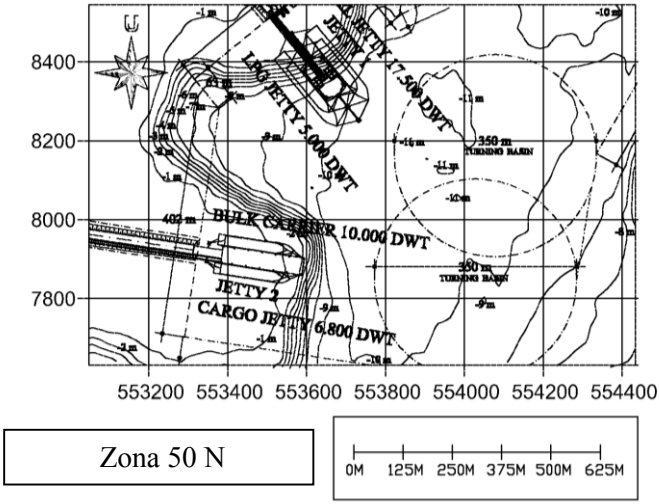
Kriteria kapal rencana yang digunakan adalah kapal multipurpose yang membawa barang untuk kebutuhan pabrik LNG

PT.Bontang. Karakteristik kapal rencana untuk unloading muatan sebagai berikut:

- Bobot = 6.800 DWT
- LOA = 110 m
- Breadth = 16 m
- Draft = 5 m

5.2.1 Layout Eksisting

Layout dermaga jetty 2 terletak pada koordinat 0°04'21.2"N 117°28'40.2"E , dari perbandingan layout asli dan revisi dapat disimpulkan beberapa area memilik perbedaan seperti kolam putar dan alur pelayaran, hal ini dikarenakan layout revisi khusus melayani kapal 6.800 DWT di sisi selatan saja sedangkan layout awal mencakup demaga jetty 2 sisi utara dan selatan. Layout asli dapat dilihat pada Gambar 5.1 dan layout revisi pada Gambar 5.2.



Gambar 5.1 Layout Perairan dan Daratan Eksisting

Tabel 5.1 Dimensi Fasilitas Perairan Eksisting

Fasilitas Perairan	Uraian	Dimensi
Pengangkuran	Radius Pengangkuran	R= - m
	Kedalaman Pengangkuran	d= - m
Alur Pelayaran	Alinyemen Alur Pelayaran	R= - m α= - °
	Lebar Alur	W= - m
	Kedalaman Alur	d= -10 mLWS
	Panjang Alur	L= - m
Basin	Kolam Dermaga	P= - m L= - m
	Kolam Putar	Db= 350 m
	Tinggi Gelombang Izin	$H_{1/3}$= 0,5 m

Tabel 5.2 Rekap Dimensi Fasilitas Dermaga Eksisting

Fasilitas Dermaga	Dimensi
Panjang Dermaga	Lp= 142 m
Kedalaman Dermaga	d= -8 mLWS
Lebar Dermaga	W= 30 m
Elevasi Permukaan	+4,5 mLWS

5.2.2 Evaluasi Layout Perairan

A. Area pengangkuran

Kapal multipurpose termasuk kapal modern, kapal modern sangat efektif dalam melaksanakan tugasnya, demikian juga dalam hal bertambat, kapal multipurpose menggunakan 2 jangkar agar tidak memakan banyak area. Material permukaan laut yang baik dan kecepatan angin yang tenang maka radius dan kedalaman pengangkuran sesuai peraturan OCDI adalah sebagai berikut:

r = LOA + 4,5D (2 angkur)
= 110 + 4,5(5)
= 132,5 ≈ 135 m
d = -8 mLWS (sesuai kedalaman kolam dermaga)

B. Alur Pelayaran

1. Alinyemen alur pelayaran
Untuk keperluan pembelokan alur pelayaran kapal ke kolam putar hanya membentuk sudut kurang dari 25^{o} ,maka jari-jari alur pembelokan ditetapkan sebagai berikut:
R≥3LOA untuk α<25°
LOA =110 m
R =3 x 110
=330 m

2. Lebar alur
Terdapat dermaga lain di dekat jetty 2, karena volume kapal keluar masuk sedikit dan merupakan dermaga baru bisa digunakan one-way entrance channel, maka lebar alur ditetapkan sebagai berikut:
W = 5B + 30 m
Dimana:
W = lebar alur (m)
B = lebar kapal (m)
W = (5 x 16) + 30 m
W = 110 m
Maka lebar alur yang dibutuhkan adalah 110 m

3. Kedalaman alur
Dikarenakan terminal berada pada perairan tenang, maka kedalaman alur ditetapkan sebagai berikut:
D =1,15 x Draft Kapal
=1,15 x 5
=5,75 m ≈ 6 m

Elevasi minimal perairan pada alur masuk yang dibutuhkan kapal multipurpose 6.800 DWT agar dapat melintasi perairan adalah -6 mLWS.

4. Panjang alur

Panjang alur direncanakan mulai dari kolam pelabuhan ke titik pusat kolam putar untuk kapal multipurpose 6.800 DWT yang akan bertambat ke dermaga. Dimana kecepatan harian maksimal rata-rata angin adalah 16 knots, maka panjang alur yang ditetapkan sebagai berikut:

L=7 x LOA
=7 x 110
=770 m

Sehingga panjang alur minimum yang dibutuhkan adalah 770 m

C. Basin

1. Kolam putar

Areal yang disediakan dibatasi dengan bentuk lingkaran berdiameter Db. Penentuan diameter turning basin berdasarkan Keputusan Menteri perhubungan KM 54 tahun 2002. Jika direncanakan kolam putar dengan dipandu oleh 2 motor boat maka diameter kolam putar yang ditetapkan :

D = 2 x LOA
= 2 x 110 m
= 220 m

2. Kolam dermaga

Dermaga jetty 1 tidak hanya berhadapan dengan dermaga jetty 2, dermaga jetty 1 juga memiliki *floating pontoon* untuk kapal pemandu (*tugboat*), sehingga penentuan panjang dan lebar kolam dermaga adalah sebagai berikut:

Panjang = 1,25 x LOA (dibantu tugboat)
= 1,25 x 110
= 137,5 ≈ 140 m

Lebar = 4 x B + 50 m (1 dermaga berhadapan)

= 4 x 16 + 50 m
= 114 m

3. Tinggi gelombang izin
Dikarenakan kapal multipurpose 6.800 DWT berada pada kelas sedang dan besar maka sesuai peraturan OCDI tinggi gelombang izin adalah:
$H_{1/3}$ = 0,5 m

Tabel 5.3 Dimensi Fasilitas Perairan Rencana

Fasilitas Perairan	Uraian	Dimensi
Pengangkuran	Radius Pengangkuran	R= 135 m
	Kedalaman Pengangkuran	d= -8 mLWS
Alur Pelayaran	Alinyemen Alur Pelayaran	R= 330 m $\alpha < 25^o$
	Lebar Alur	W= 110 m
	Kedalaman Alur	d= -6 mLWS
	Panjang Alur	L= 770 m
Basin	Kolam Dermaga	P= 140 m L= 114 m
	Kolam Putar	Db= 220 m
	Tinggi Gelombang Izin	$H_{1/3}$= 0,5 m

5.2.3 Evaluasi Layout Dermaga

1. Panjang dan kedalaman dermaga
Panjang dan kedalaman dermaga untuk kapal multipurpose 6.800 DWT sesuai **tabel 2.7** peraturan OCDI adalah sebagai berikut:
Lp = 130 + (6.800-5.000) x (160-130)/(10.000-5.000)
= 140,8 m ≈ 142 m (2 segmen)

d = 7,5 + (6.800-5.000) x (9-7,5)/(10.000-5.000)
= 8,04 ≈ 8 m

Maka panjang dermaga adalah 142 m dan kedalaman dermaga -8 mLWS

2. Lebar dermaga

Lebar dermaga ditentukan sesuai radius putar truk multiwheel mammoth. Maka lebar dermaga ditetapkan sebagai berikut:

W = $2xL_{truk}$
= 2x(3015+8580+1310+1310)
= 28430 mm
= 28,4 m ≈ 30 m

3. Elevasi tambahan dermaga

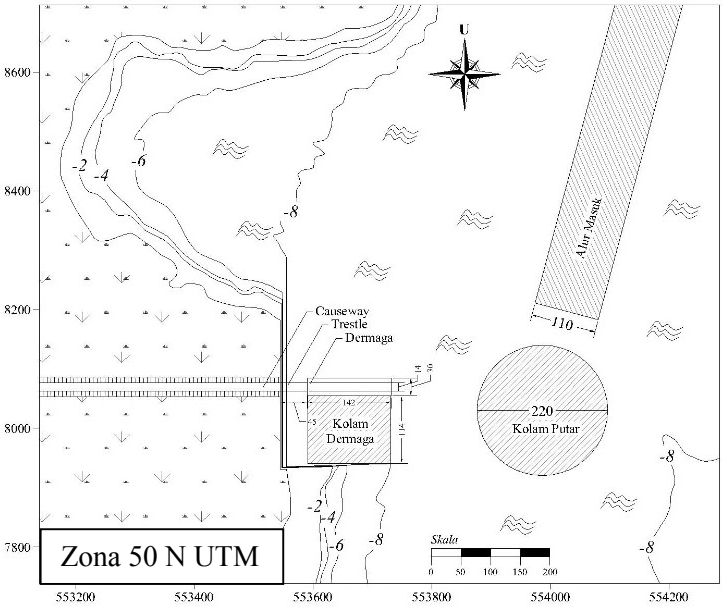
Perbedaan elevasi pasang surut yang didapat dari data pasang surut ialah 2,46 m dimana kurang dari 3 m, sesuai peraturan OCDI apabila selisih pasang naik dan pasang surut kurang dari 3 m dan kedalaman lebih dari sama dengan 4,5 m, maka elevasi tambahan dermaga adalah + 0,5~1,5 m.

Elevasi permukaan = beda pasang surut + (1~2 m)
= 2,5 + 2
= ±4,5 m

Maka elevasi dermaga yang dibutuhkan adalah +4,5 mLWS

Tabel 5.4 Dimensi Fasilitas Dermaga Rencana

Fasilitas Dermaga	Dimensi
Panjang Dermaga	Lp= 142 m
Kedalaman Dermaga	d= -8 mLWS
Lebar Dermaga	W= 30 m
Elevasi Permukaan	+4,5 mLWS



Gambar 5.2 Layout Perairan dan Daratan Revisi

5.3 Perencanaan Komponen Dermaga

Komponen dermaga dibuat dengan sistem pracetak seperti balok, pelat, poer dan tiang pancang. Berikut desain awal komponen dermaga:

- Panjang dermaga = 142 m
- Lebar dermaga = 30 m
- Portal Memanjang = 7,5 m
- Portal Melintang = 7 m
- Balok Memanjang = 800 x 1200 mm
- Balok Melintang = 800 x 1200 mm
- Plank Fender = 500 x 2000 mm
- Tebal Pelat = 400 mm
- Pile Cap Tunggal = 2000 x 2000 x 1000 mm

- Pile Cap Ganda = 4000 x 2000 x 1000 mm

5.3.1 Perhitungan Tinggi Struktur

Tinggi struktur merupakan jarak dari titik jepit tiang pancang (point of fixity) ke elevasi dermaga. Perhitungan titik jepit tanah terhadap tiang pancang digunakan persamaan :

$Zf = 1{,}8\ T$

Dimana :

Zf = Panjang titik jepit tiang pancang terukur dari *seabed*

T = faktor kekakuan tiang pancang

$= \sqrt[5]{\frac{EI}{n_h}}$

E = 2.100.000 kg/cm^2

I = 598.797 cm^4

nh = koefisien modulus variasi tanah

= 5000 KN/m^3 = 0,5 kg/cm^3 (untuk tanah soft normally consolidated clays (Terzaghi dalam Daya Dukung Tanah Pondasi Dalam Herman Wahyudi ,1991))

Sehingga faktor kekakuan (T) dapat dihitung sebagai berikut:

$T = \sqrt[5]{\frac{2100000 \times 598797}{0{,}5}}$

= 302 cm

Zf = 1,8 x 302

= 544 cm = 5,5 m

Sehingga tinggi struktur dermaga :

H total = Jarak dari Elevasi Dermaga ke LWS + Jarak Seabed ke LWS + Jarak Seabed ke Titik Jepit Tiang Pancang

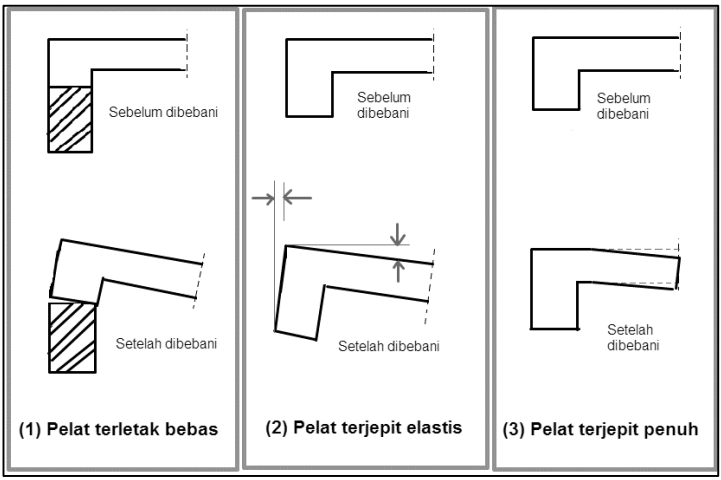
= 4,5 + 8 + 5,5 = 18 m

5.4 Perencanaan Pelat Dermaga

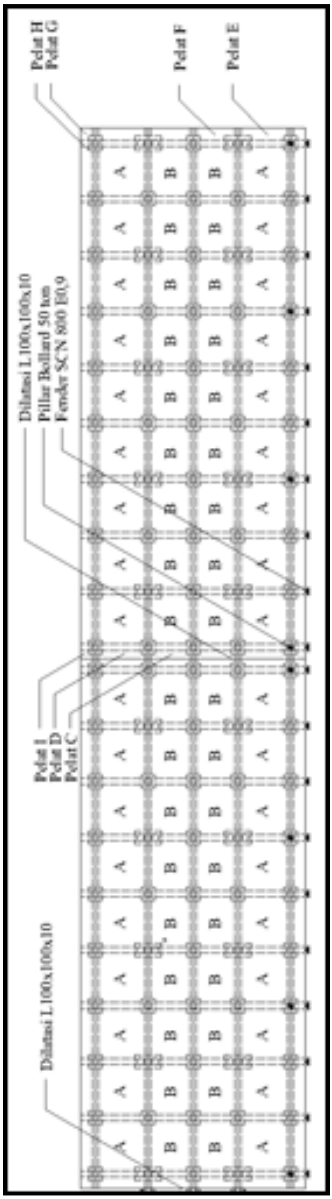
5.4.1 Penentuan Tipe Pelat

Komponen dikategorikan sebagai pelat apabila perbandingan antara tinggi dan lebar ≤ 0,4 , pada kasus ini pelat dalam kondisi statis tak tentu dimana pelat merupakan struktur

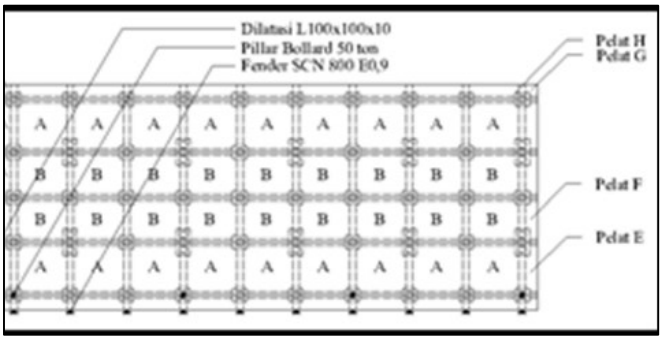
lentur. Pelat dalam kondisi terjepit elastis di ke-empat sisinya karena pelat dan balok/kolom tidak dicor secara bersamaan melainkan dengan metode pracetak dan hanya terkekang pada sisi bawah. Denah pelat dapat dilihat pada Gambar 5.4 dan Gambar 5.5



Gambar 5.3 Jenis Pelat Berdasarkan Perletakan



Gambar 5.4 Tipe Pelat dan Dilatasi



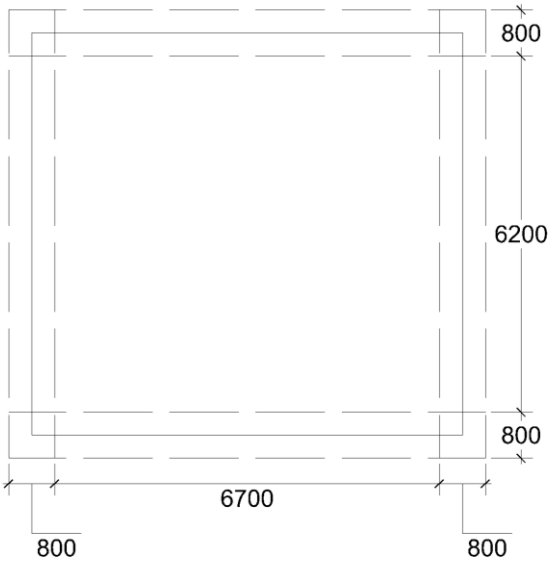
Gambar 5.5 Dilatasi Sisi Kanan

5.4.2 Pembebanan pada Pelat

Pelat direncanakan hanya menanggung beban vertikal, berikut beban-beban yang terjadi pada pelat:

1. Berat sendiri = 1,16 t/m^2
2. Beban hidup merata = 5 t/m^2
3. Beban bergerak
   a. Mobile Harbour Crane (lihat Subbab 4.4.C.1)
   b. Multiwheel Mammoth (lihat Subbab 4.4.C.2)

5.4.3 Perhitungan Momen Pelat



Gambar 5.6 Pelat 7,5 x 7 m

A. Momen akibat beban mati

Beban mati merata pada pelat 7,5 x 7 m adalah sebesar 1,16 t/m^2 (berat sendiri pelat), momen yang terjadi pada pelat dihitung sebagai berikut:

Momen tumpuan = Mtx = Mty = -0,001.qd.Ix^2.X

Momen lapangan = Mlx = Mly = 0,001.qd.Ix^2.X

Dimana:

qd = beban mati merata (t/m^2)

Ix = jarak terpendek pelat (m)

X = koefisen pengali (Tabel 13.3.1 PBI 1971)

- Perhitungan momen pelat

  Sebelum menghitung momen, perlu diketahui nilai Iy/Ix dari pelat sehingga nilai koefisien pengali X dapat

diketahui, untuk pelat 7,5 x 7 m, nilai Iy dan Ix masing-masing adalah:
Iy = sisi pelat terpanjang – lebar balok melintang
Iy = 7,5 – 0,8 = 6,7 m
Ix = sisi pelat terpendek – lebar balok memanjang
Ix = 7 – 0,8 = 6,2 m
Iy/Ix = 6,7/6,2 = 1,1
Momen tumpuan:
Mtx = -0,001.1,16.6,2^2.42 = -1,873 tm
Mty = -0,001.1,16.4,2^2.37 = -1,650 tm
Momen lapangan:
Mlx = 0,001.1,16.4,2^2.42 = 1,873 tm
Mly = 0,001.1,16.4,2^2.37 = 1,650 tm

B. Momen akibat beban hidup merata

Beban hidup merata pada pelat 7,5 x 7 m adalah sebesar 5,1 t/m^2 , momen yang terjadi pada pelat dihitung sebagai berikut:
Momen tumpuan = Mtx = Mty = -0,001.ql.Ix^2.X
Momen lapangan = Mlx = Mly = 0,001.ql.Ix^2.X
Dimana:
ql = beban hidup merata (t/m^2)
Ix = jarak terpendek pelat (m)
X = koefisen pengali (Tabel 13.3.1 PBI 1971)

- Perhitungan momen pelat

Sebelum menghitung momen, perlu diketahui nilai Iy/Ix dari pelat sehingga nilai koefisien pengali X dapat diketahui, untuk pelat 7 x 5 m, nilai Iy dan Ix masing-masing adalah:
Iy = sisi pelat terpanjang – lebar balok melintang
Iy = 7,5 – 0,8 = 6,7 m
Ix = sisi pelat terpendek – lebar balok memanjang
Ix = 7 – 0,8 = 6,2 m
Iy/Ix = 7,2/6,2 = 1,1
Momen tumpuan:
Mtx = -0,001.5,15.6,2^2.42 = -8,315 tm

Mty = -0,001.5,15.6,2^2.37 = -7,325 tm
Momen lapangan:
Mlx = 0,001.5,15.6,2^2.42 = 8,315 tm
Mly = 0,001.5,15.6,2^2.37 = 7,325 tm

Tabel 5.5 Momen akibat Beban Mati dan Hidup
(Pelat Tipe A-E)

Tipe	Panjang (cm)	Lebar (cm)	Tebal (cm)	Iy (cm)	Ix (cm)	Iy/Ix	jenis pelat	Koefisien X		Momen (mati) (kgm)	Momen (hidup) (kgm)
A	750	700	40	670	620	1,1	two-way slab	Mlx	42	1873	8315
								Mtx	-42	-1873	-8315
								Mly	37	1650	7325
								Mty	-37	-1650	-7325
B	750	600	40	670	520	1,3	two-way slab	Mlx	50	1568	6963
								Mtx	-50	-1568	-6963
								Mly	38	1192	5292
								Mty	-38	-1192	-5292
C	600	150	40	520	70	7,4	one-way slab	Mlx	54	31	136
								Mtx	-54	-31	-136
D	750	150	40	670	70	9,6	one-way slab	Mlx	54	31	136
								Mtx	-54	-31	-136
E	700	200	40	620	120	5,2	one-way slab	Mlx	54	90	400
								Mtx	-54	-90	-400

Tabel 5.6 Momen akibat Beban Mati dan Hidup
(Pelat Tipe F-I)

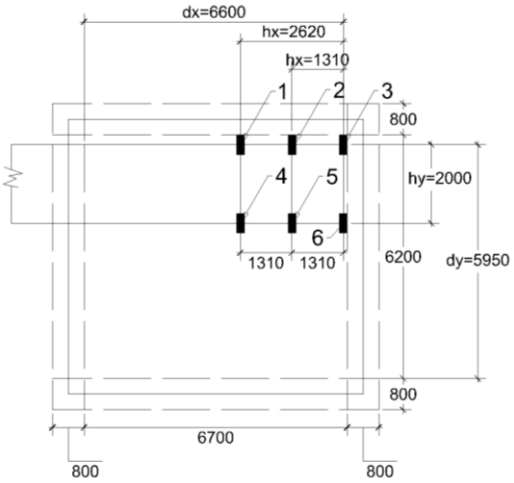
Tipe	Panjang (cm)	Lebar (cm)	Tebal (cm)	Iy (cm)	Ix (cm)	Iy/Ix	jenis pelat	Koefisien X		Momen (mati) (kgm)	Momen (hidup) (kgm)
F	600	200	40	520	120	4,3	one-way slab	Mlx	54	90	400
								Mtx	-54	-90	-400
G	200	200	40	120	120	1,0	two-way slab	Mlx	48	80	356
								Mtx	-48	-80	-356
								Mly	48	80	356
								Mty	48	80	356
H	750	200	40	670	120	5,6	one-way slab	Mlx	54	90	400
								Mtx	-54	-90	-400
I	200	150	40	120	70	1,7	two-way slab	Mlx	82	47	207
								Mtx	-82	-47	-207
								Mly	50	28	126
								Mty	-50	-28	-126

C. Momen akibat beban terpusat truk

Besarnya momen akibat beban terpusat truk yang bergerak didasarkan pada momen maksimum yang didapat. Area kontak truk seluas 50 x 20 cm^2. Beban maksimal pada 2 roda trailer sebesar 5,96 ton. Untuk perhitungan momen akibat beban terpusat roda dibagi 2 yaitu posisi truk arah memanjang pelat dan posisi truk arah melintang pelat.

1. Posisi truk arah memanjang pelat

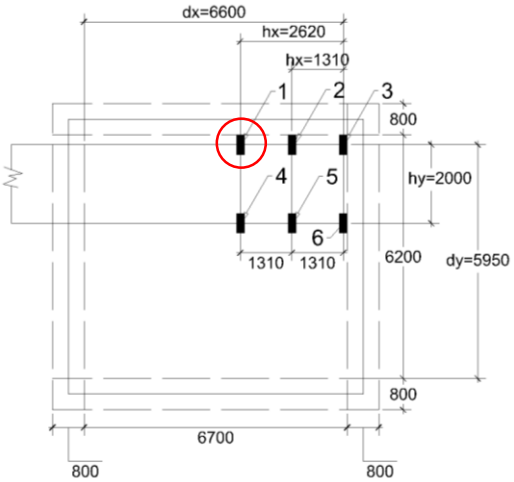
   Dalam kombinasi ini terjadi saat roda truk terletak di tengah pelat saat memanjang. Perhitungan momen maksimum dengan Iy/Ix = 1,1 adalah sebagai berikut:



Gambar 5.7 Posisi Roda Trailer Arah Memanjang

   a. Roda Trailer 1

      Pada roda trailer 1 arah-x terjadi pengurangan momen tumpuan sebesar $(h/d)^2$ x Mt karena tidak berbatasan langsung dengan tepi.



Gambar 5.8 Beban Roda Trailer 1

$$M = \frac{a_1 \cdot \frac{b_x}{I_x} + a_2 \cdot \frac{b_y}{I_y} + a_3}{\frac{b_x}{I_x} + \frac{b_y}{I_y} + a_4} \cdot W$$

Dimana :

M	= momen maksimum
a_1, a_2, a_3, a_4	= koefisien
b_x	= panjang beban sejajar I_x
b_y	= panjang beban sejajar I_y
I_x	= panjang bersih pelat terkecil
I_y	= panjang bersih pelat terbesar
W	= beban terpusat

Dimana :

	Lapangan		Tumpuan	
	Arah-X	Arah-Y	Arah-X	Arah-Y
a_1	-0,061	-0,017	0,055	0,113

a_2	-0,021	-0,068	0,144	0,064
a_3	0,136	0,130	-0,365	-0,324
a_4	0,408	0,390	0,972	0,972
b_x	0,5 m	0,5 m	0,5 m	0,5 m
b_y	0,2 m	0,2 m	0,2 m	0,2 m
I_x	6,2 m	6,2 m	6,2 m	6,2 m
I_y	6,7 m	6,7 m	6,7 m	6,7 m
I_x/I_y	1,1	1,1	1,1	1,1
W	5,96 ton	5,96 ton	5,96 ton	5,96 ton

- Momen Lapangan :

$$Mlx_1 = \frac{(-0,061)\cdot\frac{0,5}{6,2} + (-0,021)\cdot\frac{0,2}{6,7} + 0,136}{\frac{0,5}{6,2} + \frac{0,2}{6,7} + 0,408}\cdot 5,96$$

$Mlx_1 = 1,50$ tm

$$Mly_1 = \frac{(-0,017).\frac{0,5}{6,2} + (-0,068).\frac{0,2}{6,7} + 0,130}{\frac{0,5}{6,2} + \frac{0,2}{6,7} + 0,390}\cdot 5,96$$

$Mly_1 = 1,51$ tm

- Momen Tumpuan :

$$Mtx_1' = \frac{0,055.\frac{0,5}{6,2} + 0,144.\frac{0,2}{6,7} - 0,365}{\frac{0,5}{6,2} + \frac{0,2}{6,7} + 0,972}\cdot 5,96$$

$Mtx_1' = -1,96$ tm

Mtx_1 setelah terjadi pengurangan:

$h_x = 2620$ mm

$d_x = 6600$ mm

$$Mtx_1 = Mtx_1'\cdot\left(1 - \left(\frac{h_x}{d_x}\right)^2\right)$$

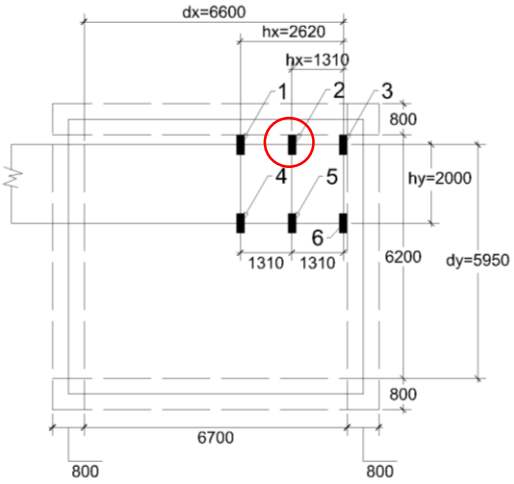
$$Mtx_1 = -1,96\cdot\left(1 - \left(\frac{2620}{6600}\right)^2\right)$$

Mtx_1 = -1,65 tm

$$Mty_1 = \frac{0{,}113.\frac{0{,}5}{6{,}2} + 0{,}064.\frac{0{,}2}{6{,}7} - 0{,}324}{\frac{0{,}5}{6{,}2} + \frac{0{,}2}{6{,}7} + 0{,}972} \cdot 5{,}96$$

Mty_1 = -1,72 tm

b. Roda Trailer 2
Pada roda trailer 2 arah-x terjadi pengurangan momen tumpuan sebesar $(h/d)^2$ x Mt karena tidak berbatasan langsung dengan tepi.



Gambar 5.9 Beban Roda Trailer 2

- Momen Lapangan :
  $Mlx_2 = Mlx_1 = 1{,}50$ tm
  $Mly_2 = Mly_1 = 1{,}51$ tm
- Momen Tumpuan :
  Mtx_2 setelah terjadi pengurangan:
  h_x = 1310 mm
  d_x = 6600 mm

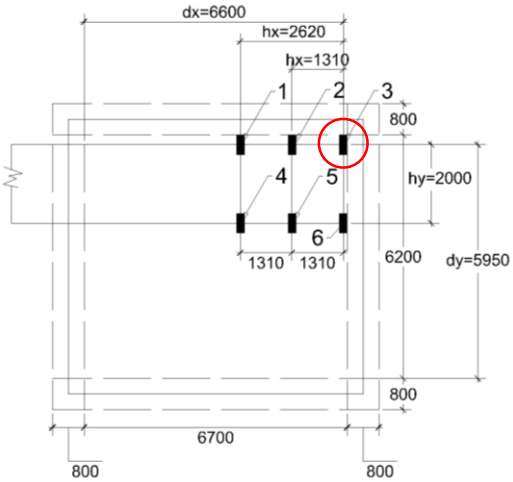
$$Mtx_2 = Mtx_1' \cdot \left(1 - \left(\frac{h_x}{d_x}\right)^2\right)$$

$$Mtx_2 = -1{,}96 \cdot \left(1 - \left(\frac{1310}{6600}\right)^2\right)$$

Mtx_2 = -1,88 tm

$Mty_2 = Mty_1$ = -1,72 tm

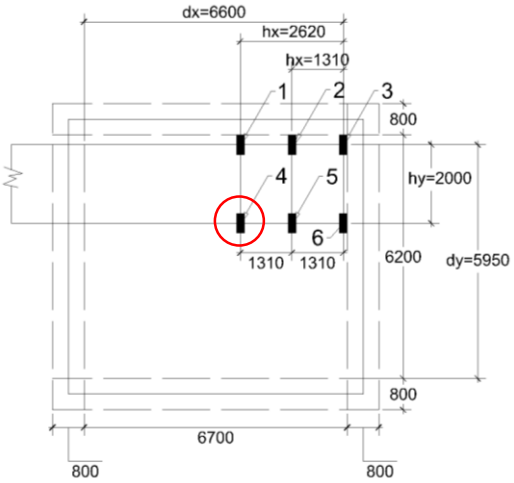
c. Roda Trailer 3



Gambar 5.10 Beban Roda Trailer 3

- Momen Lapangan :
  $Mlx_3 = Mlx_1$ = 1,50 tm
  $Mly_3 = Mly_1$ = 1,51 tm
- Momen Tumpuan
  $Mtx_3 = Mtx_1'$ = -1,96 tm
  $Mty_3 = Mty_1$ = -1,72 tm

d. Roda Trailer 4
Pada roda trailer 4 arah-x dan arah-y terjadi pengurangan momen tumpuan sebesar $(h/d)^2$ x Mt karena tidak berbatasan langsung dengan tepi.



Gambar 5.11 Beban Roda Trailer 4

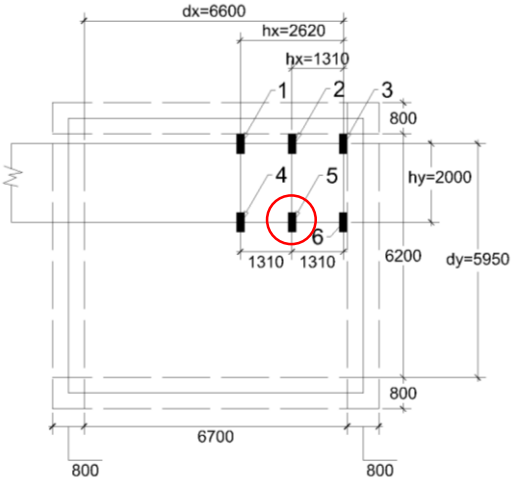
- Momen Lapangan :
  $Mlx_4 = Mlx_1 = 1{,}50$ tm
  $Mly_4 = Mly_1 = 1{,}51$ tm
- Momen Tumpuan
  $Mtx_4 = Mtx_1 = -1{,}65$ tm
  Mty_4 setelah terjadi pengurangan:
  $h_y = 2000$ mm
  $d_y = 5950$ mm

$$Mty_4 = Mty_1 \cdot \left(1 - \left(\frac{h_y}{d_y}\right)^2\right)$$

$$Mty_4 = -1{,}72 \cdot \left(1 - \left(\frac{2000}{5950}\right)^2\right)$$

Mty_4 = -1,53 tm

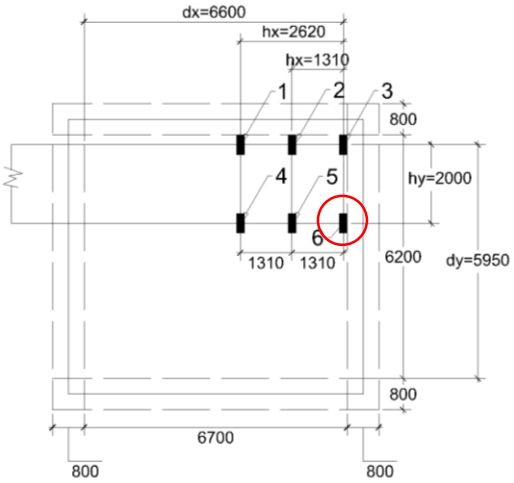
e. Roda Trailer 5
Pada roda trailer 5 arah-x dan arah-y terjadi pengurangan momen tumpuan sebesar $(h/d)^2$ x Mt karena tidak berbatasan langsung dengan tepi.



Gambar 5.12 Beban Roda Trailer 5

- Momen Lapangan :
  $Mlx_5 = Mlx_1 = 1,50$ tm
  $Mly_5 = Mly_1 = 1,51$ tm
- Momen Tumpuan
  $Mtx_5 = Mtx_2 = -1,88$ tm
  $Mty_5 = Mty_4 = -1,53$ tm

f. Roda Trailer 6
Pada roda trailer 6 arah-y terjadi pengurangan momen tumpuan sebesar $(h/d)^2$ x Mt karena tidak berbatasan langsung dengan tepi.



Gambar 5.13 Beban Roda Trailer 6

- Momen Lapangan :
  $Mlx_6 = Mlx_1 = 1{,}50$ tm
  $Mly_6 = Mly_1 = 1{,}51$ tm
- Momen Tumpuan
  $Mtx_6 = Mtx_3 = -1{,}96$ tm
  $Mty_6 = Mty_4 = -1{,}53$ tm
- Momen Lapangan Total Roda :
  Momen lapangan total dihitung dari total momen lapangan roda arah memanjang.
  Mlx.tot $= 6 \times Mlx_1$
  Mlx.tot $= 6 \times 1{,}50 = 9{,}00$ tm
  Mly.tot $= 6 \times Mly_1$
  Mly.tot $= 6 \times 1{,}51 = 9{,}06$ tm
- Momen Tumpuan Total Roda :
  Momen tumpuan total dihitung dari total momen tumpuan roda arah memanjang.
  Mtx.tot $= 2(Mtx_1 + Mtx_2 + Mtx_3)$
  Mtx.tot $= 2((-1{,}65)+(-1{,}88)+(-1{,}96))$

= -10,98 tm

Mty.tot = $3(Mty_1+Mty_4)$

Mty.tot = 3x((-1,72)+(-1,53)) = -9,75 tm

- Lebar pembesian arah memanjang

$$s_x=\left(0{,}4-c_2+0{,}4\cdot\frac{b_x}{I_x}+0{,}2\cdot\frac{b_y}{I_y}-0{,}3\cdot\frac{b_x}{I_x}\cdot\frac{b_y}{I_y}\right)\cdot I_x$$

$$s_y=\left(0{,}4-c_1+0{,}2\cdot\frac{b_x}{I_x}+0{,}4\cdot\frac{b_y}{I_y}-0{,}3\cdot\frac{b_x}{I_x}\cdot\frac{b_y}{I_y}\right)\cdot I_y$$

$$s_{tx}=\left(0{,}6-c_2+0{,}1\cdot\frac{b_x}{I_x}-0{,}1\cdot\frac{b_y}{I_y}+0{,}1\cdot\frac{b_x}{I_x}\cdot\frac{b_y}{I_y}\right)\cdot I_x$$

$$s_{ty}=\left(0{,}6-c_1-0{,}1\cdot\frac{b_x}{I_x}+0{,}1\cdot\frac{b_y}{I_y}+0{,}1\cdot\frac{b_x}{I_x}\cdot\frac{b_y}{I_y}\right)\cdot I_y$$

Dimana:

$b_x = 0{,}5$ m

$b_y = 0{,}2$ m

$I_x = 6{,}2$ m

$I_y = 6{,}7$ m

$c_1 = 0{,}1$

$c_2 = 0{,}1$

$$s_x=\left(0{,}4-0{,}1+0{,}4\cdot\frac{0{,}5}{6{,}2}+0{,}2\cdot\frac{0{,}2}{6{,}7}-0{,}3\cdot\frac{0{,}5}{6{,}2}\cdot\frac{0{,}2}{6{,}7}\right)\cdot 6{,}2$$

$s_x = 2{,}09$

$$s_y=\left(0{,}4-0{,}1+0{,}2\cdot\frac{0{,}5}{6{,}2}+0{,}4\cdot\frac{0{,}2}{6{,}7}-0{,}3\cdot\frac{0{,}5}{6{,}2}\cdot\frac{0{,}2}{6{,}7}\right)\cdot 6{,}7$$

$s_y = 2{,}19$

$$s_{tx}=\left(0{,}6-0{,}1+0{,}1\cdot\frac{0{,}5}{6{,}2}-0{,}1\cdot\frac{0{,}2}{6{,}7}+0{,}1\cdot\frac{0{,}5}{6{,}2}\cdot\frac{0{,}2}{6{,}7}\right)\cdot 6{,}2$$

$s_{tx} = 3{,}13$

$$s_{ty}=\left(0{,}6-c_1-0{,}1\cdot\frac{0{,}5}{6{,}2}+0{,}1\cdot\frac{0{,}2}{6{,}7}+0{,}1\cdot\frac{0{,}5}{6{,}2}\cdot\frac{0{,}2}{6{,}7}\right)\cdot 6{,}7$$

$s_{ty} = 3{,}32$

- Momen Lapangan Maksimum

  $Mlx.max = \frac{Mlx}{sx} = \frac{9,00}{2,09} = 4,30$ tm

  $Mly.max = \frac{Mly}{sy} = \frac{9,06}{2,19} = 4,14$ tm

- Momen Tumpuan Maksimum

  $Mtx.max = \frac{Mtx}{stx} = \frac{-10,98}{3,13} = -3,51$ tm

  $Mty.max = \frac{Mty}{sty} = \frac{-9,75}{3,32} = -2,94$ tm

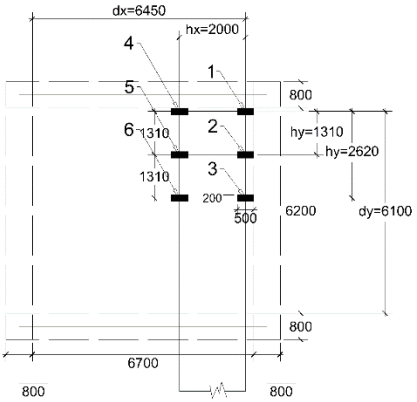
Tabel 5.7 Momen akibat Roda Truk Arah Memanjang
(Pelat A-E)

Tipe Pelat	Koefisien Beban Terpusat				Koefisien Pembesian		Lebar Pembesian		Momen Akibat Beban Bergerak		
	a1	a2	a3	a4	c1	c2				Beban Roda Truk	
										Jumlah Roda	Momen (Kgm)
A	-0,061	-0,021	0,136	0,408	0,1	0,1	Slx	2,09	Mlx	6	4300
	-0,017	-0,068	0,13	0,39	0,1	0,1	Sly	2,19	Mly	6	4124
	0,055	0,144	-0,365	0,972	0,1	0,1	Stx	3,13	Mtx	6	-3757
	0,113	0,064	-0,324	0,972	0,1	0,1	Sty	3,32	Mty	6	-3116
B	-0,057	-0,028	0,144	0,432	0,1	0,1	Slx	1,79	Mlx	6	4939
	-0,013	-0,08	0,128	0,384	0,1	0,1	Sly	2,21	Mly	6	3940
	0,044	0,159	-0,368	0,861	0,1	0,1	Stx	2,64	Mtx	6	-4935
	0,88	0,075	-0,287	0,861	0,1	0,1	Sty	3,31	Mty	6	-2192
C	-0,026	-0,052	0,141	0,423	0,1	0,05	Slx	0,33	Mlx	2	5723
	0,026	0,334	-0,531	1,593	0,1	0,05	Stx	0,40	Mtx	2	-7412
D	-0,026	-0,052	0,141	0,423	0,1	0,05	Slx	0,33	Mlx	2	5963
	0,026	0,334	-0,531	1,593	0,1	0,05	Stx	0,40	Mtx	2	-7583
E	-0,026	-0,052	0,141	0,423	0,1	0,05	Slx	0,51	Mlx	2	4579
	0,026	0,334	-0,531	1,593	0,1	0,05	Stx	0,67	Mtx	2	-4817

Tabel 5.8 Momen akibat Roda Truk Arah Memanjang
(Pelat F-I)

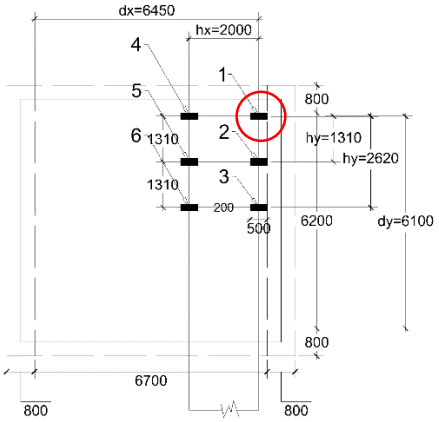
Tipe Pelat	Koefisien Beban Terpusat				Koefisien Pembesian		Lebar Pembesian		Momen Akibat Beban Bergerak		
	a1	a2	a3	a4	c1	c2				Beban Roda Truk	
										Jumlah Roda	Momen (Kgm)
F	-0,026	-0,052	0,141	0,423	0,1	0,05	Slx	0,52	Mlx	2	4424
	0,026	0,334	-0,531	1,593	0,1	0,05	Stx	0,67	Mtx	2	-4738
G	-0,071	-0,017	0,158	0,474	0,05	0,05	Slx	0,64	Mlx	1	1115
	-0,071	-0,017	0,158	0,474	0,05	0,05	Sly	0,58	Mly	1	1231
	0,054	0,163	-0,442	1,326	0,05	0,05	Stx	0,70	Mtx	1	-1754
	0,163	0,054	-0,442	1,326	0,05	0,05	Sty	0,64	Mty	1	-1785
H	-0,026	-0,052	0,141	0,423	0,1	0,05	Slx	0,62	Mlx	3	4247
	0,026	0,334	-0,531	1,593	0,1	0,05	Stx	0,71	Mtx	3	-6318
I	-0,04	-0,043	0,157	0,471	0,05	0,05	Slx	0,36	Mlx	1	1809
	-0,004	-0,105	0,137	0,411	0,05	0,05	Sly	0,65	Mly	1	764
	0,012	0,239	-0,473	1,419	0,05	0,05	Stx	0,38	Mtx	1	-2706
	0,05	0,073	-0,243	0,729	0,05	0,05	Sty	0,69	Mty	1	-1197

2. Posisi truk arah melintang pelat
Dalam kombinasi ini terjadi saat roda truk terletak di tengah pelat saat melintang. Perhitungan momen maksimum dengan Iy/Ix = 1,1 adalah sebagai berikut:



Gambar 5.14 Posisi Roda Trailer Arah Melintang

a. Roda Trailer 1



Gambar 5.15 Beban Roda Trailer 1

$$M=\frac{a_1\cdot\frac{b_x}{I_x}+a_2\cdot\frac{b_y}{I_y}+a_3}{\frac{b_x}{I_x}+\frac{b_y}{I_y}+a_4}\cdot W$$

Dimana :

M	= momen maksimum
a_1,a_2,a_3,a_4	= koefisien
b_x	= panjang beban sejajar I_x
b_y	= panjang beban sejajar I_y
I_x	= panjang bersih pelat terkecil
I_y	= panjang bersih pelat terbesar
W	= beban terpusat

Dimana :

	Lapangan		Tumpuan	
	Arah-X	Arah-Y	Arah-X	Arah-Y
a_1	-0,061	-0,017	0,055	0,113
a_2	-0,021	-0,068	0,144	0,064
a_3	0,136	0,130	-0,365	-0,324
a_4	0,408	0,390	0,972	0,972
b_x	0,2 m	0,2 m	0,2 m	0,2 m
b_y	0,5 m	0,5 m	0,5 m	0,5 m
I_x	6,2 m	6,2 m	6,2 m	6,2 m
I_y	6,7 m	6,7 m	6,7 m	6,7 m
I_x/I_y	1,1	1,1	1,1	1,1
W	5,96 ton	5,96 ton	5,96 ton	5,96 ton

- Momen Lapangan :

$$Mlx_1=\frac{(-0{,}061)\cdot\frac{0{,}2}{6{,}2}+(-0{,}021)\cdot\frac{0{,}5}{6{,}7}+0{,}136}{\frac{0{,}2}{6{,}2}+\frac{0{,}5}{6{,}7}+0{,}408}\cdot 5{,}96$$

$Mlx_1 = 1{,}53$ tm

$$Mly_1 = \frac{(-0{,}017).\frac{0{,}2}{6{,}2} + (-0{,}068).\frac{0{,}5}{6{,}7} + 0{,}130}{\frac{0{,}2}{6{,}2} + \frac{0{,}5}{6{,}7} + 0{,}390} \cdot 5{,}96$$

$Mly_1 = 1{,}49$ tm

- Momen Tumpuan :

$$Mtx_1 = \frac{0{,}055.\frac{0{,}2}{6{,}2} + 0{,}144.\frac{0{,}5}{6{,}7} - 0{,}365}{\frac{0{,}2}{6{,}2} + \frac{0{,}5}{6{,}7} + 0{,}972} \cdot 5{,}96$$

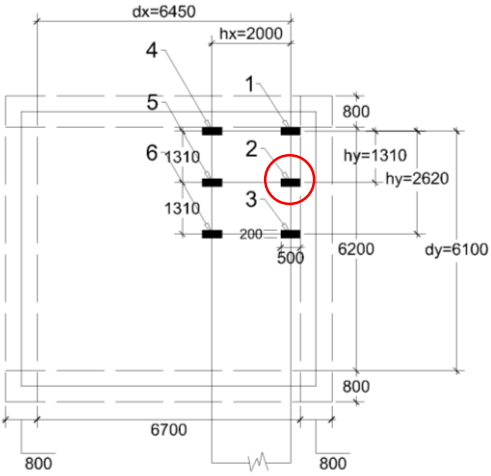
$Mtx_1 = -1{,}95$ tm

$$Mty_1 = \frac{0{,}113.\frac{0{,}2}{6{,}2} + 0{,}064.\frac{0{,}5}{6{,}7} - 0{,}324}{\frac{0{,}2}{6{,}2} + \frac{0{,}5}{6{,}7} + 0{,}972} \cdot 5{,}96$$

$Mty_1 = -1{,}74$ tm

b. Roda Trailer 2

Pada roda trailer 2 arah-y terjadi pengurangan momen tumpuan sebesar $(h/d)^2$ x Mt karena tidak berbatasan langsung dengan tepi.



Gambar 5.16 Beban Roda Trailer 1

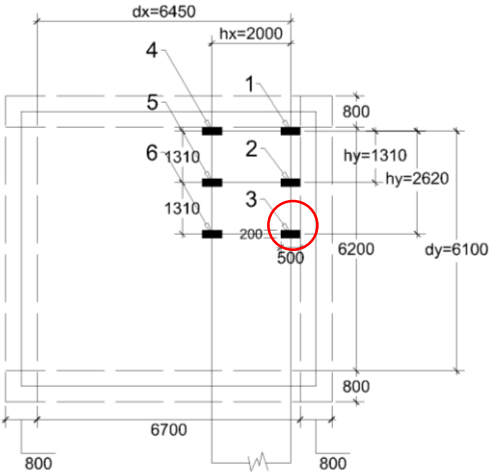
- Momen Lapangan :
  $Mlx_2 = Mlx_1 = 1{,}53$ tm
  $Mly_2 = Mly_1 = 1{,}49$ tm
- Momen Tumpuan :
  $Mtx_2 = Mtx_1 = -1{,}95$ tm
  Mty_2 setelah terjadi pengurangan:
  $h_y = 1310$ mm
  $d_y = 6100$ mm

$$Mty_2 = Mty_1 \cdot \left(1 - \left(\frac{h_y}{d_y}\right)^2\right)$$

$$Mty_2 = -1{,}74 \cdot \left(1 - \left(\frac{1310}{6100}\right)^2\right)$$

$Mty_2 = -1{,}66$ tm

c. Roda Trailer 3
Pada roda trailer 3 arah-y terjadi pengurangan momen tumpuan sebesar $(h/d)^2$ x Mt karena tidak berbatasan langsung dengan tepi.



Gambar 5.17 Beban Roda Trailer 3

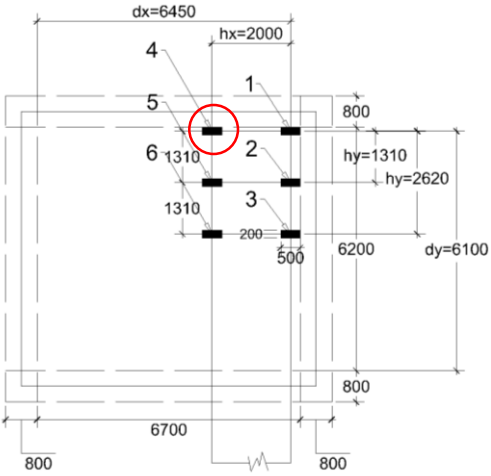
- Momen Lapangan :
  $Mlx_3 = Mlx_1 = 1{,}53$ tm
  $Mly_3 = Mly_1 = 1{,}49$ tm
- Momen Tumpuan
  $Mtx_3 = Mtx_1 = -1{,}95$ tm
  Mty_3 setelah terjadi pengurangan:
  $h_y = 2620$ mm
  $d_y = 6100$ mm

$$Mty_3 = Mty_1 \cdot \left(1 - \left(\frac{h_y}{d_y}\right)^2\right)$$

$$Mty_3 = -1{,}74 \cdot \left(1 - \left(\frac{2620}{6100}\right)^2\right)$$

$Mty_3 = -1{,}42$ tm

d. Roda Trailer 4
Pada roda trailer 4 arah-x terjadi pengurangan momen tumpuan sebesar $(h/d)^2$ x Mt karena tidak berbatasan langsung dengan tepi.



Gambar 5.18 Beban Roda Trailer 4

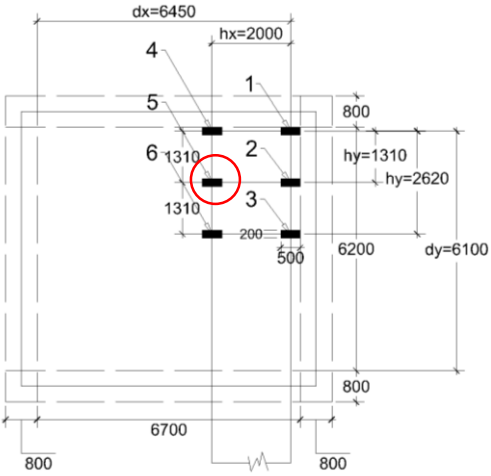
- Momen Lapangan :
  $Mlx_4 = Mlx_1 = 1{,}53$ tm
  $Mly_4 = Mly_1 = 1{,}49$ tm
- Momen Tumpuan
  Mtx_4 setelah terjadi pengurangan:
  $h_x = 2000$ mm
  $d_x = 6450$ mm

$$Mtx_4 = Mtx_1 \cdot \left(1 - \left(\frac{h_x}{d_x}\right)^2\right)$$

$$Mtx_4 = -1{,}95 \cdot \left(1 - \left(\frac{2000}{6450}\right)^2\right)$$

$Mtx_4 = -1{,}76$ tm
$Mty_4 = Mty_1 = -1{,}74$ tm

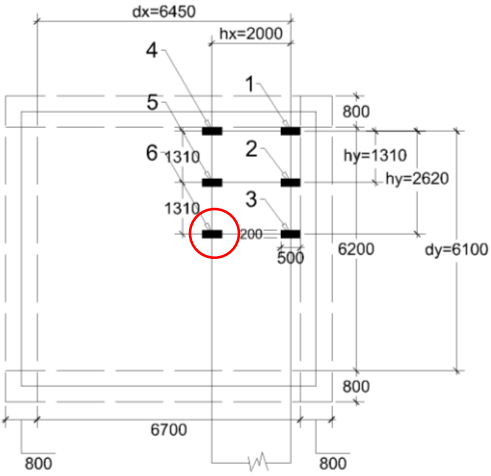
e. Roda Trailer 5
Pada roda trailer 5 arah-x dan arah-y terjadi pengurangan momen tumpuan sebesar $(h/d)^2$ x Mt karena tidak berbatasan langsung dengan tepi.



Gambar 5.19 Beban Roda Trailer 5

- Momen Lapangan :
  $Mlx_5 = Mlx_1 = 1{,}53$ tm
  $Mly_5 = Mly_1 = 1{,}49$ tm
- Momen Tumpuan :
  $Mtx_5 = Mtx_4 = -1{,}76$ tm
  $Mty_5 = Mty_2 = -1{,}66$ tm

f. Roda Trailer 6
   Pada roda trailer 6 arah-x dan arah-y terjadi pengurangan momen tumpuan sebesar $(h/d)^2$ x Mt karena tidak berbatasan langsung dengan tepi.



Gambar 5.20 Beban Roda Trailer 6

- Momen Lapangan :
  $Mlx_6 = Mlx_1 = 1{,}53$ tm
  $Mly_6 = Mly_1 = 1{,}49$ tm
- Momen Tumpuan
  $Mtx_6 = Mtx_4 = -1{,}76$ tm
  $Mty_6 = Mty_3 = -1{,}42$ tm
- Momen Lapangan Total Roda :
  Momen lapangan total dihitung dari total momen lapangan roda arah melintang.
  Mlx.tot $= 6 \times Mlx_1$
  Mlx.tot $= 6 \times 1{,}53 = 9{,}18$ tm
  Mly.tot $= 6 \times Mly_1$
  Mly.tot $= 6 \times 1{,}49 = 8{,}94$ tm
- Momen Tumpuan Total Roda :
  Momen tumpuan total dihitung dari total momen tumpuan roda arah memanjang.
  Mtx.tot $= 3 \times (Mtx_1 + Mtx_4)$
  Mtx.tot $= 3((-1{,}95) + (-1{,}76)) = -11{,}13$ tm
  Mty.tot $= 2(Mty_1 + Mty_2 + Mty_3)$

Mty.tot = 2((-1,74)+(-1,66)+(-1,42))
= -9,64 tm

- Lebar pembesian arah melintang

$$s_x=\left(0{,}4\text{-}c_2+0{,}4\cdot\frac{b_x}{I_x}+0{,}2\cdot\frac{b_y}{I_y}\text{-}0{,}3\cdot\frac{b_x}{I_x}\cdot\frac{b_y}{I_y}\right)\cdot I_x$$

$$s_y=\left(0{,}4\text{-}c_1+0{,}2\cdot\frac{b_x}{I_x}+0{,}4\cdot\frac{b_y}{I_y}\text{-}0{,}3\cdot\frac{b_x}{I_x}\cdot\frac{b_y}{I_y}\right)\cdot I_y$$

$$s_{tx}=\left(0{,}6\text{-}c_2+0{,}1\cdot\frac{b_x}{I_x}\text{-}0{,}1\cdot\frac{b_y}{I_y}+0{,}1\cdot\frac{b_x}{I_x}\cdot\frac{b_y}{I_y}\right)\cdot I_x$$

$$s_{ty}=\left(0{,}6\text{-}c_1\text{-}0{,}1\cdot\frac{b_x}{I_x}+0{,}1\cdot\frac{b_y}{I_y}+0{,}1\cdot\frac{b_x}{I_x}\cdot\frac{b_y}{I_y}\right)\cdot I_y$$

Dimana:

$b_x = 0{,}2$ m

$b_y = 0{,}5$ m

$I_x = 6{,}2$ m

$I_y = 6{,}7$ m

$c_1 = 0{,}1$

$c_2 = 0{,}1$

$$s_x=\left(0{,}4\text{-}0{,}1+0{,}4\cdot\frac{0{,}2}{6{,}2}+0{,}2\cdot\frac{0{,}5}{6{,}7}\text{-}0{,}3\cdot\frac{0{,}2}{6{,}2}\cdot\frac{0{,}5}{6{,}7}\right)\cdot 6{,}2$$

$s_x = 2{,}03$

$$s_y=\left(0{,}4\text{-}0{,}1+0{,}2\cdot\frac{0{,}2}{6{,}2}+0{,}4\cdot\frac{0{,}5}{6{,}7}\text{-}0{,}3\cdot\frac{0{,}2}{6{,}2}\cdot\frac{0{,}5}{6{,}7}\right)\cdot 6{,}7$$

$s_y = 2{,}25$

$$s_{tx}=\left(0{,}6\text{-}0{,}1+0{,}1\cdot\frac{0{,}2}{4{,}2}\text{-}0{,}1\cdot\frac{0{,}5}{6{,}4}+0{,}1\cdot\frac{0{,}2}{4{,}2}\cdot\frac{0{,}5}{6{,}4}\right)\cdot 6{,}2$$

$s_{tx} = 3{,}08$

$$s_{ty}=\left(0{,}6\text{-}c_1\text{-}0{,}1\cdot\frac{0{,}2}{4{,}2}+0{,}1\cdot\frac{0{,}5}{6{,}4}+0{,}1\cdot\frac{0{,}2}{4{,}2}\cdot\frac{0{,}5}{6{,}4}\right)\cdot 6{,}7$$

$s_{ty} = 3{,}38$

- Momen Lapangan Maksimum

  $Mlx.max = \frac{Mlx}{sx} = \frac{9,18}{2,03} = 4,52$ tm

  $Mly.max = \frac{Mly}{sy} = \frac{8,94}{2,25} = 3,97$ tm

- Momen Tumpuan Maksimum

  $Mtx.max = \frac{Mtx}{stx} = \frac{-11,13}{3,08} = -3,61$tm

  $Mty.max = \frac{Mty}{sty} = \frac{-9,64}{3,38} = -2,85$ tm

Tabel 5.9 Momen akibat Roda Truk Arah Melintang
(Pelat A-E)

Tipe Pelat	Koefisien Beban Terpusat				Koefisien Pembesian		Lebar Pembesian		Momen Akibat Beban Bergerak		
	a1	a2	a3	a4	c1	c2				Beban Roda Truk	
										Jumlah Roda	Momen (Kgm)
A	-0,061	-0,021	0,136	0,408	0,1	0,1	Slx	2,03	Mlx	6	4536
	-0,017	-0,068	0,13	0,39	0,1	0,1	Sly	2,25	Mly	6	3981
	0,055	0,144	-0,365	0,972	0,1	0,1	Stx	3,08	Mtx	6	-3799
	0,113	0,064	-0,324	0,972	0,1	0,1	Sty	3,38	Mty	6	-3095
B	-0,057	-0,028	0,144	0,432	0,1	0,1	Slx	1,71	Mlx	6	5350
	-0,013	-0,08	0,128	0,384	0,1	0,1	Sly	2,26	Mly	6	3876
	0,044	0,159	-0,368	0,861	0,1	0,1	Stx	2,58	Mtx	6	-5038
	0,88	0,075	-0,287	0,861	0,1	0,1	Sty	3,38	Mty	6	-2692
C	-0,026	-0,052	0,141	0,423	0,1	0,05	Slx	0,44	Mlx	3	4119
	0,026	0,334	-0,531	1,593	0,1	0,05	Stx	0,43	Mtx	3	-8769
D	-0,026	-0,052	0,141	0,423	0,1	0,05	Slx	0,44	Mlx	3	4164
	0,026	0,334	-0,531	1,593	0,1	0,05	Stx	0,43	Mtx	3	-8849
E	-0,026	-0,052	0,141	0,423	0,1	0,05	Slx	0,62	Mlx	3	4230
	0,026	0,334	-0,531	1,593	0,1	0,05	Stx	0,71	Mtx	3	-6302

Tabel 5.10 Momen akibat Roda Truk Arah Melintang
(Pelat F-I)

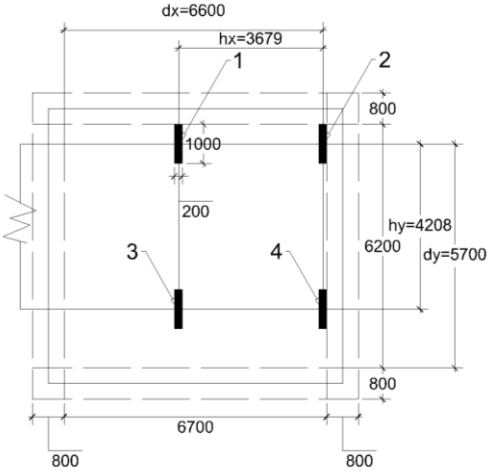
Tipe Pelat	Koefisien Beban Terpusat				Koefisien Pembesian		Lebar Pembesian		Momen Akibat Beban Bergerak		
	a1	a2	a3	a4	c1	c2				Beban Roda Truk	
										Jumlah Roda	Momen (Kgm)
F	-0,026	-0,052	0,141	0,423	0,1	0,05	Slx	0,62	Mlx	3	4186
	0,026	0,334	-0,531	1,593	0,1	0,05	Stx	0,71	Mtx	3	-6262
G	-0,071	-0,017	0,158	0,474	0,05	0,05	Slx	0,58	Mlx	1	1363
	-0,071	-0,017	0,158	0,474	0,05	0,05	Sly	0,64	Mly	1	1235
	0,054	0,163	-0,442	1,326	0,05	0,05	Stx	0,64	Mtx	1	-1785
	0,163	0,054	-0,442	1,326	0,05	0,05	Sty	0,70	Mty	1	-1754
H	-0,026	-0,052	0,141	0,423	0,1	0,05	Slx	0,51	Mlx	2	4641
	0,026	0,334	-0,531	1,593	0,1	0,05	Stx	0,67	Mtx	2	-4848
I	-0,04	-0,043	0,157	0,471	0,05	0,05	Slx	0,44	Mlx	1	1206
	-0,004	-0,105	0,137	0,411	0,05	0,05	Sly	0,63	Mly	1	856
	0,012	0,239	-0,473	1,419	0,05	0,05	Stx	0,43	Mtx	1	-2549
	0,05	0,073	-0,243	0,729	0,05	0,05	Sty	0,61	Mty	1	-1187

D. Momen akibat beban roda terpusat MHC

Besarnya momen akibat beban roda terpusat MHC yang bergerak didasarkan pada momen maksimum yang didapat. Area kontak MHC seluas 100 x 20 cm^2. Beban maksimal pada 4 roda MHC sebesar 12,625 ton. Untuk perhitungan momen akibat beban terpusat roda dibagi 2 yaitu posisi MHC arah memanjang pelat dan posisi MHC arah melintang pelat.

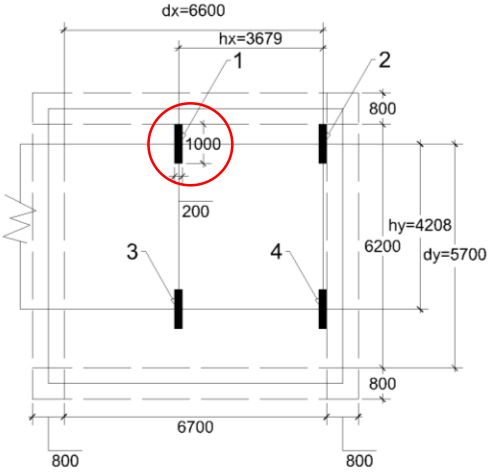
1. Posisi MHC arah memanjang pelat

Dalam kombinasi ini terjadi saat roda MHC terletak di ujung pelat saat memanjang. Perhitungan momen maksimum dengan Iy/Ix = 1,1 adalah sebagai berikut:



Gambar 5.21 Posisi Roda MHC Arah Memanjang

a. Roda MHC 1



Gambar 5.22 Beban Roda MHC 1

$$M=\frac{a_1.\frac{b_x}{I_x}+a_2.\frac{b_y}{I_y}+a_3}{\frac{b_x}{I_x}+\frac{b_y}{I_y}+a_4}\cdot W$$

Dimana :

M	= momen maksimum
a_1,a_2,a_3,a_4	= koefisien
b_x	= panjang beban sejajar I_x
b_y	= panjang beban sejajar I_y
I_x	= panjang bersih pelat terkecil
I_y	= panjang bersih pelat terbesar
W	= beban terpusat

Dimana :

	Lapangan		Tumpuan	
	Arah-X	Arah-Y	Arah-X	Arah-Y
a_1	-0,061	-0,017	0,055	0,113

a_2	-0,021	-0,068	0,144	0,064
a_3	0,136	0,130	-0,365	-0,324
a_4	0,408	0,390	0,972	0,972
b_x	1 m	1 m	1 m	1 m
b_y	0,2 m	0,2 m	0,2 m	0,2 m
I_x	6,2 m	6,2 m	6,2 m	6,2 m
I_y	6,7 m	6,7 m	6,7 m	6,7 m
I_x/I_y	1,1	1,1	1,1	1,1
W	12,625 ton	12,625 ton	12,625 ton	12,625 ton

- Momen Lapangan :

$$Mlx_1 = \frac{(-0{,}061)\cdot \frac{1}{6{,}2} + (-0{,}021)\cdot \frac{0{,}2}{6{,}7} + 0{,}136}{\frac{1}{6{,}2} + \frac{0{,}2}{6{,}7} + 0{,}408} \cdot 12{,}625$$

$Mlx_1 = 2{,}65$ tm

$$Mly_1 = \frac{(-0{,}017).\frac{1}{6{,}2} + (-0{,}068).\frac{0{,}2}{6{,}7} + 0{,}130}{\frac{1}{6{,}2} + \frac{0{,}2}{6{,}7} + 0{,}390} \cdot 12{,}625$$

$Mly_1 = 2{,}72$ tm

- Momen Tumpuan :

$$Mtx_1' = \frac{0{,}055.\frac{1}{6{,}2} + 0{,}144.\frac{0{,}2}{6{,}7} - 0{,}365}{\frac{1}{6{,}2} + \frac{0{,}2}{6{,}7} + 0{,}972} \cdot 12{,}625$$

$Mtx_1' = -3{,}82$ tm

Mtx_1 setelah terjadi pengurangan:

$h_x = 3679$ mm

$d_x = 6600$ mm

$$Mtx_1 = Mtx_1' \cdot \left(1 - \left(\frac{h_x}{d_x}\right)^2\right)$$

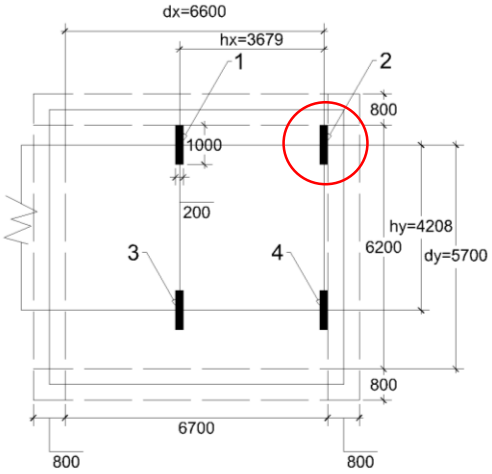
$$Mtx_1 = -3{,}82 \cdot \left(1 - \left(\frac{3679}{6600}\right)^2\right)$$

$$Mtx_1 = -2{,}63 \text{ tm}$$

$$Mty_1 = \frac{0{,}113 \cdot \frac{1}{6{,}2} + 0{,}064 \cdot \frac{0{,}2}{6{,}7} - 0{,}324}{\frac{1}{6{,}2} + \frac{0{,}2}{6{,}7} + 0{,}972} \cdot 12{,}625$$

$$Mty_1 = -3{,}30 \text{ tm}$$

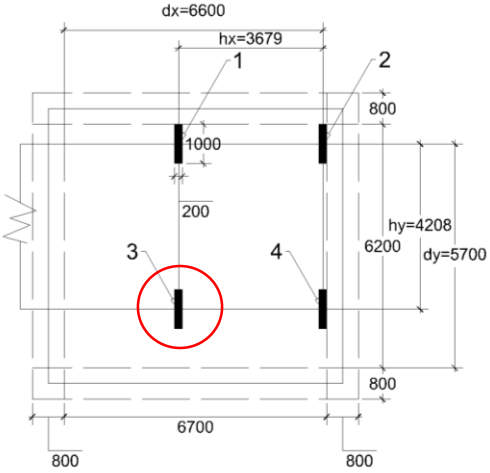
b. Roda MHC 2



Gambar 5.23 Beban Roda MHC 2

- Momen Lapangan :
  $Mlx_2 = Mlx_1 = 2{,}65$ tm
  $Mly_2 = Mly_1 = 2{,}72$ tm
- Momen Tumpuan :
  $Mtx_2 = Mtx_1' = -3{,}82$ tm
  $Mty_2 = Mty_1 = -3{,}30$ tm

c. Roda MHC 3
Pada roda MHC 3 arah-x dan arah-y terjadi pengurangan momen tumpuan sebesar $(h/d)^2$ x Mt karena tidak berbatasan langsung dengan tepi.



Gambar 5.24 Beban Roda MHC 3

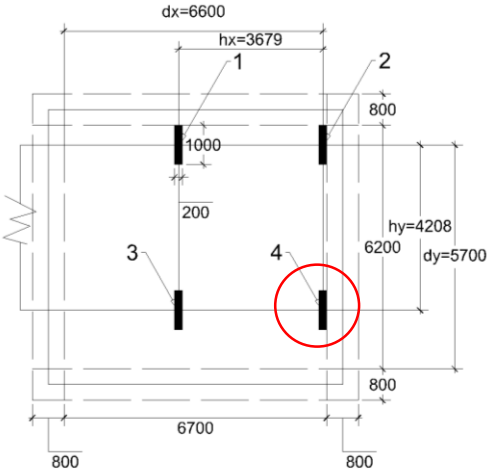
- Momen Lapangan :
  $Mlx_3 = Mlx_1 = 2{,}65$ tm
  $Mly_3 = Mly_1 = 2{,}72$ tm
- Momen Tumpuan :
  $Mtx_3 = Mtx_1 = -2{,}63$ tm
  Mty_3 setelah terjadi pengurangan:
  $h_y = 4208$ mm
  $d_y = 5700$ mm

$$Mty_3 = Mty_1 \cdot \left(1 - \left(\frac{h_y}{d_y}\right)^2\right)$$

$$Mty_3 = -3{,}30 \cdot \left(1 - \left(\frac{4208}{5700}\right)^2\right)$$

Mty_3 = -1,50 tm

d. Roda MHC 4



Gambar 5.25 Beban Roda MHC 4

- Momen Lapangan :
  $Mlx_4 = Mlx_1 = 2,65$ tm
  $Mly_4 = Mly_1 = 2,72$ tm
- Momen Tumpuan :
  $Mtx_4 = Mtx_2 = -3,82$ tm
  $Mty_4 = Mty_3 = -1,50$ tm

- Momen Lapangan Total Roda :
  Momen lapangan total dihitung dari total momen lapangan roda arah melintang.
  Mlx.tot = 4 x Mlx_1
  Mlx.tot = 4 x 2,65 = 10,6 tm
  Mly.tot = 4 x Mly_1
  Mly.tot = 4 x 2,72 = 10,88 tm

- Momen Tumpuan Total Roda :
  Momen tumpuan total dihitung dari total momen tumpuan roda arah memanjang.
  $Mtx.tot = 2(Mtx_1 + Mtx_2)$
  $Mtx.tot = 2((-2,63) + (-3,82)) = -12,9$ tm
  $Mty.tot = 2(Mty_1 + Mty_3)$
  $Mty.tot = 2((-3,30) + (1,50)) = -9,60$ tm
- Lebar pembesian arah melintang

$$s_x = \left(0,4\text{-}c_2 + 0,4 \cdot \frac{b_x}{I_x} + 0,2 \cdot \frac{b_y}{I_y} - 0,3 \cdot \frac{b_x}{I_x} \cdot \frac{b_y}{I_y}\right) \cdot I_x$$

$$s_y = \left(0,4\text{-}c_1 + 0,2 \cdot \frac{b_x}{I_x} + 0,4 \cdot \frac{b_y}{I_y} - 0,3 \cdot \frac{b_x}{I_x} \cdot \frac{b_y}{I_y}\right) \cdot I_y$$

$$s_{tx} = \left(0,6\text{-}c_2 + 0,1 \cdot \frac{b_x}{I_x} - 0,1 \cdot \frac{b_y}{I_y} + 0,1 \cdot \frac{b_x}{I_x} \cdot \frac{b_y}{I_y}\right) \cdot I_x$$

$$s_{ty} = \left(0,6\text{-}c_1 - 0,1 \cdot \frac{b_x}{I_x} + 0,1 \cdot \frac{b_y}{I_y} + 0,1 \cdot \frac{b_x}{I_x} \cdot \frac{b_y}{I_y}\right) \cdot I_y$$

Dimana:
$b_x = 1$ m
$b_y = 0,2$ m
$I_x = 6,2$ m
$I_y = 6,7$ m
$c_1 = 0,1$
$c_2 = 0,1$

$$s_x = \left(0,4\text{-}0,1 + 0,4 \cdot \frac{1}{6,2} + 0,2 \cdot \frac{0,2}{6,7} - 0,3 \cdot \frac{1}{6,2} \cdot \frac{0,2}{6,7}\right) \cdot 6,2$$

$s_x = 2,29$

$$s_y = \left(0,4\text{-}0,1 + 0,2 \cdot \frac{1}{6,2} + 0,4 \cdot \frac{0,2}{6,7} - 0,3 \cdot \frac{1}{6,2} \cdot \frac{0,2}{6,7}\right) \cdot 6,7$$

$s_y = 2,30$

$$s_{tx} = \left(0,6\text{-}0,1 + 0,1 \cdot \frac{1}{6,2} - 0,1 \cdot \frac{0,2}{6,7} + 0,1 \cdot \frac{1}{6,2} \cdot \frac{0,2}{6,7}\right) \cdot 6,2$$

$s_{tx} = 3,18$

$$s_{ty}=\left(0,6\text{-}c_1\text{-}0,1\cdot\frac{1}{6,2}+0,1\cdot\frac{0,2}{6,7}+0,1\cdot\frac{1}{6,2}\cdot\frac{0,2}{6,7}\right)\cdot 6,7$$

$s_{ty} = 3,27$

- Momen Lapangan Maksimum

  $Mlx.max=\frac{Mlx}{sx}=\frac{10,6}{2,29}=4,63$ tm

  $Mly.max=\frac{Mly}{sy}=\frac{10,88}{2,30}=4,73$ tm

- Momen Tumpuan Maksimum

  $Mtx.max=\frac{Mtx}{stx}=\frac{-12,9}{3,18}=-4,06$ tm

  $Mty.max=\frac{Mty}{sty}=\frac{-9,60}{3,27}=-2,94$ tm

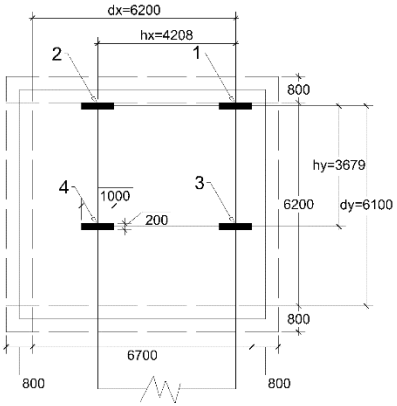
Tabel 5.11 Momen akibat Roda MHC Arah Memanjang
(Pelat A-E)

Tipe Pelat	Koefisien Beban Terpusat				Koefisien		Lebar Pembesian		Momen Akibat Beban Bergerak		
	a1	a2	a3	a4	c1	c2				Beban Roda MHC	
										Jumlah Roda	Momen (Kgm)
A	-0,061	-0,021	0,136	0,408	0,1	0,1	Slx	2,29	Mlx	4	4624
	-0,017	-0,068	0,13	0,39	0,1	0,1	Sly	2,30	Mly	4	4739
	0,055	0,144	-0,365	0,972	0,1	0,1	Stx	3,18	Mtx	4	-4797
	0,113	0,064	-0,324	0,972	0,1	0,1	Sty	3,27	Mty	4	-4040
B	-0,057	-0,028	0,144	0,432	0,1	0,1	Slx	1,98	Mlx	4	5149
	-0,013	-0,08	0,128	0,384	0,1	0,1	Sly	2,34	Mly	4	4390
	0,044	0,159	-0,368	0,861	0,1	0,1	Stx	2,69	Mtx	4	-6155
	0,88	0,075	-0,287	0,861	0,1	0,1	Sty	3,25	Mty	4	-1660
C	-0,026	-0,052	0,141	0,423	0,1	0,05	Slx	0,34	Mlx	2	10174
	0,026	0,334	-0,531	1,593	0,1	0,05	Stx	0,40	Mtx	2	-14164
D	-0,026	-0,052	0,141	0,423	0,1	0,05	Slx	0,34	Mlx	2	10989
	0,026	0,334	-0,531	1,593	0,1	0,05	Stx	0,40	Mtx	2	-14837
E	-0,026	-0,052	0,141	0,423	0,1	0,05	Slx	0,53	Mlx	2	8153
	0,026	0,334	-0,531	1,593	0,1	0,05	Stx	0,66	Mtx	2	-9361

Tabel 5.12 Momen akibat Roda MHC Arah Memanjang
(Pelat F-I)

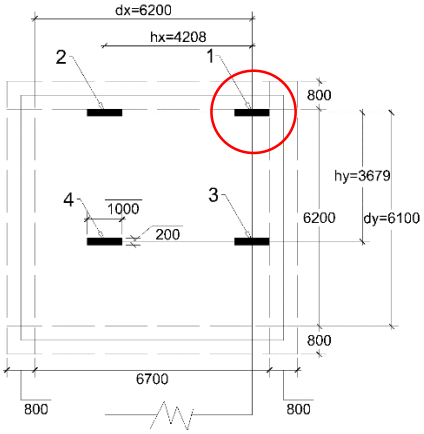
Tipe Pelat	Koefisien Beban Terpusat				Koefisien		Lebar Pembesian		Momen Akibat Beban Bergerak		
	a1	a2	a3	a4	c1	c2				Beban Roda MHC	
										Jumlah Roda	Momen (Kgm)
F	-0,026	-0,052	0,141	0,423	0,1	0,05	Slx	0,53	Mlx	2	7650
	0,026	0,334	-0,531	1,593	0,1	0,05	Stx	0,66	Mtx	2	-9053
G	-0,071	-0,017	0,158	0,474	0,05	0,05	Slx	0,81	Mlx	1	1015
	-0,071	-0,017	0,158	0,474	0,05	0,05	Sly	0,65	Mly	1	1265
	0,054	0,163	-0,442	1,326	0,05	0,05	Stx	0,76	Mtx	1	-2653
	0,163	0,054	-0,442	1,326	0,05	0,05	Sty	0,60	Mty	1	-2703
H	-0,026	-0,052	0,141	0,423	0,1	0,05	Slx	0,82	Mlx	2	2826
	0,026	0,334	-0,531	1,593	0,1	0,05	Stx	0,76	Mtx	2	-6760
I	-0,04	-0,043	0,157	0,471	0,05	0,05	Slx	0,39	Mlx	1	2225
	-0,004	-0,105	0,137	0,411	0,05	0,05	Sly	0,80	Mly	1	497
	0,012	0,239	-0,473	1,419	0,05	0,05	Stx	0,36	Mtx	1	-3702
	0,05	0,073	-0,243	0,729	0,05	0,05	Sty	0,75	Mty	1	-1520

2. Posisi MHC arah melintang pelat
Dalam kombinasi ini terjadi saat roda MHC terletak di pelat saat melintang. Perhitungan momen maksimum dengan Iy/Ix = 1,1 adalah sebagai berikut:



Gambar 5.26 Posisi Roda MHC Arah Melintang

a. Roda MHC 1



Gambar 5.27 Beban Roda MHC 1

$$M=\frac{a_1\cdot\frac{b_x}{I_x}+a_2\cdot\frac{b_y}{I_y}+a_3}{\frac{b_x}{I_x}+\frac{b_y}{I_y}+a_4}\cdot W$$

Dimana :

M	= momen maksimum
a_1,a_2,a_3,a_4	= koefisien
b_x	= panjang beban sejajar I_x
b_y	= panjang beban sejajar I_y
I_x	= panjang bersih pelat terkecil
I_y	= panjang bersih pelat terbesar
W	= beban terpusat

Dimana :

	Lapangan		Tumpuan	
	Arah-X	Arah-Y	Arah-X	Arah-Y
a_1	-0,061	-0,017	0,055	0,113
a_2	-0,021	-0,068	0,144	0,064
a_3	0,136	0,130	-0,365	-0,324
a_4	0,408	0,390	0,972	0,972
b_x	0,2 m	0,2 m	0,2 m	0,2 m
b_y	1 m	1 m	1 m	1 m
I_x	6,2 m	6,2 m	6,2 m	6,2 m
I_y	6,7 m	6,7 m	6,7 m	6,7 m
I_x/I_y	1,1	1,1	1,1	1,1
W	12,625 ton	12,625 ton	12,625 ton	12,625 ton

- Momen Lapangan :

$$Mlx_1=\frac{(-0{,}061)\cdot\frac{0{,}2}{6{,}2}+(-0{,}021)\cdot\frac{1}{6{,}7}+0{,}136}{\frac{0{,}2}{6{,}2}+\frac{1}{6{,}7}+0{,}408}\cdot 12{,}625$$

$Mlx_1 = 2{,}80$ tm

$$Mly_1 = \frac{(-0{,}017).\frac{0{,}2}{6{,}2} + (-0{,}068).\frac{1}{6{,}7} + 0{,}130}{\frac{0{,}2}{6{,}2} + \frac{1}{6{,}7} + 0{,}390} \cdot 12{,}625$$

$Mly_1 = 2{,}64$ tm

- Momen Tumpuan :

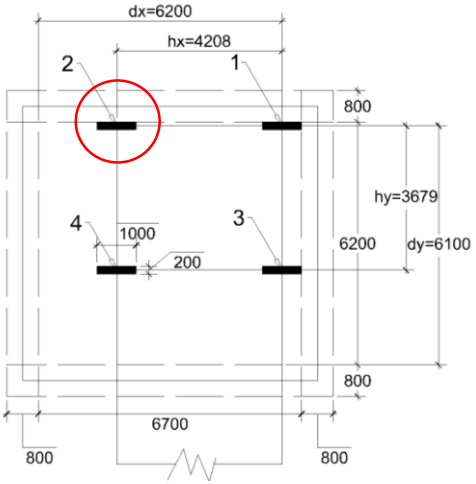
$$Mtx_1 = \frac{0{,}055.\frac{0{,}2}{6{,}2} + 0{,}144.\frac{1}{6{,}7} - 0{,}365}{\frac{0{,}2}{6{,}2} + \frac{1}{6{,}7} + 0{,}972} \cdot 12{,}625$$

$Mtx_1 = -3{,}74$ tm

$$Mty_1 = \frac{0{,}113.\frac{0{,}2}{6{,}2} + 0{,}064.\frac{1}{6{,}7} - 0{,}324}{\frac{0{,}2}{6{,}2} + \frac{1}{6{,}7} + 0{,}972} \cdot 12{,}625$$

$Mty_1 = -3{,}40$ tm

b. Roda MHC 2
Pada roda MHC 2 arah-x terjadi pengurangan momen tumpuan sebesar $(h/d)^2$ x Mt karena tidak berbatasan langsung dengan tepi.



Gambar 5.28 Beban Roda MHC 2

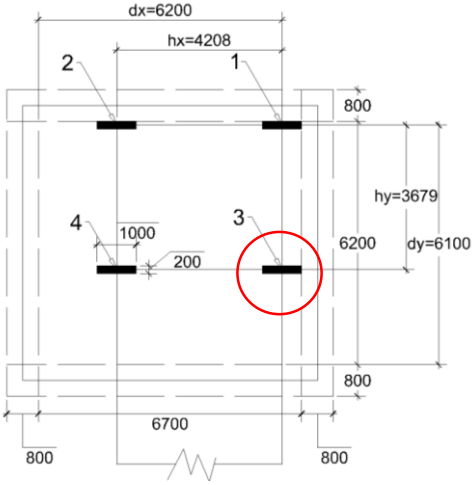
- Momen Lapangan :
  $Mlx_2 = Mlx_1 = 2{,}80$ tm
  $Mly_2 = Mly_1 = 2{,}64$ tm
- Momen Tumpuan :
  Mtx_2 setelah terjadi pengurangan:
  $h_y = 4208$ mm
  $d_x = 6200$ mm

$$Mtx_2 = Mtx_1 \cdot \left(1 - \left(\frac{h_x}{d_x}\right)^2\right)$$

$$Mtx_2 = -3{,}74 \left(1 - \left(\frac{4208}{6200}\right)^2\right)$$

$Mtx_2 = -2{,}02$ tm
$Mty_2 = Mty_1 = -3{,}40$ tm

c. Roda MHC 3
Pada roda MHC 3 arah-y terjadi pengurangan momen tumpuan sebesar $(h/d)^2$ x Mt karena tidak berbatasan langsung dengan tepi.



Gambar 5.29 Beban Roda MHC 3

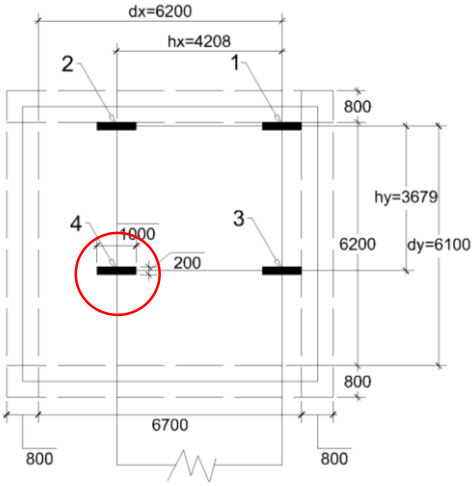
- Momen Lapangan :
  $Mlx_3 = Mlx_1 = 2{,}80$ tm
  $Mly_3 = Mly_1 = 2{,}64$ tm
- Momen Tumpuan
  $Mtx_3 = Mtx_1 = -3{,}74$ tm
  Mty_3 setelah terjadi pengurangan:
  $h_y = 3679$ mm
  $d_y = 6100$ mm

$$Mty_3 = Mty_1 \cdot \left(1 - \left(\frac{h_y}{d_y}\right)^2\right)$$

$$Mty_3 = -3{,}40 \cdot \left(1 - \left(\frac{3679}{6100}\right)^2\right)$$

$Mty_3 = -2{,}16$ tm

d. Roda MHC 4
Pada roda MHC 4 arah-x dan arah-y terjadi pengurangan momen tumpuan sebesar $(h/d)^2$ x Mt karena tidak berbatasan langsung dengan tepi.



Gambar 5.30 Beban Roda MHC 4

- Momen Lapangan :
  $Mlx_4 = Mlx_1 = 2{,}80$ tm
  $Mly_4 = Mly_1 = 2{,}64$ tm
- Momen Tumpuan
  $Mtx_4 = Mtx_2 = -2{,}02$ tm
  $Mty_4 = Mty_3 = -2{,}16$ tm
- Momen Lapangan Total Roda :
  Momen lapangan total dihitung dari total momen lapangan roda arah melintang.
  Mlx.tot $= 4 \times Mlx_1$
  Mlx.tot $= 4 \times 2{,}80 = 11{,}2$ tm
  Mly.tot $= 4 \times Mly_1$
  Mly.tot $= 4 \times 2{,}64 = 10{,}56$ tm

- Momen Tumpuan Total Roda :
  Momen tumpuan total dihitung dari total momen tumpuan roda arah melintang.
  $Mtx.tot = 2 \times (Mtx_1 + Mtx_2)$
  $Mtx.tot = 2 \times ((-3,74) + (-2,02)) = -11,52$ tm
  $Mty.tot = 2 \times (Mty_1 + Mty_3)$
  $Mty.tot = 2 \times ((-3,40) + (-2,16)) = -11,12$ tm
- Lebar pembesian arah melintang

$$s_x = \left(0,4\text{-}c_2 + 0,4 \cdot \frac{b_x}{I_x} + 0,2 \cdot \frac{b_y}{I_y} - 0,3 \cdot \frac{b_x}{I_x} \cdot \frac{b_y}{I_y}\right) \cdot I_x$$

$$s_y = \left(0,4\text{-}c_1 + 0,2 \cdot \frac{b_x}{I_x} + 0,4 \cdot \frac{b_y}{I_y} - 0,3 \cdot \frac{b_x}{I_x} \cdot \frac{b_y}{I_y}\right) \cdot I_y$$

$$s_{tx} = \left(0,6\text{-}c_2 + 0,1 \cdot \frac{b_x}{I_x} - 0,1 \cdot \frac{b_y}{I_y} + 0,1 \cdot \frac{b_x}{I_x} \cdot \frac{b_y}{I_y}\right) \cdot I_x$$

$$s_{ty} = \left(0,6\text{-}c_1 - 0,1 \cdot \frac{b_x}{I_x} + 0,1 \cdot \frac{b_y}{I_y} + 0,1 \cdot \frac{b_x}{I_x} \cdot \frac{b_y}{I_y}\right) \cdot I_y$$

Dimana:
$b_x = 0,2$ m
$b_y = 1$ m
$I_x = 6,2$ m
$I_y = 6,7$ m
$c_1 = 0,1$
$c_2 = 0,1$

$$s_x = \left(0,4\text{-}0,1 + 0,4 \cdot \frac{0,2}{6,2} + 0,2 \cdot \frac{1}{6,7} - 0,3 \cdot \frac{0,2}{6,2} \cdot \frac{1}{6,7}\right) \cdot 6,2$$

$s_x = 2,12$

$$s_y = \left(0,4\text{-}0,1 + 0,2 \cdot \frac{0,2}{6,2} + 0,4 \cdot \frac{1}{6,7} - 0,3 \cdot \frac{0,2}{6,2} \cdot \frac{1}{6,7}\right) \cdot 6,7$$

$s_y = 2,44$

$$s_{tx} = \left(0,6\text{-}0,1 + 0,1 \cdot \frac{0,2}{6,2} - 0,1 \cdot \frac{1}{6,7} + 0,1 \cdot \frac{0,2}{6,2} \cdot \frac{1}{6,7}\right) \cdot 6,2$$

$s_{tx} = 3,03$

$$s_{ty}=\left(0,6\text{-}c_1\text{-}0,1\cdot\frac{0,2}{6,2}+0,1\cdot\frac{1}{6,7}+0,1\cdot\frac{0,2}{6,2}\cdot\frac{1}{6,7}\right)\cdot 6,7$$

$s_{ty} = 3,43$

- Momen Lapangan Maksimum

  $Mlx.max=\frac{Mlx}{sx}=\frac{11,2}{2,12}=5,28$ tm

  $Mly.max=\frac{Mly}{sy}=\frac{10,56}{2,44}=4,33$ tm

- Momen Tumpuan Maksimum

  $Mtx.max=\frac{Mtx}{stx}=\frac{-11,52}{3,03}=-3,80$ tm

  $Mty.max=\frac{Mty}{sty}=\frac{-11,12}{3,43}=-3,24$ tm

Tabel 5.13 Momen akibat Roda MHC Arah Melintang
(Pelat A-E)

Tipe Pelat	Koefisien Beban Terpusat				Koefisien		Lebar Pembesian		Momen Akibat Beban Bergerak		
										Beban Roda MHC	
	a1	a2	a3	a4	c1	c2				Jumlah Roda	Momen (Kgm)
A	-0,061	-0,021	0,136	0,408	0,1	0,1	Slx	2,12	Mlx	4	5299
	-0,017	-0,068	0,13	0,39	0,1	0,1	Sly	2,44	Mly	4	4314
	0,055	0,144	-0,365	0,972	0,1	0,1	Stx	3,03	Mtx	4	-4937
	0,113	0,064	-0,324	0,972	0,1	0,1	Sty	3,43	Mty	4	-3965
B	-0,057	-0,028	0,144	0,432	0,1	0,1	Slx	1,79	Mlx	4	6279
	-0,013	-0,08	0,128	0,384	0,1	0,1	Sly	2,45	Mly	4	4166
	0,044	0,159	-0,368	0,861	0,1	0,1	Stx	2,55	Mtx	4	-6481
	0,88	0,075	-0,287	0,861	0,1	0,1	Sty	3,43	Mty	4	-3399
C	-0,026	-0,052	0,141	0,423	0,1	0,05	Slx	0,52	Mlx	2	3738
	0,026	0,334	-0,531	1,593	0,1	0,05	Stx	0,46	Mtx	2	-10379
D	-0,026	-0,052	0,141	0,423	0,1	0,05	Slx	0,52	Mlx	2	3771
	0,026	0,334	-0,531	1,593	0,1	0,05	Stx	0,46	Mtx	2	-10474
E	-0,026	-0,052	0,141	0,423	0,1	0,05	Slx	0,82	Mlx	2	2818
	0,026	0,334	-0,531	1,593	0,1	0,05	Stx	0,76	Mtx	2	-6743

Tabel 5.14 Momen akibat Roda MHC Arah Melintang
(Pelat F-I)

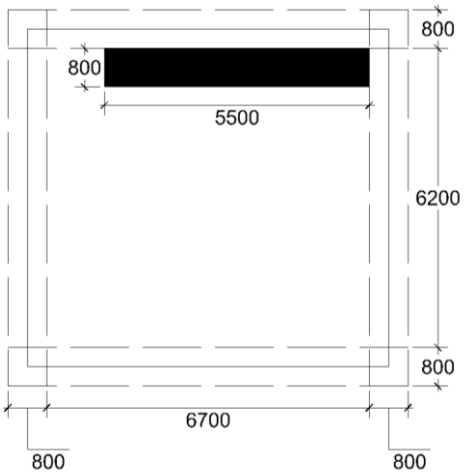
Tipe Pelat	Koefisien Beban Terpusat				Koefisien		Lebar Pembesian		Momen Akibat Beban Bergerak		
	a1	a2	a3	a4	c1	c2				Beban Roda MHC	
										Jumlah Roda	Momen (Kgm)
F	-0,026	-0,052	0,141	0,423	0,1	0,05	Slx	0,82	Mlx	2	2798
	0,026	0,334	-0,531	1,593	0,1	0,05	Stx	0,76	Mtx	2	-6699
G	-0,071	-0,017	0,158	0,474	0,05	0,05	Slx	0,65	Mlx	1	1739
	-0,071	-0,017	0,158	0,474	0,05	0,05	Sly	0,81	Mly	1	1396
	0,054	0,163	-0,442	1,326	0,05	0,05	Stx	0,60	Mtx	1	-2703
	0,163	0,054	-0,442	1,326	0,05	0,05	Sty	0,76	Mty	1	-2653
H	-0,026	-0,052	0,141	0,423	0,1	0,05	Slx	0,53	Mlx	2	8361
	0,026	0,334	-0,531	1,593	0,1	0,05	Stx	0,67	Mtx	2	-9483
I	-0,04	-0,043	0,157	0,471	0,05	0,05	Slx	0,51	Mlx	1	1649
	-0,004	-0,105	0,137	0,411	0,05	0,05	Sly	0,68	Mly	1	1359
	0,012	0,239	-0,473	1,419	0,05	0,05	Stx	0,46	Mtx	1	-4520
	0,05	0,073	-0,243	0,729	0,05	0,05	Sty	0,58	Mty	1	-2076

E. Momen akibat support pad MHC

Besarnya momen akibat support pad terpusat MHC didasarkan pada momen maksimum yang didapat. Area kontak support pad MHC seluas 550 x 80 cm^2. Beban maksimal pada 1 support pad MHC sebesar 41,25 ton. Untuk perhitungan momen akibat beban support pad dibagi 2 yaitu posisi MHC arah memanjang pelat dan posisi MHC arah melintang pelat.

1. Posisi MHC arah memanjang pelat

Dalam kombinasi ini terjadi saat pad MHC terletak di ujung pelat saat memanjang. Perhitungan momen maksimum dengan Iy/Ix = 1,1 adalah sebagai berikut:



Gambar 5.31 Posisi Pad MHC Arah Memanjang

$$M = \frac{a_1 \cdot \frac{b_x}{I_x} + a_2 \cdot \frac{b_y}{I_y} + a_3}{\frac{b_x}{I_x} + \frac{b_y}{I_y} + a_4} \cdot W$$

Dimana :

M	= momen maksimum
a_1,a_2,a_3,a_4	= koefisien
b_x	= panjang beban sejajar I_x
b_y	= panjang beban sejajar I_y
I_x	= panjang bersih pelat terkecil
I_y	= panjang bersih pelat terbesar
W	= beban terpusat

Dimana :

	Lapangan		Tumpuan	
	Arah-X	Arah-Y	Arah-X	Arah-Y
a_1	-0,061	-0,017	0,055	0,113
a_2	-0,021	-0,068	0,144	0,064
a_3	0,136	0,130	-0,365	-0,324
a_4	0,408	0,390	0,972	0,972
b_x	0,8 m	0,8 m	0,8 m	0,8 m
b_y	5,5 m	5,5 m	5,5 m	5,5 m
I_x	6,2 m	6,2 m	6,2 m	6,2 m
I_y	6,7 m	6,7 m	6,7 m	6,7 m
I_x/I_y	1,1	1,1	1,1	1,1
W	41,25 ton	41,25 ton	41,25 ton	41,25 ton

- Momen Lapangan :

$$Mlx=\frac{(-0,061)\cdot\frac{0,8}{6,2}+(-0,021)\cdot\frac{5,5}{6,7}+0,136}{\frac{0,8}{6,2}+\frac{5,5}{6,7}+0,408}\cdot 41,25$$

Mlx = 3,37 tm

$$Mly=\frac{(-0,017)\cdot\frac{0,8}{6,2}+(-0,068)\cdot\frac{5,5}{6,7}+0,130}{\frac{0,8}{6,2}+\frac{5,5}{6,7}+0,390}\cdot 41,25$$

Mly = 2,22 tm

- Momen Tumpuan :

$$Mtx = \frac{0{,}055.\frac{0{,}8}{6{,}2} + 0{,}144.\frac{5{,}5}{6{,}7} - 0{,}365}{\frac{0{,}8}{6{,}2} + \frac{5{,}5}{6{,}7} + 0{,}972} \cdot 41{,}25$$

Mtx = -3,74 tm

$$Mty = \frac{0{,}113.\frac{0{,}8}{6{,}2} + 0{,}064.\frac{5{,}5}{6{,}7} - 0{,}324}{\frac{0{,}8}{6{,}2} + \frac{5{,}5}{6{,}7} + 0{,}972} \cdot 41{,}25$$

Mty = -3,40 tm

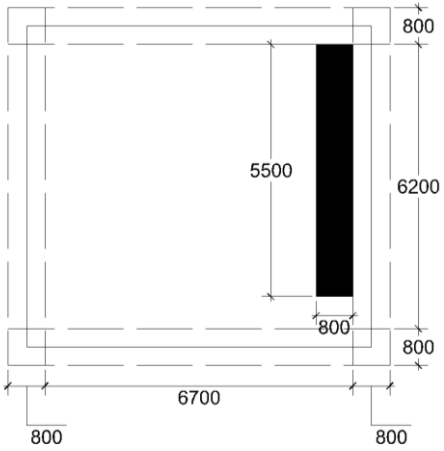
Tabel 5.15 Momen akibat Pad MHC Arah Memanjang
(Pelat A-E)

Tipe Pelat	Koefisien Beban Terpusat				Koefisien		Lebar Pembesian		Momen Akibat Beban Bergerak		
	a1	a2	a3	a4	c1	c2				Beban Pad MHC	
										Jumlah Pad	Momen (Kgm)
A	-0,061	-0,021	0,136	0,408	0,1	0,1	Slx	1,00	Mlx	1	3369
	-0,017	-0,068	0,13	0,39	0,1	0,1	Sly	1,00	Mly	1	2216
	0,055	0,144	-0,365	0,972	0,1	0,1	Stx	1,00	Mtx	1	-5145
	0,113	0,064	-0,324	0,972	0,1	0,1	Sty	1,00	Mty	1	-5513
B	-0,057	-0,028	0,144	0,432	0,1	0,1	Slx	1,00	Mlx	1	3438
	-0,013	-0,08	0,128	0,384	0,1	0,1	Sly	1,00	Mly	1	2006
	0,044	0,159	-0,368	0,861	0,1	0,1	Stx	1,00	Mtx	1	-5478
	0,88	0,075	-0,287	0,861	0,1	0,1	Sty	1,00	Mty	1	-2151
C	-0,026	-0,052	0,141	0,423	0,1	0,05	Slx	1,00	Mlx	1	-310
	0,026	0,334	-0,531	1,593	0,1	0,05	Stx	1,00	Mtx	1	-1288
D	-0,026	-0,052	0,141	0,423	0,1	0,05	Slx	1,00	Mlx	1	-341
	0,026	0,334	-0,531	1,593	0,1	0,05	Stx	1,00	Mtx	1	-1236
E	-0,026	-0,052	0,141	0,423	0,1	0,05	Slx	1,00	Mlx	1	121
	0,026	0,334	-0,531	1,593	0,1	0,05	Stx	1,00	Mtx	1	-2412

Tabel 5.16 Momen akibat Pad MHC Arah Memanjang
(Pelat F-I)

Tipe Pelat	Koefisien Beban Terpusat				Koefisien		Lebar Pembesian		Momen Akibat Beban Bergerak		
	a1	a2	a3	a4	c1	c2				Beban Pad MHC	
										Jumlah Pad	Momen (Kgm)
F	-0,026	-0,052	0,141	0,423	0,1	0,05	Slx	1,00	Mlx	1	171
	0,026	0,334	-0,531	1,593	0,1	0,05	Stx	1,00	Mtx	1	-2490
G	-0,071	-0,017	0,158	0,474	0,05	0,05	Slx	1,00	Mlx	1	1805
	-0,071	-0,017	0,158	0,474	0,05	0,05	Sly	1,00	Mly	1	1805
	0,054	0,163	-0,442	1,326	0,05	0,05	Stx	1,00	Mtx	1	-3349
	0,163	0,054	-0,442	1,326	0,05	0,05	Sty	1,00	Mty	1	-3850
H	-0,026	-0,052	0,141	0,423	0,1	0,05	Slx	1,00	Mlx	1	3718
	0,026	0,334	-0,531	1,593	0,1	0,05	Stx	1,00	Mtx	1	-7676
I	-0,04	-0,043	0,157	0,471	0,05	0,05	Slx	1,00	Mlx	1	864
	-0,004	-0,105	0,137	0,411	0,05	0,05	Sly	1,00	Mly	1	889
	0,012	0,239	-0,473	1,419	0,05	0,05	Stx	1,00	Mtx	1	-3182
	0,05	0,073	-0,243	0,729	0,05	0,05	Sty	1,00	Mty	1	-1441

2. Posisi MHC arah melintang pelat
Dalam kombinasi ini terjadi saat support pad MHC terletak di pelat saat melintang. Perhitungan momen maksimum dengan Iy/Ix = 1,1 adalah sebagai berikut:



Gambar 5.32 Posisi Roda MHC Arah Melintang

$$M=\frac{a_1.\frac{b_x}{I_x}+a_2.\frac{b_y}{I_y}+a_3}{\frac{b_x}{I_x}+\frac{b_y}{I_y}+a_4}\cdot W$$

Dimana :

M	= momen maksimum
a_1,a_2,a_3,a_4	= koefisien
b_x	= panjang beban sejajar I_x
b_y	= panjang beban sejajar I_y
I_x	= panjang bersih pelat terkecil
I_y	= panjang bersih pelat terbesar
W	= beban terpusat

Dimana :

	Lapangan		Tumpuan	
	Arah-X	Arah-Y	Arah-X	Arah-Y
a_1	-0,061	-0,017	0,055	0,113
a_2	-0,021	-0,068	0,144	0,064
a_3	0,136	0,130	-0,365	-0,324
a_4	0,408	0,390	0,972	0,972
b_x	5,5 m	5,5 m	5,5 m	5,5 m
b_y	0,8 m	0,8 m	0,8 m	0,8 m
I_x	6,2 m	6,2 m	6,2 m	6,2 m
I_y	6,7 m	6,7 m	6,7 m	6,7 m
I_x/I_y	1,1	1,1	1,1	1,1
W	41,25 ton	41,25 ton	41,25 ton	41,25 ton

- Momen Lapangan :

$$Mlx=\frac{(-0,061)\cdot\frac{5,5}{6,2}+(-0,021)\cdot\frac{0,8}{6,7}+0,136}{\frac{5,5}{6,2}+\frac{0,8}{6,7}+0,408}\cdot 41,25$$

Mlx = 2,32 tm

$$Mly=\frac{(-0,017).\frac{5,5}{6,2}+(-0,068).\frac{0,8}{6,7}+0,130}{\frac{5,5}{6,2}+\frac{0,8}{6,7}+0,390}\cdot 41,25$$

Mly = 3,16 tm

- Momen Tumpuan :

$$Mtx=\frac{0,055.\frac{5,5}{6,2}+0,144.\frac{0,8}{6,7}-0,365}{\frac{5,5}{6,2}+\frac{0,8}{6,7}+0,972}\cdot 41,25$$

Mtx = -6,23 tm

$$Mty = \frac{0{,}113.\frac{5{,}5}{6{,}2} + 0{,}064.\frac{0{,}8}{6{,}7} - 0{,}324}{\frac{5{,}5}{6{,}2} + \frac{0{,}8}{6{,}7} + 0{,}972} \cdot 41{,}25$$

Mty = -4,51 tm

Tabel 5.17 Momen akibat Pad MHC Arah Melintang
(Pelat A-E)

Tipe Pelat	Koefisien Beban Terpusat				Koefisien		Lebar Pembesian		Momen Akibat Beban Bergerak		
	a1	a2	a3	a4	c1	c2				Beban Pad MHC	
										Jumlah Pad	Momen (Kgm)
A	-0,061	-0,021	0,136	0,408	0,1	0,1	Slx	1,00	Mlx	1	2315
	-0,017	-0,068	0,13	0,39	0,1	0,1	Sly	1,00	Mly	1	3155
	0,055	0,144	-0,365	0,972	0,1	0,1	Stx	1,00	Mtx	1	-6234
	0,113	0,064	-0,324	0,972	0,1	0,1	Sty	1,00	Mty	1	-4506
B	-0,057	-0,028	0,144	0,432	0,1	0,1	Slx	1,00	Mlx	1	2224
	-0,013	-0,08	0,128	0,384	0,1	0,1	Sly	1,00	Mly	1	2893
	0,044	0,159	-0,368	0,861	0,1	0,1	Stx	1,00	Mtx	1	-6353
	0,88	0,075	-0,287	0,861	0,1	0,1	Sty	1,00	Mty	1	12538
C	-0,026	-0,052	0,141	0,423	0,1	0,05	Slx	1,00	Mlx	1	1073
	0,026	0,334	-0,531	1,593	0,1	0,05	Stx	1,00	Mtx	1	-1963
D	-0,026	-0,052	0,141	0,423	0,1	0,05	Slx	1,00	Mlx	1	1329
	0,026	0,334	-0,531	1,593	0,1	0,05	Stx	1,00	Mtx	1	-2789
E	-0,026	-0,052	0,141	0,423	0,1	0,05	Slx	1,00	Mlx	1	1618
	0,026	0,334	-0,531	1,593	0,1	0,05	Stx	1,00	Mtx	1	-2850

Tabel 5.18 Momen akibat Pad MHC Arah Melintang
(Pelat F-I)

Tipe Pelat	Koefisien Beban Terpusat				Koefisien		Lebar Pembesian		Momen Akibat Beban Bergerak		
										Beban Pad MHC	
	a1	a2	a3	a4	c1	c2				Jumlah Pad	Momen (Kgm)
F	-0,026	-0,052	0,141	0,423	0,1	0,05	Slx	1,00	Mlx	1	1415
	0,026	0,334	-0,531	1,593	0,1	0,05	Stx	1,00	Mtx	1	-2274
G	-0,071	-0,017	0,158	0,474	0,05	0,05	Slx	1,00	Mlx	1	1458
	-0,071	-0,017	0,158	0,474	0,05	0,05	Sly	1,00	Mly	1	1458
	0,054	0,163	-0,442	1,326	0,05	0,05	Stx	1,00	Mtx	1	-3850
	0,163	0,054	-0,442	1,326	0,05	0,05	Sty	1,00	Mty	1	-3349
H	-0,026	-0,052	0,141	0,423	0,1	0,05	Slx	1,00	Mlx	1	2910
	0,026	0,334	-0,531	1,593	0,1	0,05	Stx	1,00	Mtx	1	-7073
I	-0,04	-0,043	0,157	0,471	0,05	0,05	Slx	1,00	Mlx	1	1235
	-0,004	-0,105	0,137	0,411	0,05	0,05	Sly	1,00	Mly	1	479
	0,012	0,239	-0,473	1,419	0,05	0,05	Stx	1,00	Mtx	1	-2678
	0,05	0,073	-0,243	0,729	0,05	0,05	Sty	1,00	Mty	1	-1814

Tabel 5.19 Rekapitulasi Kombinasi Momen
(Pelat A-E)

Pelat	Momen	Terbagi Rata		Berjalan Memanjang			Berjalan Melintang			Kombinasi	
		Mati	Hidup	Roda Truk	Roda MHC	Pad MHC	Roda Truk	Roda MHC	Pad MHC	Mati+Hidup	Mati+Berjalan
		(kgm)	(kgm)	(kgm)	(kgm)	(kgm)	(kgm)	(kgm)	(kgm)	(kgm)	(kgm)
A	Mlx	1873	8315	4300	4624	3369	4536	5299	2315	10187	7172
	Mtx	-1873	-8315	-3757	-4797	-5145	-3799	-4937	-6234	-10187	-8107
	Mly	1650	7325	4124	4739	2216	3981	4314	3155	8975	6388
	Mty	-1650	-7325	-3116	-4040	-5513	-3095	-3965	-4506	-8975	-7163
B	Mlx	1568	6963	4939	5149	3438	5350	6279	2224	8531	7847
	Mtx	-1568	-6963	-4935	-6155	-5478	-5038	-6481	-6353	-8531	-8049
	Mly	1192	5292	3940	4390	2006	3876	4166	2893	6484	5582
	Mty	-1192	-5292	-2192	-1660	-2151	-2692	-3399	12538	-6484	-4591
C	Mlx	31	136	5723	10174	-310	4119	3738	1073	167	10204
	Mtx	-31	-136	-7412	-14164	-1288	-8769	-10379	-1963	-167	-14195
D	Mlx	31	136	5963	10989	-341	4164	3771	1329	167	11020
	Mtx	-31	-136	-7583	-14837	-1236	-8849	-10474	-2789	-167	-14868
E	Mlx	90	400	4579	8153	121	4230	2818	1618	491	8243
	Mtx	-90	-400	-4817	-9361	-2412	-6302	-6743	-2850	-491	-9451

Tabel 5.20 Rekapitulasi Kombinasi Momen
(Pelat F-I)

Pelat	Momen	Terbagi Rata		Berjalan Memanjang			Berjalan Melintang			Kombinasi	
		Mati	Hidup	Roda Truk	Roda MHC	Pad MHC	Roda Truk	Roda MHC	Pad MHC	Mati+Hidup	Mati+Berjalan
		(kgm)	(kgm)	(kgm)	(kgm)	(kgm)	(kgm)	(kgm)	(kgm)	(kgm)	(kgm)
F	Mlx	90	400	4424	7650	171	4186	2798	1415	491	7741
	Mtx	-90	-400	-4738	-9053	-2490	-6262	-6699	-2274	-491	-9143
G	Mlx	80	356	1115	1015	1805	1363	1739	1458	436	1885
	Mtx	-80	-356	-1754	-2653	-3349	-1785	-2703	-3850	-436	-3930
	Mly	80	356	1231	1265	1805	1235	1396	1458	436	1885
	Mty	80	356	-1785	-2703	-3850	-1754	-2653	-3349	436	-3770
H	Mlx	90	400	4247	2826	3718	4641	8361	2910	491	8451
	Mtx	-90	-400	-6318	-6760	-7676	-4848	-9483	-7073	-491	-9573
I	Mlx	47	207	1809	2225	864	1206	1649	1235	254	2271
	Mtx	-47	-207	-2706	-3702	-3182	-2549	-4520	-2678	-254	-4566
	Mly	28	126	764	497	889	856	1359	479	155	1388
	Mty	-28	-126	-1197	-1520	-1441	-1187	-2076	-1814	-155	-2105

5.4.4 Penulangan Pelat

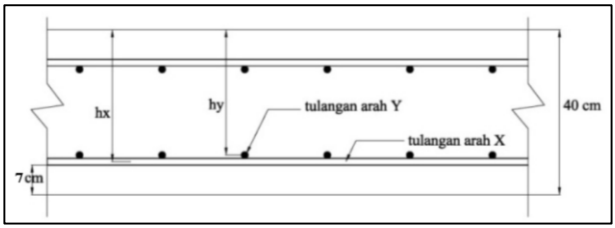
Untuk penulangan pelat diambil perhitungan tulangan pelat A 7,5 x 7 m (lihat Gambar 5.4). Perhitungan tulangan menggunakan PBI 1971. Untuk perhitungan tipe pelat lainnya dapat dilihat pada Tabel 5.23 dengan prosedur yang sama seperti tipe pelat A.

A. Data Perencanaan Pelat Tipe A

1. Mutu Beton
   - σ'_{bk} = 350 kg/cm^2 (K-350)
   - σ'_{b} = 115,5 kg/cm^2
   - E_b = 119733 kg/cm^2

2. Mutu Baja
   - σ_{au} = 320 Mpa = 3200 kg/cm^2 (U-32)
   - σ_a = σ'_a = 1850 kg/cm^2
   - σ'_{au} = 2780 kg/cm^2
   - Ea = 2,1 x 10^6 kg/cm^2

3. Komponen Pelat
   - D = 19 mm (arah-x)
     = 19 mm (arah-y)
   - t = 40 cm
   - n_t = Angka ekivalensi antara modulus elastisitas baja dengan modulus tekan beton
   - $n_t = \frac{E_a}{E_b} = \frac{2100000}{119733} = 17{,}54$
   - $\phi_0 = \frac{\sigma'_a}{(n_t \times \sigma'_b)} = \frac{1850}{(17{,}54 \times 115{,}5)} = 0{,}91$
   - ly = 6700 mm
   - lx = 6200 mm
   - Iy/Ix = 6700/6200 =1,1 < 2,5 (pelat 2 arah)



Gambar 5.33 Potongan Penampang Penulangan Pelat

B. Penulangan arah-X Tipe A

1. Lapangan

Mlx = 10187 kgm
c = 70 mm
D = 19 mm
hx = 400 - 70 – 0,5D(arah X)
= 400 – 70 - 0,5.19
= 3205 mm
= 32,05 cm
A_{st} = 284 mm^2

$$C_a = \frac{h_x}{\sqrt{\frac{n_t \times M}{b \times \sigma'_a}}} = \frac{32,05}{\sqrt{\frac{17,54 \times 10187}{1000 \times 1850}}} = 3,26$$

Dari tabel Perhitungan Lentur Cara-n "Konstruksi Beton Indonesia" dengan Ca = 3,26 dan δ = 0 didapat:

ϕ = 1,71 > ϕ_0 =0,91 (OK)
100nω = 10,79
ω = 0,006152

a. Luas tulangan tarik yang diperlukan :
$A = \omega \times b \times h_x$
A = 0,006152 x 1000 x 320,5
A = 1972 mm^2/m
Dipasang D19-150 (As = 1985 mm^2)

b. Luas tulangan tekan yang diperlukan :
Untuk tulangan tekan direncanakan diameter yang lebih kecil dari tulangan utama tarik namun dengan spasi yang sama dengan tulangan tarik itu sendiri, sehingga kebutuhan tulangan tekan adalah D13-150. Untuk tulangan tekan pada arah dan pelat lainnya menggunakan konsep yang sama.

c. 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 ωp, C3, C4 dan C5 (lihat Tabel 2.28)

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

$$\omega_p=\frac{A}{b\times h}$$

Dimana:

α = 1 (tulangan ulir)
c = 7 cm
d = 1,9 cm
σ_a = 1850 kg/cm^2
A = 1985 mm^2/m
b = 1000 mm
h = 400 mm
C_3 = 1,5
C_4 = 0,16
C_5 = 30
$\omega_p = \frac{1985}{1000\times 400}=0{,}00496$
$w = 1\left(1{,}5\cdot 7+0{,}16\cdot\frac{1{,}9}{0{,}00496}\right)\cdot\left(1850-\frac{30}{0{,}00496}\right)\cdot 10^{-6}$
w = -0,301 cm < 0,01 cm (OK)

2. Tumpuan
Mtx = 10187 kgm

C = 70 mm
D = 19 mm
hx = 400 - 70 – 0,5D(arah X)
= 400 – 70 - 0,5.19
= 3205 mm
= 32,05 cm
A_{st} = 284 mm^2
$C_a = \frac{h_x}{\sqrt{\frac{n_t \times M}{b \times \sigma'_a}}} = \frac{32,05}{\sqrt{\frac{17,54 \times 10187}{1000 \times 1850}}} = 3,26$

Dari tabel Perhitungan Lentur Cara-n "Konstruksi Beton Indonesia" dengan Ca = 3,26 dan δ = 0 didapat:
ϕ = 1,71 > ϕ_0 =0,91 (OK)
100nω = 10,79
ω = 0,006152

a. Luas tulangan tarik yang diperlukan :
$A = \omega \times b \times h_x$
A = 0,006152 x 1000 x 320,5
A = 1972 mm^2/m
Dipasang D19-150 (As = 1985 mm^2)

b. 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 ωp, C3, C4 dan C5(lihat Tabel 2.28).

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

$$\omega_p = \frac{A}{b \times h}$$

Dimana:
α = 1 (tulangan ulir)
c = 7 cm
d = 1,9 cm

σ_a = 1850 kg/cm^2
A = 1985 mm^2/m
b = 1000 mm
h = 400 mm
C_3 = 1,5
C_4 = 0,16
C_5 = 30
$\omega_p = \frac{1985}{1000\times400} = 0{,}00496$
$w = 1\left(1{,}5\cdot7+0{,}16\cdot\frac{1{,}9}{0{,}00496}\right)\cdot\left(1850-\frac{30}{0{,}00496}\right)\cdot10^{-6}$
w = -0,301 cm < 0,01 cm (OK)

C. Penulangan arah-Y Tipe A

1. Lapangan

Mly = 8975 kgm
C = 70 mm
D = 19 mm
hy = 400-70-ϕarah X-0,5ϕarah Y
= 400-70-19-0,5.19
= 301,5 mm
= 30,15 cm
A_{st} = 284 mm^2
$C_a = \frac{h_y}{\sqrt{\frac{n_t\times M}{b\times\sigma'_a}}} = \frac{30{,}15}{\sqrt{\frac{17{,}54\times8975}{1000\times1850}}} = 3{,}27$

Dari tabel Perhitungan Lentur Cara-n "Konstruksi Beton Indonesia" dengan Ca = 3,27 dan δ = 0 didapat:
ϕ = 1,72 > ϕ_0 = 1,11 (OK)
100nω = 10,71
ω = 0,006106

a. Luas tulangan tarik yang diperlukan :
$A = \omega\times b\times h_y$
A = 0,006106 x 1000 x 301,5
A = 1841 mm^2/m
Dipasang D19-150 (As = 1985 mm^2)

b. 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 ωp, C3, C4 dan C5 (lihat Tabel 2.28).

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

$$\omega_p=\frac{A}{b\times h}$$

Dimana:

α = 1 (tulangan ulir)
c = 7 cm
d = 1,9 cm
σ_a = 1850 kg/cm^2
A = 1985 mm^2/m
b = 1000 mm
h = 400 mm
C_3 = 1,5
C_4 = 0,16
C_5 = 30
$\omega_p = \frac{1985}{1000\times 400}=0{,}00496$
$w = 1\left(1{,}5\cdot 7+0{,}16\cdot\frac{1{,}9}{0{,}00496}\right)\cdot\left(1850-\frac{30}{0{,}00496}\right)\cdot 10^{-6}$
w = -0,301 cm < 0,01 cm (OK)

2. Tumpuan
Mly = 8975 kgm
C = 70 mm
D = 19 mm
hy = 400-70-ϕarah X-0,5ϕarah Y
= 400-70-19-0,5.19
= 301,5 mm
= 30,15 cm

A_{st} = 284 mm^2

$C_a = \frac{h_y}{\sqrt{\frac{n_t \times M}{b \times \sigma'_a}}} = \frac{30,15}{\sqrt{\frac{17,54 \times 8975}{1000 \times 1850}}} = 3,27$

Dari tabel Perhitungan Lentur Cara-n "Konstruksi Beton Indonesia" dengan Ca = 3,27 dan δ = 0 didapat:

ϕ = 1,72 > ϕ_0 = 1,11 (OK)

100nω = 10,71

ω = 0,006106

a. Luas tulangan tarik yang diperlukan :
   $A = \omega \times b \times h_y$
   A = 0,006106 x 1000 x 301,5
   A = 1841 mm^2/m
   Dipasang D19-150 (As = 1985 mm^2)

b. 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 ωp, C3, C4 dan C5 (lihat

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

$$\omega_p = \frac{A}{b \times h}$$

   Dimana:
   α = 1 (tulangan ulir)
   c = 7 cm
   d = 1,9 cm
   σ_a = 1850 kg/cm^2
   A = 1985 mm^2/m
   b = 1000 mm
   h = 400 mm
   C_3 = 1,5

C_4 = 0,16
C_5 = 30
$\omega_p = \frac{1985}{1000 \times 400} = 0{,}00496$
$w = 1\left(1{,}5 \cdot 7 + 0{,}16 \cdot \frac{1{,}9}{0{,}00496}\right) \cdot \left(1850 - \frac{30}{0{,}00496}\right) \cdot 10^{-6}$
w = -0,301 cm < 0,01 cm (OK)

D. Perhitungan tulangan penyaluran

1. Panjang penyaluran tulangan tarik
Berdasarkan PBI '71 pasal 8.6.2 , kebutuhan tulangan tarik dapat dicari dengan persamaan berikut:
$L_d = 0{,}07 \frac{A \cdot \sigma'_{au}}{\sqrt{\sigma'_{bk}}} \geq 0{,}0065 \cdot d_p \cdot \sigma'_{au}$
d_p = 1,9 cm
As = 2,84 cm^2
$L_d = 0{,}07 \frac{2{,}84 \cdot 2780}{\sqrt{350}} \geq 0{,}0065 \cdot 1{,}9 \cdot 2780$
L_d = 29,5 cm ≤ L_{dmin} = 34,33 cm
L_d = 35 cm
Maka panjang tulangan penyaluran yang digunakan sepanjang 35 cm untuk tulangan tarik

2. Panjang penyaluran tulangan tekan
Berdasarkan PBI '71 pasal 8.7.2, kebutuhan tulangan tekan dapat dicari dengan persamaan berikut:
$L_d = 0{,}09 \frac{d_p \cdot \sigma'_{au}}{\sqrt{\sigma'_{bk}}} \geq 0{,}005 \cdot d_p \cdot \sigma'_{au}$
d_p = 1,9 cm
As = 2,84 cm^2
$L_d = 0{,}09 \frac{1{,}9 \cdot 2780}{\sqrt{350}} \geq 0{,}005 \cdot 1{,}9 \cdot 2780$
L_d = 25,4 cm ≤ L_{dmin} = 26,4 cm
L_d = 27 cm
Maka panjang tulangan penyaluran yang digunakan sepanjang 27 cm untuk tulangan tekan

Tabel 5.21 Luas Tulangan Pelat Minimum
(PelatA-E)

Tipe	Arah	Keterangan	nt	Φo	hx	M.Max	Ca	100nω	ω	A
					(cm)	(kgm)				(mm2/m)
A	X	lapangan	17,54	0,91	32,05	10187	3,26	10,790	0,006152	1972
		tumpuan	17,54	0,91	32,05	10187	3,26	10,790	0,006152	1972
	Y	lapangan	17,54	0,91	30,15	8975	3,27	10,710	0,006106	1841
		tumpuan	17,54	0,91	30,15	8975	3,27	10,710	0,006106	1841
B	X	lapangan	17,54	0,91	32,05	8531	3,56	6,692	0,003815	1223
		tumpuan	17,54	0,91	32,05	8531	3,56	6,692	0,003815	1223
	Y	lapangan	17,54	0,91	30,15	6484	3,85	10,120	0,005770	1740
		tumpuan	17,54	0,91	30,15	6484	3,85	10,120	0,005770	1740
C	X	lapangan	17,54	0,91	32,05	10204	3,26	2,976	0,001697	544
		tumpuan	17,54	0,91	32,05	14195	2,76	3,900	0,002224	713
D	X	lapangan	17,54	0,91	32,05	11020	3,14	3,167	0,001806	579
		tumpuan	17,54	0,91	32,05	14868	2,70	16,010	0,009128	2926
E	X	lapangan	17,54	0,91	32,05	8243	3,63	8,565	0,004883	1565
		tumpuan	17,54	0,91	32,05	9451	3,39	9,911	0,005651	1811

Tabel 5.22 Luas Tulangan Pelat Minimum
(PelatF-I)

Tipe	Arah	Keterangan	nt	Φo	hx	M.Max	Ca	100nω	ω	A
					(cm)	(kgm)				(mm2/m)
F	X	lapangan	17,54	0,91	32,05	7741	3,74	8,066	0,004599	1474
		tumpuan	17,54	0,91	32,05	9143	3,44	9,630	0,005491	1760
G	X	lapangan	17,54	0,91	32,05	1885	7,58	1,856	0,001058	339
		tumpuan	17,54	0,91	32,05	3930	5,25	3,975	0,002266	726
	Y	lapangan	17,54	0,91	30,15	1885	7,13	2,100	0,001197	361
		tumpuan	17,54	0,91	30,15	3770	5,04	4,365	0,002489	750
H	X	lapangan	17,54	0,91	32,05	8451	3,58	8,823	0,005030	1612
		tumpuan	17,54	0,91	32,05	9573	3,36	10,120	0,005770	1849
I	X	lapangan	17,54	0,91	32,05	2271	6,91	2,255	0,001286	412
		tumpuan	17,54	0,91	32,05	4566	4,87	4,651	0,002652	850
	Y	lapangan	17,54	0,91	30,15	1388	8,31	1,545	0,000881	266
		tumpuan	17,54	0,91	30,15	2105	6,75	2,821	0,001608	485

Tabel 5.23 Jarak Tulangan Pelat

Tipe	Arah	Keterangan	A	N	As	Dipasang
			(mm2/m)	(buah)	(mm2/m)	
A	X	lapangan	1972	7	1985	D19 - 125
		tumpuan	1972	7	1985	D19 - 125
	Y	lapangan	1841	7	1985	D19 - 125
		tumpuan	1841	7	1985	D19 - 125
B	X	lapangan	1636	6	1701	D19 - 200
		tumpuan	1636	6	1701	D19 - 200
	Y	lapangan	1322	5	1418	D19 - 250
		tumpuan	1322	5	1418	D19 - 250
C	X	lapangan	1972	7	1985	D19 - 125
		tumpuan	2798	10	2835	D19 - 100
D	X	lapangan	2127	8	2268	D19 - 125
		tumpuan	2926	11	3119	D19 - 100
E	X	lapangan	1565	6	1701	D19 - 200
		tumpuan	1811	7	1985	D19 - 125
F	X	lapangan	1474	6	1701	D19 - 200
		tumpuan	1760	7	1985	D19 - 125
G	X	lapangan	339	2	567	D19 - 1000
		tumpuan	726	3	851	D19 - 500
	Y	lapangan	361	2	567	D19 - 1000
		tumpuan	750	3	851	D19 - 500
H	X	lapangan	1612	6	1701	D19 - 200
		tumpuan	1849	7	1985	D19 - 125
I	X	lapangan	412	2	567	D19 - 1000
		tumpuan	850	3	851	D19 - 500
	Y	lapangan	266	2	567	D19 - 1000
		tumpuan	485	2	567	D19 - 1000

Tabel 5.24 Kontrol Retak (Pelat A-E)

Tipe	Arah	Keterangan	As	b	h	ωp	α	c	d	σa	C3	C4	C5	w	Keterangan
			(mm2)	(mm)	(mm)			(cm)	(cm)	(kg/cm2)				(cm)	
A	X	lapangan	1985	1000	400	0,00496	1	7	1,9	1850	1,5	0,16	30	-0,301159303	Tidak Retak
		tumpuan	1985	1000	400	0,00496	1	7	1,9	1850	1,5	0,16	30	-0,301159303	Tidak Retak
	Y	lapangan	1985	1000	400	0,00496	1	7	1,9	1850	1,5	0,16	30	-0,301159303	Tidak Retak
		tumpuan	1985	1000	400	0,00496	1	7	1,9	1850	1,5	0,16	30	-0,301159303	Tidak Retak
B	X	lapangan	1418	1000	400	0,00354	1	7	1,9	1850	1,5	0,16	30	-0,636842624	Tidak Retak
		tumpuan	1418	1000	400	0,00354	1	7	1,9	1850	1,5	0,16	30	-0,636842624	Tidak Retak
	Y	lapangan	1985	1000	400	0,00496	1	7	1,9	1850	1,5	0,16	30	-0,301159303	Tidak Retak
		tumpuan	1985	1000	400	0,00496	1	7	1,9	1850	1,5	0,16	30	-0,301159303	Tidak Retak
C	X	lapangan	567	1000	400	0,00142	1	7	1,9	1850	1,5	0,16	30	-4,344020058	Tidak Retak
		tumpuan	851	1000	400	0,00213	1	7	1,9	1850	1,5	0,16	30	-1,881102817	Tidak Retak
D	X	lapangan	851	1000	400	0,00213	1	7	1,9	1850	1,5	0,16	30	-1,881102817	Tidak Retak
		tumpuan	3119	1000	400	0,00780	1	7	1,9	1850	1,5	0,16	30	-0,098860218	Tidak Retak
E	X	lapangan	1701	1000	400	0,00425	1	7	1,9	1850	1,5	0,16	30	-0,426621131	Tidak Retak
		tumpuan	1985	1000	400	0,00496	1	7	1,9	1850	1,5	0,16	30	-0,301159303	Tidak Retak

Tabel 5.25 Kontrol Retak (Pelat F-I)

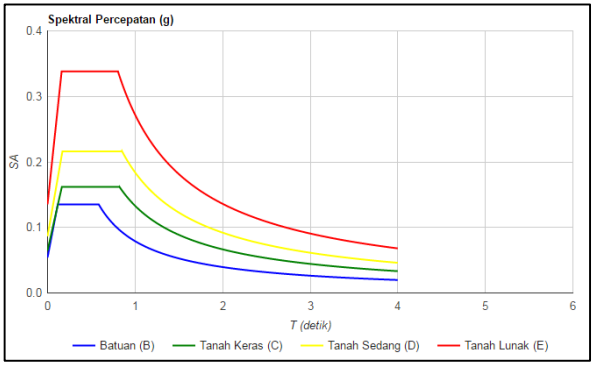
Tipe	Arah	Keterangan	As	b	h	ωp	α	c	d	σa	C3	C4	C5	w	Keterangan
			(mm2)	(mm)	(mm)			(cm)	(cm)	(kg/cm2)				(cm)	
F	X	lapangan	1701	1000	400	0,00425	1	7	1,9	1850	1,5	0,16	30	-0,426621131	Tidak Retak
		tumpuan	1985	1000	400	0,00496	1	7	1,9	1850	1,5	0,16	30	-0,301159303	Tidak Retak
G	X	lapangan	567	1000	400	0,00142	1	7	1,9	1850	1,5	0,16	30	-4,344020058	Tidak Retak
		tumpuan	851	1000	400	0,00213	1	7	1,9	1850	1,5	0,16	30	-1,881102817	Tidak Retak
	Y	lapangan	567	1000	400	0,00142	1	7	1,9	1850	1,5	0,16	30	-4,344020058	Tidak Retak
		tumpuan	851	1000	400	0,00213	1	7	1,9	1850	1,5	0,16	30	-1,881102817	Tidak Retak
H	X	lapangan	1701	1000	400	0,00425	1	7	1,9	1850	1,5	0,16	30	-0,426621131	Tidak Retak
		tumpuan	1985	1000	400	0,00496	1	7	1,9	1850	1,5	0,16	30	-0,301159303	Tidak Retak
I	X	lapangan	567	1000	400	0,00142	1	7	1,9	1850	1,5	0,16	30	-4,344020058	Tidak Retak
		tumpuan	851	1000	400	0,00213	1	7	1,9	1850	1,5	0,16	30	-1,881102817	Tidak Retak
	Y	lapangan	567	1000	400	0,00142	1	7	1,9	1850	1,5	0,16	30	-4,344020058	Tidak Retak
		tumpuan	567	1000	400	0,00142	1	7	1,9	1850	1,5	0,16	30	-4,344020058	Tidak Retak

5.5 Perencanaan Balok, Plank Fender dan Poer Dermaga

5.5.1 Pembebanan Balok

Berikut ini adalah beban-beban yang diterima oleh balok:

1. Berat sendiri pelat = 1,16 t/m^2
2. Beban hidup pelat = 5,15 t/m^2
3. Berat sendiri fender = 1,03 t
4. Beban horizontal fender = 37,3 t
5. Berat sendiri bollard = 0,7 t
6. Beban horizontal bollard = 35 t
7. Beban akibat arus = 0,61 t
8. Beban akibat angin = 2,4 t
9. Beban berjalan truk = (lihat subbab **4.4.1.C**.2)
10. Beban berjalan MHC = (lihat subbab **4.4.1.C**.1)
11. Beban gempa = (lihat subbab **4.4.2.A** dan Gambar 5.34)



Gambar 5.34 Spektrum Gempa Kota Bontang (sumber:http://puskim.pu.go.id)

5.5.2 Analisa Struktur

Analisa struktur menggunakan program bantu SAP2000 dengan kombinasi beban sebagai berikut:

1. DL + LL
2. DL + LL + Fender
3. DL + LL + Bollard
4. DL + MM
5. DL + MM + Fender
6. DL + MM + Bollard
7. DL + MHC
8. DL + MHC + Fender
9. DL + MHC + Bollard
10. DL + LL + Ex + 0,3 Ey
11. DL + LL + 0,3Ex + Ey
12. DL + MM + Ex + 0,3 Ey
13. DL + MM + 0,3Ex + Ey
14. DL + MHC + Ex + 0,3 Ey
15. DL + MHC + 0,3Ex + Ey

Dimana :

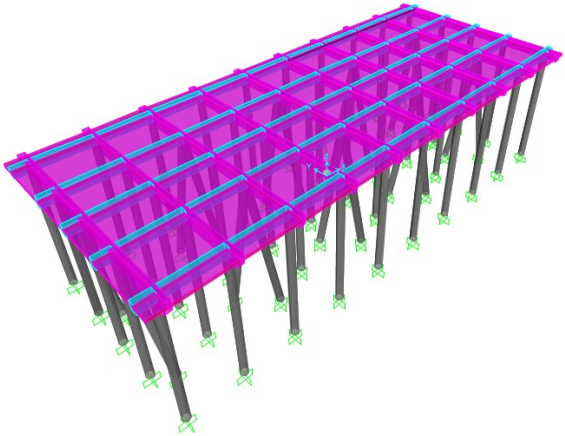
DL = beban mati dan berat sendiri struktur
LL = beban hidup merata
MHC = beban mobile harbour crane
MM = beban truk (*multiwheel mammoth*)
Ex = beban gempa arah-x (memanjang dermaga)
Ey = beban gempa arah-y (melintang dermaga)

A. Tinggi struktur

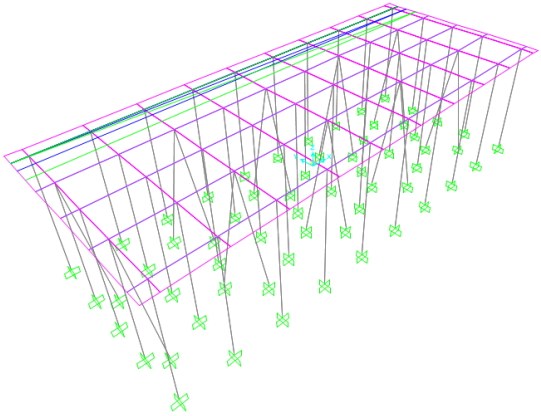
Tinggi struktur yaitu dari titik jepit tiang ke elevasi permukaan dermaga. Dari perhitungan (subbab 5.3.1) didapat tinggi tiang pancang adalah = 18 m. tinggi struktur akan digunakan di permodelan SAP2000

B. Permodelan struktur

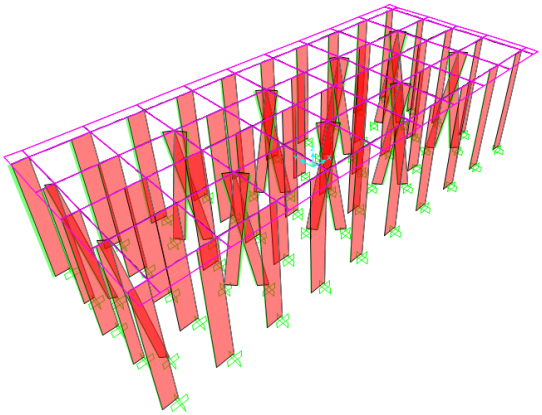
bentuk permodelan struktur pada SAP2000 bisa dilihat pada Gambar 5.35-Gambar 5.39.



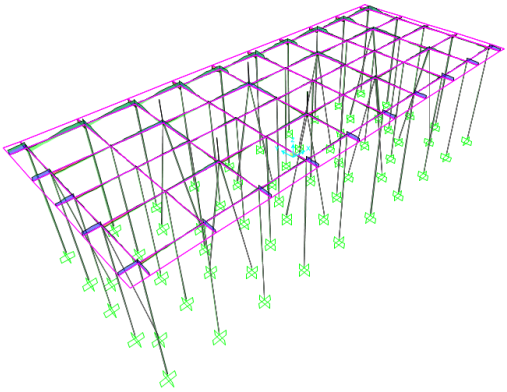
Gambar 5.35 Tampak 3D Jetty 2 (Sisi Kiri)



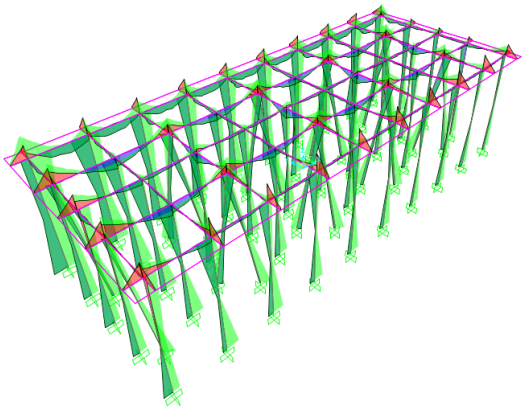
Gambar 5.36 Jalur Truk MM dan Mobile Harbour Crane



Gambar 5.37 Kombinasi Envelope Gaya Aksial



Gambar 5.38 Kombinasi Envelope Gaya Geser V22



Gambar 5.39 Kombinasi Envelope Gaya Momen M33

Tabel 5.26 Rekapitulasi Gaya Dalam Struktur Balok

Balok	Frame	Kombinasi	Momen	Geser	Torsi	Aksial
			kgm	kg	kgm	kg
Melintang	134	DL+LL+MM+0,3Ex+1Ey	42.067			
	141	DL+LL+MM+0,3Ex+1Ey	-78.922			
	129	DL+LL+MM+0,3Ex+1Ey		41.447		
	171	DL+LL+MM+1Ex+0,3Ey			-16.795	
	131	DL+LL+MM+F				-12.454
Memanjang	52	DL+LL+MM+1Ex+0,3Ey	37.864			
	108	DL+LL+MM+0,3Ex+1Ey	-79.872			
	109	DL+LL+MM+1Ex+0,3Ey		-40.148		
	117	DL+LL+MM+0,3Ex+1Ey			17.487	
	26	DL+LL+MM+B				-2.927

(sumber: Analisa SAP2000 v.18)

5.5.3 Penulangan Balok Melintang

A. Data perencanaan balok melintang

1. Mutu beton

σ'_{bk} = 350 kg/cm^2 (K-350)

σ'_b = 115,5 kg/cm^2

E_b = 119733 kg/cm^2

2. Mutu baja

σ_{au} = 320 Mpa = 3200 kg/cm^2 (U-32)

σ_a = σ'_a = 1850 kg/cm^2

σ'_{au} = 2780 kg/cm^2

Ea = 2,1 x 10^6 kg/cm^2

3. Komponen balok melintang

D = 25 mm (lentur)

= 16 mm (geser)

h_t = 1200 mm

b = 800 mm

c = 70 mm

n_t = Angka ekivalensi antara modulus elastisitas baja dengan modulus tekan beton

$n_t = \frac{E_a}{E_b} = \frac{2100000}{119733} = 17{,}54$

$\phi_0 = \frac{\sigma_a}{(n_t \times \sigma'_b)} = \frac{1850}{(17{,}54 \times 115{,}5)} = 0{,}91$

4. Momen balok melintang

Momen pada balok diambil nilai maksimum untuk menyelaraskan tulangan setiap komponen balok melintang

Ml = 42067 kgm

Mt = -78922 kgm

B. Perhitungan tulangan lentur

1. Lapangan

Ml = 42067 kgm

h = h_t – c – Dgeser – 0,5Dlentur

= 1200 – 70 – 16 – 12,5

= 1101,5 mm

$C_a = \frac{h}{\sqrt{\frac{n \times M}{b \times \sigma_a}}} = \frac{110{,}15}{\sqrt{\frac{17{,}54 \times 42067}{0{,}8 \times 1850}}} = 4{,}933$

Dari tabel Perhitungan Lentur Cara-n "Konstruksi Beton Indonesia" dengan Ca = 4,933 dan δ = 0 didapat:

ϕ = 2,861 > ϕ_0 = 0,91 (OK)
100nω = 4,526
ω = 0,00258

a. Luas tulangan tarik yang diperlukan :

$A_{min} = \frac{12}{\sigma'_{au}} \times b \times h$ (PBI '71 pasal 9.3 ayat (2))

$= \frac{12}{2780} \times 80 \times 110{,}15$

$= 38{,}04\ cm^2 = 3804\ mm^2$

$A = \omega \times b \times h$

$= 0{,}00258 \times 800 \times 110{,}15$

$= 2274\ mm^2$

$A = 2274\ mm^2 < A_{min} = 3804\ mm^2$

$A = 2274\ mm^2$

Dipasang 1 baris 8D25 ($As = 3927\ mm^2$)

b. Luas tulangan samping yang diperlukan:

$A = 10\% \times A_s$ (PBI '71 pasal 9.3 ayat (5))

$= 10\% \times 3927$

$= 392{,}7\ mm^2$

Dipasang 2D25 ($As = 982\ mm^2$)

c. Jarak tulangan tarik

s_{min} = 3 cm (PBI '71 Pasal 8.16 ayat (1))

s_{min} = 1,5 x Dlentur

= 1,5 x 25

= 37,5 mm

s_{min} = 3 cm

$s = \frac{b-(2\times c)-(2\times Dgeser)-Dlentur}{n-1}$

$= \frac{800-(2\times 70)-(2\times 16)-25}{8-1}$

s = 86,14 mm > s_{min} = 60 mm (OK)

d. 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 ωp, C3, C4 dan C5 (lihat Tabel 2.28).

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

$$\omega_p=\frac{A}{b\times h}$$

Dimana:

α = 1 (tulangan ulir)
c = 7 cm
d = 2,5 cm
σ_a = 1850 kg/cm^2
A_s = 3927 mm^2
b = 800 mm
h = 1101,5 mm
C_3 = 1,5
C_4 = 0,16
C_5 = 30
ω_p = $\frac{3927}{800\times1101,5}$ =0,00297
w = $1\left(1,5\cdot7+0,16\cdot\frac{2,5}{0,00297}\right)\cdot\left(1850-\frac{30}{0,00297}\right)\cdot10^{-6}$
w = -1,197 cm < 0,01 cm (OK)

2. Tumpuan

Mt = 78922 kgm
h = h_t – c – Dgeser – 0,5Dlentur
= 1200 – 70 – 16 – 12,5
= 1101,5 mm
C_a = $\frac{h}{\sqrt{\frac{n\times M}{b\times\sigma_a}}}=\frac{110,15}{\sqrt{\frac{17,54\times78922}{0,8\times1850}}}=3,602$

Dari tabel Perhitungan Lentur Cara-n "Konstruksi Beton Indonesia" dengan Ca = 3,602 dan δ = 0 didapat:

ϕ = 1,941 > ϕ_0 = 0,91 (OK)
100nω = 8,758
ω = 0,00499

a. Luas tulangan tarik yang diperlukan :

$A_{min} = \frac{12}{\sigma'_{au}} \times b \times h$

$= \frac{12}{2780} \times 80 \times 110{,}15$

$= 38{,}04\ cm^2 = 3804\ mm^2$

$A = \omega \times b \times h$

$= 0{,}00499 \times 800 \times 1101{,}5$

$= 4400\ mm^2$

$A = 4400\ mm^2 > A_{min} = 3804\ mm^2$

$A = 4400\ mm^2$

Dipasang 1 baris 9D25 ($As = 4418\ mm^2$)

b. Luas tulangan samping yang diperlukan:

$A = 10\% \times A_s$

$= 10\% \times 4418$

$= 441{,}8\ mm^2$

Dipasang 2D25 ($As = 982\ mm^2$)

c. Jarak tulangan tarik

$s_{min} = 3$ cm (PBI '71 Pasal 8.16 ayat (1))

$s_{min} = 1{,}5 \times$ Dlentur

$= 1{,}5 \times 25$

$= 3{,}75$ cm

$s_{min} = 6$ cm

$s = \frac{b-(2\times c)-(2\times Dgeser)-Dlentur}{n-1}$

$= \frac{800-(2\times 70)-(2\times 16)-25}{9-1}$

$s = 75{,}38\ mm > s_{min} = 60\ mm$ (OK)

d. 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 ωp, C3, C4 dan C5 (lihat Tabel 2.28).

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

$$\omega_p=\frac{A}{b\times h}$$

Dimana:

α = 1 (tulangan ulir)
c = 7 cm
d = 2,5 cm
σ_a = 1850 kg/cm^2
As = 4418 mm^2
b = 800 mm
h = 1101,5 mm
C_3 = 1,5
C_4 = 0,16
C_5 = 30
ω_p = $\frac{4418}{800\times1101,5}=0,00334$
w = $1\left(1,5\cdot7+0,16\cdot\frac{2,5}{0,00334}\right)\cdot\left(1850-\frac{30}{0,00334}\right)\cdot10^{-6}$
w = -0,93 cm < 0,01 cm (OK)

C. Perhitungan tulangan geser

1. Tulangan geser lentur:

V_u = 41447 kg

τ_b = $\frac{V_u}{b\times\frac{7}{8}h}$

= $\frac{41447}{80\times\frac{7}{8}110,15}$

= 5,38 kg/cm^2

2. Tulangan geser puntir

Untuk $h_t > b$:

h_t = 1200 mm
b = 800 mm
T_u = 16795 kgm

$\psi = 3 + \frac{2,6}{0,45+\frac{h_t}{b}}$

$= 3 + \frac{2,6}{0,45+\frac{1200}{800}}$

$= 4,33$

$\tau'_b = \frac{\psi \times T_u}{h_t \times b^2}$

$= \frac{4,33 \times 1679500}{120 \times 80^2}$

$= 9,48 \text{ kg/cm}^2$

3. Kontrol dimensi balok

Tegangan beton yang diizinkan berdasarkan PBI '71 tabel 10.4.2 akibat geser lentur dengan puntir, dengan tulangan geser:

Untuk pembebanan tetap:

$\bar{\tau}_{bm-t} = 1,35\sqrt{\sigma'_{bk}}$

$= 1,35\sqrt{350}$

$= 25,26 \text{ kg/cm2}$

Untuk pembebanan sementara:

$\bar{\tau}_{bm-s} = 2,12\sqrt{\sigma'_{bk}}$

$= 2,12\sqrt{350}$

$= 39,66 \text{ kg/cm}^2$

$\tau_b + \tau'_b \leq \bar{\tau}_{bm-t}$ (PBI '71 pasal 11.8 ayat (2))

$\tau_b + \tau'_b = 5,38 + 9,48$

$= 14,86 \text{ kg/cm}^2$

$\tau_b + \tau'_b = 15,86 \text{ kg/cm}^2 \leq \bar{\tau}_{bm-t} = 25,26 \text{ kg/cm}^2$ (OK)

Dimensi balok tidak perlu diperbesar.

4. Jarak tulangan geser

a. Tulangan geser di tumpuan balok

$\tau_b < \tau'_{bm-t}$ (OK)

$\tau_b < \tau'_{bm-s}$ (OK)

Maka diperlukan tulangan geser

Direncanakan tulangan geser :

Diameter = 16 mm
As = 4,02 cm^2

as $< \frac{As \times \sigma'_a}{\tau_b \times b}$
$= \frac{4{,}02 \times 1850}{5{,}38 \times 80}$
= 17,3 cm

Perencanaan jarak tulangan geser sesuai PBI '71 pasal 9.3.6
s < 30 cm
s < 2/3 × h_t
< 2/3 × 1200
< 80 cm
Digunakan s = 15 cm
Jadi dipasang tulangan geser D16 – 150

b. Tulangan geser di daerah > 1/5 dari ujung balok :

$\tau_b = \frac{2}{3} \times 5{,}38$

= 3,58 kg/cm^2

$\tau_b < \tau'_{bm-t}$ (OK)

$\tau_b < \tau'_{bm-s}$ (OK)

Maka diperlukan tulangan geser
Direncanakan tulangan geser :
Diameter = 16 mm
As = 4,02 cm^2

as $< \frac{As \times \sigma'_a}{\tau_b \times b}$
$= \frac{4{,}02 \times 1850}{3{,}58 \times 80}$
= 26 cm

Perencanaan jarak tulangan geser sesuai PBI '71 pasal 9.3.6
s < 30 cm
s < 2/3 × h_t
< 2/3 × 1200

< 80 cm

Digunakan s = 25 cm

Jadi dipasang tulangan geser D16 –250 mm

D. Perhitungan tulangan penyaluran

1. Panjang penyaluran tulangan tarik

Berdasarkan PBI ’71 pasal 8.6.2 , kebutuhan tulangan tarik dapat dicari dengan persamaan berikut:

$L_d = 0{,}07 \frac{A \cdot \sigma'_{au}}{\sqrt{\sigma'_{bk}}} \geq 0{,}0065 \cdot d_p \cdot \sigma'_{au}$

d_p = 2,5 cm

As = 4,91 cm^2

$L_d = 0{,}07 \frac{4{,}91 \cdot 2780}{\sqrt{350}} \geq 0{,}0065 \cdot 2{,}5 \cdot 2780$

L_d = 51,06 cm ≥ L_{dmin} = 45,18 cm

L_d = 52 cm

Maka digunakan tulangan penyaluran tarik sepanjang 52 cm

2. Panjang penyaluran tulangan tekan

Berdasarkan PBI ’71 pasal 8.7.2, kebutuhan tulangan tekan dapat dicari dengan persamaan berikut:

$L_d = 0{,}09 \frac{d_p \cdot \sigma'_{au}}{\sqrt{\sigma'_{bk}}} \geq 0{,}005 \cdot d_p \cdot \sigma'_{au}$

d_p = 2,5 cm

As = 4,91 cm^2

$L_d = 0{,}09 \frac{2{,}5 \cdot 2780}{\sqrt{350}} \geq 0{,}005 \cdot 2{,}5 \cdot 2780$

L_d = 33,43 cm ≤ L_{dmin} = 34,75 cm

L_d = 35 cm

Maka digunakan tulangan penyaluran tekan sepanjang 35 cm

5.5.4 Penulangan Balok Memanjang

A. Data perencanaan balok memanjang

1. Mutu beton

σ'_{bk} = 350 kg/cm^2 (K-350)

σ'_b = 115,5 kg/cm^2
E_b = 119733 kg/cm^2

2. Mutu baja
σ_{au} = 320 Mpa = 3200 kg/cm^2 (U-32)
σ_a = σ'_a = 1850 kg/cm^2
σ'_{au} = 2780 kg/cm^2
Ea = 2,1 x 10^6 kg/cm^2

3. Komponen balok memanjang
D = 25 mm (lentur)
= 16 mm (geser)
h_t = 1200 mm
b = 800 mm
c = 70 mm
n_t = Angka ekivalensi antara modulus elastisitas baja dengan modulus tekan beton
$n_t = \frac{E_a}{E_b} = \frac{2100000}{119733} = 17{,}54$
$\phi_0 = \frac{\sigma_a}{(n_t \times \sigma'_b)} = \frac{1850}{(17{,}54 \times 115{,}5)} = 0{,}91$

4. Momen balok memanjang
Momen pada balok diambil nilai maksimum untuk menyelaraskan tulangan setiap komponen balok memanjang
Ml = 37864 kgm
Mt = -79872 kgm

B. Perhitungan tulangan lentur

Untuk perencanaan tulangan lentur lapangan dan tumpuan akan mendapatkan jumlah tulangan minimum yang berbeda, namun untuk memudahkan pelaksanaan konstruksi digunakan jumlah tulangan yang sama dengan acuan jumlah tulangan yang lebih banyak (lapangan atau tummpuan). Hal ini berlaku untuk komponen balok, plank fender dan poer.

1. Lapangan

Ml = 37864 kgm

h = h_t – c – Dgeser – 0,5Dlentur
= 1200 – 70 – 16 – 12,5
= 1101,5 mm

$C_a = \frac{h}{\sqrt{\frac{n \times M}{b \times \sigma_a}}} = \frac{110,15}{\sqrt{\frac{17,54 \times 37864}{0,8 \times 1850}}} = 5,20$

Dari tabel Perhitungan Lentur Cara-n "Konstruksi Beton Indonesia" dengan Ca = 5,20 dan δ = 0 didapat:

ϕ = 3,048 > ϕ_0 = 0,91 (OK)

100nω = 4,051

ω = 0,00231

a. Luas tulangan tarik yang diperlukan :

$A_{min} = \frac{12}{\sigma'_{au}} \times b \times h$ (PBI '71 pasal 9.3 ayat (2))

$= \frac{12}{2780} \times 80 \times 110,15$

= 38,04 cm^2 = 3804 mm^2

A = ω×b×h
= 0,00231 x 800 x 110,15
= 2035 mm^2

A = 2035 mm^2 < A_{min} = 3804 mm^2

A = 3804 mm^2

Dipasang 1 baris 8D25 (As = 3927 mm^2)

b. Luas tulangan samping yang diperlukan:

A = 10% x A_s (PBI '71 pasal 9.3 ayat (5))
= 10% x 3927
= 392,7 mm^2

Dipasang 2D25 (As = 982 mm^2)

c. Jarak tulangan tarik

s_{min} = 3 cm (PBI '71 Pasal 8.16 ayat (1))

s_{min} = 1,5 x Dlentur
= 1,5 x 25

= 37,5 mm

s $= \frac{b-(2\times c)-(2\times Dgeser)-Dlentur}{n-1}$

$= \frac{800-(2\times 70)-(2\times 16)-25}{8-1}$

s = 86,14 mm > s_{min} = 37,5 mm (OK)

d. 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 ωp, C3, C4 dan C5 (lihat Tabel 2.28).

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

$$\omega_p=\frac{A}{b\times h}$$

Dimana:

α = 1 (tulangan ulir)

c = 7 cm

d = 2,5 cm

σ_a = 1850 kg/cm^2

A_s = 3804 mm^2

b = 800 mm

h = 1101,5 mm

C_3 = 1,5

C_4 = 0,16

C_5 = 30

$\omega_p = \frac{3804}{800\times 1101,5} = 0,00297$

$w = 1\left(1,5\cdot 7+0,16\cdot\frac{2,5}{0,00297}\right)\cdot\left(1850-\frac{30}{0,00297}\right)\cdot 10^{-6}$

w = -1,197 cm < 0,01 cm (OK)

2. Tumpuan

Mt = 79872 kgm

h = h_t – c – Dgeser – 0,5Dlentur

= 1200 – 70 – 16 – 12,5

= 1101,5 mm

$C_a = \frac{h}{\sqrt{\frac{n \times M}{b \times \sigma_a}}} = \frac{110,15}{\sqrt{\frac{17,54 \times 79872}{0,8 \times 1850}}} = 3,58$

Dari tabel Perhitungan Lentur Cara-n "Konstruksi Beton Indonesia" dengan Ca = 3,58 dan δ = 0 didapat:

ϕ = 1,932 > ϕ_0 = 0,91 (OK)

100nω = 8,823

ω = 0,00503

a. Luas tulangan tarik yang diperlukan :

$A_{min} = \frac{12}{\sigma'_{au}} \times b \times h$

$= \frac{12}{2780} \times 80 \times 110,15$

= 38,04 cm^2 = 3804 mm^2

A = ω×b×h

= 0,00503 x 800 x 1101,5

= 4433 mm^2

A = 4433 mm^2 > A_{min} = 3804 mm^2

A = 4433 mm^2

Dipasang 1 baris 10D25 (As = 4909 mm^2)

Dikarenakan jumlah tulangan tumpuan lebih banyak dari tulangan lapangan, maka jumlah tulangan lapangan mengikuti tulangan tumpuan.

b. Luas tulangan samping yang diperlukan:

A = 10% x A_s

= 10% x 4909

= 397,2 mm^2

Dipasang 2D25 (As = 982 mm^2)

c. Jarak tulangan tarik

s_{min} = 3 cm (PBI '71 Pasal 8.16 ayat (1))

s_{min} = 1,5 x Dlentur

= 1,5 x 25

= 3,75 cm

$$s = \frac{b-(2\times c)-(2\times Dgeser)-Dlentur}{n-1}$$
$$= \frac{800-(2\times 70)-(2\times 16)-25}{10-1}$$

$s = 67 \text{ mm} > s_{min} = 37{,}5 \text{ mm (OK)}$

d. 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 ωp, C3, C4 dan C5 (lihat Tabel 2.28).

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

$$\omega_p=\frac{A}{b\times h}$$

Dimana:

α = 1 (tulangan ulir)
c = 7 cm
d = 2,5 cm
σ_a = 1850 kg/cm^2
As = 4909 mm^2
b = 800 mm
h = 1101,5 mm
C_3 = 1,5
C_4 = 0,16
C_5 = 30
$\omega_p = \frac{4909}{800\times 1101{,}5} = 0{,}0037$
$w = 1\left(1{,}5\cdot 7+0{,}16\cdot\frac{2{,}5}{0{,}0037}\right)\cdot\left(1850-\frac{30}{0{,}0037}\right)\cdot 10^{-6}$
$w = -0{,}736 \text{ cm} < 0{,}01 \text{ cm (OK)}$

C. Perhitungan tulangan geser

1. Tulangan geser lentur:

V_u = 40148 kg

$\tau_b = \frac{V_u}{b \times \frac{7}{8} h}$

$= \frac{40148}{80 \times \frac{7}{8} 110{,}15}$

$= 5{,}21$ kg/cm^2

2. Tulangan geser puntir

Untuk $h_t > b$:

$h_t = 1200$ mm

$b = 800$ mm

$T_u = 17487$ kgm

$\psi = 3 + \frac{2{,}6}{0{,}45 + \frac{h_t}{b}}$

$= 3 + \frac{2{,}6}{0{,}45 + \frac{1200}{800}}$

$= 4{,}33$

$\tau'_b = \frac{\psi \times T_u}{h_t \times b^2}$

$= \frac{4{,}33 \times 1748700}{120 \times 80^2}$

$= 9{,}87$ kg/cm^2

3. Kontrol dimensi balok

Tegangan beton yang diizinkan berdasarkan PBI '71 tabel 10.4.2 akibat geser lentur dengan puntir, dengan tulangan geser:

Untuk pembebanan tetap:

$\bar{\tau}_{bm-t} = 1{,}35\sqrt{\sigma'_{bk}}$

$= 1{,}35\sqrt{350}$

$= 25{,}26$ kg/cm2

Untuk pembebanan sementara:

$\bar{\tau}_{bm-s} = 2{,}12\sqrt{\sigma'_{bk}}$

$= 2{,}12\sqrt{350}$

$= 39{,}66$ kg/cm^2

$\tau_b + \tau'_b \leq \bar{\tau}_{bm\text{-}t}$ (PBI '71 pasal 11.8 ayat (2))

$\tau_b + \tau'_b = 5{,}21 + 9{,}87$

$= 15{,}08$ kg/cm^2

$\tau_b + \tau'_b$ = 15,08 kg/cm^2 ≤ $\bar{\tau}_{bm\text{-}t}$ = 25,26 kg/cm^2 (OK)
Dimensi balok tidak perlu diperbesar.

4. Jarak tulangan geser

a. Tulangan geser di tumpuan balok

$\tau_b < \tau'_{bm-t}$ (OK)

$\tau_b < \tau'_{bm-s}$ (OK)

Maka diperlukan tulangan geser
Direncanakan tulangan geser :
Diameter = 16 mm
As = 4,02 cm^2

as $< \frac{As \times \sigma'_a}{\tau_b \times b}$

$= \frac{4{,}02 \times 1850}{5{,}21 \times 80}$

= 17,86 cm

Perencanaan jarak tulangan geser sesuai PBI '71 pasal 9.3.6
s < 30 cm
s < 2/3 × h_t
< 2/3 × 1200
< 80 cm
Digunakan s = 15 cm
Jadi dipasang tulangan geser D16 – 150

b. Tulangan geser di daerah > 1/5 dari ujung balok :

$\tau_b = \frac{2}{3} \times 5{,}21$

= 3,47 kg/cm^2

$\tau_b < \tau'_{bm-t}$ (OK)

$\tau_b < \tau'_{bm-s}$ (OK)

Maka diperlukan tulangan geser
Direncanakan tulangan geser :
Diameter = 16 mm
As = 4,02 cm^2

as $< \frac{As \times \sigma'_a}{\tau_b \times b}$

$= \frac{4{,}02 \times 1850}{3{,}47 \times 80}$

$= 26{,}79$ cm

Perencanaan jarak tulangan geser sesuai PBI ’71 pasal 9.3.6

$s < 30$ cm

$s < 2/3 \times h$

$< 2/3 \times 1200$

< 80 cm

Digunakan s = 25 cm

Jadi dipasang tulangan geser D16 –250 mm

5.5.5 Penulangan Plank Fender

Struktur plank fender terletak di depan (*face line*) dermaga, struktur ini direncanakan sebagai pelat kantilever yang menerima gaya horizontal terpusat akibat beban tumbukan kapal pada fender.

A. Data perencanaan plank fender

1. Mutu beton
   - σ'_{bk} = 350 kg/cm^2 (K-350)
   - σ'_b = 115,5 kg/cm^2
   - E_b = 119733 kg/cm^2
2. Mutu baja
   - σ_{au} = 320 Mpa = 3200 kg/cm^2 (U-32)
   - σ_a = σ'_a = 1850 kg/cm^2
   - σ'_{au} = 2780 kg/cm^2
   - Ea = 2,1 x 10^6 kg/cm^2
3. Komponen plank fender
   - D = 25 mm (tulangan lentur)
   - t = 600 mm
   - h_t = 2200 mm
   - l = 2000 mm

c = 70 mm

n_t = Angka ekivalensi antara modulus elastisitas baja dengan modulus tekan beton

$n_t = \frac{E_a}{E_b} = \frac{2100000}{119733} = 17{,}54$

$\phi_0 = \frac{\sigma_a}{(n_t \times \sigma'_b)} = \frac{1850}{(17{,}54 \times 115{,}5)} = 0{,}91$

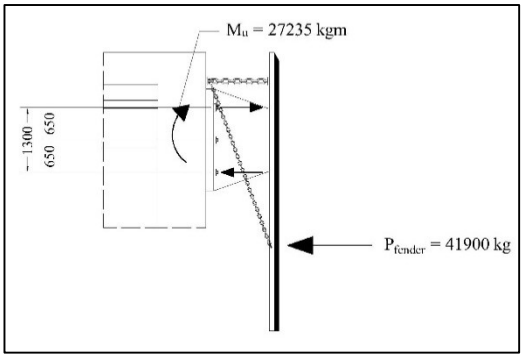
ly = 2200 mm

lx = 2000 mm

Iy/Ix = 2200/2000 =1,1 < 2,5 (pelat 2 arah)

4. Momen plank fender

Momen pada plank diambil dari gaya fender sebesar 41,9 ton yang bekerja sejarak dari 1,3/2=0,65 m dari ujung plank fender, sehingga momen maksimum yang bekerja pada plank fender sebesar:



Gambar 5.40 Momen Ultimate pada Plank Fender

Mu = P_{fender} x e

= 41900 x 0,65

= 27235 kgm

B. Penulangan arah-X dan arah-Y

Mlx = 27235 kgm

C = 70 mm

D = 25 mm

hx = 600 - 70 - 0,5D(arah X)
= 600 - 70 - 0,5.25
= 517,5 mm
= 51,75 cm

A_{st} = 491 mm^2

$C_a = \frac{h_x}{\sqrt{\frac{n_t \times M}{b \times \sigma'_a}}} = \frac{51,75}{\sqrt{\frac{17,54 \times 27235}{1 \times 1850}}} = 3,221$

Dari tabel Perhitungan Lentur Cara-n "Konstruksi Beton Indonesia" dengan Ca = 3,221 dan δ = 0 didapat:

ϕ = 1,688 > ϕ_0 =0,91 (OK)
100nω = 11,02
ω = 0,0063

a. Luas tulangan tarik yang diperlukan :
$A = \omega \times b \times h_x$
A = 0,0063 x 1000 x 51,75
A = 7153 mm^2/m
Dipasang 2 baris D25-100 (As = 9247 mm^2)

b. 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 ωp, C3, C4 dan C5 (lihat Tabel 2.28).

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

$$\omega_p = \frac{A}{b \times h}$$

Dimana:
α = 1 (tulangan ulir)
c = 7 cm
d = 2,5 cm
σ_a = 1850 kg/cm^2
A = 7854 mm^2/m

b = 1000 mm
h = 600 mm
C_3 = 1,5
C_4 = 0,16
C_5 = 30
$\omega_p = \frac{7854}{1000 \times 600} = 0{,}0152$
$w = 1\left(1{,}5 \cdot 7 + 0{,}16 \cdot \frac{2{,}9}{0{,}0152}\right) \cdot \left(1850 - \frac{30}{0{,}0152}\right) \cdot 10^{-6}$
w = -0,0047 cm < 0,01 cm (OK)

5.5.6 Penulangan Poer

Poer adalah struktur yang menyambungkan balok dengan tiang pancang. Struktur poer pada dermaga jetty 2 terdiri dari 2 jenis yaitu struktur poer tunggal dan struktur poer ganda. Lebar poer ditentukan dari 2 x diameter tiang pancang. Berikut dimensi masing-masing poer:

1. Poer tunggal = 200 x 200 x 100 cm
2. Poer ganda = 400 x 200 x 100 cm

Tabel 5.27 Rekapitulasi Gaya Dalam Pada Poer

Poer	Frame	Kombinasi	Momen	Geser	Torsi	Aksial
			kgm	kg	kgm	kg
Tunggal	27	DL+LL+MM+0,3Ex+1Ey	33.021			
	23	DL+LL+MM+0,3Ex+1Ey	-32.359			
	27	DL+LL+MM+0,3Ex+1Ey		-2.983		
	9	DL+LL+MM+B			424	
	60	DL+LL+1Ex+0,3Ey				-306.372
Ganda	77	DL+LL+MM+1Ex+0,3Ey	18.653			
	71	DL+LL+MM+1Ex+0,3Ey	-18.098			
	38	DL+LL+MM+B		1.900		
	71	DL+LL+MM+B			1.800	
	7	DL+LL+1Ex+0,3Ey				-210.133

(sumber: Analisa SAP2000 v.18)

A. Data perencanaan poer tunggal

1. Mutu beton
   σ'_{bk} = 350 kg/cm^2 (K-350)
   σ'_b = 115,5 kg/cm^2
   E_b = 119733 kg/cm^2

2. Mutu baja

σ_{au} = 320 Mpa = 3200 kg/cm^2 (U-32)
σ_a = σ'_a = 1850 kg/cm^2
σ'_{au} = 2780 kg/cm^2
Ea = 2,1 x 10^6 kg/cm^2

3. Komponen konsol poer

D = 25 mm (lentur)
= 19 mm (geser)
h_t = 1000 mm
b = 2000 mm
p = 2000 mm
c = 70 mm
n_t = Angka ekivalensi antara modulus elastisitas baja dengan modulus tekan beton

$n_t = \frac{E_a}{E_b} = \frac{2100000}{119733} = 17{,}54$

$\phi_0 = \frac{\sigma_a}{(n_t \times \sigma'_b)} = \frac{1850}{(17{,}54 \times 115{,}5)} = 0{,}91$

4. Momen

Momen pada poer tunggal diambil nilai maksimum untuk menyelaraskan tulangan setiap komponen poer tunggal

P_{max} = 306372 kg
e = $\frac{1}{2}(b_{poer} - b_{balok})$
= $\frac{1}{2}(2 - 0{,}8)$
= 0,6 m
M_{max} = 33021 kgm
M_{ult} = P_{max} x e - M_{max}
= 306372 x 0,6 – 33021
= 150802 kgm

B. Penulangan poer tunggal

1. Lapangan dan tumpuan.

Ml = 150802 kgm

h = h_t – c – Dgeser – 0,5Dlentur
= 1000 – 70 – 19 – 12,5
= 898,5 mm

$C_a = \frac{h}{\sqrt{\frac{n \times M}{b \times \sigma_a}}} = \frac{89{,}85}{\sqrt{\frac{17{,}54 \times 150802}{1{,}8 \times 1850}}} = 3{,}361$

Dari tabel Perhitungan Lentur Cara-n "Konstruksi Beton Indonesia" dengan Ca = 3,361 dan δ = 1 didapat:

ϕ = 2,226 > ϕ_0 = 0,91 (OK)
100nω = 10,01
ω = 0,00571

a. Luas tulangan tarik yang diperlukan :

$A_{min} = \frac{12}{\sigma'_{au}} \times b \times h$ (PBI '71 pasal 9.3 ayat (2))

$= \frac{12}{2780} \times 200 \times 89{,}85$

= 77,57 cm^2 = 7757 mm^2

A = ω×b×h
= 0,00571 x 2000 x 898,5
= 10256 mm^2

A = 10256 mm^2 > A_{min} = 7757 mm^2
A = 10256 mm^2
Dipasang 21D25 (As = 10308 mm^2)

b. Luas tulangan tekan:

A_{tarik} = δ x A_{tekan}
= 1 x 10308
= 10308 mm^2
Dipasang 21D25 (As = 10308 mm^2)

c. Luas tulangan samping yang diperlukan:

A = 10% x A_s (PBI '71 pasal 9.3 ayat (5))
= 10% x 10308
= 1031 mm^2

Dipasang 4D25 (As = 1963 mm^2)

d. Jarak tulangan tarik

s_{min} = 3 cm (PBI '71 Pasal 8.16 ayat (1))

s_{min} = 1,5 x Dlentur

= 1,5 x 25

= 37,5 mm

$s = \frac{b-(2\times c)-(2\times Dgeser)-Dlentur}{n-1}$

$= \frac{1800-(2\times 70)-(2\times 19)-25}{21-1}$

s = 89,8 mm > s_{min} = 37,5 mm (OK)

e. 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 ωp, C3, C4 dan C5 (lihat Tabel 2.28).

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

$$\omega_p=\frac{A}{b\times h}$$

Dimana:

α = 1 (tulangan ulir)

c = 7 cm

d = 2,5 cm

σ_a = 1850 kg/cm^2

A_s = 10308 mm^2

b = 2000 mm

h = 898,5 mm

C_3 = 1,5

C_4 = 0,16

C_5 = 30

$\omega_p = \frac{10308}{2000x898,5} = 0,00574$

$w = 1\left(1,5\cdot 7+0,16\cdot\frac{2,5}{0,00574}\right)\cdot\left(1850-\frac{30}{0,00574}\right)\cdot 10^{-6}$

w = -0,271 cm < 0,01 cm (OK)

C. Kontrol kemampuan tulangan menahan gaya geser

$A_h = \frac{P}{\sigma_a \cdot \mu} < A_s$ (PBI '71 pasal 11.10 ayat (4))

Dimana ;

A_h = luas tulangan efektif yang dibutuhkan

μ = 1,4 (dicor bersamaan dengan pile)

$A_h = \frac{306372}{1850 \cdot 1{,}4}$

A_h = 1,18 cm^2 = 11829 mm^2

Pakai tulangan 24D25 (As= 12216 mm^2)

A_h = 11829 mm^2 < A_s = 12216 mm^2) (OK)

D. Kontrol geser pons

$\tau_{bp} = \frac{P}{\pi \cdot (c + h_t) \cdot h_t} \leq \tau_{bm}$ (PBI '71 pasal 11.9. ayat (2))

Dimana:

τ_{bp} = tegangan aktual yang terjadi pada beban

P = gaya aksial maksimum
= 306372 kg

c = diameter tiang pancang
= 100 cm

h_t = tinggi pile cap
= 100 cm

τ_{bm} = tegangan izin beton
= $1{,}30\sqrt{\sigma'_{bk}}$
= $1{,}30\sqrt{350}$
= 24,32 kg/cm^2

$\tau_{bp} = \frac{306372}{\pi \cdot (100+100) \cdot 100}$

τ_{bp} = 4,88 kg/cm^2 ≤ τ_{bm} = 24,32 kg/cm^2 (OK)

Karena geser pons yang terjadi lebih kecil dari tegangan izin beton maka poer dinyatakan aman dari gaya pons atau keruntuhan yang terjadi akibat geser pons.

E. Kontrol kekuatan tulangan dan beton pada sambungan antara pile-pile cap-balok dalam menerima gaya geser

1. Kekuatan beton dalam menerima gaya geser (3D25)

   a. Dimana, L = 200 mm
   b. V_{nt} = n x L x d x f'c
      = 3 x 200 x 25 x 29
      = 435000 N

   c. $V_{nt} > V_u$ = 435000 N > 29834 N (OK)

2. Kekuatan tulangan angker (2D25)

   a. $P_{nt} = \phi.As.fy$
   b. Dimana, ϕ = 0,75 (shear reduction factor)
   c. P_{nt} = 0,75 x 1018 x 320 = 408281 N
      = 244320 N > 29834 N (OK)

Dengan perhitungan yang sama dengan perhitungan tulangan untuk poer tunggal didapat perhitungan tulangan poer ganda seperti yang disajikan pada Tabel 5.28

Tabel 5.28 Rekapitulasi Penulangan Komponen Struktur

No.	Komponen	Tulangan Lapangan			Tulangan Tumpuan			Tulangan Geser	
		Tarik	Samping	Tekan	Tarik	Samping	Tekan	Lapangan	Tumpuan
1.	Balok Melintang	8D25	2D25	-	9D25	2D25	-	D16-250	D16-150
2.	Balok Memanjang	8D25	2D25	-	10DD25	2D25	-	D16-250	D16-150
3.	Plank Fender	2D25-100	-	2D25-100	2D25-100	-	2D25-100	D25-150	D25-150
4.	Poer Tunggal	22D25	4D25	22D25	22D25	4D25	22D25	-	-
5.	Poer Ganda	32D25	4D25	32D25	32D25	4D25	32D25	-	-

5.6 Perencanaan Tiang Pancang Dermaga

A. Gaya dalam yang terjadi pada tiang

Gaya dalam yang terjadi pada tiang pancang baik yang tegak maupun miring dapat dilihat pada Tabel 5.29

Tabel 5.29 Rekapitulasi Gaya Dalam pada Tiang Pancang

Tipe Tiang	Frame	Kombinasi	Gaya Dalam	Nilai	
				Nilai	Satuan
Tegak	34	DL+LL+MM+0,3Ex+1Ey	P (tekan)	-325.735	kg
			P (tarik)	0	kg
	13	DL+LL+MM+1Ex+0,3Ey	V2	2.272	kg
	23	DL+LL+MM+0,3Ex+1Ey	V3	2.930	kg
	27	DL+LL+MM+0,3Ex+1Ey	M2	33.021	kgm
	13	DL+LL+MM+1Ex+0,3Ey	M3	-24.578	kgm
Miring	7	DL+LL+1Ex+0,3Ey	P (tekan)	-217.019	kg
			P (tarik)	0	kg
	38	DL+LL+MM+B	V2	1.900	kg
	24	DL+LL+MM+1Ex+0,3Ey	V3	-1.493	kg
	77	DL+LL+MM+1Ex+0,3Ey	M2	18.653	kgm
	38	DL+LL+MM+B	M3	-12.581	kgm
Defleksi	26	DL+LL+MM+1Ex+0,3Ey	U1	-3,61	mm
	18	DL+LL+MM+0,3Ex+1Ey	U2	-3,70	mm

(sumber: Analisa SAP2000 v.18)

B. Spesifikasi tiang pancang

Tiang pancang baja yang digunakan memiliki spesifikasi sebagai berikut:

1. Mutu baja:
   Jenis = ASTM A252 Grade 2
   fy = 240 MPa
   fu = 415 MPa

2. Dimensi tiang:
   D = 1000 mm
   t = 16 mm
   Ap = 495 cm^2
   W = 388 kg/m
   I = 598797 cm^4
   Sx = 11976 cm^3
   r = 34,8 cm

C. Daya Dukung Tiang Akibat Beban Vertikal

Perhitungan daya dukung tiang pancang menggunakan metode Luciano Decourt (1982), dalam Wahyudi, P. D. (n.d.). *Daya Dukung Pondasi Dalam.* Surabaya: itspress. Contoh perhitungan daya dukung tanah pada kedalaman -28 m di bawah tanah (seabed) sebagai berikut:

1. Daya dukung di ujung tiang

$Q_P = \alpha \times \bar{N}p' \times K \times A_P$

Dimana :

α = 1 (driven pile) (lihat Tabel 2.30)

$\bar{N}p$ = 38,22

$\bar{N}p'$ = 15 + 0,5 ($\bar{N}p$-15) (terendam air)

= 15 + 0,5 (38,22 – 15)

= 26,21

K = 20 t/m^2 (lanau berlempung) (lihat Tabel 2.29)

A_P = 0,78 m^2

Q_P = 1 x 26,21 x 20 x 0,78

= 418,01 t

2. Daya dukung akibat gesekan tanah dengan tiang

$Q_S = \beta \times \left(\frac{\bar{N}_S}{3} + 1\right) \times A_S$

β = 1 (driven pile) (lihat Tabel 2.31)

$\check{N}s$ = 16,85

$A_S = \pi \times d \times h$

= 3,14 x 1 x 28

= 87,96 m^2

$Q_S = 1 \times \left(\frac{14,79}{3} + 1\right) \times 79,80$

= 582,05 t

3. Daya dukung ultimate dan izin

$Q_U = Q_P + Q_S$

= 418,01 + 582,05

$= 1000{,}06$ t

$Q_{all} = \frac{Q_U}{SF}$

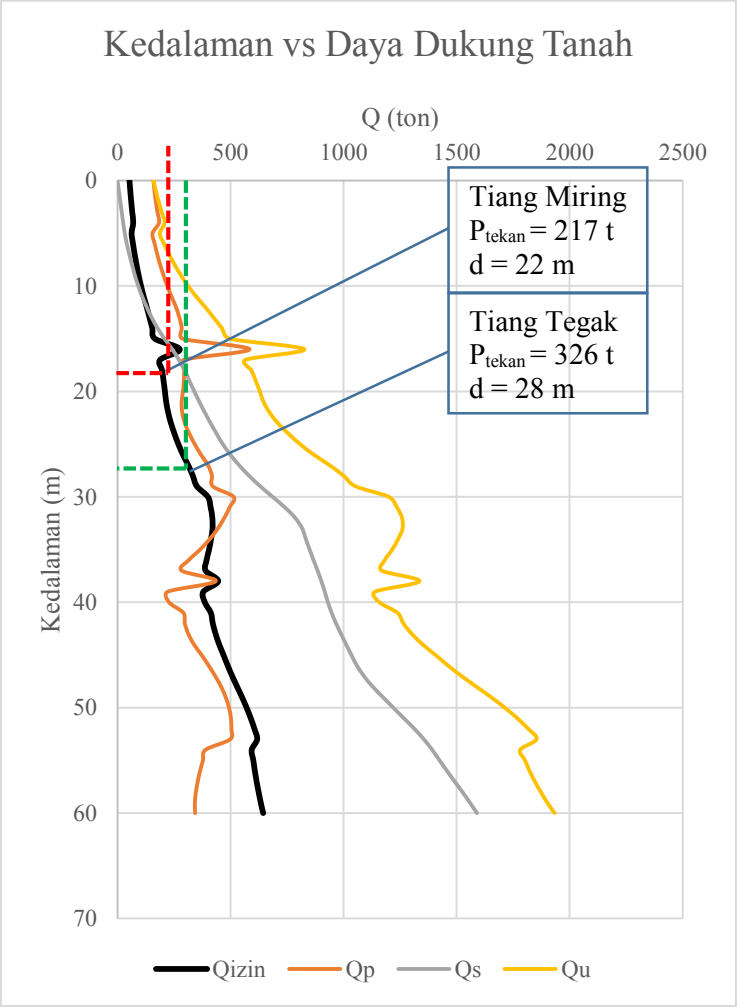
$= \frac{1000{,}06}{3}$

$= 333$ t

$Q_{all} = 333 \text{ t} > P_{tekan} = 326$ t (OK)

Maka tiang pancang dapat dipancang sedalam -28 m dari seabed atau -36 mLWS.

Untuk tiang pancang miring menggunakan cara yang sama, grafik daya dukung tanah untuk tiang pancang tegak dan miring terhadap kedalaman dapat dilihat pada Gambar 5.41



Gambar 5.41 Grafik Kedalaman-Daya Dukung Titik B4

D. Kontrol Momen

Kontrol momen bertujuan untuk mengecek apakah momen bahan tiang pancang lebih besar dari momen ultimate sehingga tiang pancang baja tidak mengalami retak atau leleh.

$$M_u = f_y \cdot S \geq M_u$$
$$M_u = f_y \cdot 1{,}5Z \geq M_u$$

Dimana:

fy = 2100 kg/cm^2

S = $D^2t - 2Dt^2 + \frac{4}{3}t^3$

= $1^2 \cdot 0{,}016 - 2 \cdot 1 \cdot 0{,}016^2 + \frac{4}{3} 0{,}0016^3$

= 0,0155 m^3

Z = $\frac{\pi}{32D}(D^4 - (D - 2t)^4)$

= $\frac{\pi}{32 \cdot 1}(1^4 - (1 - 2 \cdot 0{,}016)^4)$

= 0,012 m^3

Mu_1 = fy.S

= 24000.0,0155

= 372 tm

Mu_2 = fy.1,5Z

= 24000.1,5. 0,012

= 432 tm

Momen tiang tegak:

M2 = 33,0 tm ≤ Mu = 372 tm (OK)

M3 = -24,6 tm ≤ Mu = 372 tm (OK)

Momen tiang miring:

M2 = 18,7 tm ≤ Mu = 372 tm (OK)

M3 = -12,7 tm ≤ Mu = 372 tm (OK)

E. Kontrol Kekuatan Bahan

Tegangan yang terjadi pada tiang pancang arah aksial harus lebih kecil dari 40% tegangan izin pancang (fy). Tegangan tiang pancang dapat dicari dengan rumus berikut:

$$\sigma = \frac{P}{A} \pm \frac{M \cdot y}{I} < 0{,}4fy$$

1. Tiang tegak

   Dimana:

   P = 325735 kg

   A = 495 cm^2

   M = 33021 kgm

   y = 0,5D = 50 cm

   I = 598797 cm^4

   $\sigma = \frac{325735}{495} + \frac{3302100 \cdot 50}{598797}$

   = 934 kg/cm^2 < 0,4fy = 960 kg/cm^2 (OK)

2. Tiang miring

   Dimana:

   P = 217019 kg

   A = 495 cm^2

   M = 18653 kgm

   y = 0,5D = 50 cm

   I = 598797 cm^4

   $\sigma = \frac{211577{,}32}{595{,}1} + \frac{3299559 \cdot 50{,}8}{7{,}4 \times 10^5}$

   = 582 kg/cm^2 < 0,4fy = 960 kg/cm^2 (OK)

F. Kemampuan Tiang Berdiri Sendiri

Frekuensi tiang (ωt) harus lebih besar dari frekuensi gelombang (ω) supaya tiang tidak bergoyang dan patah. Frekuensi tiang pancang dihitung dengan rumus berikut ini:

$$\omega t = 1{,}73 \sqrt{\frac{EI}{wl^3/g}}$$

1. Tiang pancang tegak

   Dimana:

   E = 2 x 10^6 kg/cm^2

   I = 598797 cm^4

w = W x l
= 388 x 12,5
= 4659 kg
l = 12 m = 1200 cm
g = 10 m/s^2
$\omega t = 1{,}73\sqrt{\frac{2\times10^6\cdot598797}{4659\cdot1200^3/1000}}$
= 22 s

Frekuensi gelombang dapat dihitung dengan rumus :

$$\omega=\frac{1}{T}$$

Dimana:
T = 9,6 s
$\omega = \frac{1}{9{,}6}$
= 0,10 s

Karena ωt > ω maka tiang pancang tegak aman terhadap benturan gelombang

2. Tiang pancang miring

Dimana:
E = 2 x 10^6 kg/cm^2
I = 598797 cm^4
w = W x l
= 388 x 17,68 m
= 6589 kg
l = 16,97 m = 1697 cm
$\omega t = 1{,}73\sqrt{\frac{2\times10^6\cdot598797}{6589\cdot1697^3/1000}}$
= 11 s
ω = 0,10 s

Karena ωt > ω maka tiang pancang miring aman terhadap benturan gelombang

G. Kontrol Tekuk

$$P_{cr} = \frac{\pi \cdot E \cdot I_{min}}{(Z_f + e)^2} > Pu$$

Dimana :

e = 12,5 m

Zf = 5,5 m

E = 2 x 10^6 kg/cm^2

I_{min} = 598797 cm^4

$P_{cr} = \frac{\pi \cdot 2 \times 10^6 \cdot 598797}{(550+1200)^2}$

P_{cr} = 1289950 kg > P_u = 325735 kg

P_{cr} = 1289,9 ton > P_u = 325,7 ton (OK)

H. Kalendering

$$Q_u = \frac{\alpha \cdot W_h \cdot H}{S + 0{,}5 \cdot C} \cdot \frac{W_h + n^2 \cdot W_p}{W_h + W_p}$$

$$S = \left(\frac{\alpha \cdot W_h \cdot H}{Q_u} \cdot \frac{W_h + n^2 \cdot W_p}{W_h + W_p} \right) - 0{,}5 \cdot C$$

1. Kalendering tiang pancang tegak

Dimana:

Q_u = P_{tekan} x SF

= 326 x 3

= 977,2 ton

α = 1,732 (hydraulic hammer)

W_h = 14 t (CG210, lihat lampiran brosur BSP)

H = 1,5 m

C1 = 0 mm (tanpa cushion)

C2 = $\frac{Q_u \cdot L}{A_p \cdot E_p}$

= $\frac{977{,}2 \cdot 3930}{495 \cdot 2100}$

= 37 cm = 3,7 mm

C3 = 3 mm (tanah sedang)

C = C1+C2+C3
= 0 + 37 + 3
= 40 mm
n = 0,55 (hammer on steel pile without cushion)
L = $e - h_{balok} - 0{,}5h_{poer} + h_{pancang}$
= 12,5 – 1,2 – 0,5 + 28
= 38,8 m
W_p = L x W
= 38,8 x 0,388
= 15,064 t
S = $\left(\frac{\alpha \cdot W_h \cdot H}{Q_u} \cdot \frac{W_h + n^2 \cdot W_p}{W_h + W_p}\right) - 0{,}5 \cdot C$
= $\left(\frac{1{,}732 \cdot 14 \cdot 1{,}5}{977{,}2} \cdot \frac{14 + 0{,}55^2 \cdot 15{,}064}{14 + 15{,}064}\right) - 0{,}5 \cdot 40$
= 4 mm

Maka setting kalendering akhir adalah 4 mm/blow

2. Kalendering tiang pancang miring

Dimana:

Q_u = P_{tekan} x SF
= 217 x 3
= 651,06 ton
α = 1,732 (hydraulic hammer)
W_h = 12 t
H = 2 x $\cos 45^o$
= 1,4 m
C1 = 0 mm (tanpa cushion)
C2 = $\frac{Q_u \cdot L}{A_p \cdot E_p}$
= $\frac{651{,}06 \cdot 4700}{495 \cdot 2100}$
= 2,9 cm = 29 mm
C3 = 3 mm (tanah sedang)
C = C1+C2+C3
= 0 + 29 + 3
= 32 mm
n = 0,55 (hammer on steel pile without cushion)

L $= (e - h_{balok} - 0{,}5h_{poer} + h_{pancang})/\cos 45^o$
$= (12{,}5\text{-}1{,}2\text{-}0{,}5\text{+}22)/\cos 45^o$
$= 33$ m

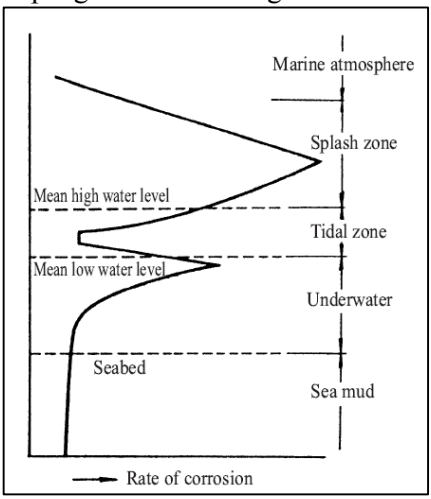
W_p $= L \times W$
$= 33 \times 0{,}467$
$= 12{,}92$

S $= \left(\frac{\alpha \cdot W_h \cdot H}{Q_u} \cdot \frac{W_h + n^2 \cdot W_p}{W_h + W_p}\right) - 0{,}5 \cdot C$
$= \left(\frac{1{,}732 \cdot 14 \cdot 1{,}5}{651{,}06} \cdot \frac{14 + 0{,}55^2 \cdot 12{,}92}{14 + 12{,}92}\right) - 0{,}5 \cdot 32$
$= 25$ mm

Maka setting kalendering akhir adalah 25 mm/blow

I. Perlindungan Tiang Pancang

Kontrol korosi harus diperhitungkan untuk tiang pancang baja terutama di bagian bawah MLW karena kejadian pengaruh korosi sangat besar.



Gambar 5.42 Pengaruh Korosi di Bagian Tiang Pancang Baja

Metode perlindungan korosi pada tiang pancang baja menggunakan polyethylene coating protection karena lebih ekonomis dan tahan lama jika dibandingkan coating protection yang konvensional, untuk ketebalan coating protection dapat dicari pada Tabel 5.30

Tabel 5.30 Kecepatan Korosi pada Tiang Baja

Corrosive environment		Corrosion rate (mm/year)
Seaside	HWL or higher	0.3
	HWL ～ LWL −1 m	0.1 ～ 0.3
	LWL −1 m ～ seabed	0.1 ～ 0.2
	Under seabed	0.03
Land side	Above ground and exposed to air	0.1
	Underground (above residual water level)	0.03
	Underground (below residual water level)	0.02

(Sumber: *Technical Standard for Port and Harbour Facilities in Japan*, 2002)

Masa perlindungan korosi tiang pancang adalah 10 tahun untuk di laut tropis, karena setelah itu tiang pancang baja akan diselimuti oleh karang laut, sehingga tebal selimut tambahan yang diperlukan adalah 3 mm.

5.7 Perencanaan Komponen Pracetak Dermaga

Metode pracetak makin banyak digunakan saat ini dikarenakan beberapa keuntungan yang diberikan seperti:

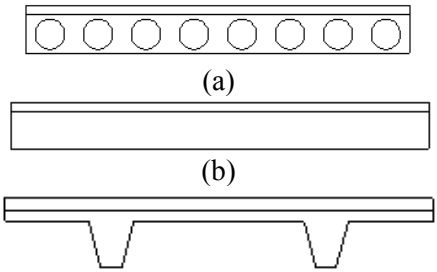
1. Kecepatan konstruksi
2. Quality control yang dapat dilakukan di pabrik
3. Tahan api dan memiliki umur yang relatif lama
4. Apabila diaplikasikan dengan metode pratekan maka dapat diatur kemampuan bahan dan panjang yang diinginkan
5. Dapat diaplikasikan di semua kondisi

Secara umum, perencanaan komponen pracetak dilakukan dengan cara menentukan dimensi komponen pracetak dan mengontrol komponen pracetak yang telah direncanakan terhadap momen yang terjadi pada pengangkatan komponen pracetak. Untuk kontrol saat dicor beton (umur 14

hari) tidak perlu dilakukan karena beton dicampur bahan additive

5.7.1 Perencanaan Pelat Pracetak

Terdapat 3 jenis pelat pracetak yang biasa diproduksi di pasaran yaitu pelat pracetak berlubang, pelat pracetak tidak berlubang dan pelat pracetak T (lihat Gambar 5.43). Pada perencanaan kali ini mengunakan jenis pelat pracetak tidak berlubang. Keuntungan dari penggunaan pelat ini adalah mudah dalam fabrikasi dan tidak memakan banyak tempat pada saaat penumpukan.



Gambar 5.43 Jenis-Jenis Pelat Pracetak, (a) Pelat Pracetak Berlubang, (b) Pelat Pracetak Tidak Berlubang, (c) Pelat Pracetak T

Ukuran pelat pracetak yang digunakan disesuaikan keperluan struktur (Tabel 5.31). Pada pelat pracetak, beban yang bekerja pada saat pengangkatan (sebelum komposit) adalah beban sendiri. Sedangkan, beban yang bekerja pada saat sudah komposit adalah beban total pelat.

Tabel 5.31 Ukuran Pelat Konvensional dan Pracetak

Jenis Pelat	Dimensi Pelat Konvensional				Dimensi Pelat Pracetak			
	Panjang	Lebar	Tebal	Berat	Panjang	Lebar	Tebal	Berat
	(m)	(m)	(m)	(ton)	(m)	(m)	(m)	(ton)
A	7,5	7	0,4	60,90	7,5	1,75	0,2	7,61
B	7,5	6	0,4	52,20	7,5	2	0,2	8,70
C	6	1,5	0,4	10,44	6	1,5	0,2	5,22
D	7,5	1,5	0,4	13,05	7,5	1,5	0,2	6,53
E	7	2	0,4	16,24	7	2	0,2	8,12
F	6	2	0,4	13,92	6	2	0,2	6,96
G	2	2	0,4	4,64	2	2	0,2	2,32
H	7,5	2	0,4	17,40	7,5	2	0,2	8,70
I	2	1,5	0,4	3,48	2	1,5	0,2	1,74

Direncanakan pelat pracetak dipasang setelah beton pada pengecoran isian balok berumur 14 hari. Pada perencanaan pracetak kali ini direncanakan pelat pracetak kuat pada saat pengangkatan dari lokasi penumpukan ke lapangan dan dipasang serta dibebani oleh beban cor overtopping.

Pelat pracetak direncanakan memiliki tebal 20 cm sehingga untuk mencapai tebal yang direncanakan perlu dilakukan cor in-situ (overtopping) setebal 20 cm. Pelat yang dipakai sebagai perhitungan adalah pelat A (7,5 x 1,75 m^2), untuk perhitungan pelat jenis lain menggunakan cara yang sama seperti pelat A

Tebal pelat rencana = 400 mm
Tebal pelat pracetak = 200 mm
Selimut beton = 70 mm
Diameter tulangan = 19 mm
h_x = 400 – 70 – ½ 19 = 320,5 mm

Kontrol yang dilakukan pada pelat pracetak ini dilakukan pada saat umur beton belum mencapai kuat tekan yang direncanakan sehingga untuk mendapatkan kuat beton pada umur tertentu, kuat beton rencana perlu dikalikan dengan faktor konversi kuat tekan berdasarkan umur beton berdasarkan

PBI 1971 tabel 4.1.4. Faktor konversi dapat dilihat pada Tabel 5.32

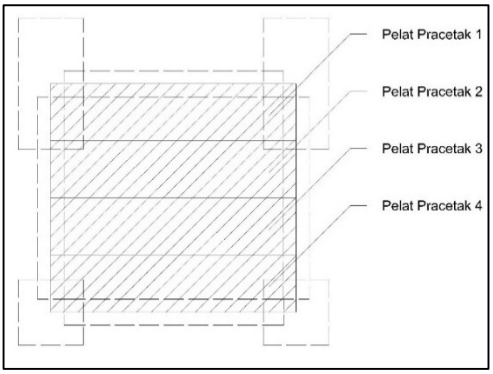
Tabel 5.32 Konversi Umur Beton

Umur Beton (hari)	Jenis Semen		Beton + additive
	Portland Biasa	Portland dengan kekuatan awal tinggi	
3	0,40	0,55	0,88
7	0,65	0,75	0,97
14	0,88	0,90	1,00
21	0,95	0,95	1,05
28	1,00	1,00	1,09

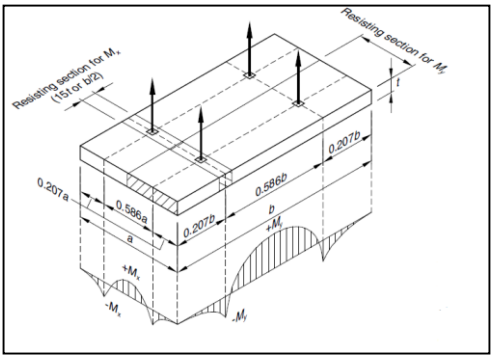
(sumber: PBI 1971 Tabel 4.1.4)

A. Kontrol Pengangkatan dari Lokasi Penumpukan ke Lapangan (Beton Umur 7 Hari)

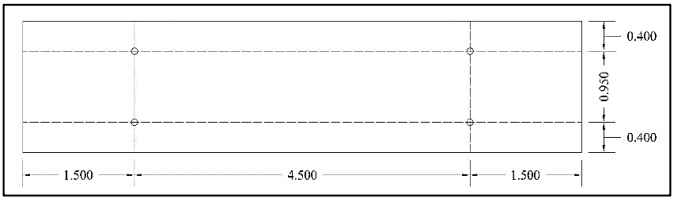
Setelah pekerjaan fabrikasi komponen pracetak selesai, pelat pracetak direncanakan diangkat menggunakan crawler crane kapasitas 20 ton (SF=2) untuk dipasang setelah pelat pracetak berumur 7 hari dengan konversi umur beton 0,65. Direncanakan pelat pracetak diangkat pada 4 titik (lihat Gambar 5.45 dan Gambar 5.46).



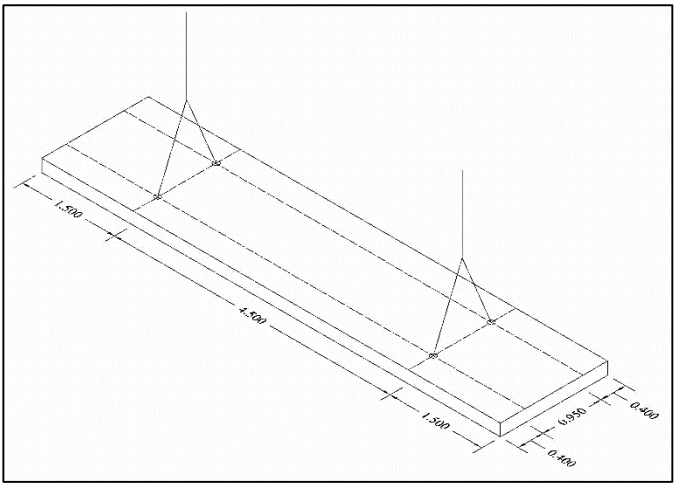
Gambar 5.44 Segmen 1-4 Pelat Pracetak



Gambar 5.45 Posisi Titik Angkat Pelat Pracetak
(Sumber : PCI Design Handbook Precast
& Prestressed Concrete)



(a)



(b)

Gambar 5.46 (a) Tampak 2D Titik Angkat Pelat Pracetak A, (b) Tampak 3D Titik Angkat Pelat Pracetak A

Dimana:

a = 1,75 m

b = 7,5 m

σ'_{bk} = 0,65 x 350

= 227,5 kg/cm^2

E = 2,1 x 10^6 kg/cm^2

E_b = $6400\sqrt{\sigma'_{bk}}$

= $6400\sqrt{227,5}$

= 96532 kg/cm^2

nt = $\frac{E}{E_b}$

nt = $\frac{2,1\times10^6}{96532}$

= 21,8

ϕ_0 = $\frac{\sigma'_a}{(n_t\times\sigma'_b)} = \frac{1850}{(21,8\times115,5)} = 0,74$

1. Penulangan arah-X lapangan

w $= \gamma_b$ x h
$= 2{,}9$ x $0{,}2$
$= 0{,}58$ t/m^2 = 580 kg/m^2

Mlx $= 0{,}0107$ x w x a x b^2
$= 0{,}0107$ x 580 x 1,75 x $7{,}5^2$
= 610,9 kgm

c = 70 mm

D = 19 mm

hx = h - c – 0,5D(arah X)
= 200 – 70 - 0,5.19
= 120,5 mm
= 12,05 cm

A_{st} = 284 mm^2

$C_a = \frac{h_x}{\sqrt{\frac{n_t \times M}{b \times \sigma'_a}}} = \frac{12{,}05}{\sqrt{\frac{18{,}7 \times 610{,}9}{1 \times 1850}}} = 4{,}85$

Dari tabel Perhitungan Lentur Cara-n "Konstruksi Beton Indonesia" dengan Ca = 4,85 dan $\delta = 0$ didapat:

ϕ = 2,802 > ϕ_0 =0,74 (OK)

100nω = 4,691 < $100n\omega_{komposit}$ = 10,79 (OK)

Tulangan komposit sangat kuat menerima tegangan tarik

2. Perhitungan tulangan angkat

k = 1,2 (koefisien kejut)

Q = k x γ_b x h x a x b
= 1,2 x 2900 x 0,2 x 1,75 x 7,5
= 9135 kg

T_u = Q/4 (beban tarik tiap tulangan)
= 9135/4
= 2284 kg

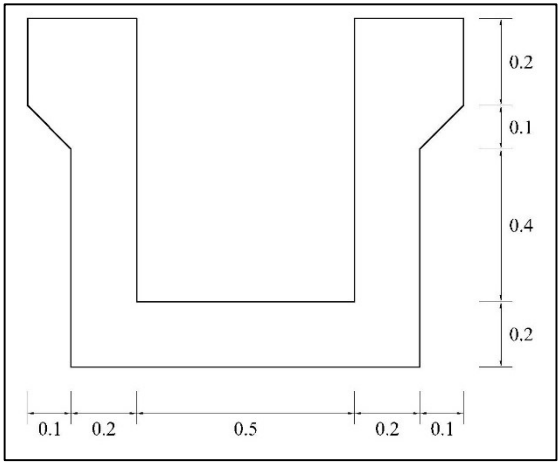
$\bar{\sigma}'_a$ = 2650 kg/cm^2 (tegangan tarik izin U-32)

$A_{butuh} = T_u/\bar{\sigma}'_a$
= 2284/2650
= 0,86 cm^2

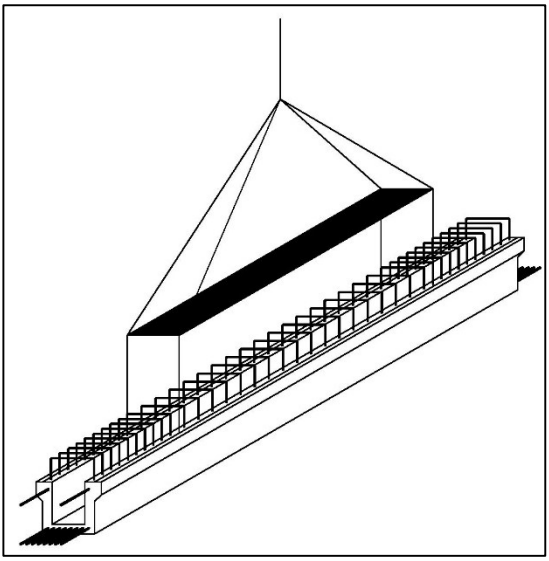
Maka digunakan per titik tulangan angkat D13 (A_s = 1,29 cm^2)

5.7.2 Perencanaan Balok Pracetak

Direncanakan balok pracetak dipasang setelah pekerjaan cor isian tiang pancang dan poer selesai. Pada perencanaan pracetak kali ini direncanakan balok pracetak diangkat pada saat umur 3 hari untuk ditumpuk di lokasi penumpukan, saat diangkat untuk dipasang dan diberi penulangan balok pada umur 7 hari serta kuat dibebani oleh cor isian balok pada umur 10 hari, dibebani pelat pracetak serta konstruksi penulangannya pada umur 14 hari beton serta dibebani cor overtopping pada umur 21 hari. Cara perhitungan yang dilakukan pada semua jenis balok adalah sama. Contoh yang diberikan adalah balok memanjang dengan bentang 7,5 m.



Gambar 5.47 Penampang Balok Memanjang Pracetak



Gambar 5.48 Pengangkatan Balok Memanjang 7,5 m Pracetak

Dimana:

Panjang	= 7500 mm
Lebar	= 800 mm
Tinggi	= 1200 mm
Luas Penampang	= 365 mm^2
Selimut beton	= 70 mm
Diameter tulangan	= 25 mm
Berat	= 7,94 t

A. Kontrol Pengangkatan dari Lokasi Penumpukan ke Lapangan (Beton Umur 7 Hari)

Setelah pekerjaan fabrikasi komponen pracetak selesai, balok pracetak direncanakan diangkat menggunakan crawler crane untuk dipasang setelah berumur 7 hari dimana pada umur ini direncanakan beton sudah hampir memenuhi kuat tekannya dengan konversi umur beton

0,65. Direncanakan balok pracetak diangkat pada 4 titik (lihat Gambar 5.48).

Dimana:

Ap = 365 mm^2

q = Ap x γ_b
= 0,365 x 2,9
= 1,06 t/m

Ml = 1/10 x q x l^2
= 1/10 x 1,06 x $4,5^2$
= 2,146 tm
= 2146 kgm

σ'_{bk} = 0,65 x 350
= 227,5 kg/cm^2

E = 2,1 x 10^6 kg/cm^2

E_b = $6400\sqrt{\sigma'_{bk}}$
= $6400\sqrt{227,5}$
= 96532 kg/cm^2

nt = $\frac{E}{E_b}$
= $\frac{2,1\times10^6}{96532}$
= 21,8

ϕ_0 = $\frac{\sigma'_a}{(n_t\times\sigma'_b)} = \frac{1850}{(21,8\times115,5)} = 0,74$

h = h_t – c – Dgeser – 0,5Dlentur
= 800 – 70 – 16 – 12,5
= 701,5 mm

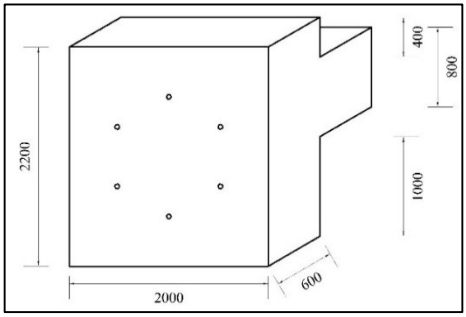
C_a = $\frac{h}{\sqrt{\frac{n\times M}{b\times\sigma_a}}} = \frac{70,15}{\sqrt{\frac{21,8\times2146}{0,8\times1850}}} = 12,47$

Dari tabel Perhitungan Lentur Cara-n "Konstruksi Beton Indonesia" dengan Ca = 12,47 dan δ = 0 didapat:

ϕ = 8,009 > ϕ_0 = 0,74 (OK)

100nω = 0,693 < $100n\omega_{komposit}$ = 4,051 (OK)

5.7.3 Perencanaan Plank Fender Pracetak

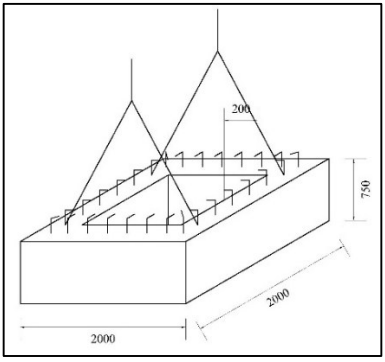


Gambar 5.49 Dimensi Plank Fender

Dimana:

Panjang	= 2200 mm
Lebar	= 2000 mm
Tebal	= 600 mm
Selimut beton	= 70 mm
Diameter tulangan	= 25 mm
Berat	= 7,66 t

5.7.4 Perencanaan Poer Pracetak



Gambar 5.50 Pengangkatan Poer Tunggal Pracetak

Dimana:

Panjang	= 2000 mm
Lebar	= 2000 mm
Tinggi	= 750 mm
Tebal	= 200 mm
Bentang pengangkatan	= 1200 mm
Selimut beton	= 70 mm
Diameter tulangan	= 25 mm
Berat	= 4,62 t

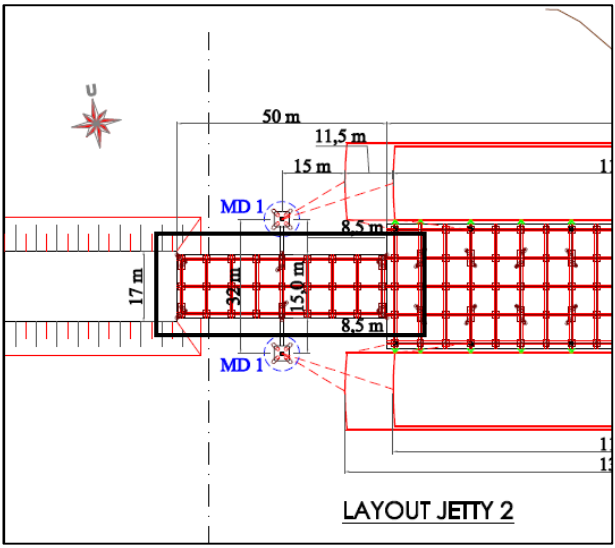
5.8 Perencanaan Struktur Trestle

Trestle berfungsi sebagai struktur yang menyambungkan antara causeway dan dermaga, dalam merencanakan layout trestle perlu mempertimbangkan kendaraan yang akan melewati struktur tersebut dan jarak antara dermaga dengan causeway.

5.9 Perencanaan Layout Trestle

5.9.1 Layout Eksisting Trestle

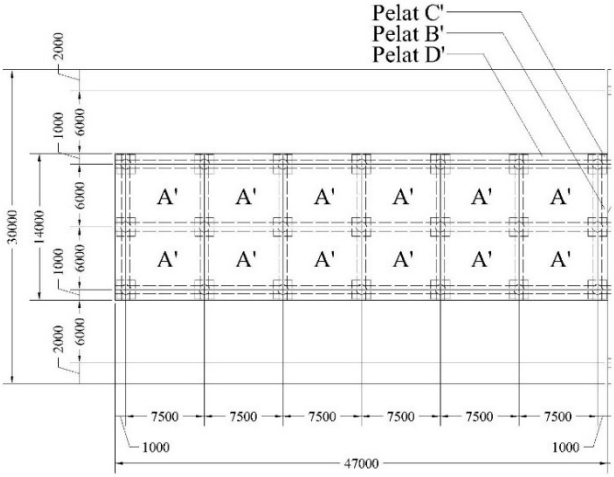
Layout struktur trestle eksisting dengan panjang 50 m dan lebar 15 m dapat dilihat pada Gambar 5.51.



Gambar 5.51 Layout Eksisting Struktur Trestle

5.9.2 Layout Rencana Trestle

Direncanakan layout trestle dengan pertimbangan panjang yaitu posisi dermaga dan lebar trestle disesuaikan dengan kendaraan yang lewat. Ditentukan panjang 47 m dan lebar 14 m.



Gambar 5.52 Layout Rencana Trestle

5.10 Perencanaan Pelat Trestle

5.10.1 Penentuan Tipe Pelat

Terdapat 4 tipe pelat pada trestle yang dibedakan berdasarkan dimensi masing-masing pelat. Tipe pelat dapat dilihat pada Tabel 5.33

Tabel 5.33 Tipe Pelat pada Trestle

Jenis Pelat	Panjang (m)	Lebar (m)
A	7,5	6
B	6	1
C	1	1
D	7,5	1

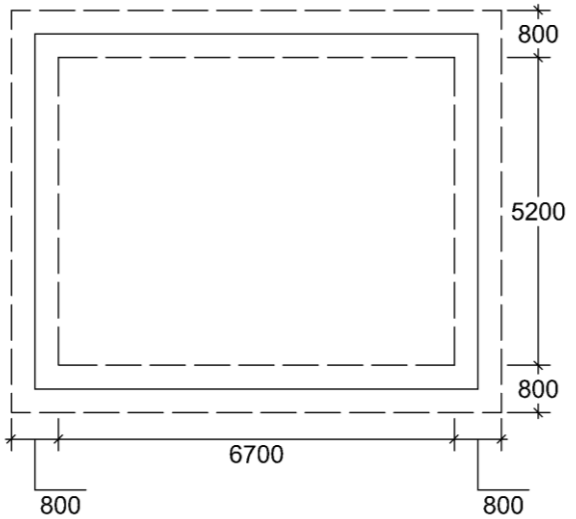
5.10.2 Pembebanan pada Pelat

Pembebanan pada pelat struktur trestle sama seperti pembebanan pada struktur dermaga. Berikut beban-beban yang terjadi pada trestle:

1. Berat sendiri = 1,16 t/m^2
2. Beban hidup merata = 2 t/m^2
3. Beban bergerak
   a. Mobile Harbour Crane (lihat Subbab 4.4.C.1)
   b. Multiwheel Mammoth (lihat Subbab 4.4.C.2)

5.10.3 Perhitungan Momen Pelat

Perhitungan momen pada pelat trestle menggunakana cara yang sama seperti perhitungan pada struktur dermaga (lihat Subbab 5.4.3). Untuk contoh perhitungan pelat diambil tipe pelat A dengan dimensi 7,5 m x 6 m



Gambar 5.53 Pelat Tipe A 7,5 x 6 m pada Trestle

A. Momen akibat beban mati

Beban mati merata pada pelat 7,5 x 6 m adalah sebesar 1,16 t/m^2 (berat sendiri pelat), momen yang terjadi pada pelat dihitung sebagai berikut:

Momen tumpuan = Mtx = Mty = -0,001.qd.Ix^2.X

Momen lapangan = Mlx = Mly = 0,001.qd.Ix^2.X

Dimana:

qd = beban mati merata (t/m^2)

Ix = jarak terpendek pelat (m)

X = koefisen pengali (Tabel 13.3.1 PBI 1971)

- Perhitungan momen pelat

Sebelum menghitung momen, perlu diketahui nilai Iy/Ix dari pelat sehingga nilai koefisien pengali X dapat diketahui, untuk pelat 7,5 x 6 m, nilai Iy dan Ix masing-masing adalah:

Iy = sisi pelat terpanjang – lebar balok melintang

Iy = 7,5 – 0,8 = 6,7 m

Ix = sisi pelat terpendek – lebar balok memanjang

Ix = 6 – 0,8 = 5,2 m

Iy/Ix = 6,7/5,2 = 1,3

Momen tumpuan:

Mtx = -0,001.1,16.5,2^2.50 = -1,176 tm

Mty = -0,001.1,16.5,2^2.37 = -0,87 tm

Momen lapangan:

Mlx = 0,001.1,16.5,2^2.50 = 1,176 tm

Mly = 0,001.1,16.5,2^2.37 = 0,87 tm

B. Momen akibat beban hidup merata

Beban hidup merata pada pelat 7,5 x 6 m adalah sebesar 2 t/m^2 , momen yang terjadi pada pelat dihitung sebagai berikut:

Momen tumpuan = Mtx = Mty = -0,001.ql.Ix^2.X

Momen lapangan = Mlx = Mly = 0,001.ql.Ix^2.X

Dimana:

ql = beban hidup merata (t/m^2)

Ix = jarak terpendek pelat (m)

X = koefisen pengali (Tabel 13.3.1 PBI 1971)

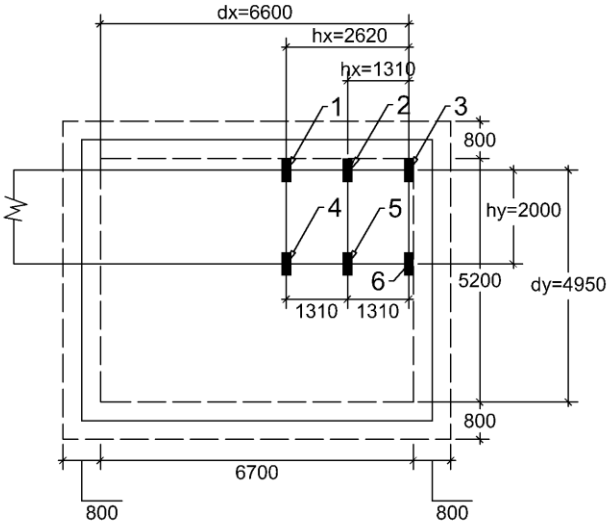
- Perhitungan momen pelat
  Sebelum menghitung momen, perlu diketahui nilai Iy/Ix dari pelat sehingga nilai koefisien pengali X dapat diketahui, untuk pelat 7 x 5 m, nilai Iy dan Ix masing-masing adalah:
  Iy = sisi pelat terpanjang – lebar balok melintang
  Iy = 7,5 – 0,8 = 6,7 m
  Ix = sisi pelat terpendek – lebar balok memanjang
  Ix = 6 – 0,8 = 5,2 m
  Iy/Ix = 6,7/5,2 = 1,3
  Momen tumpuan:
  Mtx = -0,001.2.5,2^2.50 = -2,704 tm
  Mty = -0,001.2.5,2^2.37 = -2,001 tm
  Momen lapangan:
  Mlx = 0,001.2.5,2^2.50 = 2,704 tm
  Mly = 0,001.2.5,2^2.37 = 2,001 tm

Tabel 5.34 Momen pada Pelat Akibat Beban Mati dan Hidup pada Trestle

Tipe	Panjang (cm)	Lebar (cm)	Tebal (cm)	Iy (cm)	Ix (cm)	Iy/Ix	jenis pelat	Koefisien X		Momen (mati) (kgm)	Momen (hidup) (kgm)
A	750	600	40	670	520	1,3	two-way slab	Mlx	50	1568	2704
								Mtx	-50	-1568	-2704
								Mly	37	1161	2001
								Mty	-37	-1161	-2001
B	600	100	40	520	20	26,0	one-way slab	Mlx	54	3	4
								Mtx	-54	-3	-4
C	100	100	40	20	20	1,0	two-way slab	Mlx	48	2	4
								Mtx	-48	-2	-4
								Mly	48	2	4
								Mty	-48	-2	-4
D	750	100	40	670	20	33,5	one-way slab	Mlx	54	3	4
								Mtx	-54	-3	-4

C. Momen akibat beban terpusat truk

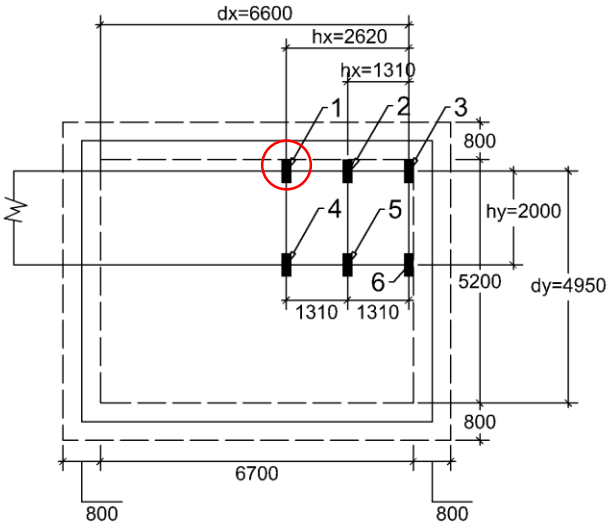
Besarnya momen akibat beban terpusat truk yang bergerak didasarkan pada momen maksimum yang didapat. Area kontak truk seluas 50 x 20 cm^2. Beban maksimal pada 2 roda trailer sebesar 5,96 ton. Untuk perhitungan momen akibat beban terpusat roda hanya posisi truk arah memanjang pelat karena truk hanya boleh berjalan lurus melewati trestle.



Gambar 5.54 Posisi Roda Trailer Arah Memanjang pada Pelat 7,6 x 6 m^2

a. Roda Trailer 1

Pada roda trailer 1 arah-x terjadi pengurangan momen tumpuan sebesar $(h/d)^2$ x Mt karena tidak berbatasan langsung dengan tepi.



Gambar 5.55 Beban Roda Trailer 1 pada Pelat 7,5 x 6 m^2

$$M=\frac{a_1 \cdot \frac{b_x}{I_x}+a_2 \cdot \frac{b_y}{I_y}+a_3}{\frac{b_x}{I_x}+\frac{b_y}{I_y}+a_4} \cdot W$$

Dimana :

M	= momen maksimum
a_1, a_2, a_3, a_4	= koefisien
b_x	= panjang beban sejajar I_x
b_y	= panjang beban sejajar I_y
I_x	= panjang bersih pelat terkecil
I_y	= panjang bersih pelat terbesar
W	= beban terpusat

Dimana :

	Lapangan		Tumpuan	
	Arah-X	Arah-Y	Arah-X	Arah-Y
a_1	-0,057	-0,013	0,044	0,88
a_2	-0,028	-0,08	0,159	0,075
a_3	0,144	0,159	-0,368	-0,287
a_4	0,432	0,384	0,861	0,861
b_x	0,5 m	0,5 m	0,5 m	0,5 m
b_y	0,2 m	0,2 m	0,2 m	0,2 m
I_x	5,2 m	5,2 m	5,2 m	5,2 m
I_y	6,7 m	6,7 m	6,7 m	6,7 m
I_x/I_y	1,3	1,3	1,3	1,3
W	5,96 ton	5,96 ton	5,96 ton	5,96 ton

- Momen Lapangan :

$$Mlx_1 = \frac{(-0,057)\cdot \frac{0,5}{5,2} + (-0,028)\cdot \frac{0,2}{6,7} + 0,144}{\frac{0,5}{5,2} + \frac{0,2}{6,7} + 0,432} \cdot 5,96$$

$Mlx_1 = 1,47$ tm

$$Mly_1 = \frac{(-0,013).\frac{0,5}{5,2} + (-0,08).\frac{0,2}{6,7} + 0,144}{\frac{0,5}{5,2} + \frac{0,2}{6,7} + 0,384} \cdot 5,96$$

$Mly_1 = 1,45$ tm

- Momen Tumpuan :

$$Mtx_1' = \frac{0,044.\frac{0,5}{5,2} + 0,159.\frac{0,2}{6,7} - 0,368}{\frac{0,5}{5,2} + \frac{0,2}{6,7} + 0,861} \cdot 5,96$$

$Mtx_1' = -2,17$ tm

Mtx_1 setelah terjadi pengurangan:

h_x = 2620 mm

d_x = 6600 mm

$$Mtx_1 = Mtx_1' \cdot \left(1 - \left(\frac{h_x}{d_x}\right)^2\right)$$

$$Mtx_1 = -2{,}17 \cdot \left(1 - \left(\frac{2620}{6600}\right)^2\right)$$

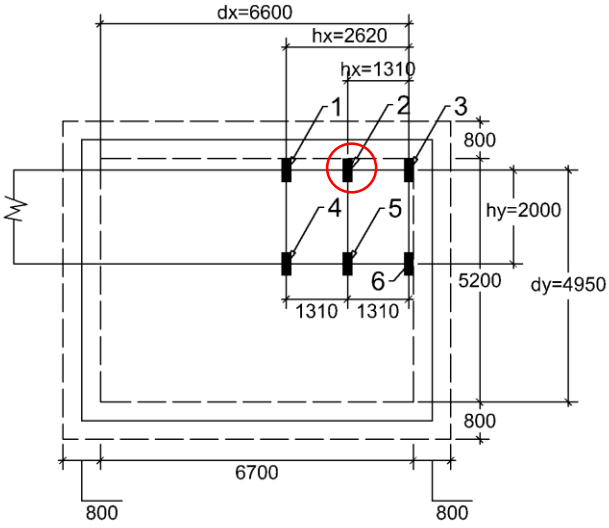
$$Mtx_1 = -1{,}83 \text{ tm}$$

$$Mty_1 = \frac{0{,}88 \cdot \frac{0{,}5}{5{,}2} + 0{,}075 \cdot \frac{0{,}2}{6{,}7} - 0{,}287}{\frac{0{,}5}{5{,}2} + \frac{0{,}2}{6{,}7} + 0{,}861} \cdot 5{,}96$$

$$Mty_1 = -1{,}21 \text{ tm}$$

b. Roda Trailer 2

Pada roda trailer 2 arah-x terjadi pengurangan momen tumpuan sebesar $(h/d)^2$ x Mt karena tidak berbatasan langsung dengan tepi.



Gambar 5.56 Beban Roda Trailer 2 pada Pelat 7,5 x 6 m^2

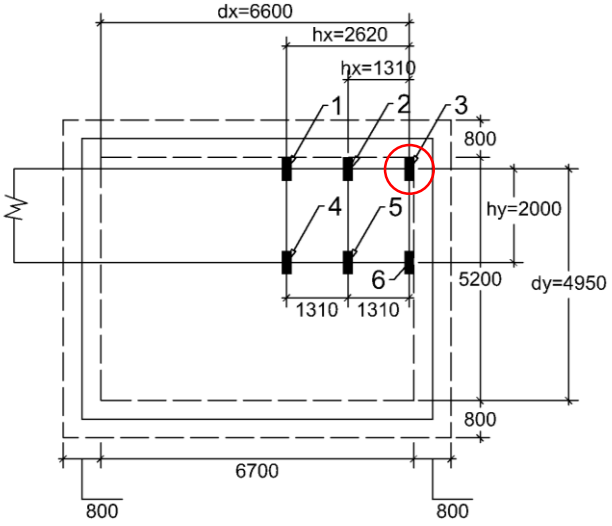
- Momen Lapangan :
  $Mlx_2 = Mlx_1 = 1{,}47$ tm
  $Mly_2 = Mly_1 = 1{,}45$ tm
- Momen Tumpuan :
  Mtx_2 setelah terjadi pengurangan:
  $h_x = 1310$ mm
  $d_x = 6600$ mm

$$Mtx_2 = Mtx_1' \cdot \left(1 - \left(\frac{h_x}{d_x}\right)^2\right)$$

$$Mtx_2 = -2{,}17 \cdot \left(1 - \left(\frac{1310}{6600}\right)^2\right)$$

$Mtx_2 = -2{,}08$ tm
$Mty_2 = Mty_1 = -1{,}21$ tm

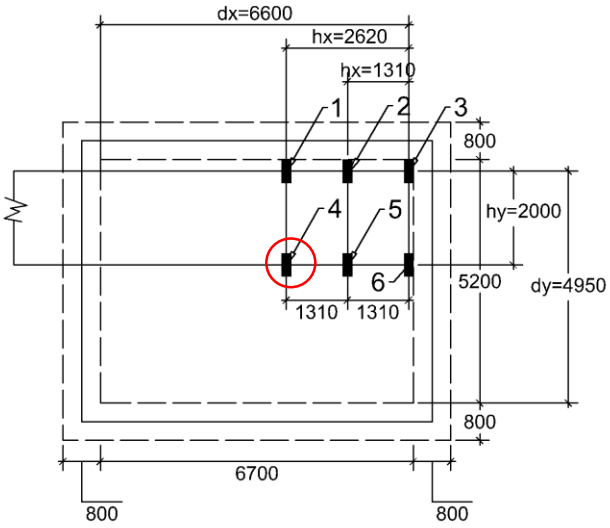
c. Roda Trailer 3



Gambar 5.57 Beban Roda Trailer 3 pada Pelat 7,5 x 6 m^2

- Momen Lapangan :
  $Mlx_3 = Mlx_1 = 1{,}47$ tm
  $Mly_3 = Mly_1 = 1{,}45$ tm
- Momen Tumpuan
  $Mtx_3 = Mtx_1' = -2{,}17$ tm
  $Mty_3 = Mty_1 = -1{,}21$ tm

d. Roda Trailer 4
   Pada roda trailer 4 arah-x dan arah-y terjadi pengurangan momen tumpuan sebesar $(h/d)^2$ x Mt karena tidak berbatasan langsung dengan tepi.



Gambar 5.58 Beban Roda Trailer 4 pada Pelat 7,5 x 6 m^2

- Momen Lapangan :
  $Mlx_4 = Mlx_1 = 1{,}47$ tm
  $Mly_4 = Mly_1 = 1{,}45$ tm
- Momen Tumpuan
  $Mtx_4 = Mtx_1 = -1{,}83$ tm

Mty_4 setelah terjadi pengurangan:

h_y = 2000 mm

d_y = 4950 mm

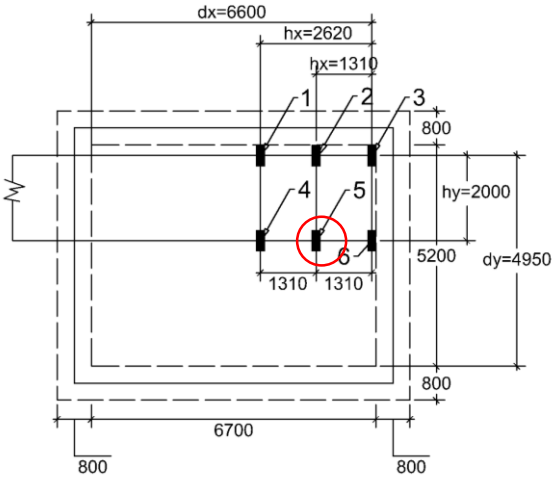
$$Mty_4 = Mty_1 \cdot \left(1 - \left(\frac{h_y}{d_y}\right)^2\right)$$

$$Mty_4 = -1{,}21 \cdot \left(1 - \left(\frac{2000}{4950}\right)^2\right)$$

Mty_4 = -1,01 tm

e. Roda Trailer 5

Pada roda trailer 5 arah-x dan arah-y terjadi pengurangan momen tumpuan sebesar $(h/d)^2$ x Mt karena tidak berbatasan langsung dengan tepi.



Gambar 5.59 Beban Roda Trailer 5 pada Pelat 7,5 x 6 m^2

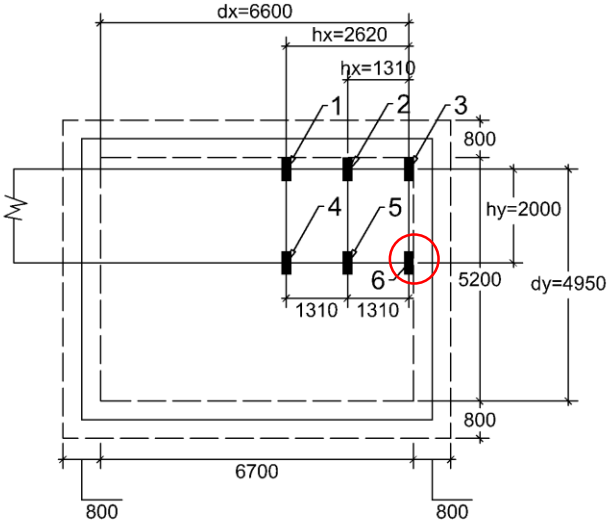
- Momen Lapangan :

  $Mlx_5 = Mlx_1$ = 1,47 tm

  $Mly_5 = Mly_1$ = 1,45 tm

- Momen Tumpuan
  $Mtx_5 = Mtx_2 = -2{,}08$ tm
  $Mty_5 = Mty_4 = -1{,}01$ tm

f. Roda Trailer 6
   Pada roda trailer 6 arah-y terjadi pengurangan momen tumpuan sebesar $(h/d)^2$ x Mt karena tidak berbatasan langsung dengan tepi.



Gambar 5.60 Beban Roda Trailer 6 pada Pelat 7,5 x 6 m^2

- Momen Lapangan :
  $Mlx_6 = Mlx_1 = 1{,}47$ tm
  $Mly_6 = Mly_1 = 1{,}45$ tm
- Momen Tumpuan
  $Mtx_6 = Mtx_3 = -2{,}17$ tm
  $Mty_6 = Mty_4 = -1{,}01$ tm

- Momen Lapangan Total Roda :
  Momen lapangan total dihitung dari total momen lapangan roda arah memanjang.
  Mlx.tot = 6 x Mlx_1
  Mlx.tot = 6 x 1,47 = 8,82 tm
  Mly.tot = 6 x Mly_1
  Mly.tot = 6 x 1,45 = 8,7 tm
- Momen Tumpuan Total Roda :
  Momen tumpuan total dihitung dari total momen tumpuan roda arah memanjang.
  Mtx.tot = 2(Mtx_1 + Mtx_2 + Mtx_3)
  Mtx.tot = 2((-1,83)+(-2,08)+(-2,17))
  = -12,16 tm
  Mty.tot = 3(Mty_1+Mty_4)
  Mty.tot = 3((-1,21)+(-1,01)) = -6,66 tm
- Lebar pembesian arah memanjang

$$s_x = \left(0{,}4\text{-}c_2 + 0{,}4 \cdot \frac{b_x}{I_x} + 0{,}2 \cdot \frac{b_y}{I_y} - 0{,}3 \cdot \frac{b_x}{I_x} \cdot \frac{b_y}{I_y}\right) \cdot I_x$$

$$s_y = \left(0{,}4\text{-}c_1 + 0{,}2 \cdot \frac{b_x}{I_x} + 0{,}4 \cdot \frac{b_y}{I_y} - 0{,}3 \cdot \frac{b_x}{I_x} \cdot \frac{b_y}{I_y}\right) \cdot I_y$$

$$s_{tx} = \left(0{,}6\text{-}c_2 + 0{,}1 \cdot \frac{b_x}{I_x} - 0{,}1 \cdot \frac{b_y}{I_y} + 0{,}1 \cdot \frac{b_x}{I_x} \cdot \frac{b_y}{I_y}\right) \cdot I_x$$

$$s_{ty} = \left(0{,}6\text{-}c_1 - 0{,}1 \cdot \frac{b_x}{I_x} + 0{,}1 \cdot \frac{b_y}{I_y} + 0{,}1 \cdot \frac{b_x}{I_x} \cdot \frac{b_y}{I_y}\right) \cdot I_y$$

Dimana:
b_x = 0,5 m
b_y = 0,2 m
I_x = 5,2 m
I_y = 6,7 m
c_1 = 0,1
c_2 = 0,1

$s_x = \left(0{,}4\text{-}0{,}1+0{,}4\cdot\frac{0{,}5}{5{,}2}+0{,}2\cdot\frac{0{,}2}{6{,}7}\text{-}0{,}3\cdot\frac{0{,}5}{5{,}2}\cdot\frac{0{,}2}{6{,}7}\right)\cdot 5{,}2$

$s_x = 1{,}79$

$s_y = \left(0{,}4\text{-}0{,}1+0{,}2\cdot\frac{0{,}5}{5{,}2}+0{,}4\cdot\frac{0{,}2}{6{,}7}\text{-}0{,}3\cdot\frac{0{,}5}{5{,}2}\cdot\frac{0{,}2}{6{,}7}\right)\cdot 6{,}7$

$s_y = 2{,}21$

$s_{tx} = \left(0{,}6\text{-}0{,}1+0{,}1\cdot\frac{0{,}5}{5{,}2}\text{-}0{,}1\cdot\frac{0{,}2}{6{,}7}+0{,}1\cdot\frac{0{,}5}{5{,}2}\cdot\frac{0{,}2}{6{,}7}\right)\cdot 5{,}2$

$s_{tx} = 2{,}64$

$s_{ty} = \left(0{,}6\text{-}c_1\text{-}0{,}1\cdot\frac{0{,}5}{5{,}2}+0{,}1\cdot\frac{0{,}2}{6{,}7}+0{,}1\cdot\frac{0{,}5}{5{,}2}\cdot\frac{0{,}2}{6{,}7}\right)\cdot 6{,}7$

$s_{ty} = 3{,}31$

- Momen Lapangan Maksimum

  $Mlx.max = \frac{Mlx}{sx} = \frac{8{,}82}{1{,}79} = 4{,}94$ tm

  $Mly.max = \frac{Mly}{sy} = \frac{8{,}7}{2{,}21} = 3{,}94$ tm

- Momen Tumpuan Maksimum

  $Mtx.max = \frac{Mtx}{stx} = \frac{-12{,}16}{2{,}64} = -4{,}61$ tm

  $Mty.max = \frac{Mty}{sty} = \frac{-6{,}66}{3{,}31} = -2{,}01$ tm

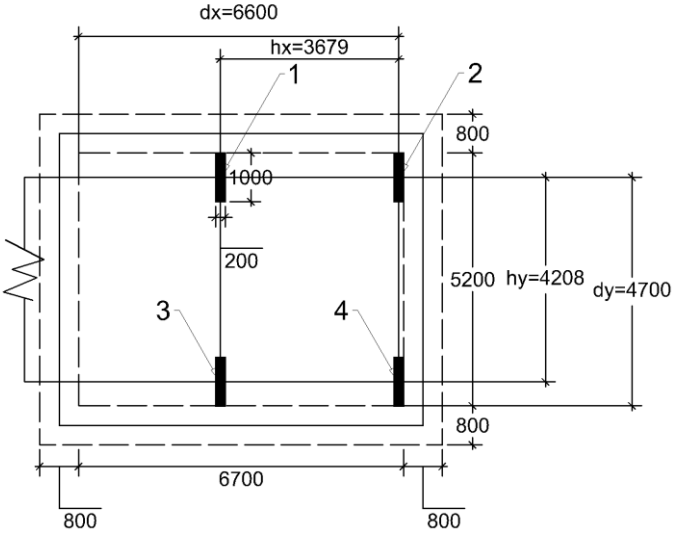
Tabel 5.35 Momen pada Pelat akibat Beban Berjalan MM

Tipe Pelat	Koefisien Beban Terpusat				Koefisien		Lebar Pembesian		Momen Akibat Beban Bergerak		
	a1	a2	a3	a4	c1	c2				Beban Roda Truk	
										Jumlah Roda	Momen (Kgm)
A	-0,057	-0,028	0,144	0,432	0,1	0,1	Slx	1,79	Mlx	6	4939
	-0,013	-0,08	0,128	0,384	0,1	0,1	Sly	2,21	Mly	6	3940
	0,044	0,159	-0,368	0,861	0,1	0,1	Stx	2,64	Mtx	6	-4935
	0,88	0,075	-0,287	0,861	0,1	0,1	Sty	3,31	Mty	6	-2192
B	-0,026	-0,052	0,141	0,423	0,1	0,05	Slx	0,15	Mlx	2	5829
	0,026	0,334	-0,531	1,593	0,1	0,05	Stx	0,13	Mtx	2	-16124
C	-0,071	-0,017	0,158	0,474	0,05	0,05	Slx	0,13	Mlx	1	1297
	-0,071	-0,017	0,158	0,474	0,05	0,05	Sly	0,13	Mly	1	1297
	0,054	0,163	-0,442	1,326	0,05	0,05	Stx	0,13	Mtx	1	-3101
	0,163	0,054	-0,442	1,326	0,05	0,05	Sty	0,13	Mty	1	-3101
D	-0,026	-0,052	0,141	0,423	0,1	0,05	Slx	0,15	Mlx	0	0
	0,026	0,334	-0,531	1,593	0,1	0,05	Stx	0,13	Mtx	0	0

D. Momen akibat beban roda terpusat MHC

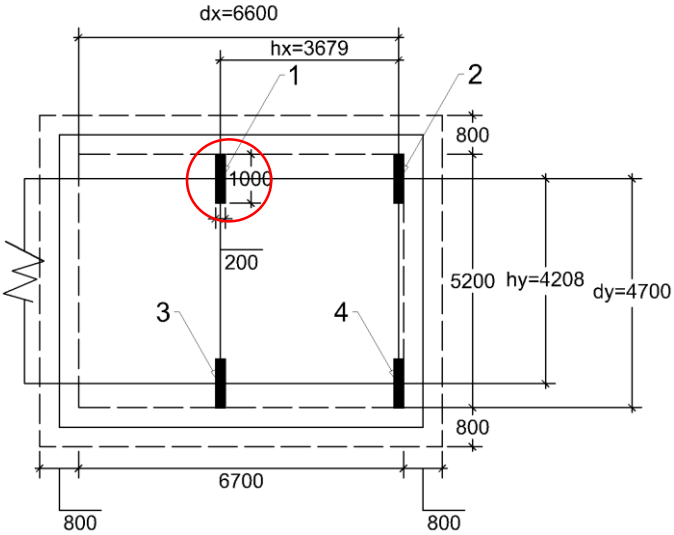
Besarnya momen akibat beban roda terpusat MHC yang bergerak didasarkan pada momen maksimum yang didapat. Area kontak MHC seluas 100 x 20 cm^2. Beban maksimal pada 4 roda MHC sebesar 12,625 ton. Untuk perhitungan momen akibat beban terpusat hanya roda posisi MHC arah memanjang pelat.

Dalam kombinasi ini terjadi saat roda MHC terletak di ujung pelat saat memanjang. Perhitungan momen maksimum dengan Iy/Ix = 1,3 adalah sebagai berikut:



Gambar 5.61 Posisi Roda MHC Arah Memanjang pada Pelat 7,5 x 6 m^2

a. Roda MHC 1



Gambar 5.62 Beban Roda MHC 1 pada Pelat 7,5 x 6 m^2

$$M=\frac{a_1 \cdot \frac{b_x}{I_x}+a_2 \cdot \frac{b_y}{I_y}+a_3}{\frac{b_x}{I_x}+\frac{b_y}{I_y}+a_4} \cdot W$$

Dimana :

M	= momen maksimum
a_1,a_2,a_3,a_4	= koefisien
b_x	= panjang beban sejajar I_x
b_y	= panjang beban sejajar I_y
I_x	= panjang bersih pelat terkecil
I_y	= panjang bersih pelat terbesar
W	= beban terpusat

Dimana :

	Lapangan		Tumpuan	
	Arah-X	Arah-Y	Arah-X	Arah-Y
a_1	-0,057	-0,013	0,044	0,88
a_2	-0,028	-0,08	0,159	0,075
a_3	0,144	0,159	-0,368	-0,287
a_4	0,432	0,384	0,861	0,861
b_x	1 m	1 m	1 m	1 m
b_y	0,2 m	0,2 m	0,2 m	0,2 m
I_x	5,2 m	5,2 m	5,2 m	5,2 m
I_y	6,7 m	6,7 m	6,7 m	6,7 m
I_x/I_y	1,3	1,3	1,3	1,3
W	12,625 ton	12,625 ton	12,625 ton	12,625 ton

- Momen Lapangan :

$$Mlx_1 = \frac{(-0{,}057)\cdot\frac{1}{5{,}2} + (-0{,}028)\cdot\frac{0{,}2}{6{,}7} + 0{,}144}{\frac{1}{5{,}2} + \frac{0{,}2}{6{,}7} + 0{,}432}\cdot 12{,}625$$

$Mlx_1 = 2{,}55$ tm

$$Mly_1 = \frac{(-0{,}013).\frac{1}{5{,}2} + (-0{,}08).\frac{0{,}2}{6{,}7} + 0{,}159}{\frac{1}{5{,}2} + \frac{0{,}2}{6{,}7} + 0{,}384}\cdot 12{,}625$$

$Mly_1 = 2{,}56$ tm

- Momen Tumpuan :

$$Mtx_1' = \frac{0{,}044.\frac{1}{5{,}2} + 0{,}159.\frac{0{,}2}{6{,}7} - 0{,}368}{\frac{1}{5{,}2} + \frac{0{,}2}{6{,}7} + 0{,}861}\cdot 12{,}625$$

Mtx_1' = -4,14 tm

Mtx_1 setelah terjadi pengurangan:

h_x = 3679 mm

d_x = 6600 mm

$$Mtx_1 = Mtx_1' \cdot \left(1 - \left(\frac{h_x}{d_x}\right)^2\right)$$

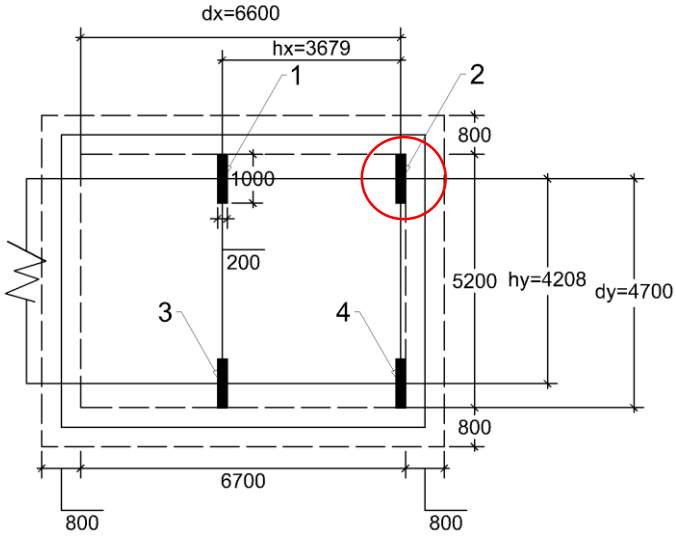
$$Mtx_1 = -4{,}14 \cdot \left(1 - \left(\frac{3679}{6600}\right)^2\right)$$

Mtx_1 = -2,85 tm

$$Mty_1 = \frac{0{,}88 \cdot \frac{1}{5{,}2} + 0{,}075 \cdot \frac{0{,}2}{6{,}7} - 0{,}287}{\frac{1}{5{,}2} + \frac{0{,}2}{6{,}7} + 0{,}861} \cdot 12{,}625$$

Mty_1 = -1,35 tm

b. Roda MHC 2

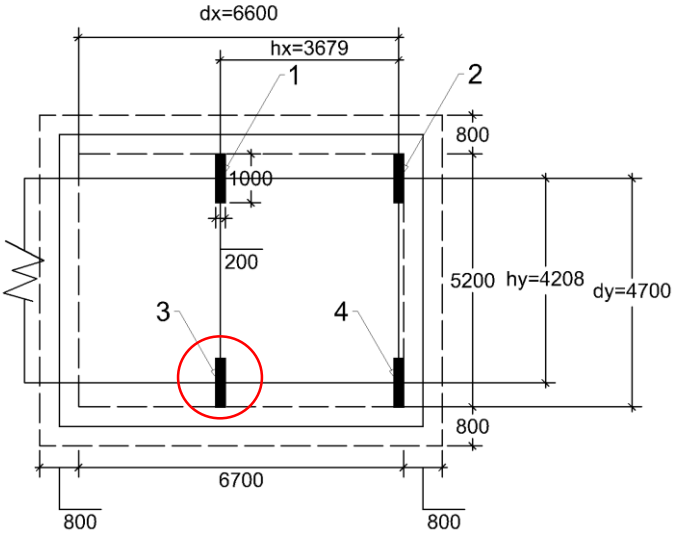


Gambar 5.63 Beban Roda MHC 2 pada Pelat 7,5 x 6 m^2

- Momen Lapangan :
  $Mlx_2 = Mlx_1 = 2{,}55$ tm
  $Mly_2 = Mly_1 = 2{,}56$ tm

- Momen Tumpuan :
  $Mtx_2 = Mtx_1' = -4{,}14$ tm
  $Mty_2 = Mty_1 = -1{,}35$ tm

c. Roda MHC 3
   Pada roda MHC 3 arah-x dan arah-y terjadi pengurangan momen tumpuan sebesar $(h/d)^2$ x Mt karena tidak berbatasan langsung dengan tepi.



Gambar 5.64 Beban Roda MHC 3 pada Pelat 7,5 x 6 m^2

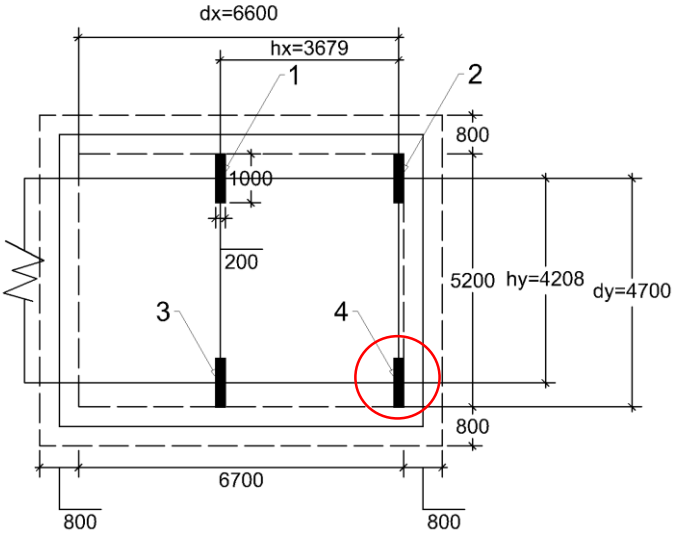
- Momen Lapangan :
  $Mlx_3 = Mlx_1 = 2{,}55$ tm
  $Mly_3 = Mly_1 = 2{,}56$ tm
- Momen Tumpuan :
  $Mtx_3 = Mtx_1 = -2{,}85$ tm
  Mty_3 setelah terjadi pengurangan:
  h_y = 4208 mm
  d_y = 4700 mm

$$Mty_3=Mty_1\cdot\left(1-\left(\frac{h_y}{d_y}\right)^2\right)$$

$$Mty_3=-1{,}35\cdot\left(1-\left(\frac{4208}{4700}\right)^2\right)$$

$Mty_3 = -0{,}27$ tm

d. Roda MHC 4



Gambar 5.65 Beban Roda MHC 4 pada Pelat 7,5 x 6 m^2

- Momen Lapangan :
  $Mlx_4 = Mlx_1 = 2{,}55$ tm
  $Mly_4 = Mly_1 = 2{,}56$ tm
- Momen Tumpuan :
  $Mtx_4 = Mtx_2 = -4{,}14$ tm
  $Mty_4 = Mty_3 = -0{,}27$ tm

- Momen Lapangan Total Roda :
  Momen lapangan total dihitung dari total momen lapangan roda arah melintang.
  $Mlx.tot = 4 \times Mlx_1$
  $Mlx.tot = 4 \times 2,55 = 10,2$ tm
  $Mly.tot = 4 \times Mly_1$
  $Mly.tot = 4 \times 2,56 = 10,24$ tm
- Momen Tumpuan Total Roda :
  Momen tumpuan total dihitung dari total momen tumpuan roda arah memanjang.
  $Mtx.tot = 2(Mtx_1 + Mtx_2)$
  $Mtx.tot = 2((-2,85) + (-4,14)) = -12,9$ tm
  $Mty.tot = 2(Mty_1 + Mty_3)$
  $Mty.tot = 2((-1,35) + (-0,27)) = -3,24$ tm
- Lebar pembesian arah melintang

$$s_x = \left(0,4 - c_2 + 0,4 \cdot \frac{b_x}{I_x} + 0,2 \cdot \frac{b_y}{I_y} - 0,3 \cdot \frac{b_x}{I_x} \cdot \frac{b_y}{I_y}\right) \cdot I_x$$

$$s_y = \left(0,4 - c_1 + 0,2 \cdot \frac{b_x}{I_x} + 0,4 \cdot \frac{b_y}{I_y} - 0,3 \cdot \frac{b_x}{I_x} \cdot \frac{b_y}{I_y}\right) \cdot I_y$$

$$s_{tx} = \left(0,6 - c_2 + 0,1 \cdot \frac{b_x}{I_x} - 0,1 \cdot \frac{b_y}{I_y} + 0,1 \cdot \frac{b_x}{I_x} \cdot \frac{b_y}{I_y}\right) \cdot I_x$$

$$s_{ty} = \left(0,6 - c_1 - 0,1 \cdot \frac{b_x}{I_x} + 0,1 \cdot \frac{b_y}{I_y} + 0,1 \cdot \frac{b_x}{I_x} \cdot \frac{b_y}{I_y}\right) \cdot I_y$$

Dimana:
$b_x = 1$ m
$b_y = 0,2$ m
$I_x = 5,2$ m
$I_y = 6,7$ m
$c_1 = 0,1$
$c_2 = 0,1$

$$s_x = \left(0,4 - 0,1 + 0,4 \cdot \frac{1}{5,2} + 0,2 \cdot \frac{0,2}{6,7} - 0,3 \cdot \frac{1}{5,2} \cdot \frac{0,2}{6,7}\right) \cdot 5,2$$

$s_x = 1{,}98$

$$s_y = \left(0{,}4\text{-}0{,}1+0{,}2\cdot\frac{1}{5{,}2}+0{,}4\cdot\frac{0{,}2}{5{,}7}\text{-}0{,}3\cdot\frac{1}{5{,}2}\cdot\frac{0{,}2}{6{,}7}\right)\cdot 6{,}7$$

$s_y = 2{,}34$

$$s_{tx} = \left(0{,}6\text{-}0{,}1+0{,}1\cdot\frac{1}{5{,}2}\text{-}0{,}1\cdot\frac{0{,}2}{5{,}7}+0{,}1\cdot\frac{1}{5{,}2}\cdot\frac{0{,}2}{6{,}7}\right)\cdot 5{,}2$$

$s_{tx} = 2{,}69$

$$s_{ty} = \left(0{,}6\text{-}c_1\text{-}0{,}1\cdot\frac{1}{5{,}2}+0{,}1\cdot\frac{0{,}2}{5{,}7}+0{,}1\cdot\frac{1}{5{,}2}\cdot\frac{0{,}2}{6{,}7}\right)\cdot 6{,}7$$

$s_{ty} = 3{,}25$

- Momen Lapangan Maksimum

$$Mlx.max = \frac{Mlx}{sx} = \frac{10{,}2}{1{,}98} = 5{,}15 \text{ tm}$$

$$Mly.max = \frac{Mly}{sy} = \frac{10{,}24}{2{,}34} = 4{,}39 \text{ tm}$$

- Momen Tumpuan Maksimum

$$Mtx.max = \frac{Mtx}{stx} = \frac{\text{-}12{,}9}{2{,}69} = \text{-}4{,}57 \text{ tm}$$

$$Mty.max = \frac{Mty}{sty} = \frac{\text{-}3{,}24}{3{,}25} = \text{-}1 \text{ tm}$$

Tabel 5.36 Momen pada Pelat akibat Beban Berjalan MHC

Tipe Pelat	Koefisien Beban Terpusat				Koefisien		Lebar Pembesian		Momen Akibat Beban Bergerak		
	a1	a2	a3	a4	c1	c2				Beban Roda MHC	
										Jumlah Roda	Momen (Kgm)
A	-0,057	-0,028	0,144	0,432	0,1	0,1	Slx	1,98	Mlx	4	5149
	-0,013	-0,08	0,128	0,384	0,1	0,1	Sly	2,34	Mly	4	4390
	0,044	0,159	-0,368	0,861	0,1	0,1	Stx	2,69	Mtx	4	-6155
	0,88	0,075	-0,287	0,861	0,1	0,1	Sty	3,25	Mty	4	-1660
B	-0,026	-0,052	0,141	0,423	0,1	0,05	Slx	0,15	Mlx	2	11230
	0,026	0,334	-0,531	1,593	0,1	0,05	Stx	0,13	Mtx	2	-30737
C	-0,071	-0,017	0,158	0,474	0,05	0,05	Slx	0,13	Mlx	1	2748
	-0,071	-0,017	0,158	0,474	0,05	0,05	Sly	0,13	Mly	1	2748
	0,054	0,163	-0,442	1,326	0,05	0,05	Stx	0,13	Mtx	1	-6570
	0,163	0,054	-0,442	1,326	0,05	0,05	Sty	0,13	Mty	1	-6570
D	-0,026	-0,052	0,141	0,423	0,1	0,05	Slx	0,15	Mlx	0	0
	0,026	0,334	-0,531	1,593	0,1	0,05	Stx	0,13	Mtx	0	0

Tabel 5.37 Rekapitulasi Momen yang Terjadi pada Pelat

Pelat	Momen	Terbagi Rata		Berjalan Memanjang		Kombinasi	
		Mati	Hidup	Roda Truk	Roda MHC	Mati+Hidup	Mati+Berjalan
		(kgm)	(kgm)	(kgm)	(kgm)	(kgm)	(kgm)
A	Mlx	1568	2704	4939	5149	4272	6717
	Mtx	-1568	-2704	-4935	-6155	-4272	-7723
	Mly	1161	2001	3940	4390	3162	5551
	Mty	-1161	-2001	-2192	-1660	-3162	-3353
B	Mlx	3	4	5829	11230	7	11233
	Mtx	-3	-4	-16124	-30737	-7	-30739
C	Mlx	2	4	1297	2748	6	2750
	Mtx	-2	-4	-3101	-6570	-6	-6572
	Mly	2	4	1297	2748	6	2750
	Mty	-2	-4	-3101	-6570	-6	-6572
D	Mlx	3	4	0	0	7	3
	Mtx	-3	-4	0	0	-7	-3

5.10.4 Penulangan Pelat

Untuk penulangan pelat diambil perhitungan tulangan pelat A 7,5 x 6 m (Gambar 5.53). Perhitungan tulangan menggunakan PBI 1971. Untuk perhitungan tipe pelat lainnya dapat dilihat pada Tabel 5.38 dengan prosedur yang sama seperti tipe pelat A.

A. Data Perencanaan Pelat Tipe A

1. Mutu Beton
   - σ'_{bk} = 350 kg/cm^2 (K-350)
   - σ'_b = 115,5 kg/cm^2
   - E_b = 119733 kg/cm^2

2. Mutu Baja
   - σ_{au} = 320 Mpa = 3200 kg/cm^2 (U-32)
   - σ_a = σ'_a = 1850 kg/cm^2
   - σ'_{au} = 2780 kg/cm^2
   - Ea = 2,1 x 10^6 kg/cm^2

3. Komponen Pelat
   - D = 19 mm (arah-x)
     = 19 mm (arah-y)
   - t = 40 cm
   - n_t = Angka ekivalensi antara modulus elastisitas baja dengan modulus tekan beton
   - $n_t = \frac{E_a}{E_b} = \frac{2100000}{119733} = 17{,}54$
   - $\phi_0 = \frac{\sigma'_a}{(n_t \times \sigma'_b)} = \frac{1850}{(17{,}54 \times 115{,}5)} = 0{,}91$
   - ly = 6700 mm
   - lx = 5200 mm
   - Iy/Ix = 6700/5200 =1,3 < 2,5 (pelat 2 arah)

B. Penulangan arah-X Tipe A

1. Lapangan
   - Mlx = 6717 kgm
   - c = 70 mm

D = 19 mm
hx = 400 - 70 – 0,5D(arah X)
= 400 – 70 - 0,5.19
= 3205 mm
= 32,05 cm
A_{st} = 284 mm^2
$C_a = \frac{h_x}{\sqrt{\frac{n_t \times M}{b \times \sigma'_a}}} = \frac{32,05}{\sqrt{\frac{17,54 \times 6717}{1 \times 1850}}} = 4,02$

Dari tabel Perhitungan Lentur Cara-n "Konstruksi Beton Indonesia" dengan Ca = 4,02 dan δ = 0 didapat:
ϕ = 2,236 > ϕ_0 =0,91 (OK)
100nω = 6,909
ω = 0,00394

a. Luas tulangan tarik yang diperlukan :
$A = \omega \times b \times h_x$
A = 0,00394 x 1000 x 320,5
A = 1263 mm^2/m
Dipasang D19-250 (As = 1418 mm^2)

b. 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 ωp, C3, C4 dan C5 (lihat Tabel 2.28).

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

$$\omega_p = \frac{A}{b \times h}$$

Dimana:
α = 1 (tulangan ulir)
c = 7 cm
d = 1,9 cm
σ_a = 1850 kg/cm^2

A = 1418 mm^2/m
b = 1000 mm
h = 400 mm
C_3 = 1,5
C_4 = 0,16
C_5 = 30
$\omega_p = \frac{1418}{1000\times400} = 0{,}00354$
$w = 1\left(1{,}5\cdot7+0{,}16\cdot\frac{1{,}9}{0{,}00354}\right)\cdot\left(1850-\frac{30}{0{,}00354}\right)\cdot10^{-6}$
w = -0,64 cm < 0,01 cm (OK)

2. Tumpuan

Mtx = 7723 kgm
C = 70 mm
D = 19 mm
hx = 400 - 70 – 0,5D(arah X)
= 400 – 70 - 0,5.19
= 3205 mm
= 32,05 cm
A_{st} = 284 mm^2
$C_a = \frac{h_x}{\sqrt{\frac{n_t\times M}{b\times\sigma'_a}}} = \frac{32{,}05}{\sqrt{\frac{17{,}54\times7723}{1\times1850}}} = 3{,}75$

Dari tabel Perhitungan Lentur Cara-n "Konstruksi Beton Indonesia" dengan Ca = 3,75 dan δ = 0 didapat:
ϕ = 2,049 > ϕ_0 =0,91 (OK)
100nω = 8,005
ω = 0,00456

a. Luas tulangan tarik yang diperlukan :
$A=\omega\times b\times h_x$
A = 0,00456 x 1000 x 320,5
A = 1463 mm^2/m
Dipasang D19-200 (As = 1701 mm^2)

b. 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 ωp, C3, C4 dan C5 (lihat Tabel 2.28).

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

$$\omega_p=\frac{A}{b\times h}$$

Dimana:

α = 1 (tulangan ulir)
c = 7 cm
d = 1,9 cm
σ_a = 1850 kg/cm^2
A = 1701 mm^2/m
b = 1000 mm
h = 400 mm
C_3 = 1,5
C_4 = 0,16
C_5 = 30
$\omega_p = \frac{1701}{1000\times 400}=0{,}00425$
$w = 1\left(1{,}5\cdot 7+0{,}16\cdot\frac{1{,}9}{0{,}00425}\right)\cdot\left(1850-\frac{30}{0{,}00425}\right)\cdot 10^{-6}$
w = -0,47 cm < 0,01 cm (OK)

C. Penulangan arah-Y Tipe A

1. Lapangan
Mly = 5551 kgm
C = 70 mm
D = 19 mm
hy = 400-70-ϕarah X-0,5ϕarah Y
= 400-70-19-0,5.19
= 301,5 mm
= 30,15 cm

A_{st} = 284 mm^2

$C_a = \frac{h_y}{\sqrt{\frac{n_t \times M}{b \times \sigma'_a}}} = \frac{30,15}{\sqrt{\frac{17,54 \times 5551}{1000 \times 1850}}} = 4,16$

Dari tabel Perhitungan Lentur Cara-n "Konstruksi Beton Indonesia" dengan Ca = 4,16 dan δ = 0 didapat:

ϕ = 2,333 > ϕ_0 = 0,91 (OK)

100nω = 6,429

ω = 0,0037

a. Luas tulangan tarik yang diperlukan :
   $A = \omega \times b \times h_y$
   A = 0,0037 x 1000 x 301,5
   A = 1105 mm^2/m
   Dipasang D19-250 (As = 1418 mm^2)

b. 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 ωp, C3, C4 dan C5 (lihat Tabel 2.28).

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

$$\omega_p = \frac{A}{b \times h}$$

Dimana:

α = 1 (tulangan ulir)

c = 7 cm

d = 1,9 cm

σ_a = 1850 kg/cm^2

A = 1418 mm^2/m

b = 1000 mm

h = 400 mm

C_3 = 1,5

C_4 = 0,16
C_5 = 30
$\omega_p = \frac{1418}{1000\times400} = 0{,}00354$
$w = 1\left(1{,}5\cdot7+0{,}16\cdot\frac{1{,}9}{0{,}00354}\right)\cdot\left(1850-\frac{30}{0{,}00354}\right)\cdot10^{-6}$
w = -0,64 cm < 0,01 cm (OK)

2. Tumpuan
Mly = 3353 kgm
C = 70 mm
D = 19 mm
hy = 400-70-ϕarah X-0,5ϕarah Y
= 400-70-19-0,5.19
= 301,5 mm
= 30,15 cm
A_{st} = 284 mm^2
$C_a = \frac{h_y}{\sqrt{\frac{n_t\times M}{b\times\sigma'_a}}} = \frac{30{,}15}{\sqrt{\frac{17{,}54\times3353}{1000\times1850}}} = 5{,}35$

Dari tabel Perhitungan Lentur Cara-n "Konstruksi Beton Indonesia" dengan Ca = 5,35 dan δ = 0 didapat:
ϕ = 3,149 > ϕ_0 = 0,91 (OK)
100nω = 3,826
ω = 0,0022

a. Luas tulangan tarik yang diperlukan :
$A = \omega\times b\times h_y$
A = 0,0022 x 1000 x 301,5
A = 658 mm^2/m
Dipasang D19-500 (As = 851 mm^2)

b. 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 ωp, C3, C4 dan C5 (lihat Tabel 2.28).

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

$$\omega_p=\frac{A}{b\times h}$$

Dimana:

α = 1 (tulangan ulir)
c = 7 cm
d = 1,9 cm
σ_a = 1850 kg/cm^2
A = 851 mm^2/m
b = 1000 mm
h = 400 mm
C_3 = 1,5
C_4 = 0,16
C_5 = 30
$\omega_p = \frac{851}{1000\times 400}=0{,}00213$
$w = 1\left(1{,}5\cdot 7+0{,}16\cdot\frac{1{,}9}{0{,}00213}\right)\cdot\left(1850-\frac{30}{0{,}00213}\right)\cdot 10^{-6}$
w = -1,88 cm < 0,01 cm (OK)

Tabel 5.38 Luas Tulangan Minimum Pelat Trestle

Tipe	Arah	Keterangan	nt	Φo	hx	M.Max	Ca	100nω	ω	A
					(cm)	(kgm)				(mm2/m)
A	X	lapangan	17,54	0,91	32,05	6717	4,02	6,909	0,003939	1263
		tumpuan	17,54	0,91	32,05	7723	3,75	8,005	0,004564	1463
	Y	lapangan	17,54	0,91	30,15	5551	4,16	6,429	0,003666	1105
		tumpuan	17,54	0,91	30,15	3353	5,35	3,826	0,002181	658
B	X	lapangan	17,54	0,91	32,05	11233	3,11	11,890	0,006779	2173
		tumpuan	17,54	0,91	32,05	30739	1,88	34,810	0,019847	6361
C	X	lapangan	17,54	0,91	32,05	2750	6,28	2,731	0,001557	499
		tumpuan	17,54	0,91	32,05	6572	4,06	6,800	0,003877	1243
	Y	lapangan	17,54	0,91	30,15	2750	5,90	3,013	0,001718	518
		tumpuan	17,54	0,91	30,15	6572	3,82	7,075	0,004034	1216
D	X	lapangan	17,54	0,91	32,05	7	125,99	0,693	0,000395	127
		tumpuan	17,54	0,91	32,05	7	125,99	0,693	0,000395	127

Tabel 5.39 Rekapitulasi Kontrol Retak Pelat Treatle

Tipe	Arah	Keterangan	As	b	h	ωp	α	c	d	σa	C3	C4	C5	w	Keterangan
			(mm2)	(mm)	(mm)			(cm)	(cm)	(kg/cm2)				(cm)	
A	X	lapangan	1418	1000	400	0,00354	1	7	1,9	1850	1,5	0,16	30	-0,636842624	Tidak Retak
		tumpuan	1701	1000	400	0,00425	1	7	1,9	1850	1,5	0,16	30	-0,426621131	Tidak Retak
	Y	lapangan	1418	1000	400	0,00354	1	7	1,9	1850	1,5	0,16	30	-0,636842624	Tidak Retak
		tumpuan	851	1000	400	0,00213	1	7	1,9	1850	1,5	0,16	30	-1,881102817	Tidak Retak
B	X	lapangan	2268	1000	400	0,00567	1	7	1,9	1850	1,5	0,16	30	-0,220568765	Tidak Retak
		tumpuan	5671	1000	400	0,01418	1	7	1,9	1850	1,5	0,16	30	-0,008503106	Tidak Retak
C	X	lapangan	851	1000	400	0,00213	1	7	1,9	1850	1,5	0,16	30	-1,881102817	Tidak Retak
		tumpuan	1418	1000	400	0,00354	1	7	1,9	1850	1,5	0,16	30	-0,636842624	Tidak Retak
	Y	lapangan	851	1000	400	0,00213	1	7	1,9	1850	1,5	0,16	30	-1,881102817	Tidak Retak
		tumpuan	1418	1000	400	0,00354	1	7	1,9	1850	1,5	0,16	30	-0,636842624	Tidak Retak
D	X	lapangan	851	1000	400	0,00213	1	7	1,9	1850	1,5	0,16	30	-1,881102817	Tidak Retak
		tumpuan	851	1000	400	0,00213	1	7	1,9	1850	1,5	0,16	30	-1,881102817	Tidak Retak

Tabel 5.40 Rekapitulasi Jarak Penulangan Pelat

Tipe	Arah	Keterangan	A	N	As	Baris	Dipasang
			(mm2/m)	(buah)	(mm2/m)		
A	X	lapangan	1263	5	1418	1	D19 - 250
		tumpuan	1463	6	1701	1	D19 - 200
	Y	lapangan	1105	5	1418	1	D19 - 250
		tumpuan	658	3	851	1	D19 - 500
B	X	lapangan	2173	8	2268	1	D19 - 125
		tumpuan	6361	20	5671	2	D19 - 100
C	X	lapangan	499	3	851	1	D19 - 500
		tumpuan	1243	5	1418	1	D19 - 250
	Y	lapangan	518	3	851	1	D19 - 500
		tumpuan	1216	5	1418	1	D19 - 250
D	X	lapangan	127	3	851	1	D19 - 500
		tumpuan	127	3	851	1	D19 - 500

5.11 Perencanaan Balok dan Poer Trestle

5.11.1 Pembebanan Balok

Berikut ini adalah beban-beban yang diterima oleh balok:

1. Berat sendiri pelat = 1,16 t/m^2
2. Beban hidup pelat = 2 t/m^2
3. Beban berjalan truk = (lihat subbab **4.4.1.C**.2)
4. Beban berjalan MHC = (lihat subbab **4.4.1.C**.1)
5. Beban gempa = (lihat subbab **4.4.2.A**) lihat Gambar 5.34

5.11.2 Analisa Struktur

Analisa struktur menggunakan program bantu SAP2000 dengan kombinasi beban sebagai berikut:

1. DL + LL
2. DL + MM
3. DL + MHC
4. DL + LL + Ex + 0,3 Ey
5. DL + LL + 0,3Ex + Ey
6. DL + MM + Ex + 0,3 Ey
7. DL + MM + 0,3Ex + Ey

8. DL + MHC + Ex + 0,3 Ey
9. DL + MHC + 0,3Ex + Ey

Dimana :

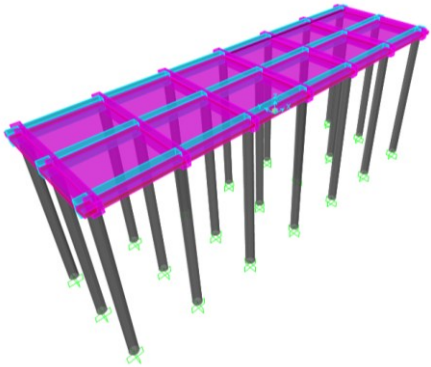
DL = beban mati dan berat sendiri struktur
LL = beban hidup merata
MHC = beban mobile harbour crane
MM = beban truk (*multiwheel mammoth*)
Ex = beban gempa arah-x
Ey = beban gempa arah-y

A. Tinggi struktur

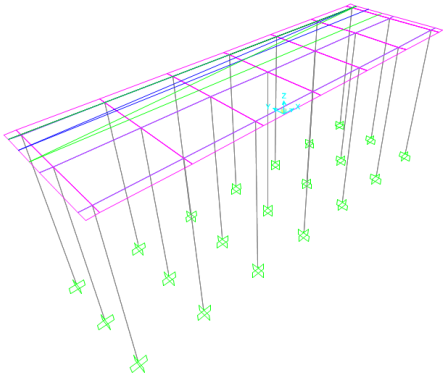
Tinggi struktur yaitu dari titik jepit tiang ke elevasi permukaan dermaga. Dari perhitungan (subbab 5.3.1) didapat tinggi tiang pancang adalah = 18 m. Tinggi struktur akan digunakan di permodelan SAP2000

B. Permodelan struktur

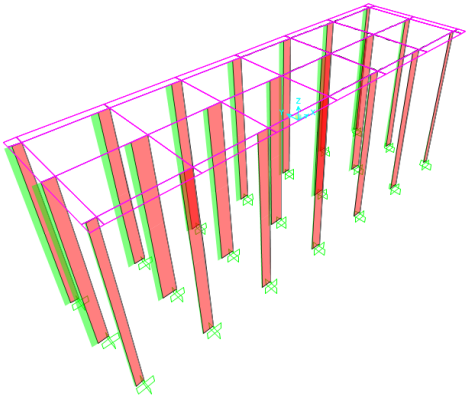
Bentuk permodelan struktur trestle pada SAP2000 bisa dilihat pada Gambar 5.66



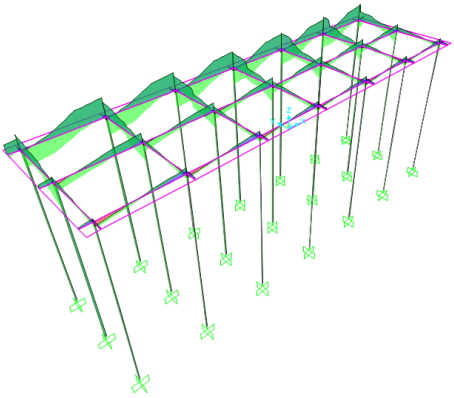
Gambar 5.66 Tampak 3D Trestle



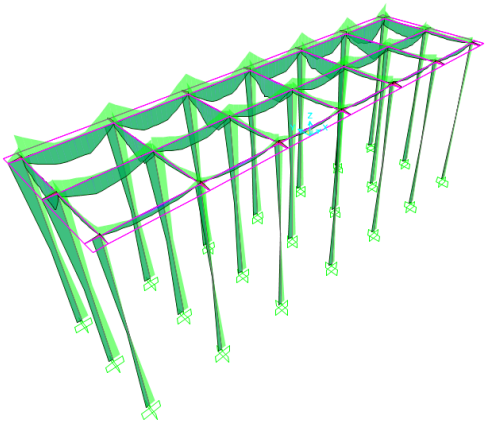
Gambar 5.67 Jalur Truk dan MHC



Gambar 5.68 Kombinasi Envelope Gaya Aksial pada Trestle



Gambar 5.69 Kombinasi Envelope Gaya Geser V22



Gambar 5.70 Kombinasi Envelope Gaya Momen M33

Tabel 5.41 Rekapitulasi Gaya Dalam Struktur Balok

Balok	Frame	Kombinasi	Momen	Geser	Torsi	Aksial
			kgm	kg	kgm	kg
Melintang	28	DL+MHC+0,3Ex+1Ey	63531,51			
	36	DL+MHC+0,3Ex+1Ey	-29109,6			
	28	DL+MHC+0,3Ex+1Ey		-49868,8		
	28	DL+MHC+1Ex+0,3Ey			17410,66	
	26	DL+0,3Ex+1Ey				23,22
Memanjang	62	DL+MHC+1Ex+0,3Ey	59810,26			
	59	DL+MHC+1Ex+0,3Ey	-51018,7			
	62	DL+MHC+1Ex+0,3Ey		38852,13		
	59	DL+MHC+0,3Ex+1Ey			-17019,9	
	46	DL+1Ex+0,3Ey				23,59

(sumber: Analisa SAP2000 v.18)

5.11.3 Penulangan Balok Melintang

A. Data perencanaan balok melintang

1. Mutu beton
   - σ'_{bk} = 350 kg/cm^2 (K-350)
   - σ'_{b} = 115,5 kg/cm^2
   - E_b = 119733 kg/cm^2

2. Mutu baja
   - σ_{au} = 320 Mpa = 3200 kg/cm^2 (U-32)
   - σ_a = σ'_a = 1850 kg/cm^2
   - σ'_{au} = 2780 kg/cm^2
   - Ea = 2,1 x 10^6 kg/cm^2

3. Komponen balok melintang
   - D = 25 mm (lentur)
     = 16 mm (geser)
   - h_t = 1200 mm
   - b = 800 mm
   - c = 70 mm
   - n_t = Angka ekivalensi antara modulus elastisitas baja dengan modulus tekan beton

$n_t = \frac{E_a}{E_b} = \frac{2100000}{119733} = 17{,}54$

$\phi_0 = \frac{\sigma_a}{(n_t \times \sigma'_b)} = \frac{1850}{(17{,}54 \times 115{,}5)} = 0{,}91$

4. Momen balok melintang

Momen pada balok diambil nilai maksimum untuk menyelaraskan tulangan setiap komponen balok melintang

Ml = 63532 kgm

Mt = -29110 kgm

B. Perhitungan tulangan lentur

1. Lapangan

Ml = 63532 kgm

h = h_t – c – Dgeser – 0,5Dlentur

= 1200 – 70 – 16 – 12,5

= 1101,5 mm

$C_a = \frac{h}{\sqrt{\frac{n \times M}{b \times \sigma_a}}} = \frac{110{,}15}{\sqrt{\frac{17{,}54 \times 63532}{0{,}8 \times 1850}}} = 4{,}014$

Dari tabel Perhitungan Lentur Cara-n "Konstruksi Beton Indonesia" dengan Ca = 4,014 dan δ = 0 didapat:

ϕ = 2,226 > ϕ_0 = 0,91 (OK)

100nω = 6,964

ω = 0,00397

a. Luas tulangan tarik yang diperlukan :

$A_{min} = \frac{12}{\sigma'_{au}} \times b \times h$ (PBI '71 pasal 9.3 ayat (2))

$= \frac{12}{2780} \times 80 \times 110{,}15$

= 38,04 cm^2 = 3804 mm^2

A = ω×b×h

= 0,00397 x 800 x 110,15

= 3499 mm^2

A = 3499 mm^2 < A_{min} = 3804 mm^2

A = 3804 mm^2

Dipasang 1 baris 8D25 (As = 3927 mm^2)

b. Luas tulangan samping yang diperlukan:

A = 10% x A_s (PBI '71 pasal 9.3 ayat (5))

= 10% x 3927

= 392,7 mm^2

Dipasang 2D25 (As = 982 mm^2)

c. Jarak tulangan tarik

s_{min} = 3 cm (PBI '71 Pasal 8.16 ayat (1))

s_{min} = 1,5 x Dlentur

= 1,5 x 25

= 37,5 mm

s_{min} = 3 cm

$$s = \frac{b-(2\times c)-(2\times Dgeser)-Dlentur}{n-1}$$

$$= \frac{800-(2\times 70)-(2\times 16)-25}{8-1}$$

s = 86,14 mm > s_{min} = 60 mm (OK)

d. 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 ωp, C3, C4 dan C5 (lihat Tabel 2.28).

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

$$\omega_p=\frac{A}{b\times h}$$

Dimana:

α = 1 (tulangan ulir)

c = 7 cm

d = 2,5 cm

σ_a = 1850 kg/cm^2

A_s = 3927 mm^2

b = 800 mm

h = 1101,5 mm
C_3 = 1,5
C_4 = 0,16
C_5 = 30
$\omega_p = \frac{3927}{800\times1101,5} = 0,00297$
$w = 1\left(1,5\cdot7+0,16\cdot\frac{2,5}{0,00297}\right)\cdot\left(1850-\frac{30}{0,00297}\right)\cdot10^{-6}$
w = -1,197 cm < 0,01 cm (OK)

2. Tumpuan

Mt = 29110 kgm
h = h_t – c – Dgeser – 0,5Dlentur
= 1200 – 70 – 16 – 12,5
= 1101,5 mm
$C_a = \frac{h}{\sqrt{\frac{n\times M}{b\times\sigma_a}}} = \frac{110,15}{\sqrt{\frac{17,54\times29110}{0,8\times1850}}} = 5,931$

Dari tabel Perhitungan Lentur Cara-n "Konstruksi Beton Indonesia" dengan Ca = 5,931 dan δ = 0 didapat:
ϕ = 3,566 > ϕ_0 = 0,91 (OK)
100nω = 3,07
ω = 0,00175

a. Luas tulangan tarik yang diperlukan :

$A_{min} = \frac{12}{\sigma'_{au}}\times b\times h$
$= \frac{12}{2780}\times 80\times 110,15$
= 38,04 cm^2 = 3804 mm^2
A = ω×b×h
= 0,00175 x 800 x 1101,5
= 1542 mm^2

A = 1542 mm^2 < A_{min} = 3804 mm^2
A = 3804 mm^2
Dipasang 1 baris 8D25 (As = 3927 mm^2)

b. Luas tulangan samping yang diperlukan:

A = 10% x A_s

= 10% x 3927

= 441,8 mm^2

Dipasang 2D25 (As = 982 mm^2)

c. Jarak tulangan tarik

s_{min} = 3 cm (PBI '71 Pasal 8.16 ayat (1))

s_{min} = 1,5 x Dlentur

= 1,5 x 25

= 3,75 cm

s_{min} = 6 cm

$$s = \frac{b-(2\times c)-(2\times Dgeser)-Dlentur}{n-1}$$

$$= \frac{800-(2\times 70)-(2\times 16)-25}{8-1}$$

s = 86,14 mm > s_{min} = 60 mm (OK)

d. 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 ωp, C3, C4 dan C5 (lihat Tabel 2.28).

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

$$\omega_p=\frac{A}{b\times h}$$

Dimana:

α = 1 (tulangan ulir)

c = 7 cm

d = 2,5 cm

σ_a = 1850 kg/cm^2

As = 3927 mm^2

b = 800 mm

h = 1101,5 mm
C_3 = 1,5
C_4 = 0,16
C_5 = 30
$\omega_p = \frac{3927}{800 \times 1101,5} = 0,00297$
$w = 1\left(1,5 \cdot 7 + 0,16 \cdot \frac{2,5}{0,00297}\right) \cdot \left(1850 - \frac{30}{0,00297}\right) \cdot 10^{-6}$
w = -1,197 cm < 0,01 cm (OK)

C. Perhitungan tulangan geser

1. Tulangan geser lentur:

V_u = 49869 kg

$$\tau_b = \frac{V_u}{b \times \frac{7}{8} h} = \frac{49869}{80 \times \frac{7}{8} 110,15} = 6,47 \text{ kg/cm}^2$$

2. Tulangan geser puntir

Untuk $h_t > b$:

h_t = 1200 mm
b = 800 mm
T_u = 17411 kgm

$$\psi = 3 + \frac{2,6}{0,45 + \frac{h_t}{b}} = 3 + \frac{2,6}{0,45 + \frac{1200}{800}} = 4,33$$

$$\tau'_b = \frac{\psi \times T_u}{h_t \times b^2} = \frac{4,33 \times 1741100}{120 \times 80^2} = 9,82 \text{ kg/cm}^2$$

3. Kontrol dimensi balok

Tegangan beton yang diizinkan berdasarkan PBI ’71 tabel 10.4.2 akibat geser lentur dengan puntir, dengan tulangan geser:

Untuk pembebanan tetap:

$\bar{\tau}_{bm-t} = 1{,}35\sqrt{\sigma'_{bk}}$

$= 1{,}35\sqrt{350}$

$= 25{,}26$ kg/cm2

Untuk pembebanan sementara:

$\bar{\tau}_{bm-s} = 2{,}12\sqrt{\sigma'_{bk}}$

$= 2{,}12\sqrt{350}$

$= 39{,}66$ kg/cm^2

$\tau_b + \tau'_b \leq \bar{\tau}_{bm\text{-}t}$ (PBI ‘71 pasal 11.8 ayat (2))

$\tau_b + \tau'_b = 6{,}47 + 9{,}82$

$= 16{,}29$ kg/cm^2

$\tau_b + \tau'_b = 16{,}29$ kg/cm^2 $\leq \bar{\tau}_{bm\text{-}t} = 25{,}26$ kg/cm^2 (OK)

Dimensi balok tidak perlu diperbesar.

4. Jarak tulangan geser

a. Tulangan geser di tumpuan balok

$\tau_b < \tau'_{bm-t}$ (OK)

$\tau_b < \tau'_{bm-s}$ (OK)

Maka diperlukan tulangan geser

Direncanakan tulangan geser :

Diameter = 16 mm

As = 4,02 cm^2

as $< \frac{As \times \sigma'_a}{\tau_b \times b}$

$= \frac{4{,}02 \times 1850}{6{,}47 \times 80}$

$= 14{,}38$ cm

Perencanaan jarak tulangan geser sesuai PBI ’71 pasal 9.3.6

s < 30 cm

s $< 2/3 \times h_t$
$< 2/3 \times 1200$
< 80 cm
Digunakan s = 10 cm
Jadi dipasang tulangan geser D16 – 100

b. Tulangan geser di daerah > 1/5 dari ujung balok :

$\tau_b = \frac{2}{3} \times 6{,}47$

$= 4{,}31$ kg/cm^2

$\tau_b < \tau'_{bm-t}$ (OK)

$\tau_b < \tau'_{bm-s}$ (OK)

Maka diperlukan tulangan geser
Direncanakan tulangan geser :
Diameter = 16 mm
As = 4,02 cm^2

$as < \frac{As \times \sigma'_a}{\tau_b \times b}$

$= \frac{4{,}02 \times 1850}{4{,}31 \times 80}$

$= 21{,}57$ cm

Perencanaan jarak tulangan geser sesuai PBI ’71 pasal 9.3.6
s < 30 cm
s $< 2/3 \times h_t$
$< 2/3 \times 1200$
< 80 cm
Digunakan s = 20 cm
Jadi dipasang tulangan geser D16 –200 mm

5.11.4 Penulangan Balok Memanjang

A. Data perencanaan balok memanjang

1. Mutu beton

σ'_{bk} = 350 kg/cm^2 (K-350)
σ'_b = 115,5 kg/cm^2

E_b = 119733 kg/cm^2

2. Mutu baja
   σ_{au} = 320 Mpa = 3200 kg/cm^2 (U-32)
   σ_a = σ'_a = 1850 kg/cm^2
   σ'_{au} = 2780 kg/cm^2
   Ea = 2,1 x 10^6 kg/cm^2

3. Komponen balok memanjang
   D = 25 mm (lentur)
   = 16 mm (geser)
   h_t = 1200 mm
   b = 800 mm
   c = 70 mm
   n_t = Angka ekivalensi antara modulus elastisitas baja dengan modulus tekan beton
   $n_t = \frac{E_a}{E_b} = \frac{2100000}{119733} = 17{,}54$
   $\phi_0 = \frac{\sigma_a}{(n_t \times \sigma'_b)} = \frac{1850}{(17{,}54 \times 115{,}5)} = 0{,}91$

4. Momen balok memanjang
   Momen pada balok diambil nilai maksimum untuk menyelaraskan tulangan setiap komponen balok memanjang
   Ml = 59810 kgm
   Mt = -51019 kgm

B. Perhitungan tulangan lentur

1. Lapangan
   Ml = 59810 kgm
   h = h_t – c – Dgeser – 0,5Dlentur
   = 1200 – 70 – 16 – 12,5
   = 1101,5 mm
   $C_a = \frac{h}{\sqrt{\frac{n \times M}{b \times \sigma_a}}} = \frac{110{,}15}{\sqrt{\frac{17{,}54 \times 59810}{0{,}8 \times 1850}}} = 4{,}137$

Dari tabel Perhitungan Lentur Cara-n "Konstruksi Beton Indonesia" dengan Ca = 4,137 dan δ = 0 didapat:

ϕ = 2,311 > ϕ_0 = 0,91 (OK)

100nω = 6,533

ω = 0,00372

a. Luas tulangan tarik yang diperlukan :

$A_{min} = \frac{12}{\sigma'_{au}} \times b \times h$ (PBI '71 pasal 9.3 ayat (2))

$= \frac{12}{2780} \times 80 \times 110{,}15$

$= 38{,}04\ cm^2 = 3804\ mm^2$

$A = \omega \times b \times h$

$= 0{,}00372 \times 800 \times 110{,}15$

$= 3282\ mm^2$

$A = 3282\ mm^2 < A_{min} = 3804\ mm^2$

$A = 3804\ mm^2$

Dipasang 1 baris 8D25 ($As = 3927\ mm^2$)

b. Luas tulangan samping yang diperlukan:

$A = 10\% \times A_s$ (PBI '71 pasal 9.3 ayat (5))

$= 10\% \times 3927$

$= 392{,}7\ mm^2$

Dipasang 2D25 ($As = 982\ mm^2$)

c. Jarak tulangan tarik

s_{min} = 3 cm (PBI '71 Pasal 8.16 ayat (1))

s_{min} = 1,5 x Dlentur

= 1,5 x 25

= 37,5 mm

$s = \frac{b-(2\times c)-(2\times Dgeser)-Dlentur}{n-1}$

$= \frac{800-(2\times 70)-(2\times 16)-25}{8-1}$

s = 86,14 mm > s_{min} = 37,5 mm (OK)

d. 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 ωp, C3, C4 dan C5 (lihat Tabel 2.28).

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

$$\omega_p=\frac{A}{b\times h}$$

Dimana:

α = 1 (tulangan ulir)
c = 7 cm
d = 2,5 cm
σ_a = 1850 kg/cm^2
A_s = 3804 mm^2
b = 800 mm
h = 1101,5 mm
C_3 = 1,5
C_4 = 0,16
C_5 = 30
ω_p = $\frac{3804}{800\times1101,5}$ =0,00297
w = $1\left(1,5\cdot7+0,16\cdot\frac{2,5}{0,00297}\right)\cdot\left(1850-\frac{30}{0,00297}\right)\cdot10^{-6}$
w = -1,197 cm < 0,01 cm (OK)

2. Tumpuan
Mt = 51019 kgm
h = h_t – c – Dgeser – 0,5Dlentur
= 1200 – 70 – 16 – 12,5
= 1101,5 mm
C_a = $\frac{h}{\sqrt{\frac{n\times M}{b\times\sigma_a}}}=\frac{110,15}{\sqrt{\frac{17,54\times51019}{0,8\times1850}}}=4,480$

Dari tabel Perhitungan Lentur Cara-n "Konstruksi Beton Indonesia" dengan Ca = 4,480 dan δ = 0 didapat:

ϕ = 2,546 > ϕ_0 = 0,91 (OK)
100nω = 5,538
ω = 0,00316

a. Luas tulangan tarik yang diperlukan :

$A_{min} = \frac{12}{\sigma'_{au}} \times b \times h$

$= \frac{12}{2780} \times 80 \times 110{,}15$

$= 38{,}04\ cm^2 = 3804\ mm^2$

$A = \omega \times b \times h$

$= 0{,}00316 \times 800 \times 1101{,}5$

$= 2782\ mm^2$

$A = 2782\ mm^2 < A_{min} = 3804\ mm^2$

$A = 3804\ mm^2$

Dipasang 1 baris 8D25 ($As = 3927\ mm^2$)

b. Luas tulangan samping yang diperlukan:

$A = 10\% \times A_s$ (PBI '71 pasal 9.3 ayat (5))

$= 10\% \times 3927$

$= 392{,}7\ mm^2$

Dipasang 2D25 ($As = 982\ mm^2$)

c. Jarak tulangan tarik

s_{min} = 3 cm (PBI '71 Pasal 8.16 ayat (1))

s_{min} = 1,5 x Dlentur

= 1,5 x 25

= 37,5 mm

$s = \frac{b-(2\times c)-(2\times Dgeser)-Dlentur}{n-1}$

$= \frac{800-(2\times 70)-(2\times 16)-25}{8-1}$

s = 86,14 mm > s_{min} = 37,5 mm (OK)

d. 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 ωp, C3, C4 dan C5 (lihat Tabel 2.28).

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

$$\omega_p=\frac{A}{b\times h}$$

Dimana:

α = 1 (tulangan ulir)
c = 7 cm
d = 2,5 cm
σ_a = 1850 kg/cm^2
A_s = 3804 mm^2
b = 800 mm
h = 1101,5 mm
C_3 = 1,5
C_4 = 0,16
C_5 = 30
ω_p = $\frac{3804}{800\times1101,5}$ =0,00297
w = $1\left(1,5\cdot7+0,16\cdot\frac{2,5}{0,00297}\right)\cdot\left(1850-\frac{30}{0,00297}\right)\cdot10^{-6}$
w = -1,197 cm < 0,01 cm (OK)

C. Perhitungan tulangan geser

1. Tulangan geser lentur:
   V_u = 38852 kg
   τ_b = $\frac{V_u}{b\times\frac{7}{8}h}$
   = $\frac{38852}{80\times\frac{7}{8}110,15}$
   = 5,04 kg/cm^2

2. Tulangan geser puntir
   Untuk h_t > b:
   h_t = 1200 mm

b = 800 mm

T_u = 17020 kgm

$$\psi = 3+\frac{2,6}{0,45+\frac{h_t}{b}}$$

$$= 3+\frac{2,6}{0,45+\frac{1200}{800}}$$

$$= 4,33$$

$$\tau'_b = \frac{\psi \times T_u}{h_t \times b^2}$$

$$= \frac{4,33 \times 1702000}{120 \times 80^2}$$

$$= 9,6 \text{ kg/cm}^2$$

3. Kontrol dimensi balok

Tegangan beton yang diizinkan berdasarkan PBI '71 tabel 10.4.2 akibat geser lentur dengan puntir, dengan tulangan geser:

Untuk pembebanan tetap:

$$\bar{\tau}_{bm-t} = 1,35\sqrt{\sigma'_{bk}}$$

$$= 1,35\sqrt{350}$$

$$= 25,26 \text{ kg/cm2}$$

Untuk pembebanan sementara:

$$\bar{\tau}_{bm-s} = 2,12\sqrt{\sigma'_{bk}}$$

$$= 2,12\sqrt{350}$$

$$= 39,66 \text{ kg/cm}^2$$

$\tau_b + \tau'_b \leq \bar{\tau}_{bm-t}$ (PBI '71 pasal 11.8 ayat (2))

$\tau_b + \tau'_b = 5,04 + 9,6$

$= 14,64 \text{ kg/cm}^2$

$\tau_b + \tau'_b = 14,64 \text{ kg/cm}^2 \leq \bar{\tau}_{bm-t} = 25,26 \text{ kg/cm}^2$ (OK)

Dimensi balok tidak perlu diperbesar.

4. Jarak tulangan geser

a. Tulangan geser di tumpuan balok

$\tau_b < \tau'_{bm-t}$ (OK)

$\tau_b < \tau'_{bm-s}$ (OK)

Maka diperlukan tulangan geser
Direncanakan tulangan geser :
Diameter = 16 mm
As = 4,02 cm^2

as $< \frac{As \times \sigma'_a}{\tau_b \times b}$

$= \frac{4,02 \times 1850}{5,04 \times 80}$

= 18,45 cm

Perencanaan jarak tulangan geser sesuai PBI '71 pasal 9.3.6
s < 30 cm
s < 2/3 × h_t
< 2/3 × 1200
< 80 cm
Digunakan s = 15 cm
Jadi dipasang tulangan geser D16 – 150

b. Tulangan geser di daerah > 1/5 dari ujung balok :

$\tau_b = \frac{2}{3} \times 5,04$

= 3,36 kg/cm^2

$\tau_b < \tau'_{bm-t}$ (OK)

$\tau_b < \tau'_{bm-s}$ (OK)

Maka diperlukan tulangan geser
Direncanakan tulangan geser :
Diameter = 16 mm
As = 4,02 cm^2

as $< \frac{As \times \sigma'_a}{\tau_b \times b}$

$= \frac{4,02 \times 1850}{3,36 \times 80}$

= 27,7 cm

Perencanaan jarak tulangan geser sesuai PBI '71 pasal 9.3.6
s < 30 cm

s < 2/3 × h
< 2/3 × 1200
< 80 cm
Digunakan s = 25 cm
Jadi dipasang tulangan geser D16 –250 mm

5.11.5 Penulangan Poer Tunggal

Untuk struktur trestle hanya menggunakan 1 jenis poer yaitu poer tunggal dengan dimensi 200 x 200 x 100 cm

Tabel 5.42 Rekapitulasi Gaya Dalam Pada Poer

Poer	Frame	Kombinasi	Momen	Geser	Torsi	Aksial
			kgm	kg	kgm	kg
Tunggal	3	DL+LL+1Ex+0,3Ey	11555			
	35	DL+LL+1Ex+0,3Ey	-11555			
	36	DL+LL+1Ex+0,3Ey		-1223		
	69	DL+LL+MHC+0,3Ex+1Ey			78	
	78	DL+LL+1Ex+0,3Ey				164840

(sumber: Analisa SAP2000 v.18)

A. Data perencanaan poer tunggal

1. Mutu beton
   σ'_{bk} = 350 kg/cm^2 (K-350)
   σ'_b = 115,5 kg/cm^2
   E_b = 119733 kg/cm^2

2. Mutu baja
   σ_{au} = 320 Mpa = 3200 kg/cm^2 (U-32)
   σ_a = σ'_a = 1850 kg/cm^2
   σ'_{au} = 2780 kg/cm^2
   Ea = 2,1 x 10^6 kg/cm^2

3. Komponen konsol poer
   D = 25 mm (lentur)
   = 19 mm (geser)
   h_t = 1000 mm
   b = 2000 mm

p = 2000 mm
c = 70 mm
n_t = Angka ekivalensi antara modulus elastisitas baja dengan modulus tekan beton

$n_t = \frac{E_a}{E_b} = \frac{2100000}{119733} = 17{,}54$

$\phi_0 = \frac{\sigma_a}{(n_t \times \sigma'_b)} = \frac{1850}{(17{,}54 \times 115{,}5)} = 0{,}91$

4. Momen

Momen pada poer tunggal diambil nilai maksimum untuk menyelaraskan tulangan setiap komponen poer tunggal

P_{max} = 164840 kg

e $= \frac{1}{2}(b_{poer} - b_{balok})$
$= \frac{1}{2}(2 - 0{,}8)$
= 0,6 m

M_{max} = 11555 kgm

M_{ult} = P_{max} x e - M_{max}
= 164840 x 0,6 – 11555
= 87349 kgm

B. Penulangan poer tunggal

1. Lapangan dan tumpuan.

Ml = 87349 kgm

h = h_t – c – Dgeser – 0,5Dlentur
= 1000 – 70 – 19 – 12,5
= 898,5 mm

$C_a = \frac{h}{\sqrt{\frac{n \times M}{b \times \sigma_a}}} = \frac{89{,}85}{\sqrt{\frac{17{,}54 \times 87349}{2 \times 1850}}} = 4{,}416$

Dari tabel Perhitungan Lentur Cara-n "Konstruksi Beton Indonesia" dengan Ca = 4,416 dan δ = 1 didapat:

ϕ = 2,846 > ϕ_0 = 0,91 (OK)

$100n\omega = 5{,}828$

$\omega = 0{,}00332$

a. Luas tulangan tarik yang diperlukan :

$A_{min} = \frac{12}{\sigma'_{au}} \times b \times h$ (PBI '71 pasal 9.3 ayat (2))

$= \frac{12}{2780} \times 200 \times 89{,}85$

$= 77{,}57\ cm^2 = 7757\ mm^2$

$A = \omega \times b \times h$

$= 0{,}00332 \times 2000 \times 898{,}5$

$= 5971\ mm^2$

$A = 5971\ mm^2 < A_{min} = 7757\ mm^2$

$A = 7757\ mm^2$

Dipasang 1 baris,16D25 ($As = 7854\ mm^2$)

b. Luas tulangan tekan:

$A_{tarik} = \delta \times A_{tekan}$

$= 1 \times 7854$

$= 7854\ mm^2$

Dipasang 1 baris, 16D25 ($As = 7854\ mm^2$)

c. Luas tulangan samping yang diperlukan:

$A = 10\% \times A_s$ (PBI '71 pasal 9.3 ayat (5))

$= 10\% \times 7854$

$= 785\ mm^2$

Dipasang 2D25 ($As = 982\ mm^2$)

d. Jarak tulangan tarik

$s_{min} = 3\ cm$ (PBI '71 Pasal 8.16 ayat (1))

$s_{min} = 1{,}5 \times Dlentur$

$= 1{,}5 \times 25$

$= 37{,}5\ mm$

$s = \frac{b-(2\times c)-(2\times Dgeser)-Dlentur}{n-1}$

$= \frac{1800-(2\times 70)-(2\times 19)-25}{16-1}$

s = 119 mm > s_{min} = 37,5 mm (OK)

e. 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 ωp, C3, C4 dan C5 (lihat Tabel 2.28).

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

$$\omega_p=\frac{A}{b\times h}$$

Dimana:

α = 1 (tulangan ulir)

c = 7 cm

d = 2,5 cm

σ_a = 1850 kg/cm^2

A_s = 7854 mm^2

b = 2000 mm

h = 898,5 mm

C_3 = 1,5

C_4 = 0,16

C_5 = 30

$\omega_p = \frac{7854}{2000x898,5} = 0,00437$

$w = 1\left(1,5\cdot 7+0,16\cdot\frac{2,5}{0,00437}\right)\cdot\left(1850-\frac{30}{0,00437}\right)\cdot 10^{-6}$

w = -0,51 cm < 0,01 cm (OK)

C. Kontrol kemampuan tulangan menahan gaya geser

$A_h = \frac{P}{\sigma_a\cdot\mu} < A_s$ (PBI '71 pasal 11.10 ayat (4))

Dimana ;

A_h = luas tulangan efektif yang dibutuhkan

μ = 1,4 (dicor bersamaan dengan pile)

$A_h = \frac{164840}{1850\cdot 1,4}$

A_h = 0,636 cm^2 = 6364 mm^2
Pakai tulangan 13D25 (As= 6381 mm^2)
A_h = 6381 mm^2 < A_s = 6381 mm^2) (OK)

D. Kontrol geser pons

$\tau_{bp} = \frac{P}{\pi \cdot (c+h_t) \cdot h_t} \leq \tau_{bm}$ (PBI '71 pasal 11.9. ayat (2))

Dimana:
τ_{bp} = tegangan aktual yang terjadi pada beban
P = gaya aksial maksimum
= 164840 kg
c = diameter tiang pancang
= 100 cm
h_t = tinggi pile cap
= 100 cm
τ_{bm} = tegangan izin beton
$= 1{,}30\sqrt{\sigma'_{bk}}$
$= 1{,}30\sqrt{350}$
= 24,32 kg/cm^2
$\tau_{bp} = \frac{164840}{\pi \cdot (100+100) \cdot 100}$
τ_{bp} = 2,62 kg/cm^2 ≤ τ_{bm} = 24,32 kg/cm^2 (OK)
Karena geser pons yang terjadi lebih kecil dari tegangan izin beton maka poer dinyatakan aman dari gaya pons atau keruntuhan yang terjadi akibat geser pons.

E. Kontrol kekuatan tulangan dan beton pada sambungan antara pile-pile cap-balok dalam menerima gaya geser

1. Kekuatan beton dalam menerima gaya geser (3D25)

a. Dimana, L = 200 mm
b. V_{nt} = n x L x d x f'c
= 3 x 200 x 25 x 29
= 435000 N

c. $V_{nt} > V_u = 435000\ N > 29830\ N$ (OK)

2. Kekuatan tulangan angker (2D25)

a. $P_{nt} = \phi.As.fy$
b. Dimana, $\phi = 0,75$ (shear reduction factor)
c. $P_{nt} = 0,75 \times 1018 \times 320 = 408281\ N$
$= 244320\ N > 29830\ N$ (OK)

Dengan perhitungan yang sama dengan perhitungan tulangan untuk poer tunggal didapat perhitungan tulangan poer ganda seperti yang disajikan pada Tabel 5.43.

Tabel 5.43 Rekapitulasi Penulangan Struktur Balok

No.	Komponen	Tulangan Lapangan			Tulangan Tumpuan			Tulangan Geser	
		Tarik	Samping	Tekan	Tarik	Samping	Tekan	Lapangan	Tumpuan
1.	Balok Melintang	8D25	2D25	-	8D25	2D25	-	D16-200	D16-100
2.	Balok Memanjang	8D25	2D25	-	8D25	2D25	-	D16-250	D16-150
3.	Poer Tunggal	16D25	2D25	16D25	16D25	2D25	16D25	-	-

5.12 Perencanaan Tiang Pancang Trestle

A. Gaya dalam yang terjadi pada tiang

Gaya dalam yang terjadi pada tiang pancang tegak dapat dilihat pada Tabel 5.44

Tabel 5.44 Rekapitulasi Gaya Dalam pada Tiang Pancang

Tipe Tiang	Frame	Kombinasi	Gaya Dalam	Nilai	
				Nilai	Satuan
Tegak	11	DL+LL+MHC	P (tekan)	-214480,8	kg
			P (tarik)	0	kg
	20	DL+LL+MHC+1Ex+0,3Ey	V2	-2554,49	kg
	4	DL+LL+MHC+0,3Ex+1Ey	V3	2739,81	kg
	4	DL+LL+MHC+0,3Ex+1Ey	M2	30854,35	kgm
	20	DL+LL+MHC+1Ex+0,3Ey	M3	-28342,92	kgm
Defleksi	26	DL+LL+MM+1Ex+0,3Ey	U1	-5,30	mm
	18	DL+LL+MM+0,3Ex+1Ey	U2	-5,60	mm

(sumber: Analisa SAP2000 v.18)

B. Spesifikasi tiang pancang

Tiang pancang baja yang digunakan memiliki spesifikasi sebagai berikut:

1. Mutu baja:
   Jenis = ASTM A252 Grade 2
   fy = 240 MPa
   fu = 415 MPa

2. Dimensi tiang:
   D = 1000 mm
   t = 16 mm
   Ap = 495 cm^2
   W = 388 kg/m
   I = 598797 cm^4
   Sx = 11976 cm^3
   r = 34,8 cm

C. Daya dukung tiang akibat beban vertikal

Perhitungan daya dukung tiang pancang menggunakan metode Luciano Decourt (1982), dalam Wahyudi, P. D. (n.d.). *Daya Dukung Pondasi Dalam.* Surabaya: itspress. Contoh perhitungan daya dukung tanah pada kedalaman -21 m di bawah tanah (seabed) sebagai berikut:

1. Daya dukung di ujung tiang
   $Q_P = \alpha \times \bar{N}p' \times K \times A_P$
   Dimana :
   α = 1 (driven pile)
   $\bar{N}p$ = 21,11
   $\bar{N}p'$ = 15 + 0,5 ($\bar{N}p$-15) (terendam air)
   = 15 + 0,5 (21,11 – 15)
   = 18,06
   K = 20 t/m^2 (lanau berlempung)
   A_P = 0,79 m^2
   Q_P = 1 x 21,11 x 20 x 0,79
   = 283,62 t

2. Daya dukung akibat gesekan tanah dengan tiang

$Q_S = \beta \times \left(\frac{\bar{N}_S}{3} + 1\right) \times A_S$

$\beta = 1$ (driven pile)

$\check{N}s = 13{,}48$

$A_S = \pi \times d \times h$

$= 3{,}14 \times 1 \times 21$

$= 65{,}97\ m^2$

$Q_S = 1 \times \left(\frac{13{,}48}{3} + 1\right) \times 65{,}97$

$= 362{,}52\ t$

3. Daya dukung ultimate dan izin

$Q_U = Q_P + Q_S$

$= 283{,}62 + 362{,}52$

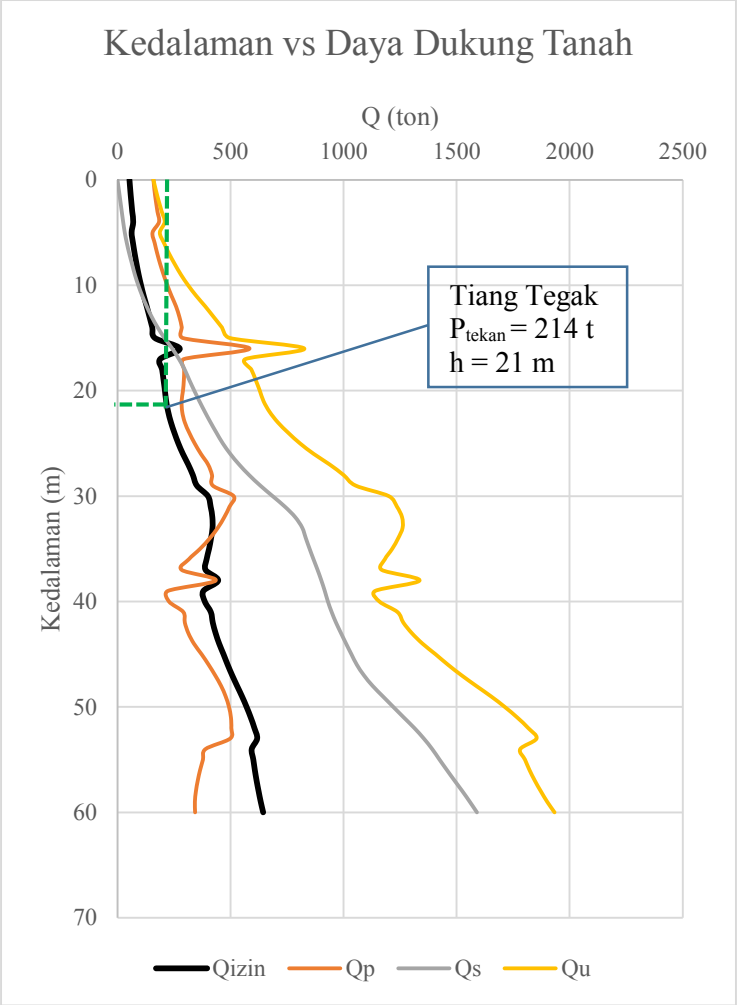
$= 646{,}14\ t$

$Q_{all} = \frac{Q_U}{SF}$

$= \frac{646{,}14}{3}$

$= 215\ t$

$Q_{all} = 215\ t > P_{tekan} = 214\ t$ (OK)



Gambar 5.71 Grafik Kedalaman-Daya Dukung Titik B4

D. Kontrol momen

Kontrol momen bertujuan untuk mengecek apakah momen bahan tiang pancang lebih besar dari momen

ultimate sehingga tiang pancang baja tidak mengalami retak atau leleh.

$$M_u = f_y \cdot S \geq M_u$$
$$M_u = f_y \cdot 1{,}5Z \geq M_u$$

Dimana:

fy = 2100 kg/cm^2

S = $D^2t - 2Dt^2 + \frac{4}{3}t^3$

= $1^2 \cdot 0{,}016 - 2 \cdot 1 \cdot 0{,}016^2 + \frac{4}{3} 0{,}0016^3$

= 0,0155 m^3

Z = $\frac{\pi}{32D}(D^4 - (D-2t)^4)$

= $\frac{\pi}{32 \cdot 1}(1^4 - (1 - 2 \cdot 0{,}016)^4)$

= 0,012 m^3

Mu = fy.S

= 24000.0,0155

= 372 tm

Mu = fy.1,5Z

= 24000.1,5. 0,012

= 432 tm

Momen tiang tegak:

M2 = 33,0 tm ≤ Mu = 372 tm (OK)

M3 = -24,6 tm ≤ Mu = 372 tm (OK)

Momen tiang miring:

M2 = 18,7 tm ≤ Mu = 372 tm (OK)

M3 = -12,7 tm ≤ Mu = 372 tm (OK)

E. Kontrol kekuatan bahan

Tegangan yang terjadi pada tiang pancang arah aksial harus lebih kecil dari tegangan izin pancang (fy). Tegangan tiang pancang dapat dicari dengan rumus berikut:

$$\sigma = \frac{P}{A} \pm \frac{M \cdot y}{I} < 0{,}4fy$$

Dimana:

P = 214881 kg

A = 495 cm^2
M = 30854 kgm
y = 0,5D = 50 cm
I = 598797 cm^4
$\sigma = \frac{214881}{495} + \frac{3085400 \cdot 50}{598797}$
= 691 kg/cm^2 < 0,4fy = 960 kg/cm^2

F. Kemampuan tiang berdiri sendiri

Frekuensi tiang (ωt) harus lebih besar dari frekuensi gelombang (ω) supaya tiang tidak bergoyang dan patah. Frekuensi tiang pancang dihitung dengan rumus berikut ini:

$$\omega t = 1{,}73 \sqrt{\frac{EI}{wl^3/g}}$$

Dimana:
E = 2 x 10^6 kg/cm^2
I = 598797 cm^4
w = W x l
= 388 x 12,5
= 4853 kg
l = 12,5 m = 1250 cm
g = 10 m/s^2
$\omega t = 1{,}73 \sqrt{\frac{2 \times 10^6 \cdot 598797}{4853 \cdot 1200^3/1000}}$
= 20 s

Frekuensi gelombang dapat dihitung dengan rumus :

$$\omega = \frac{1}{T}$$

Dimana:
T = 9,6 s
$\omega = \frac{1}{9{,}6}$
= 0,10 s

Karena ωt > ω maka tiang pancang tegak aman terhadap benturan gelombang.

G. Kontrol tekuk

$$P_{cr} = \frac{\pi \cdot E \cdot I_{min}}{(Z_f + e)^2} > Pu$$

Dimana :

e = 12,5 m

Zf = 5,5 m

E = 2 x 10^6 kg/cm^2

I_{min} = 598797 cm^4

$P_{cr} = \frac{\pi \cdot 2 \times 10^6 \cdot 598797}{(550+1250)^2}$

P_{cr} = 1219282 kg > P_u = 214481 kg

P_{cr} = 1219,3 ton > P_u = 214,5 ton (OK)

H. Kalendering

$$Q_u = \frac{\alpha \cdot W_h \cdot H}{S + 0{,}5 \cdot C} \cdot \frac{W_h + n^2 \cdot W_p}{W_h + W_p}$$

$$S = \left(\frac{\alpha \cdot W_h \cdot H}{Q_u} \cdot \frac{W_h + n^2 \cdot W_p}{W_h + W_p} \right) - 0{,}5 \cdot C$$

Dimana:

Q_u = P_{tekan} x SF

= 214 x 3

= 643,44 ton

α = 1,732 (hydraulic hammer)

W_h = 14 t

H = 1,5 m

C1 = 0 mm (tanpa cushion)

C2 = $\frac{Q_u \cdot L}{A_p \cdot E_p}$

= $\frac{643{,}44 \cdot 3380}{495 \cdot 2100}$

= 2,1 cm = 21 mm

C3 = 3 mm (tanah sedang)
C = C1+C2+C3
= 0 + 21 + 2
= 23 mm
n = 0,55 (hammer on steel pile without cushion)
L = $e - h_{balok} - 0{,}5h_{poer} + h_{pancang}$
= 12,5 – 1,2 – 0,5 + 21
= 33,8 m
W_p = L x W
= 33,8 x 0,388
= 13,123 t

$$S = \left(\frac{\alpha \cdot W_h \cdot H}{Q_u} \cdot \frac{W_h + n^2 \cdot W_p}{W_h + W_p}\right) - 0{,}5 \cdot C$$

$$= \left(\frac{1{,}732 \cdot 14 \cdot 1{,}5}{643{,}44} \cdot \frac{14 + 0{,}55^2 \cdot 13{,}123}{14 + 13{,}123}\right) - 0{,}5 \cdot 23$$

= 26 mm

Maka setting kalendering akhir adalah 26 mm/blow.

I. Tiang pancang terhadap korosi

Kontrol perlindungan tiang pancang terhadap korosi pada tiang pancang trestle sama seperti pada tiang pancang dermaga (subbab 5.6.I) yaitu tebal lapis pelindung polyethylene 3 mm

5.13 Perencanaan Komponen Pracetak Trestle

5.13.1 Perencanaan Pelat Pracetak

Ukuran pelat pracetak yang digunakan disesuaikan keperluan struktur (lihat Tabel 5.45). Pada pelat pracetak, beban yang bekerja pada saat pengangkatan (sebelum komposit) adalah beban sendiri. Sedangkan, beban yang bekerja pada saat sudah komposit adalah beban total pelat.

Tabel 5.45 Ukuran Pelat Konvensional dan Pracetak

Jenis Pelat	Dimensi Pelat Konvensional				Dimensi Pelat Pracetak			
	Panjang	Lebar	Tebal	Berat	Panjang	Lebar	Tebal	Berat
	(m)	(m)	(m)	(ton)	(m)	(m)	(m)	(ton)
A	7,5	6	0,4	52,20	7,5	2	0,2	8,70
B	6	1	0,4	6,96	7,5	1	0,2	4,35
C	1	1	0,4	1,16	1	1	0,2	0,58
D	7,5	1	0,4	8,70	7,5	1	0,2	4,35

A. Kontrol Pengangkatan dari Lokasi Penumpukan ke Lapangan (Beton Umur 7 Hari)

Setelah pekerjaan fabrikasi komponen pracetak selesai, pelat pracetak direncanakan diangkat menggunakan crawler crane untuk dipasang setelah pelat pracetak berumur 7 hari dimana pada umur ini direncanakan beton sudah hampir memenuhi kuat tekannya dengan konversi umur beton 0,65.

Dimana:

a = 2 m

b = 7,5 m

σ'_{bk} = 0,65 x 350

= 227,5 kg/cm^2

E = 2,1 x 10^6 kg/cm^2

$E_b = 6400\sqrt{\sigma'_{bk}}$

$= 6400\sqrt{227,5}$

= 96532 kg/cm^2

$nt = \frac{E}{E_b}$

$nt = \frac{2,1\times10^6}{96532}$

= 21,8

$\phi_0 = \frac{\sigma'_a}{(n_t\times\sigma'_b)} = \frac{1850}{(21,8\times115,5)} = 0,74$

1. Penulangan arah-X lapangan

w = γ_b x h

= 2,9 x 0,2

$= 0{,}58\ t/m^2 = 580\ kg/m^2$

Mlx $= 0{,}0107 \times w \times a \times b^2$
$= 0{,}0107 \times 580 \times 2 \times 7{,}5^2$
$= 698\ kgm$

c $= 70\ mm$

D $= 19\ mm$

hx $= h - c - 0{,}5D$(arah X)
$= 200 - 70 - 0{,}5.19$
$= 120{,}5\ mm$
$= 12{,}05\ cm$

$A_{st} = 284\ mm^2$

$C_a = \frac{h_x}{\sqrt{\frac{n_t \times M}{b \times \sigma'_a}}} = \frac{12{,}05}{\sqrt{\frac{18{,}7 \times 610{,}9}{1 \times 1850}}} = 4{,}85$

Dari tabel Perhitungan Lentur Cara-n "Konstruksi Beton Indonesia" dengan Ca = 4,85 dan $\delta = 0$ didapat:

$\phi = 2{,}802 > \phi_0 = 0{,}74$ (OK)

$100n\omega = 4{,}691 < 100n\omega_{komposit} = 10{,}79$ (OK)

5.13.2 Perencanaan Balok Pracetak

Dalam kontrol balok pracetak menggunakan balok memanjang tengah bentang sebagai contoh perhitungan.

A. Kontrol Pengangkatan dari Lokasi Penumpukan ke Lapangan (Beton Umur 7 Hari)

Dimana:

Ap $= 365\ mm^2$

q $= Ap \times \gamma_b$
$= 0{,}365 \times 2{,}9$
$= 1{,}06\ t/m$

Ml $= 1/10 \times q \times l^2$
$= 1/10 \times 1{,}06 \times 4{,}5^2$
$= 2{,}146\ tm$
$= 2146\ kgm$

$\sigma'_{bk} = 0{,}65 \times 350$
$= 227{,}5\ kg/cm^2$

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

E_b $= 6400\sqrt{\sigma'_{bk}}$

$= 6400\sqrt{227,5}$

$= 96532$ kg/cm^2

nt $= \frac{E}{E_b}$

$= \frac{2,1\times10^6}{96532}$

$= 21,8$

ϕ_0 $= \frac{\sigma'_a}{(n_t\times\sigma'_b)} = \frac{1850}{(21,8\times115,5)} = 0,74$

h $= h_t - c - D_{geser} - 0,5D_{lentur}$

$= 800 - 70 - 16 - 12,5$

$= 701,5$ mm

C_a $= \frac{h}{\sqrt{\frac{n\times M}{b\times\sigma_a}}} = \frac{70,15}{\sqrt{\frac{21,8\times2146}{0,8\times1850}}} = 12,47$

Dari tabel Perhitungan Lentur Cara-n "Konstruksi Beton Indonesia" dengan Ca = 12,47 dan δ = 0 didapat:

ϕ $= 8,009 > \phi_0 = 0,74$ (OK)

$100n\omega$ $= 0,693 < 100n\omega_{komposit} = 6,533$ (OK)

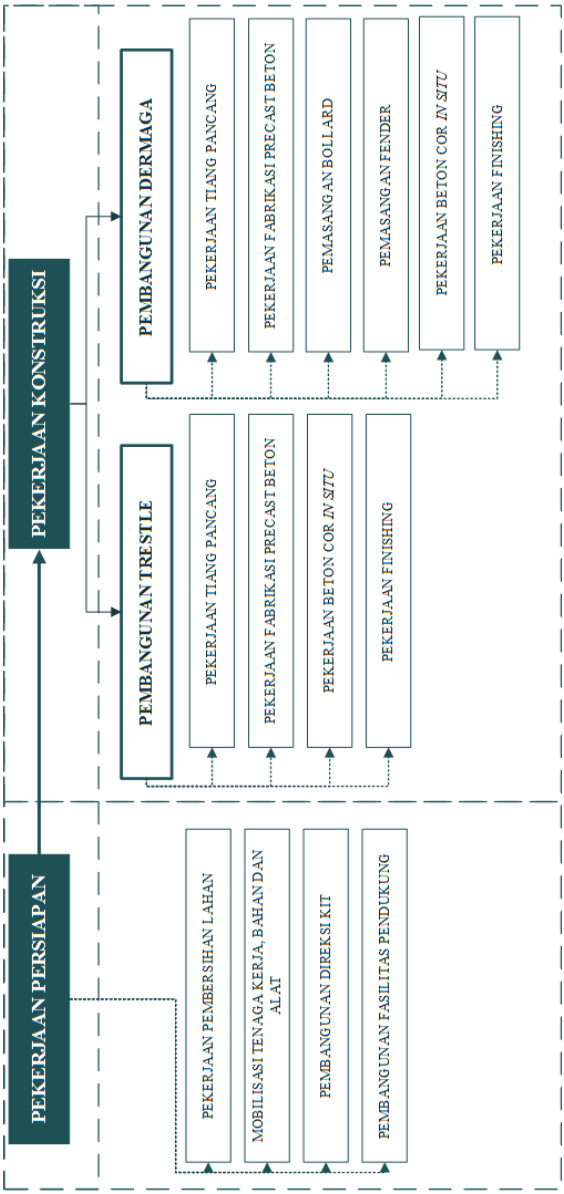
5.13.3 Perencanaan Poer Pracetak

Perencanaan poer pracetak pada struktur trestle sama seperti pada perencanaan poer pracetak pada struktur dermaga dimana berat poer pracetak 4,62 ton

BAB VI
METODE PELAKSANAAN KONSTRUKSI

6.1 Umum

Metode pelaksanaan konstruksi pada jetty disesuaikan dengan item pekerjaan di masing-masing struktur yaitu dermaga dan trestle. Tahapan pelaksanaan konstruksi dapat dilihat pada Gambar 6.1, tahapan pelaksanaan disesuaikan dengan penjadwalan dari yang dasar hingga detail untuk mempermudah dan memperjelas rencana anggaran biaya (RAB) kelak.



Gambar 6.1 Tahapan Pelaksanaan Konstruksi

6.2 Pekerjaan Persiapan Dermaga

Terdapat beberapa pekerjaan yang harus dilakukan sebelum konstruksi dermaga benar-benar dapat dilaksanakan.

1. Pembersihan lahan di sekitar proyek dari hal-hal yang akan mengganggu jalannya pelaksanaan proyek
2. Mobilisasi tenaga kerja, bahan dan alat ke lokasi
3. Pembangunan direksi kit seperti: kantor, toilet dan mess pekerja
4. Mengatur lokasi proyek beserta fasilitas-fasilitas yang dibutuhkan sedemikian hingga 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 penerangan di daerah konstruksi
    b. Gudang penyimpanan material dan alat yang tidak dapat terkena air seperti semen, pompa air, vibrator dll.
    c. Workshop : tempat untuk perakitan besi tulangan serta fabrikasi komponen pracetak dan penyimpanan komponen pracetak.
    d. Lapangan penumpukan sebagai tempat penumpukan sementara komponen pracetak setelah difabrikasi dan penumpukan material sebelum digunakan di lokasi proyek.

6.3 Pelaksanaan Pembangunan Dermaga dan Trestle

6.3.1 Pemancangan Tiang

Pekerjaan pertama pada konstruksi jetty 2 adalah pemancangan. Pemancangan dimulai setelah pengerukan daerah perairan lokasi jetty 2. Pemancangan dilakukan mulai dari sisi darat kemudian laut. Pemancangan pada konstruksi direncanakan menggunakan alat *hydraulic hammer* dikarenakan tinggi jatuh dapat diatur dan lebih bersih (tidak terdapat sisa oli pada tiang

pancang). Tiang pancang yang digunakan adalah tiang pancang pipa baja diameter 1000 mm dengan tebal 16 mm. Alat yang dipergunakan dalam pekerjaan pemancangan ini antara lain :

a. 1 buah kapal pontoon (lihat Gambar 6.2)
b. 1 buah kapal pancang (*piling barge*)(lihat Gambar 6.3)
c. 2 buah teodolit/waterpass

Gambar 6.2 Kapal Pontoon

Tahapan pemancangan adalah sebagai berikut :

1. Menandai posisi tanah yang akan dipancang
2. Pengiriman tiang pancang baja ke lokasi proyek
3. Menyiapkan alat pancang dan stok tiang pancang. Stok tiang pancang disiapkan bersama alat pancang pada kapal pancang. Untuk mempercepat pekerjaan pemancangan, kapal pontoon digunakan untuk mentransfer stok tiang pancang dari lapangan penumpukan menuju kapal pancang (lihat Gambar 6.3).

Gambar 6.3 Kapal Pancang

4. Pemancangan

   a. Tiang pancang dipasang pada alat pancang
   b. Tiang pancang dipasang helmet
   c. Tiang yang sudah siap dipancang, sebelumnya diperiksa dengan theodolit untuk menentukan ketepatan titik serta kelurusan/kemiringan tiang.
   d. Pemancangan dimulai dengan mengangkat dan menjatuhkan hammer secara terus-menerus ke atas helmet tiang yang sudah dipasang (lihat Gambar 6.4)
   e. 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. Berdasarkan data tanah dan perencanaan, kedalaman tiang pancang adalah:

      i. Tiang pancang tegak dermaga -28 m di bawah seabed.
      ii. Tiang pancang miring dermaga -22 m di bawah seabed

iii. Tiang pancang tegak trestle -21 m di bawah seabed

f. Pemancangan dapat dihentikan apabila selama 3 menit mencapai 25 blows per 25 mm. Lalu cek apakah elevasi telah sesuai dengan perencanaan menggunakan waterpass.

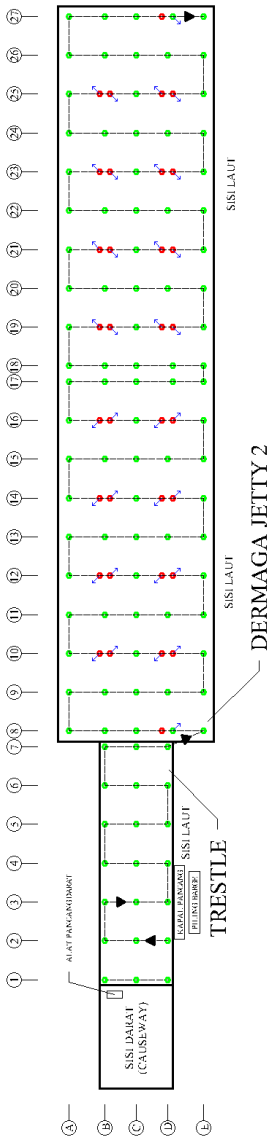
Gambar 6.4 Pemancangan Tiang Pancang Baja

5. 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
6. Pada tiang pancang terkahir yang akan disambung dilakukan pengolesan coaltar dan sarung beton untuk perlindungan dari karat. Pengolesan dilakukan dari ujung atas tiang pancang sampai -1.00 mLWS.
7. Pemasangan cincin tiang pancang.
8. Pemasangan tulangan spiral tiang pancang dari ujung atas tiang pancang sampai -2,80 m (Gambar 6.5)

9. Cor in-situ tahap 1 beton isian tiang pancang dari ujung tiang pancang sedalam -2,50 m.

Gambar 6.5 Tulangan Spiral Tiang Pancang

10. Di atas cincin tiang pancang, dipasangi lantai kerja sementara sekaligus sebagai tempat meletakkan poer pracetak.
Pemancangan dilakukan dari 2 arah yaitu sisi darat dengan dan sisi laut dengan menggunakan *piling barge* (kapal pancang). Urutan titik pemancangan dapat dilihat pada Gambar 6.6



Keterangan warna:
Hijau : tiang pancang tegak
Merah : tiang pancang miring
Biru : arah tiang pancang miring

Gambar 6.6 Arah Pemancangan Dermaga dan Trestle

6.3.2 Fabrikasi Komponen Pracetak

Fabrikasi atau pembuatan komponen pracetak dikerjakan bersamaan dengan pekerjaan pemancangan untuk menghemat waktu. Pekerjaan ini memerlukan ruang yang cukup dalam pelaksanaan fabrikasi dan tempat penumpukannya *(stock yard)*. Direncanakan terdapat workshop sebagai tempat fabrikasi komponen pracetak.

Komponen pracetak yang difabrikasi antara lain :

1. Pelat tebal 20 cm
   Ukuran :

Tabel 6.1 Dimensi Pelat Pracetak

Tipe	Dermaga			Trestle		
	Panjang (m)	Lebar (m)	Jumlah (buah)	Panjang (m)	Lebar (m)	Jumlah (buah)
A	7,5	1,75	144	7,5	2	12
B	7,5	2	108	6	1	12
C	6	1,5	4	1	1	4
D	7,5	1,5	4	6	1	4
E	7	2	4			
F	6	2	4			
G	2	2	4			
H	7,5	2	36			
I	2	1,5	4			

2. Balok memanjang
   Jumlah :

   a. 7,5 m : 108 buah
   b. 1,5 m : 10 buah
   c. 1 m : 6 buah
   d. 2 m : 10 buah

3. Balok melintang
   Jumlah :

   a. 7 m : 40 buah
   b. 6 m : 57 buah
   c. 2 m : 40 buah
   d. 1 m : 14 buah

4. Plank Fender ukuran $2 \times 2{,}2 \times 0{,}6\ m^3$
   Jumlah : 20 buah

5. Poer
   Ukuran :

   a. $2 \times 2 \times 1$ (poer tunggal) : 101 buah
   b. $4 \times 2 \times 1$ (poer ganda) : 20 buah

Tahapan pekerjaan fabrikasi ini antara lain :

1. Menyiapkan material seperti pasir, kerikil, semen dan air sebagai bahan pembuatan beton
2. Mempersiapkan bekisting yang dapat dipergunakan berulang-ulang mengingat banyaknya komponen pracetak yang dibutuhkan dan untuk menghemat biaya konstruksi. Bekisting ini dibuat dengan beberapa jenis ukuran penampang yang berbeda dengan panjang bekisting yang dapat diatur/diubah tergantung kebutuhan. Pada perencanaan kali ini dibutuhkan 5 jenis ukuran penampang bekisting untuk balok melintang, balok memanjang, plank fender, poer dan pelat. Selanjutnya memasang perkuatan

bekisting agar komponen tercetak dengan baik tanpa lendutan baik ke samping maupun bawah.

3. Setelah bekisting siap, permukaan bekisting diolesi pelumas agar setelah beton kering, beton dapat dilepas dengan mudah dari cetakan. . Bahan yang digunakan untuk bekisting adalah kayu plywood yang sudah dilapisi linoleum untuk mencegah lengketan yang terjadi akibat pengecoran beton
4. Memasang tulangan dengan diameter dan jarak sesuai perencanaan tanpa melupakan panjang penyaluran dan tulangan tambahan untuk tempat mobile crane mengangkat.
5. Beton dicor ke dalam bekisting dan digetarkan dengan menggunakan vibrator.
6. Komponen yang sudah kering (berumur 3 hari) dilakukan curing agar tidak terjadi retak akibat susut pada beton
7. Komponen pracetak yang sudah cukup kuat betonnya diangkat menggunakan crawler crane, ditandai dengan sistem kode agar tidak tertukar dengan komponen lain, kemudian ditumpuk di *stock yard* yang sudah disediakan untuk siap diangkat ke lapangan
8. Untuk cetakan selanjutnya, bekisting harus dibersihkan dari sisa-sisa beton terlebih dahulu.

6.3.3 Pemasangan Komponen Pracetak

Pemasangan komponen pracetak dilakukan menggunakan *crawler crane*. Pemasangan ini dilakukan dari 2 arah yaitu dari arah daratan (dermaga eksisting) dan dari arah laut dengan menggunakan kapal pontoon sehingga *overtopping*/ pengecoran *top in-situ* dapat dilakukan dalam sekali pelaksanaan.

Pemasangan komponen pracetak dimulai dari instalasi poer. Komponen poer yang berlubang dipasang pada ujung tiang pancang yang telah diberi lantai kerja sementara sebelumnya. Kemudian, dilakukan penulangan tambahan pada poer, pemasangan bekisting samping, pengecoran in-situ tahap 2 untuk beton isi poer pracetak (lihat Gambar 6.8).

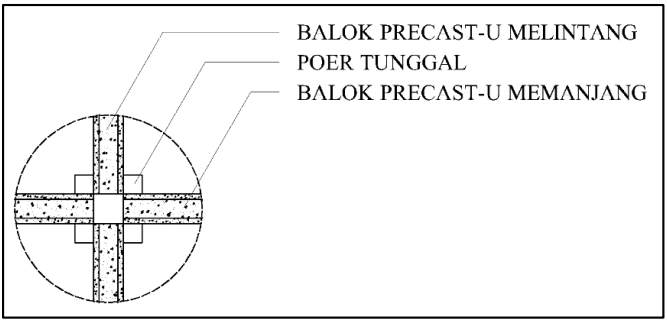
Setelah poer cukup umur untuk dibebani, pemasangan komponen pracetak yang kedua adalah balok pracetak U-shell baik

balok memanjang, balok melintang maupun balok crane dimana balok bertumpu pada poer. Kemudian, dilakukan cor in-situ tahap 3 untuk isian balok pracetak. Pemasangan komponen pracetak selanjutnya adalah pelat pracetak. Pelat ini dipasang dengan bertumpu pada balok.

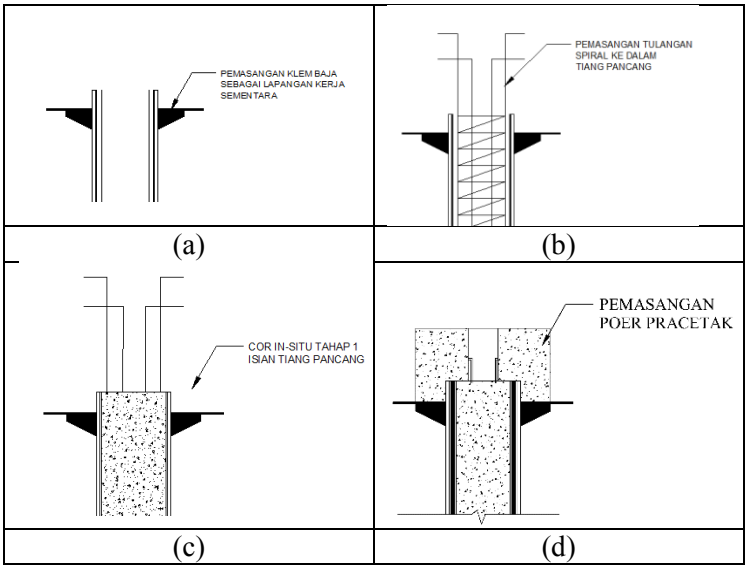
Tinggi balok dan pelat pracetak yang dipasang belum memenuhi tinggi balok dan pelat sesuai perencanaan sampai sebelum dilakukan pengecoran *overtopping*. Pengecoran berhenti bila beton cor telah setinggi 20 cm dari permukaan atas pelat. Sehingga, didapatkan dimensi tinggi balok sesuai perencanaan dan tebal pelat 40 cm. Pengecoran *overtopping* baik balok dan pelat ini dilakukan sekaligus (tidak bertahap) dari arah dermaga eksisting maupun dari laut.

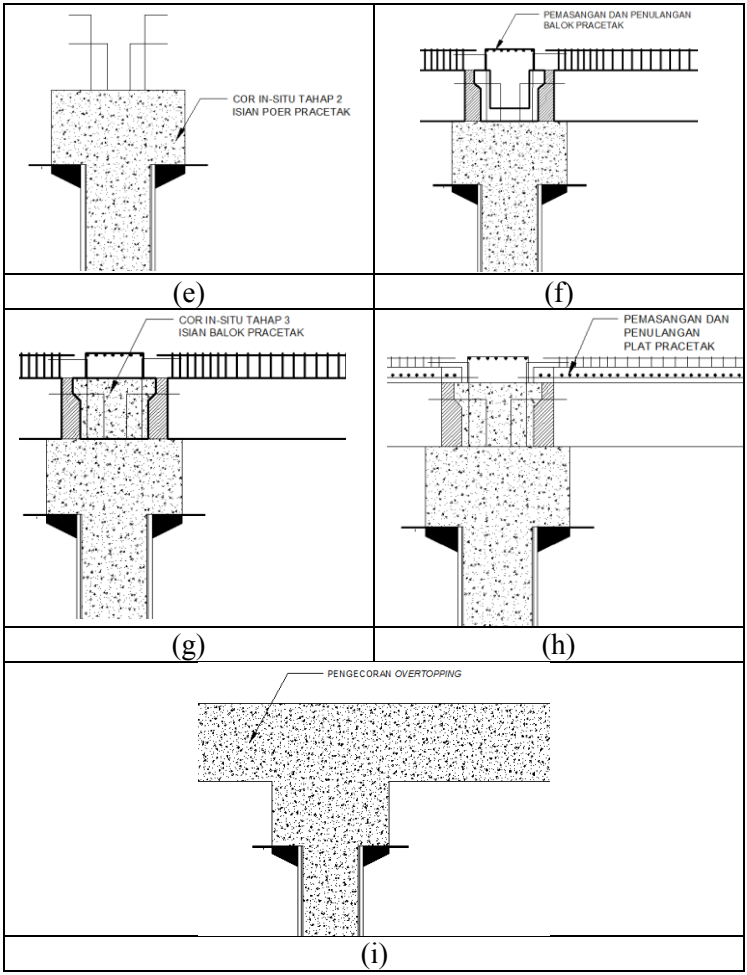
Berikut tahapan metode konstruksi sistem pracetak secara umum :

1. Pemasangan cincin tiang pancang sebagai tumpuan lantai kerja sementara serta tempat pemasangan poer pracetak
2. Pemasangan tulangan spiral ke tiang pancang
3. Cor in-situ 1 isian tiang pancang
4. Pemasangan poer pracetak serta penulangan tambahan
5. Cor in-situ 2 isian poer
6. Pemasangan komponen balok pracetak (balok memanjang dan balok melintang) serta penulangan tambahan balok
7. Cor balok pracetak sampai elevasi tertinggi balok pracetak
8. Pemasangan pelat pracetak tebal 20 cm yang bertumpu pada sayap balok pracetak serta penulangan tambahan pelat
9. Pengecoran *overtopping* pelat dan balok setebal 20 cm dari permukaan pelat pracetak



Gambar 6.7 Tampak Atas Pemasangan Fabrikasi Balok Pracetak





Gambar 6.8 Tahapan Metode Konstruksi Sistem Pracetak

Gambar 6.9 Pekerjaan Pemasangan Komponen Pracetak pada Struktur Jetty

6.3.4 Pemasangan Fender

Setelah pekerjaan pengecoran in-situ selesai dilanjutkan dengan pemasangan plank fender pracetak berukuran 2 x 2,2 x 0,6 m^3. Selanjutnya, pemasangan fender dimulai dengan memasang fender pada angker yang telah tertanam pada plank fender dengan menggunakan baut. Fender yang digunakan adalah fender karet Type SCN–800 E0.9 merk *Trelleborg* dengan tambahan panel fender berukuran 1,5x3,5 m^2 (lihat Gambar 6.10).

Gambar 6.10 Fender Tipe SCN

6.3.5 Pemasangan Bollard

Pada umumnya lubang angker beton memiliki toleransi antara 1 mm sampai dengan 3 mm sehingga pemasangan angker harus presisi agar bollard terpasang dengan tepat. Untuk memastikan posisi pemasangan angker bollard yang tepat maka digunakan bollard itu sendiri sebagai template yang dipasang setelah pengecoran baja isian bollard (*cast steel*). Sebelum pengecoran pada pelat, posisi angker bollard harus ditentukan dan dikosongkan dengan gabus. Pemasangan angker bollard yang sudah dipasang kuat, baru dilakukan pengecoran pelat. Bollard yang digunakan adalah model pillar bollard dengan kapasitas 50 ton produsen *Trelleborg* (lihat Gambar 6.11).

Gambar 6.11 Pillar Bollard

BAB VII
RENCANA ANGGARAN BIAYA

7.1 Umum

Pada bab ini akan dibahas mengenai rincian biaya yang diperlukan untuk pelaksanaan pekerjaan konstruksi dermaga jetty dan trestle untuk kapal multipurpose 6800 DWT di Teluk Sekangat, Bontang, Kalimantan Timur.

7.2 Daftar Harga Satuan Dasar

Harga material dan upah mengacu pada Peraturan Menteri Republik Indonesia No.78 Tahun 2014 tentang Standar Biaya di Lingkungan Kementrian Perhubungan. Untuk pengkonversian nilai mengacu pada data Badan Pusat Statistik (BPS) tahun 2016 tentang "Indeks Kemahalan Konstruksi" (IKK). Langkah pertama pengkonversian adalah mengkonversikan nilai mata uang Rupiah tahun 2014 ke tahun 2016 pada skala nasional kemudian mengkonversikannya lagi ke skala regional yaitu Kota Bontang.

$IKK_{bontang}$ = 112,86 %

Tabel 7.1 Daftar Harga Satuan Dasar Upah Pekerja

No	Jenis Pekerja	Satuan	Harga		Keterangan
1	Mandor	org/hari	Rp	139.933,30	PM No. 78 Tahun 2014
2	Kepala Tukang	org/hari	Rp	123.691,05	PM No. 78 Tahun 2014
3	Tukang	org/hari	Rp	107.434,31	PM No. 78 Tahun 2014
4	Tukang Kayu/Besi	org/hari	Rp	123.691,05	PM No. 78 Tahun 2014
5	Pekerja	org/hari	Rp	91.207,76	PM No. 78 Tahun 2014
6	Mekanik	org/hari	Rp	102.339,44	PM No. 78 Tahun 2014
7	Juru Ukur	org/hari	Rp	97.777,12	PM No. 78 Tahun 2014
8	Operator Alat Berat	org/hari	Rp	129.213,41	PM No. 78 Tahun 2014
9	Operator Pancang	org/hari	Rp	172.953,97	PM No. 78 Tahun 2014
10	Pembantu Operator	org/hari	Rp	64.606,71	PM No. 78 Tahun 2014
11	Nahkoda	org/hari	Rp	190.801,12	PM No. 78 Tahun 2014
12	Sopir	org/hari	Rp	100.406,07	PM No. 78 Tahun 2014
13	Penyelam	org/hari	Rp	226.123,47	PM No. 78 Tahun 2014

Tabel 7.2 Daftar Harga Satuan Dasar Bahan

No	Jenis Material	Satuan	Harga	Keterangan
A	**Beton Ready Mix K-350**			
1	Beton Ready Mix K-350	m^3	Rp 794.782,69	
B	**Bahan dan Material Alam**			
1	Air Kerja	m^3	Rp 45.144,00	PM No. 78 Tahun 2014
2	Besi Tulangan	kg	Rp 18.114,03	PM No. 78 Tahun 2014
3	Papan Plywood 12 mm	lbr	Rp 310.151,93	PM No. 78 Tahun 2014
4	Kayu Kaso Kelas III	m^3	Rp 2.354.823,90	PM No. 78 Tahun 2014
5	Paku	kg	Rp 23.008,44	PM No. 78 Tahun 2014
C	**Profil Baja**			
1	Steel Pipe Pile ϕ1000 mm, t = 16 mm	m'	Rp 4.062.960,00	
2	Profil Siku L 100x100x10	kg	Rp 15.499,57	
3	Profil C 75x45x2,3	kg	Rp 15.499,57	
4	Pelat Cincin Baja	kg	Rp 15.500,70	
D	**Aksesoris Dermaga**			
1	Fender SCN 800 (E0,9)	buah	Rp 67.716.000,00	
2	Baut Angker M36	buah	Rp 68.844,60	
3	Rantai Penahan	buah	Rp 683.018,48	
4	Panel Fender 1,5 x 3 m^2	m^2	Rp 1.467.180,00	
4	Hand Rail SGP 2" (Sch. 40)	kg	Rp 112.860,00	
5	Pillar Bollard 50 ton	buah	Rp 62.073.000,00	
6	Baut Angker M30	buah	Rp 57.887,61	
7	Kansteen 15/40	m'	Rp 721.164,78	
E	**Lain-Lain**			
1	Semen Grouting	kg	Rp 8.332,45	
2	Besi Tulangan Ulir	kg	Rp 11.665,44	
3	Kawat Bendrat	kg	Rp 23.781,31	
4	Kawat Las	kg	Rp 30.190,05	
5	Platform Kerja	ls	Rp 58.687,20	

Tabel 7.3 Daftar Harga Satuan Dasar Sewa Alat

No	Jenis Peralatan	Satuan	Harga	Keterangan
1	Crawler Crane 20 ton	hari	Rp 2.907.301,82	PM No. 78 Tahun 2014
2	Hydraulic Hammer	hari	Rp 5.972.799,49	PM No. 78 Tahun 2014
3	Pontoon Transport	hari	Rp 3.320.905,50	PM No. 78 Tahun 2014
4	Pontoon Pancang	hari	Rp 6.641.811,00	PM No. 78 Tahun 2014
5	Tug Boat	hari	Rp 4.977.252,40	PM No. 78 Tahun 2014
6	Alat Bantu	hari	Rp 75.354,36	PM No. 78 Tahun 2014
7	Alat Bantu Potong	ls	Rp 34.537,42	PM No. 78 Tahun 2014
8	Perahu Transport 30 GT	hari	Rp 1.811.403,00	PM No. 78 Tahun 2014
9	Truck	hari	Rp 1.811.403,00	PM No. 78 Tahun 2014
10	Generator 75 kVA	hari	Rp 2.463.508,08	PM No. 78 Tahun 2014
11	Concrete Vibrator	hari	Rp 1.328.362,20	PM No. 78 Tahun 2014
12	Concrete Mixer	hari	Rp 1.292.134,14	PM No. 78 Tahun 2014
13	Mesin Las 40 Amp	hari	Rp 2.502.856,58	PM No. 78 Tahun 2014
14	Mesin Las Listrik	hari	Rp 2.188.778,63	PM No. 78 Tahun 2014

7.3 Analisa Harga Satuan Pekerjaan

Rincian analisa harga satuan pekerjaan dermaga dan trestle berdasarkan PM No. 78 Tahun 2014 yang telah dikonversi dengan nilai uang tahun 2016 (i_{tahun} = 1,12) dan konversi nasional ke regional ($i_{regional}$ = 1,1286) disajikan dalam Tabel 7.4-Tabel 7.6

Tabel 7.4 AHSP Pekerjaan Beton

Jenis Pekerjaan : Beton K-350

Harga Satuan : m^3

No	Uraian	Satuan	Volume	Harga Satuan (Rp)	Jumlah (Rp)
A	**Bahan**				
1	Beton Ready Mix K-350	m^3	1,00	Rp 794.782,69	Rp 794.782,69
B	**Alat**				
1	Concrete Mixer	hari	0,06	Rp 1.292.134,14	Rp 80.758,38
2	Concrete Vibrator	hari	0,06	Rp 1.328.362,20	Rp 83.022,64
C	**Upah**				
1	Mandor	org/hari	0,75	Rp 139.933,30	Rp 104.949,97
2	Pekerja	org/hari	3,00	Rp 91.207,76	Rp 273.623,29
			Total Biaya	**1 m3**	**Rp 1.337.136,98**

Jenis Pekerjaan : Bekisting

Harga Satuan : 10 m^2

No	Uraian	Satuan	Volume	Harga Satuan (Rp)	Jumlah (Rp)
A	**Bahan**				
1	Kayu Kaso Kelas III	m^3	0,40	Rp 2.354.823,90	Rp 941.929,56
2	Papan Plywood 12 mm	lbr	3,36	Rp 310.151,93	Rp 1.042.110,49
3	Paku	kg	4,00	Rp 23.008,44	Rp 92.033,76
B	**Upah**				
1	Mandor	org/hari	0,75	Rp 139.933,30	Rp 104.949,97
2	Kepala Tukang	org/hari	0,75	Rp 123.691,05	Rp 92.768,29
3	Tukang	org/hari	3,00	Rp 107.434,31	Rp 322.302,94
			Total Biaya	**10 m2**	**Rp 2.596.095,01**
			Total Biaya	**1 m2**	**Rp 259.609,50**

Jenis Pekerjaan : Pembesian
Harga Satuan : 100 kg

No	Uraian	Satuan	Volume	Harga Satuan (Rp)	Jumlah (Rp)
A	**Bahan**				
1	Besi Tulangan Ulir	kg	100,00	Rp 11.665,44	Rp 1.166.543,53
2	Kawat Bendrat	kg	2,00	Rp 23.781,31	Rp 47.562,61
B	**Upah**				
1	Mandor	org/hari	1,50	Rp 139.933,30	Rp 209.899,95
2	Kepala Tukang	org/hari	3,00	Rp 123.691,05	Rp 371.073,15
3	Tukang Besi	org/hari	6,00	Rp 123.691,05	Rp 742.146,30
			Total Biaya	**100 kg**	**Rp 2.537.225,54**
			Total Biaya	**1 kg**	**Rp 25.372,26**

Jenis Pekerjaan : Pelat Pracetak (t = 0,2 m)
Harga Satuan : m^3

No	Uraian	Satuan	Volume	Harga Satuan (Rp)	Jumlah (Rp)
A	**Bahan**				
1	Beton K-350	m^3	1,00	Rp 1.337.136,98	Rp 1.337.136,98
2	Pembesian	kg	134,40	Rp 25.372,26	Rp 3.410.031,13
3	Bekisting	m^2	5,00	Rp 259.609,50	Rp 1.298.047,50
B	**Alat**				
1	Crawler Crane 20 ton	hari	1,00	Rp 2.907.301,82	Rp 2.907.301,82
C	**Upah**				
1	Mandor	org/hari	1,00	Rp 139.933,30	Rp 139.933,30
2	Operator Alat Berat	org/hari	1,00	Rp 129.213,41	Rp 129.213,41
3	Pembantu Operator	org/hari	2,00	Rp 64.606,71	Rp 129.213,41
			Total Biaya	**1 m3**	**Rp 9.350.877,55**

Jenis Pekerjaan : Balok Pracetak (0,8 x 1,2 m^2)

Harga Satuan : m^3

No	Uraian	Satuan	Volume	Harga Satuan (Rp)	Jumlah (Rp)
A	**Bahan**				
1	Beton K-350	m^3	1,00	Rp 1.337.136,98	Rp 1.337.136,98
2	Pembesian	kg	100,00	Rp 25.372,26	Rp 2.537.225,54
3	Bekisting	m^2	6,00	Rp 259.609,50	Rp 1.557.657,01
B	**Alat**				
1	Crawler Crane 20 ton	hari	0,33	Rp 2.907.301,82	Rp 959.409,60
C	**Upah**				
1	Mandor	org/hari	1,00	Rp 139.933,30	Rp 139.933,30
2	Operator Alat Berat	org/hari	1,00	Rp 129.213,41	Rp 129.213,41
3	Pembantu Operator	org/hari	2,00	Rp 64.606,71	Rp 129.213,41
			Total Biaya	**1 m3**	**Rp 6.789.789,25**

Jenis Pekerjaan : Poer Tunggal Pracetak (2 x 2 x 1 m^3)

Harga Satuan : m^3

No	Uraian	Satuan	Volume	Harga Satuan (Rp)	Jumlah (Rp)
A	**Bahan**				
1	Beton K-350	m^3	1,00	Rp 1.337.136,98	Rp 1.337.136,98
2	Pembesian	kg	100,00	Rp 25.372,26	Rp 2.537.225,54
3	Bekisting	m^2	4,00	Rp 259.609,50	Rp 1.038.438,00
B	**Alat**				
1	Crawler Crane 20 ton	hari	1,00	Rp 2.907.301,82	Rp 2.907.301,82
C	**Upah**				
1	Mandor	org/hari	1,00	Rp 139.933,30	Rp 139.933,30
2	Operator Alat Berat	org/hari	1,00	Rp 129.213,41	Rp 129.213,41
3	Pembantu Operator	org/hari	2,00	Rp 64.606,71	Rp 129.213,41
			Total Biaya	**1 m3**	**Rp 8.218.462,46**

Jenis Pekerjaan : Poer Ganda Pracetak (4 x 2 x 1 m^3)

Harga Satuan : m^3

No	Uraian	Satuan	Volume	Harga Satuan (Rp)	Jumlah (Rp)
A	**Bahan**				
1	Beton K-350	m^3	1,00	Rp 1.337.136,98	Rp 1.337.136,98
2	Pembesian	kg	100,00	Rp 25.372,26	Rp 2.537.225,54
3	Bekisting	m^2	8,00	Rp 259.609,50	Rp 2.076.876,01
B	**Alat**				
1	Crawler Crane 20 ton	hari	1,00	Rp 2.907.301,82	Rp 2.907.301,82
C	**Upah**				
1	Mandor	org/hari	1,00	Rp 139.933,30	Rp 139.933,30
2	Operator Alat Berat	org/hari	1,00	Rp 129.213,41	Rp 129.213,41
3	Pembantu Operator	org/hari	2,00	Rp 64.606,71	Rp 129.213,41
			Total Biaya	**1 m3**	**Rp 9.256.900,47**

Jenis Pekerjaan : Plank Fender Pracetak

Harga Satuan : m^3

No	Uraian	Satuan	Volume	Harga Satuan (Rp)	Jumlah (Rp)
A	**Bahan**				
1	Beton K-350	m^3	1,00	Rp 1.337.136,98	Rp 1.337.136,98
2	Pembesian	kg	100,00	Rp 25.372,26	Rp 2.537.225,54
3	Bekisting	m^2	5,00	Rp 259.609,50	Rp 1.298.047,50
B	**Alat**				
1	Crawler Crane 20 ton	hari	1,00	Rp 2.907.301,82	Rp 2.907.301,82
C	**Upah**				
1	Mandor	org/hari	1,00	Rp 139.933,30	Rp 139.933,30
2	Operator Alat Berat	org/hari	1,00	Rp 129.213,41	Rp 129.213,41
3	Pembantu Operator	org/hari	2,00	Rp 64.606,71	Rp 129.213,41
			Total Biaya	**1 m3**	**Rp 8.478.071,96**

Jenis Pekerjaan : Pengisi Tiang Pancang

Harga Satuan : m^3

No	Uraian	Satuan	Volume	Harga Satuan (Rp)	Jumlah (Rp)
A	**Bahan**				
1	Beton K-350	m^3	0,67	Rp 1.337.136,98	Rp 895.881,77
2	Pembesian	kg	110,00	Rp 25.372,26	Rp 2.790.948,09
B	**Upah**				
1	Mandor	org/hari	0,10	Rp 139.933,30	Rp 13.993,33
2	Pekerja	org/hari	1,00	Rp 91.207,76	Rp 91.207,76
3	Tukang	org/hari	0,50	Rp 107.434,31	Rp 53.717,16
			Total Biaya	**1 m3**	**Rp 3.845.748,12**

Tabel 7.5 AHSP Pekerjaan Tiang Pancang

Jenis Pekerjaan : Transport Tiang Pancang

Harga Satuan : m'

No	Uraian	Satuan	Volume	Harga Satuan (Rp)	Jumlah (Rp)
A	**Alat**				
1	Pontoon Transport	hari	0,30	Rp 3.320.905,50	Rp 996.271,65
B	**Upah**				
1	Tukang	org/hari	0,30	Rp 107.434,31	Rp 32.230,29
2	Nahkoda	org/hari	0,30	Rp 190.801,12	Rp 57.240,33
			Total Biaya	**1 m'**	**Rp 1.085.742,28**

Jenis Pekerjaan : Pemancangan Tiang Pancang
Harga Satuan : 30 m'

No	Uraian	Satuan	Volume	Harga Satuan (Rp)	Jumlah (Rp)
A	**Bahan**				
1	Tabung Oksigen	hari			
A	**Alat**				
1	Pontoon Pancang	hari	1,00	Rp 6.641.811,00	Rp 6.641.811,00
2	Hydraulic Hammer	hari	1,00	Rp 5.972.799,49	Rp 5.972.799,49
3	Tugboat	hari	1,00	Rp 4.977.252,40	Rp 4.977.252,40
B	**Upah**				
1	Mandor	org/hari	0,25	Rp 139.933,30	Rp 34.983,32
2	Juru Ukur	org/hari	1,00	Rp 97.777,12	Rp 97.777,12
3	Operator Pancang	org/hari	1,00	Rp 172.953,97	Rp 172.953,97
4	Penyelam	org/hari	1,00	Rp 226.123,47	Rp 226.123,47
			Total Biaya	**30 m'**	**Rp 17.897.577,30**
			Total Biaya	**1 m'**	**Rp 596.585,91**

Jenis Pekerjaan : Penyambungan Tiang Pancang
Harga Satuan : buah

No	Uraian	Satuan	Volume	Harga Satuan (Rp)	Jumlah (Rp)
A	**Bahan**				
1	Platform Kerja	ls	1,00	Rp 58.687,20	Rp 58.687,20
2	Kawat Las	kg	2,00	Rp 30.190,05	Rp 60.380,10
B	**Alat**				
1	Mesin Las Listrik	hari	0,20	Rp 2.188.778,63	Rp 437.755,73
C	**Upah**				
1	Mandor	org/hari	0,50	Rp 139.933,30	Rp 69.966,65
2	Kepala Tukang	org/hari	0,50	Rp 123.691,05	Rp 61.845,53
3	Tukang	org/hari	2,00	Rp 107.434,31	Rp 214.868,62
4	Penyelam	org/hari	1,00	Rp 226.123,47	Rp 226.123,47
			Total Biaya	**1 buah**	**Rp 903.503,82**

Jenis Pekerjaan : Pemotongan Tiang Pancang
Harga Satuan : buah

No	Uraian	Satuan	Volume	Harga Satuan (Rp)	Jumlah (Rp)
A	**Bahan**				
1	Platform Kerja	ls	1,00	Rp 58.687,20	Rp 58.687,20
B	**Alat**				
1	Alat Bantu Potong	ls	1,00	Rp 34.537,42	Rp 34.537,42
C	**Upah**				
1	Mandor	org/hari	0,50	Rp 139.933,30	Rp 69.966,65
3	Pekerja	org/hari	2,00	Rp 107.434,31	Rp 214.868,62
			Total Biaya	**1 buah**	**Rp 378.059,89**

Tabel 7.6 AHSP Pekerjaan Aksesoris

Jenis Pekerjaan : Pemasangan Fender
Harga Satuan : buah

No	Uraian	Satuan	Volume	Harga Satuan (Rp)	Jumlah (Rp)
A	**Bahan**				
1	Fender SCN 800 (E0,9)	buah	1,00	Rp 67.716.000,00	Rp 67.716.000,00
B	**Alat**				
1	Crawler Crane 20 ton	hari	0,30	Rp 2.907.301,82	Rp 872.190,54
2	Pontoon Transport	hari	0,30	Rp 3.320.905,50	Rp 996.271,65
C	**Upah**				
1	Mandor	org/hari	1,00	Rp 139.933,30	Rp 139.933,30
2	Pekerja	org/hari	2,00	Rp 91.207,76	Rp 182.415,53
3	Operator Alat Berat	org/hari	1,00	Rp 129.213,41	Rp 129.213,41
			Total Biaya	**1 buah**	**Rp 70.036.024,43**

Jenis Pekerjaan : Pemasangan Bollard
Harga Satuan : buah

No	Uraian	Satuan	Volume	Harga Satuan (Rp)	Jumlah (Rp)
A	**Bahan**				
1	Semen Grouting	kg	125,00	Rp 8.332,45	Rp 1.041.556,73
2	Air Kerja	m^3	0,12	Rp 45.144,00	Rp 5.417,28
3	Baut Angker M36	buah	7,00	Rp 68.844,60	Rp 481.912,20
4	Pillar Bollard 50 ton	buah	1,00	Rp 62.073.000,00	Rp 62.073.000,00
B	**Alat**				
1	Crawler Crane 20 ton	hari	0,50	Rp 2.907.301,82	Rp 1.453.650,91
2	Alat Bantu	hari	1,00	Rp 75.354,36	Rp 75.354,36
C	**Upah**				
1	Mandor	org/hari	0,50	Rp 139.933,30	Rp 69.966,65
2	Pekerja	org/hari	2,00	Rp 91.207,76	Rp 182.415,53
3	Operator Alat Berat	org/hari	1,00	Rp 129.213,41	Rp 129.213,41
			Total Biaya	**1 buah**	**Rp 65.512.487,07**

Jenis Pekerjaan : Pemasangan Dilatasi
Harga Satuan : m'

No	Uraian	Satuan	Volume	Harga Satuan (Rp)	Jumlah (Rp)
A	**Bahan**				
1	Profil Siku L 100x100x10	kg	7,38	Rp 15.499,57	Rp 114.386,84
2	Besi Tulangan	kg	4,00	Rp 18.114,03	Rp 72.456,12
3	Kawat Las	kg	0,25	Rp 30.190,05	Rp 7.547,51
B	**Alat**				
1	Mesin Las 40 Amp	hari	0,04	Rp 2.502.856,58	Rp 109.499,98
C	**Upah**				
1	Mandor	org/hari	0,10	Rp 139.933,30	Rp 13.993,33
2	Tukang	org/hari	0,01	Rp 107.434,31	Rp 1.074,34
2	Pekerja	org/hari	1,00	Rp 91.207,76	Rp 91.207,76
			Total Biaya	**1 m'**	**Rp 410.165,88**

Jenis Pekerjaan : Pemasangan Hand Rail
Harga Satuan : m'

No	Uraian	Satuan	Volume	Harga Satuan (Rp)	Jumlah (Rp)
A	**Bahan**				
1	SGP 2" (Sch. 40)	kg	1,00	Rp 112.860,00	Rp 112.860,00
B	**Alat**				
1	Mesin Las Listrik	hari	1,00	Rp 2.188.778,63	Rp 2.188.778,63
C	**Upah**				
1	Mandor	org/hari	0,50	Rp 139.933,30	Rp 69.966,65
2	Pekerja	org/hari	2,00	Rp 91.207,76	Rp 182.415,53
			Total Biaya	**1 m'**	**Rp 2.554.020,80**

Jenis Pekerjaan : Pemasangan Kansteen
Harga Satuan : m'

No	Uraian	Satuan	Volume	Harga Satuan (Rp)	Jumlah (Rp)
A	**Bahan**				
1	Kansteen 15/40	m'	1,00	Rp 721.164,78	Rp 721.164,78
B	**Upah**				
1	Pekerja	org/hari	0,20	Rp 91.207,76	Rp 18.241,55
			Total Biaya	**1 m'**	**Rp 739.406,33**

7.4 Rekapitulasi Anggaran Biaya

No	Jenis Pekerjaan	Satuan	Volume	Harga Satuan (Rp)	Jumlah Harga (Rp)
I	**PEKERJAAN PERSIAPAN**				
1	Pembersihan Lahan	ls	1	Rp 4.500.000,00	Rp 4.500.000,00
2	Pengukuran dan Pemasangan Bowplank	ls	1	Rp 5.000.000,00	Rp 5.000.000,00
3	Mobilisasi dan Demobilisasi	ls	1	Rp 75.000.000,00	Rp 75.000.000,00
4	Administrasi dan Dokumentasi	ls	1	Rp 35.000.000,00	Rp 35.000.000,00
5	Direksi Kit (36 m^2)	ls	1	Rp 25.200.000,00	Rp 25.200.000,00
				Total Biaya	**Rp 144.700.000,00**

II	**TRESTLE**					
A	**PEKERJAAN TIANG PANCANG**					
1	Pengadaan Tiang Pancang SPP ϕ1000 mm t = 16 mm - Tegak	m'	678,3	Rp 4.062.960,00	Rp	2.755.905.768,00
2	Transport Tiang Pancang	m'	32	Rp 1.085.742,28	Rp	34.743.752,91
3	Pemancangan Tiang Pancang Tegak	m'	678,3	Rp 608.661,93	Rp	412.855.387,21
4	Pemotongan Tiang Pancang	buah	21	Rp 378.059,89	Rp	7.939.257,68
5	Penyambungan Tiang Pancang	buah	42	Rp 903.503,82	Rp	37.947.160,54
B	**PEKERJAAN BETON K-350**					
1	Beton Cor In Situ	m^3	203,3	Rp 1.337.136,98	Rp	271.839.947,53
2	Balok Memanjang 80/120	m^3	54,99	Rp 6.789.789,25	Rp	373.370.510,73
3	Balok Melintang 80/120	m^3	38,22	Rp 6.789.789,25	Rp	259.505.745,05
4	Pelat Lantai t = 20 cm	m^3	131,6	Rp 9.350.877,55	Rp	1.230.575.485,39
5	Poer Tunggal 200x200x100	m^3	188	Rp 8.218.462,46	Rp	1.545.070.942,80
C	**PEKERJAAN AKSESORIS**					
1	Pemasangan Hand Rail SGP 2" (Sch. 40)	m'	94	Rp 2.554.020,80	Rp	240.077.955,31
2	Pemasangan Kansteen	m'	94	Rp 739.406,33	Rp	69.504.195,10
3	Pemasangan Dilatasi	m'	28	Rp 410.165,88	Rp	11.484.644,74
				Total Biaya	**Rp**	**7.250.820.753,00**
II	**LOADING PLATFORM**					
A	**PEKERJAAN TIANG PANCANG**					
1	Pengadaan Tiang Pancang SPP ϕ1000 mm t = 16 mm	m'	4653,2	Rp 4.062.960,00	Rp	18.905.765.472,00
2	Transport Tiang Pancang	m'	174	Rp 1.085.742,28	Rp	188.919.156,44
3	Pemancangan Tiang Pancang Tegak	m'	3301,2	Rp 608.661,93	Rp	2.009.314.763,78
4	Pemancangan Tiang Pancang Miring	m'	1352	Rp 608.661,93	Rp	822.910.929,55
5	Pemotongan Tiang Pancang	buah	124	Rp 378.059,89	Rp	46.879.426,30
6	Penyambungan Tiang Pancang	buah	372	Rp 903.503,82	Rp	336.103.421,92
B	**PEKERJAAN BETON K-350**					
1	Beton Cor In Situ	m^3	1245	Rp 1.337.136,98	Rp	1.664.735.537,03
2	Balok Memanjang 80/120	m^3	276,9	Rp 6.789.789,25	Rp	1.880.092.642,67
3	Balok Melintang 80/120	m^3	234	Rp 6.789.789,25	Rp	1.588.810.683,95
4	Pelat Lantai t = 20 cm	m^3	852	Rp 9.350.877,55	Rp	7.966.947.671,38
5	Poer Tunggal 200x200x100	m^3	320	Rp 8.218.462,46	Rp	2.629.907.987,75
6	Poer Ganda 400x200x100	m^3	160	Rp 9.256.900,47	Rp	1.481.104.074,51
7	Plank Fender 220x200x60	m^3	52,8	Rp 8.478.071,96	Rp	447.642.199,63
C	**PEKERJAAN AKSESORIS**					
1	Pemasangan Fender	unit	20	Rp 70.036.024,43	Rp	1.400.720.488,66
2	Pemasangan Bollard	unit	8	Rp 66.966.137,97	Rp	535.729.103,80
3	Pemasangan Kansteen	m'	284	Rp 739.406,33	Rp	209.991.397,96
4	Pemasangan Dilatasi	m'	90	Rp 410.165,88	Rp	36.914.929,53
				Total Biaya	**Rp**	**42.152.489.886,86**

Tabel 7.7 Total Harga Pembangunan Jetty 2

NO	URAIAN PEKERJAAN	JUMLAH HARGA (Rp)	KETERANGAN
1	Pekerjaan Persiapan	Rp 144.700.000,00	
2	Pekerjaan Trestle	Rp 7.250.820.753,00	
3	Pekerjaan Dermaga	Rp 42.152.489.886,86	
	Jumlah Total	Rp 49.548.010.639,86	
	Keuntungan 10%	Rp 4.954.801.063,99	
	Jumlah Total + Keuntungan 10%	Rp 54.502.811.703,84	
	PPn 10%	Rp 5.450.281.170,38	
	Jumlah Total + Keuntungan 10% + PPn 10%	Rp 59.953.092.874,23	
	Dibulatkan	Rp 59.953.092.875,00	

Terbilang:

"Lima Puluh Sembilan Milyar Sembilan Ratus Lima Puluh Tiga Juta Sembilan Puluh Dua Ribu Delapan Ratus Tujuh Puluh Lima Rupiah"

BAB VIII
KESIMPULAN

Berdasarkan bab-bab sebelumnya maka didapat kesimpulan sebagai berikut:

1. Lokasi perencanaan jetty 2 milik PT. Badak NGL berada pada Teluk Sekangat, Bontang, Kalimantan Timur
2. Panjang fetch pada lokasi perairan di bawah 2 km sehingga pengaruh gelombang terhadap dermaga sangat kecil yaitu kurang dari 0,3 m dan tidak mempertimbangkan gaya gelombang pada struktur
3. Beda pasang surut pada lokasi perencanaan adalah ±2,5 mLWS
4. Data tanah yang digunakan didapat dari LPPM ITS dengan titik B-4 dimana elevasi seabed pada -8 mLWS
5. Kriteria desain mencakup data kapal, material yang digunakan, beban, fender dan bollard dengan sepesifikasi masing-masing sebagai berikut:

   a. Data kapal

      i. Jenis kapal : kargo multipurpose
      ii. Kapasitas kapal : 6800 DWT
      iii. Panjang kapal (LOA) : 110 m
      iv. Lebar kapal (B) : 16 m
      v. Draft kapal (D) : 5 m

   b. Beton mutu K-350
   c. Tulangan U-32
   d. Baja tiang pancang ASTM A252 Grade 2, f_y = 240 MPa
   e. Beban vertikal

      i. Berat sendiri beton : 2900 kg/m^3
      ii. Beban hidup merata : 5000 kg/m^2 (dermaga)
      : 2000 kg/m^2 (trestle)
      iii. Beban berjalan *mobile harbour crane* LHM 180 dan *multiwheel mammoth* tipe multi trailer train

f. Beban horizontal

   i. Beban gempa
   ii. Beban tumbukan kapal 419 kN
   iii. Beban tarikan kapal 350 kN

g. Fender tipe SCN 800 (E0,9)
h. Pillar bollard 50 ton

6. Fender dipasang pada tiap portal, yaitu spasi 7,5 m
7. Bollard dipasang pada tiap 3 portal, yaitu spasi 22,5 m
8. Layout dermaga adalah sebagai berikut :

   a. Panjang dermaga : 142 m
   b. Lebar dermaga : 30 m
   c. Elevasi dermaga : +4,5 mLWS

9. Layout trestle adalah sebagai berikut :

   a. Panjang trestle : 47 m
   b. Lebar trestle : 14 m
   c. Elevasi trestle : +4,5 mLWS

10. Antara struktur trestle dan dermaga terdapat dilatasi dengan baja profil L100x100x10, begitu pula antar sambungan dermaga pada jarak 71 m
11. Profil komponen struktur jetty 2 mencakup dermaga dan trestle adalah sebagai berikut:

   a. Tebal pelat : 400 mm
   b. Balok melintang : 800x1200 mm^2
   c. Balok memanjang : 800x1200 mm^2
   d. Plank fender : 2200x2000x600 mm^3
   e. Poer tunggal : 2000x2000x1000 mm^3
   f. Poer ganda : 4000x2000x1000 mm^3
   g. Tiang pancang : OD = 1000 mm; t = 16 mm

12. Penulangan pada komponen struktur meliputi penulangan pelat, balok melintang, balok memanjang, plank fender, poer tunggal dan poer ganda

Tabel 8.1 Penulangan pada Pelat Dermaga

Tipe	Arah	Keterangan	A	N	As	Dipasang
			(mm2/m)	(buah)	(mm2/m)	
A	X	lapangan	1972	7	1985	D19 - 125
		tumpuan	1972	7	1985	D19 - 125
	Y	lapangan	1841	7	1985	D19 - 125
		tumpuan	1841	7	1985	D19 - 125
B	X	lapangan	1636	6	1701	D19 - 200
		tumpuan	1636	6	1701	D19 - 200
	Y	lapangan	1322	5	1418	D19 - 250
		tumpuan	1322	5	1418	D19 - 250
C	X	lapangan	1972	7	1985	D19 - 125
		tumpuan	2798	10	2835	D19 - 100
D	X	lapangan	2127	8	2268	D19 - 125
		tumpuan	2926	11	3119	D19 - 100
E	X	lapangan	1565	6	1701	D19 - 200
		tumpuan	1811	7	1985	D19 - 125
F	X	lapangan	1474	6	1701	D19 - 200
		tumpuan	1760	7	1985	D19 - 125
G	X	lapangan	339	2	567	D19 - 1000
		tumpuan	726	3	851	D19 - 500
	Y	lapangan	361	2	567	D19 - 1000
		tumpuan	750	3	851	D19 - 500
H	X	lapangan	1612	6	1701	D19 - 200
		tumpuan	1849	7	1985	D19 - 125
I	X	lapangan	412	2	567	D19 - 1000
		tumpuan	850	3	851	D19 - 500
	Y	lapangan	266	2	567	D19 - 1000
		tumpuan	485	2	567	D19 - 1000

Tabel 8.2 Penulangan pada Pelat Trestle

Tipe	Arah	Keterangan	A (mm2/m)	N (buah)	As (mm2/m)	Baris	Dipasang		
A	X	lapangan	1263	5	1418	1	D19	-	250
		tumpuan	1463	6	1701	1	D19	-	200
	Y	lapangan	1105	5	1418	1	D19	-	250
		tumpuan	658	3	851	1	D19	-	500
B	X	lapangan	2173	8	2268	1	D19	-	125
		tumpuan	6361	20	5671	2	D19	-	100
C	X	lapangan	499	3	851	1	D19	-	500
		tumpuan	1243	5	1418	1	D19	-	250
	Y	lapangan	518	3	851	1	D19	-	500
		tumpuan	1216	5	1418	1	D19	-	250
D	X	lapangan	127	3	851	1	D19	-	500
		tumpuan	127	3	851	1	D19	-	500

Tabel 8.3 Penulangan pada Balok, Plank Fender dan Poer Dermaga

No.	Komponen	Tulangan Lapangan			Tulangan Tumpuan			Tulangan Geser	
		Tarik	Samping	Tekan	Tarik	Samping	Tekan	Lapangan	Tumpuan
1.	Balok Melintang	8D25	2D25	-	9D25	2D25	-	D16-250	D16-150
2.	Balok Memanjang	8D25	2D25	-	10DD25	2D25	-	D16-250	D16-150
3.	Plank Fender	2D25-100	-	2D25-100	2D25-100	-	2D25-100	D25-150	D25-150
4.	Poer Tunggal	22D25	4D25	22D25	22D25	4D25	22D25	-	-
5.	Poer Ganda	32D25	4D25	32D25	32D25	4D25	32D25	-	-

Tabel 8.4 Penulangan pada Balok dan Poer Trestle

No.	Komponen	Tulangan Lapangan			Tulangan Tumpuan			Tulangan Geser	
		Tarik	Samping	Tekan	Tarik	Samping	Tekan	Lapangan	Tumpuan
1.	Balok Melintang	8D25	2D25	-	8D25	2D25	-	D16-200	D16-100
2.	Balok Memanjang	8D25	2D25	-	8D25	2D25	-	D16-250	D16-150
3.	Poer Tunggal	16D25	2D25	16D25	16D25	2D25	16D25	-	-

13. Tiang pancang terdiri dari tiang pancang tegak dan tiang pancang miring, untuk tiang pancang miring memiliki sudut 6:1 . Titik jepit tiang berada pada 5,5 m di bawah seabed atau -14 mLWS. Masing-masing kedalaman pemancangan tiang adalah sebagai berikut:

    a. Tiang pancang tegak : -36 mLWS (dermaga)
    : -29 mLWS (trestle)

b. Tiang pancang miring : -30 mLWS (dermaga)

14. Pengecoran beton isian tiang pancang dilakukan hingga -1 mLWS
15. Perencanaan jetty 2 dengan metode pracetak dimana setelah perhitungan awal dilakukan perhitungan komponen pracetak seperti kontrol pengangkatan oleh crawler crane
16. Rencana anggaran biaya yang diperlukan untuk pembangunan jetty 2 adalah sebesar Rp 59.953.092.875,00

"halaman ini sengaja dikosongkan"

DAFTAR PUSTAKA

Badan Standardisasi Nasional. (2012). **Tata Cara Perencanaan Ketahanan Gempa untuk Struktur Bangunan Gedung dan Non Gedung**. Jakarta: Badan Standardisasi Nasional.

Knapton, J. (2007). **The Structural Design of Heavy Duty Pavements for Ports and Other Industries (4th ed.)**. Leicester: Interpave.

Maritime Navigation Commission. (2002). **Guidelines for the Design of Fender Systems**. Brussels: PIANC.

Menteri Perhubungan. (2002). **Penyelenggaraan Pelabuhan Laut**. Jakarta: Kementrian Perhubungan Republik Indonesia.

Precast/Prestressed Concrete Institute. (2004). **PCI Design Handbook (6th ed.)**. Chicago: Precast/Prestressed Concrete Institute.

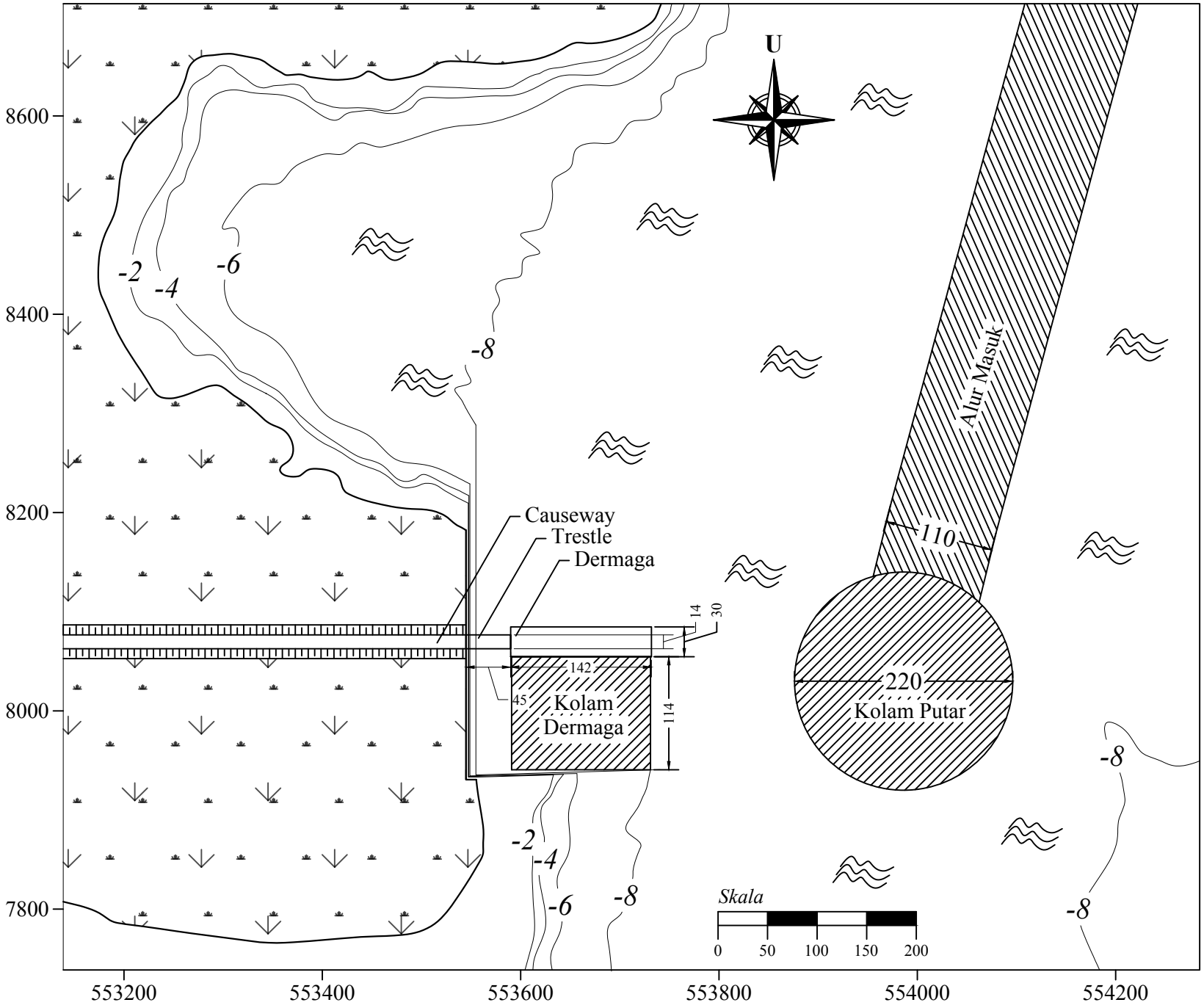
The Overseas Coastal Area Development Institute of Japan. (2002). **Technical Standards and Commentaries for Port and Harbour Facilities in Japan**. Tokyo: the Japan Ports and Harbours Association.

Thoresen, C. A. (2014). **Port Designer's Handbook (3rd ed.)**. London: ICE Publishing.

Wahyudi, H. (2013). **Daya Dukung Pondasi Dalam**. Surabaya: itspress.

Wangsadinata, W. (1971). **Peraturan Beton Bertulang Indonesia 1971**. Bandung: Departemen Pekerjaan Umum dan Tenaga Listrik.

Wangsadinata, W. (1971). **Perhitungan Lentur dengan Cara "N"**. Bandung: Departemen Pekerjaan Umum dan Tenaga Listrik.



JURUSAN TEKNIK SIPIL
FAKULTAS TEKNIK SIPIL DAN PERENCANAAN
INSTITUT TEKNOLOGI SEPULUH NOPEMBER
SURABAYA

catatan:

1. Elevasi bathymetri menunjukkan kedalaman dalam satuan mLWS
2. Dimensi kolam dermaga, kolam putar dan alur masuk dalam satuan meter
3. Lokasi jetty 2 masuk pada koordinat zona 50 UTM

TUGAS AKHIR
(RC14-1501)

PERENCANAAN DERMAGA JETTY 2 : UNTUK UNLOADING MUATAN KAPAL MULTIPURPOSE 6800 DWT PADA DERMAGA SISI SELATAN, DI TERMINAL KHUSUS PT. BADAK NGL, BONTANG

DOSEN PEMBIMBING

Ir. DYAH IRIANI W., M.Sc.
NIP. 196112191986032002

Prof. Dr. Ir. HERMAN WAHYUDI, DEA
NIP. 195503291980031002

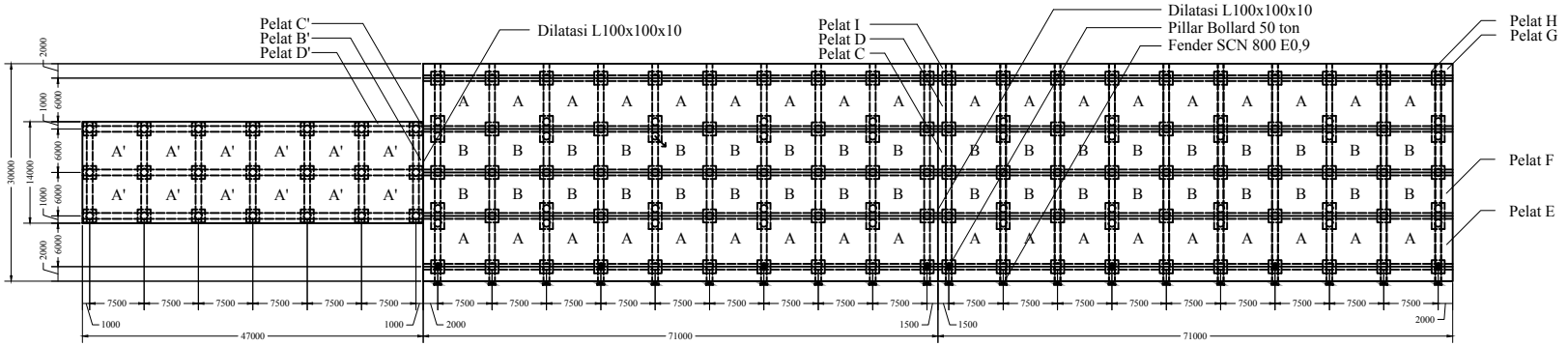
NAMA MAHASISWA

FAROQ NOVRIANDI
NRP. 3112100087

JUDUL GAMBAR

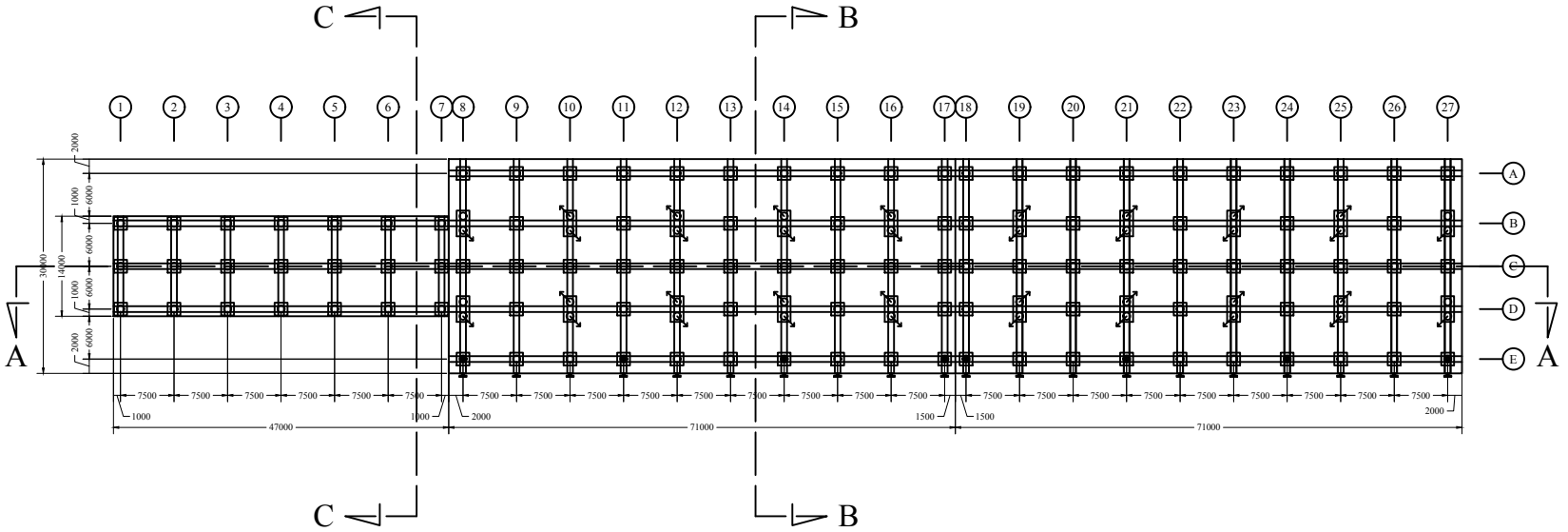
LAYOUT BATHYMETRI DAN POSISI JETTY 2

SKALA	NO GAMBAR
Skala Garis	1/16



JENIS PELAT STRUKTUR JETTY

SKALA 1:1000



POSISI DAN ARAH TIANG PANCANG

SKALA 1:1000

JURUSAN TEKNIK SIPIL
FAKULTAS TEKNIK SIPIL DAN PERENCANAAN
INSTITUT TEKNOLOGI SEPULUH NOPEMBER SURABAYA

catatan:

1. Dimensi dalam satuan mm
2. Dimensi yang ditunjukkan pada gambar adalah dimensi asli struktur

TUGAS AKHIR
(RC14-1501)

PERENCANAAN DERMAGA JETTY 2 : UNTUK UNLOADING MUATAN KAPAL MULTIPURPOSE 6800 DWT PADA DERMAGA SISI SELATAN, DI TERMINAL KHUSUS PT. BADAK NGL, BONTANG

DOSEN PEMBIMBING

Ir. DYAH IRIANI W., M.Sc.
NIP. 196112191986032002

Prof. Dr. Ir. HERMAN WAHYUDI, DEA
NIP. 195503291980031002

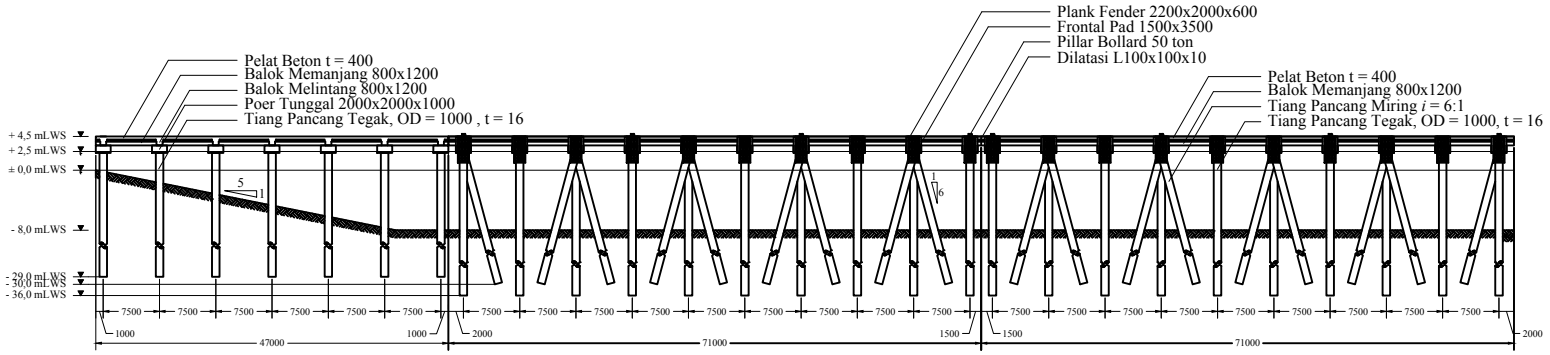
NAMA MAHASISWA

FAROQ NOVRIANDI
NRP. 3112100087

JUDUL GAMBAR

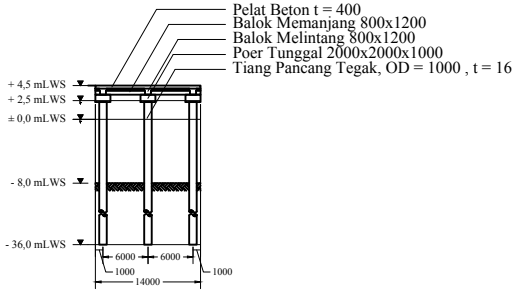
DENAH JETTY 2

SKALA	NO GAMBAR
1:1000	2/16



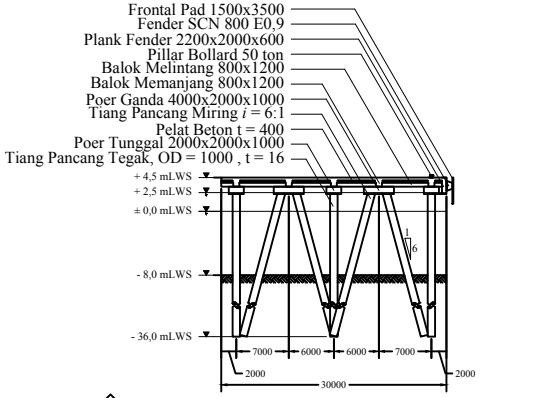
TAMPAK DEPAN JETTY

SKALA 1:1000



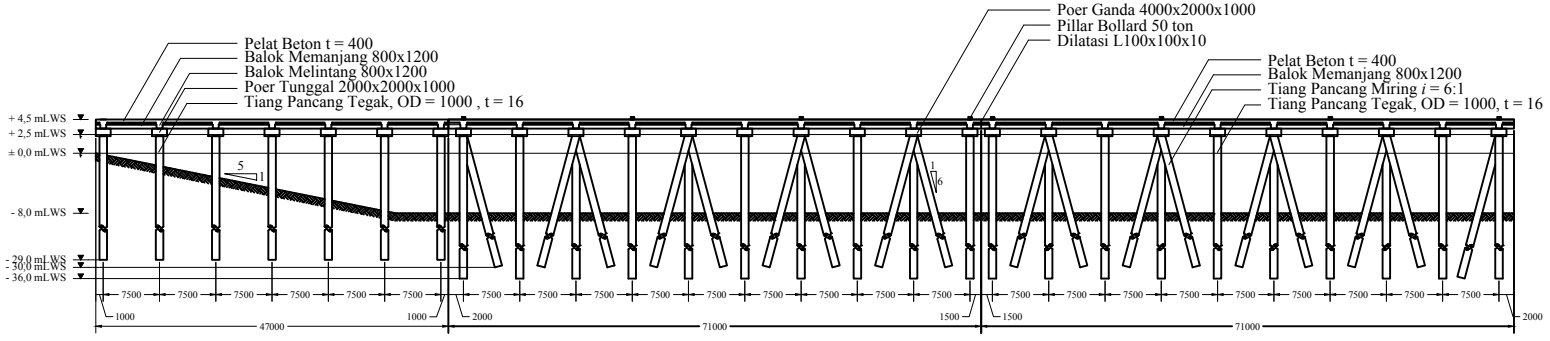
POTONGAN C-C JETTY (TRESTLE)

SKALA 1:1000



POTONGAN B-B JETTY (DERMAGA)

SKALA 1:1000



POTONGAN A-A JETTY

SKALA 1:1000

JURUSAN TEKNIK SIPIL
FAKULTAS TEKNIK SIPIL DAN PERENCANAAN
INSTITUT TEKNOLOGI SEPULUH NOPEMBER
SURABAYA

catatan:

1. Dimensi dalam satuan mm
2. Dimensi yang ditunjukkan pada gambar adalah dimensi asli struktur
3. Tiang pancang tegak dan miring memiliki dimensi yang sama yaitu OD = 1000 mm, t = 16 mm
4. Seabed -8,0 mLWS; LWS = 0,0 mLWS dan HWS = +2,5 mLWS

TUGAS AKHIR
(RC14-1501)

PERENCANAAN DERMAGA JETTY 2 : UNTUK UNLOADING MUATAN KAPAL MULTIPURPOSE 6800 DWT PADA DERMAGA SISI SELATAN, DI TERMINAL KHUSUS PT. BADAK NGL, BONTANG

DOSEN PEMBIMBING

Ir. DYAH IRIANI W., M.Sc.
NIP. 196112191986032002

Prof. Dr. Ir. HERMAN WAHYUDI, DEA
NIP. 195503291980031002

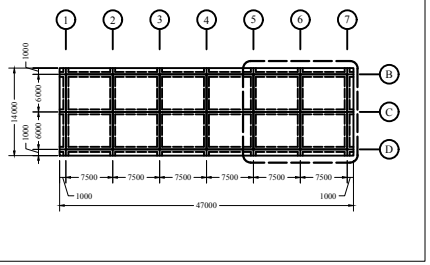
NAMA MAHASISWA

FAROQ NOVRIANDI
NRP. 3112100087

JUDUL GAMBAR

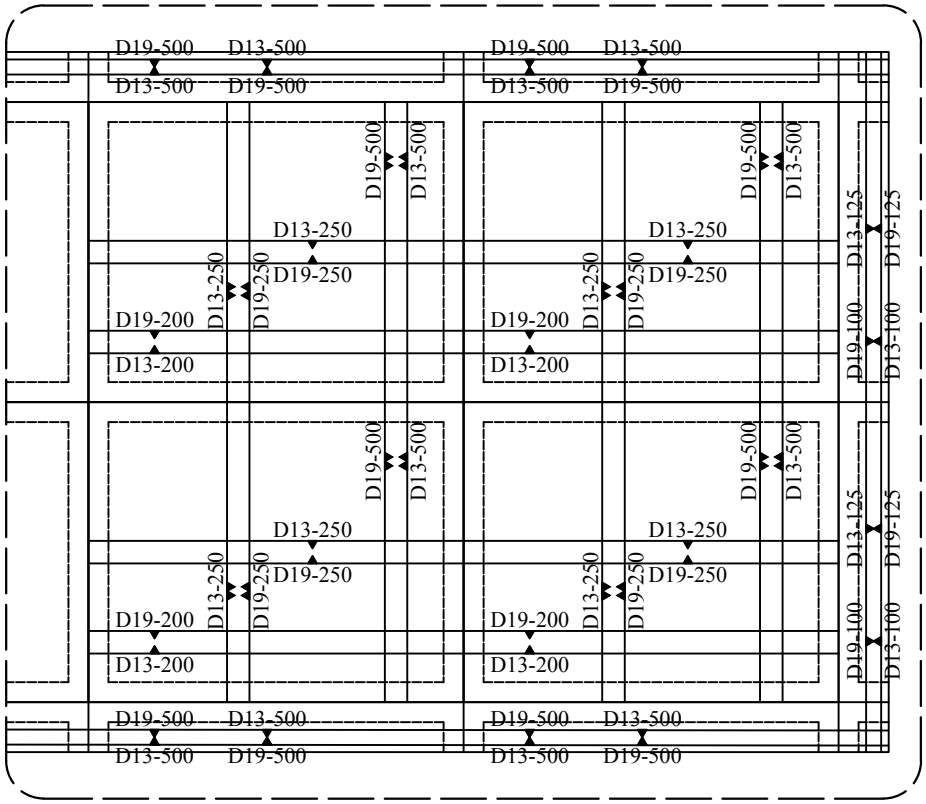
TAMPAK DEPAN, POTONGAN A-A, POTONGAN B-B DAN POTONGAN C-C JETTY

SKALA	NO GAMBAR
1:1000	3/16



PENULANGAN PELAT (TRESTLE)

TIPE	ARAH	KETERANGAN	DIPASANG
A'	X	Lapangan	D19-250
		Tumpuan	D19-200
	Y	Lapangan	D19-250
		Tumpuan	D19-500
B'	X	Lapangan	D19-125
		Tumpuan	D19-100
C'	X	Lapangan	D19-500
		Tumpuan	D19-250
	Y	Lapangan	D19-500
		Tumpuan	D19-250
D'	X	Lapangan	D19-500
		Tumpuan	D19-500



PENULANGAN PELAT TRESTLE

SKALA 1:150

JURUSAN TEKNIK SIPIL
FAKULTAS TEKNIK SIPIL DAN PERENCANAAN
INSTITUT TEKNOLOGI SEPULUH NOPEMBER SURABAYA

catatan:

1. Dimensi dalam satuan mm
2. Denah tipe pelat dapat dilihat pada gambar no. 2
2. Tanda Δ menunjukkan tulangan bagian luar sedangkan ΔΔ menunjukkan tulangan bagian dalam
3. Tanda Δ ke atas menunjukkan tulangan sisi bawah dan Δ ke bawah menunjukkan tulangan sisi atas

TUGAS AKHIR
(RC14-1501)

PERENCANAAN DERMAGA JETTY 2 : UNTUK UNLOADING MUATAN KAPAL MULTIPURPOSE 6800 DWT PADA DERMAGA SISI SELATAN, DI TERMINAL KHUSUS PT. BADAK NGL, BONTANG

DOSEN PEMBIMBING

Ir. DYAH IRIANI W., M.Sc.
NIP. 196112191986032002

Prof. Dr. Ir. HERMAN WAHYUDI, DEA
NIP. 195503291980031002

NAMA MAHASISWA

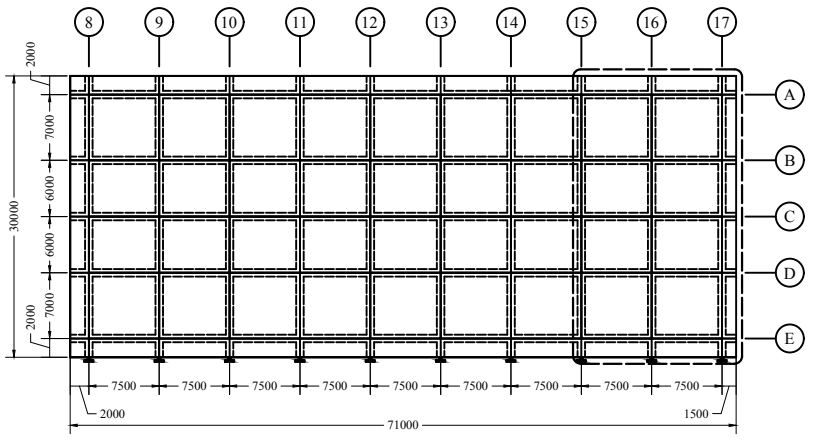
FAROQ NOVRIANDI
NRP. 3112100087

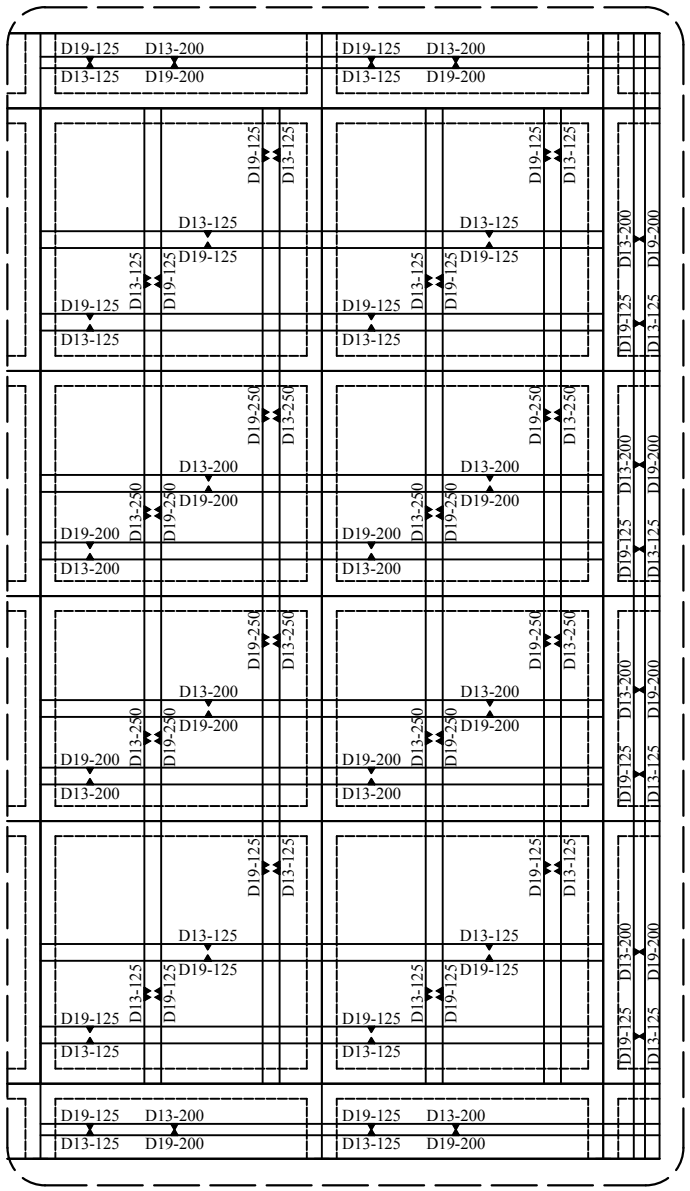
JUDUL GAMBAR

PENULANGAN PELAT STRUKTUR TRESTLE

SKALA	NO GAMBAR
1:150	4/16

PENULANGAN PELAT (DERMAGA)			
TIPE	ARAH	KETERANGAN	DIPASANG
A	X	Lapangan	D19-125
		Tumpuan	D19-125
	Y	Lapangan	D19-125
		Tumpuan	D19-125
B	X	Lapangan	D19-200
		Tumpuan	D19-200
	Y	Lapangan	D19-250
		Tumpuan	D19-250
C	X	Lapangan	D19-125
		Tumpuan	D19-100
D	X	Lapangan	D19-125
		Tumpuan	D19-100
E	X	Lapangan	D19-200
		Tumpuan	D19-125
F	X	Lapangan	D19-200
		Tumpuan	D19-125
G	X	Lapangan	D19-1000
		Tumpuan	D19-500
	Y	Lapangan	D19-1000
		Tumpuan	D19-500
H	X	Lapangan	D19-200
		Tumpuan	D19-125
I	X	Lapangan	D19-1000
		Tumpuan	D19-500
	Y	Lapangan	D19-1000
		Tumpuan	D19-1000





PENULANGAN PELAT DERMAGA

SKALA 1:200

JURUSAN TEKNIK SIPIL
FAKULTAS TEKNIK SIPIL DAN PERENCANAAN
INSTITUT TEKNOLOGI SEPULUH NOPEMBER SURABAYA

catatan:

1. Dimensi dalam satuan mm
2. Denah tipe pelat dapat dilihat pada gambar no. 2
2. Tanda Δ menunjukkan tulangan bagian luar sedangkan ΔΔ menunjukkan tulangan bagian dalam
3. Tanda Δ ke atas menunjukkan tulangan sisi bawah dan Δ ke bawah menunjukkan tulangan sisi atas

TUGAS AKHIR
(RC14-1501)

PERENCANAAN DERMAGA JETTY 2 : UNTUK UNLOADING MUATAN KAPAL MULTIPURPOSE 6800 DWT PADA DERMAGA SISI SELATAN, DI TERMINAL KHUSUS PT. BADAK NGL, BONTANG

DOSEN PEMBIMBING

Ir. DYAH IRIANI W., M.Sc.
NIP. 196112191986032002

Prof. Dr. Ir. HERMAN WAHYUDI, DEA
NIP. 195503291980031002

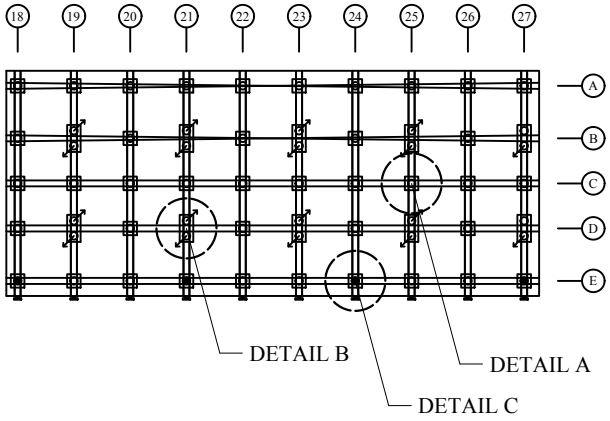
NAMA MAHASISWA

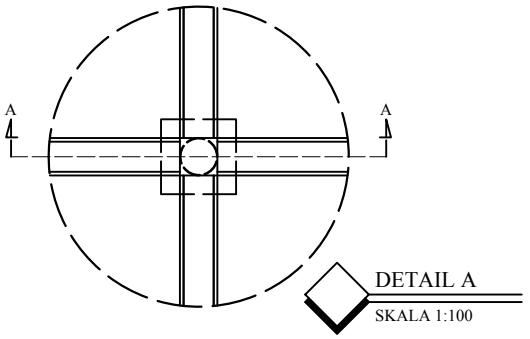
FAROQ NOVRIANDI
NRP. 3112100087

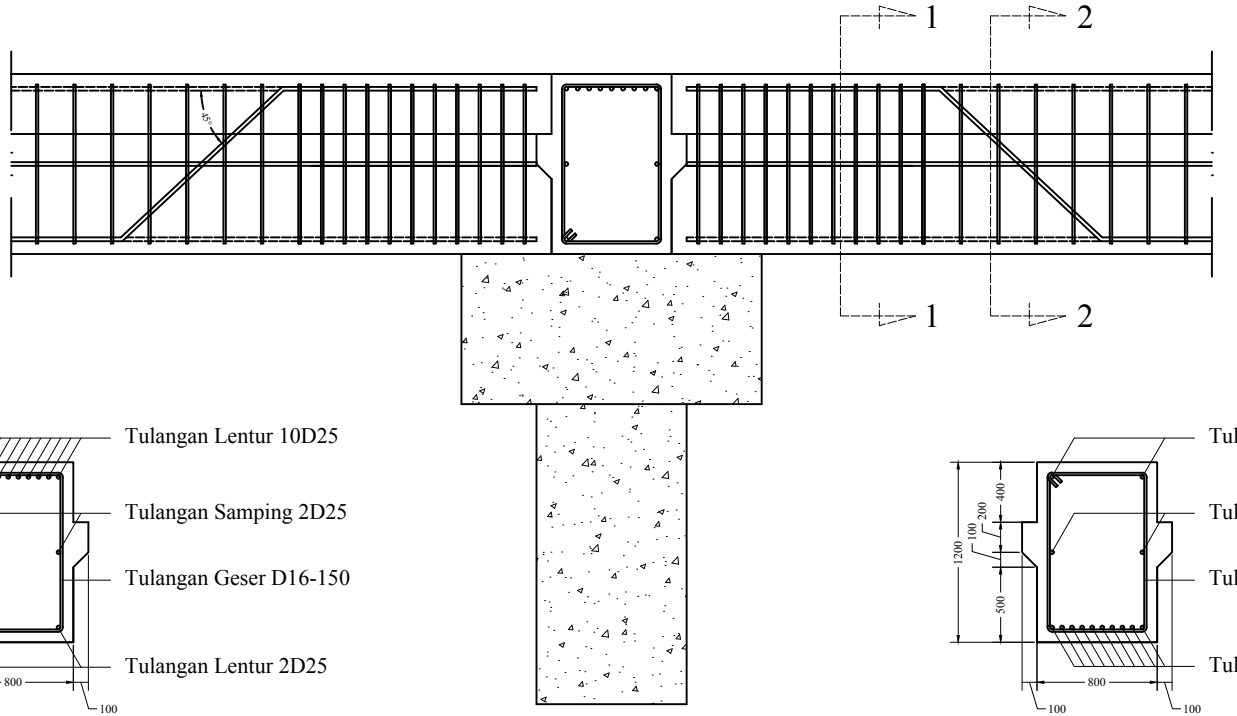
JUDUL GAMBAR

PENULANGAN PELAT STRUKTUR DERMAGA

SKALA	NO GAMBAR
1:200	5/16







POTONGAN 1-1 (TUMPUAN)
SKALA 1:50

POTONGAN A-A (BALOK MEMANJANG)
SKALA 1:50

POTONGAN 2-2 (LAPANGAN)
SKALA 1:50

JURUSAN TEKNIK SIPIL
FAKULTAS TEKNIK SIPIL DAN PERENCANAAN
INSTITUT TEKNOLOGI SEPULUH NOPEMBER SURABAYA

catatan:
1. Dimensi dalam satuan mm

TUGAS AKHIR
(RC14-1501)

PERENCANAAN DERMAGA JETTY 2 : UNTUK UNLOADING MUATAN KAPAL MULTIPURPOSE 6800 DWT PADA DERMAGA SISI SELATAN, DI TERMINAL KHUSUS PT. BADAK NGL, BONTANG

DOSEN PEMBIMBING

Ir. DYAH IRIANI W., M.Sc.
NIP. 196112191986032002

Prof. Dr. Ir. HERMAN WAHYUDI, DEA
NIP. 195503291980031002

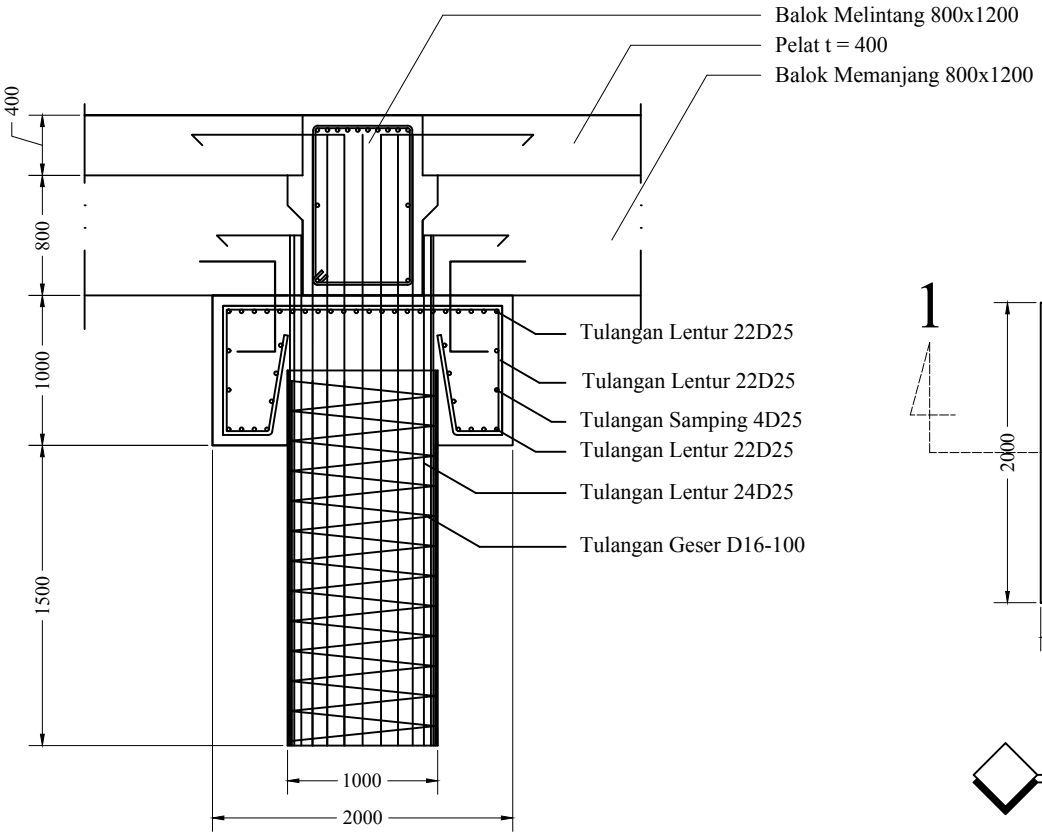
NAMA MAHASISWA

FAROQ NOVRIANDI
NRP. 3112100087

JUDUL GAMBAR

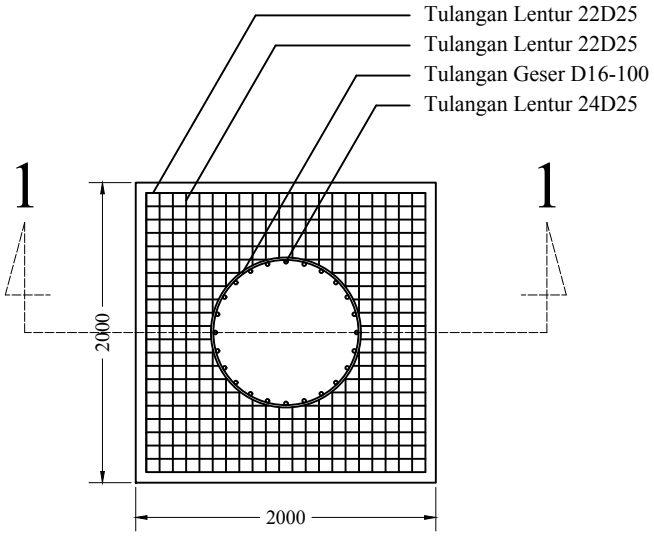
DETAIL A-A DAN PENULANGAN BALOK MEMANJANG

SKALA	NO GAMBAR
	6/16



POTONGAN 1-1 (POER TUNGGAL)

SKALA 1:50



PENULANGAN POER TUNGGAL

SKALA 1:50

JURUSAN TEKNIK SIPIL
FAKULTAS TEKNIK SIPIL DAN PERENCANAAN
INSTITUT TEKNOLOGI SEPULUH NOPEMBER SURABAYA

catatan:

1. Dimensi dalam satuan mm

TUGAS AKHIR
(RC14-1501)

PERENCANAAN DERMAGA JETTY 2 : UNTUK UNLOADING MUATAN KAPAL MULTIPURPOSE 6800 DWT PADA DERMAGA SISI SELATAN, DI TERMINAL KHUSUS PT. BADAK NGL, BONTANG

DOSEN PEMBIMBING

Ir. DYAH IRIANI W., M.Sc.
NIP. 196112191986032002

Prof. Dr. Ir. HERMAN WAHYUDI, DEA
NIP. 195503291980031002

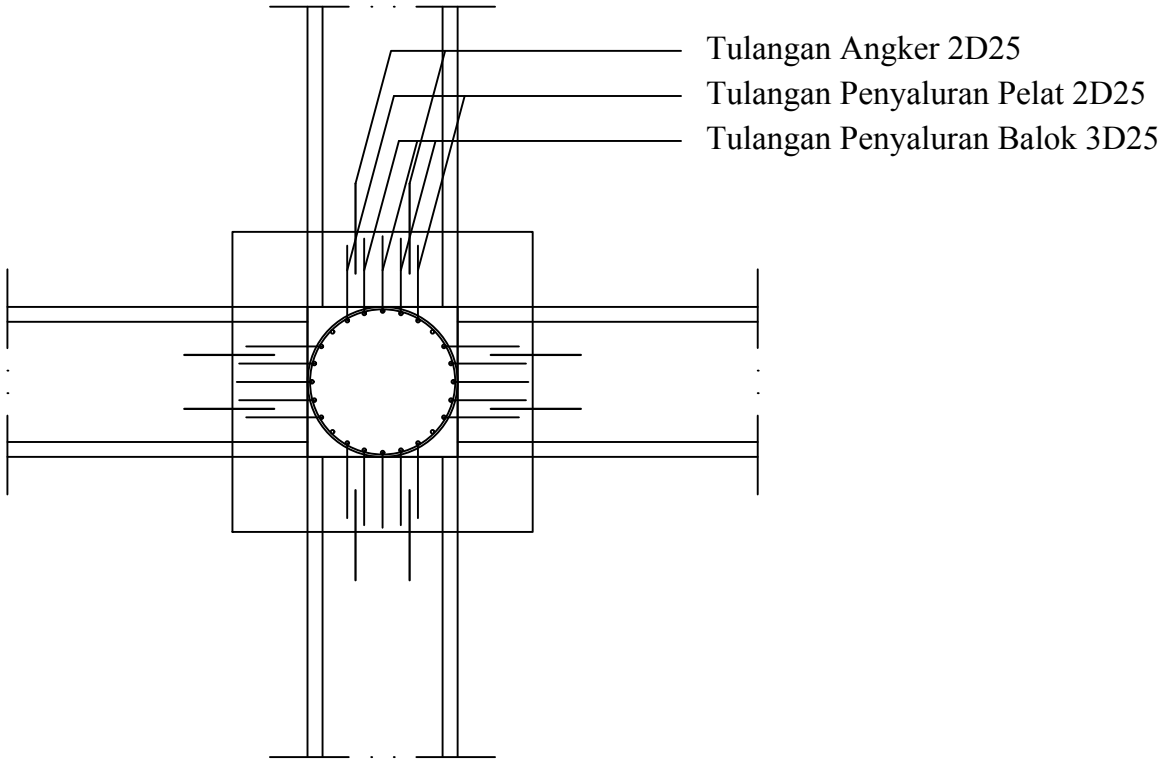
NAMA MAHASISWA

FAROQ NOVRIANDI
NRP. 3112100087

JUDUL GAMBAR

PENULANGAN POER TUNGGAL DERMAGA DAN POTONGAN 1-1

SKALA	NO GAMBAR
1:50	7/16



TAMPAK ATAS TULANGAN PENYALURAN POER TUNGGAL

SKALA 1:50

JURUSAN TEKNIK SIPIL
FAKULTAS TEKNIK SIPIL DAN PERENCANAAN
INSTITUT TEKNOLOGI SEPULUH NOPEMBER SURABAYA

catatan:

1. Dimensi dalam satuan mm

TUGAS AKHIR
(RC14-1501)

PERENCANAAN DERMAGA JETTY 2 : UNTUK UNLOADING MUATAN KAPAL MULTIPURPOSE 6800 DWT PADA DERMAGA SISI SELATAN, DI TERMINAL KHUSUS PT. BADAK NGL, BONTANG

DOSEN PEMBIMBING

Ir. DYAH IRIANI W., M.Sc.
NIP. 196112191986032002

Prof. Dr. Ir. HERMAN WAHYUDI, DEA
NIP. 195503291980031002

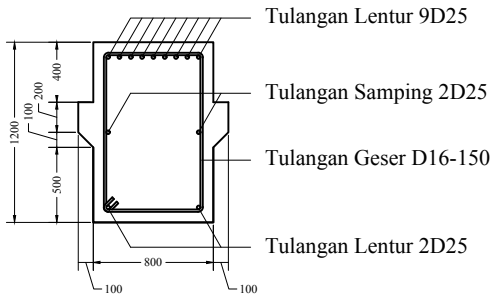
NAMA MAHASISWA

FAROQ NOVRIANDI
NRP. 3112100087

JUDUL GAMBAR

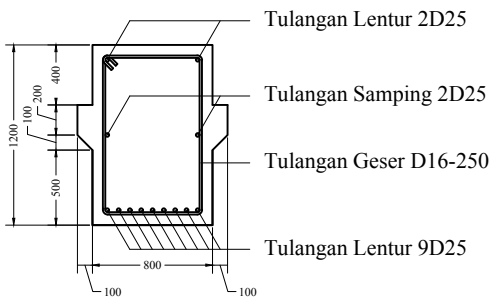
TAMPAK ATAS TULANGAN PENYALURAN POER TUNGGAL DERMAGA

SKALA	NO GAMBAR
1:50	8/16



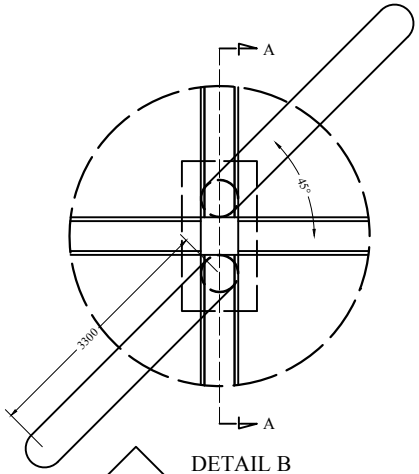
POTONGAN 1-1 (TUMPUAN)

SKALA 1:50



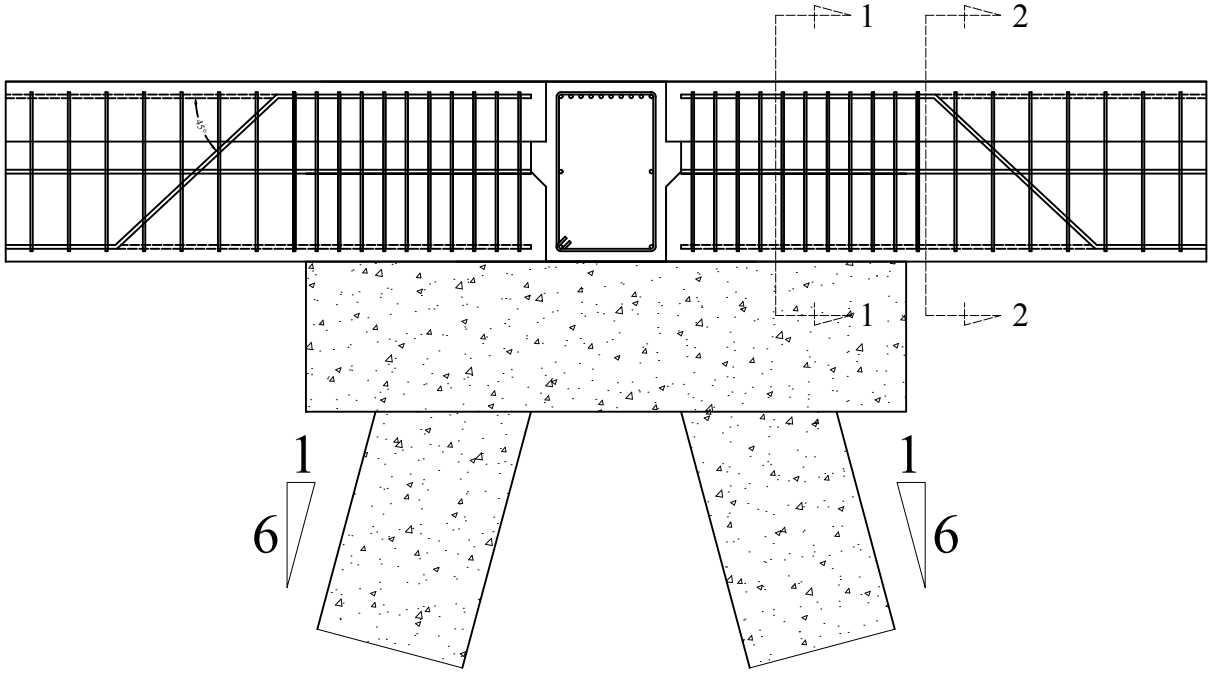
POTONGAN 2-2 (LAPANGAN)

SKALA 1:50



DETAIL B

SKALA 1:100



POTONGAN A-A (BALOK MELINTANG)

SKALA 1:50

JURUSAN TEKNIK SIPIL
FAKULTAS TEKNIK SIPIL DAN PERENCANAAN
INSTITUT TEKNOLOGI SEPULUH NOPEMBER SURABAYA

catatan:

1. Dimensi dalam satuan mm
2. Detail B merujuk pada gambar 6

TUGAS AKHIR
(RC14-1501)

PERENCANAAN DERMAGA JETTY 2 : UNTUK UNLOADING MUATAN KAPAL MULTIPURPOSE 6800 DWT PADA DERMAGA SISI SELATAN, DI TERMINAL KHUSUS PT. BADAK NGL, BONTANG

DOSEN PEMBIMBING

Ir. DYAH IRIANI W., M.Sc.
NIP. 196112191986032002

Prof. Dr. Ir. HERMAN WAHYUDI, DEA
NIP. 195503291980031002

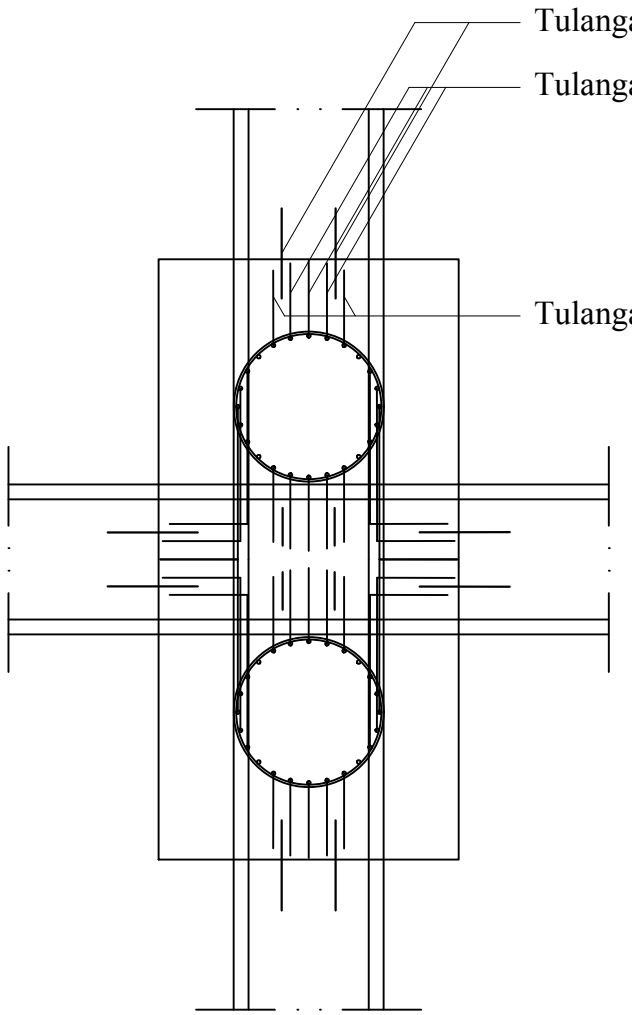
NAMA MAHASISWA

FAROQ NOVRIANDI
NRP. 3112100087

JUDUL GAMBAR

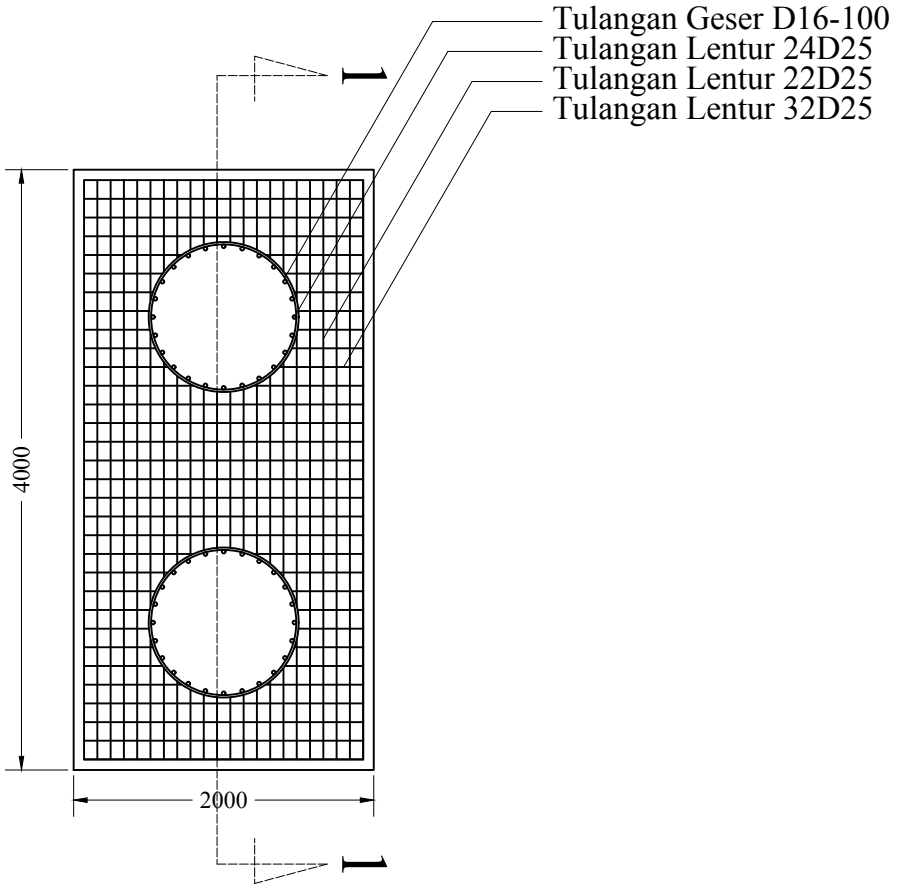
DETAIL B-B DAN PENULANGAN BALOK MELINTANG

SKALA	NO GAMBAR
	9/16



TAMPAK ATAS TULANGAN PENYALURAN (POER GANDA)

SKALA 1:50



PENULANGAN POER GANDA

SKALA 1:50

JURUSAN TEKNIK SIPIL
FAKULTAS TEKNIK SIPIL DAN PERENCANAAN
INSTITUT TEKNOLOGI SEPULUH NOPEMBER SURABAYA

catatan:

1. Dimensi dalam satuan mm

TUGAS AKHIR
(RC14-1501)

PERENCANAAN DERMAGA JETTY 2 : UNTUK UNLOADING MUATAN KAPAL MULTIPURPOSE 6800 DWT PADA DERMAGA SISI SELATAN, DI TERMINAL KHUSUS PT. BADAK NGL, BONTANG

DOSEN PEMBIMBING

Ir. DYAH IRIANI W., M.Sc.
NIP. 196112191986032002

Prof. Dr. Ir. HERMAN WAHYUDI, DEA
NIP. 195503291980031002

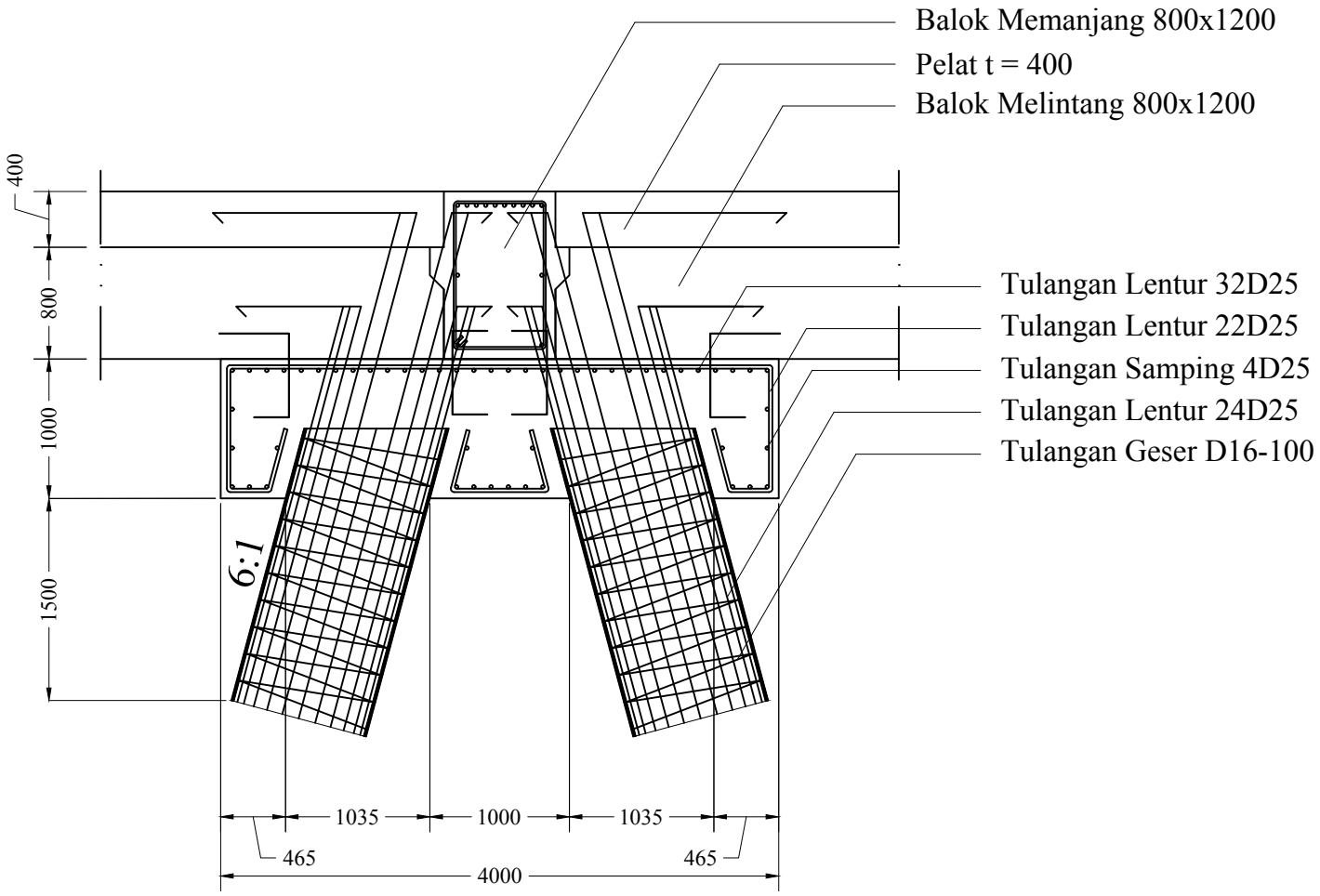
NAMA MAHASISWA

FAROQ NOVRIANDI
NRP. 3112100087

JUDUL GAMBAR

PENULANGAN POER GANDA DAN TAMPAK ATAS TULANGAN PENYALURAN

SKALA	NO GAMBAR
1:50	10/16



POTONGAN 1-1 (POER GANDA)

SKALA 1:50

JURUSAN TEKNIK SIPIL
FAKULTAS TEKNIK SIPIL DAN PERENCANAAN
INSTITUT TEKNOLOGI SEPULUH NOPEMBER SURABAYA

catatan:

1. Dimensi dalam satuan mm

TUGAS AKHIR
(RC14-1501)

PERENCANAAN DERMAGA JETTY 2 : UNTUK UNLOADING MUATAN KAPAL MULTIPURPOSE 6800 DWT PADA DERMAGA SISI SELATAN, DI TERMINAL KHUSUS PT. BADAK NGL, BONTANG

DOSEN PEMBIMBING

Ir. DYAH IRIANI W., M.Sc.
NIP. 196112191986032002

Prof. Dr. Ir. HERMAN WAHYUDI, DEA
NIP. 195503291980031002

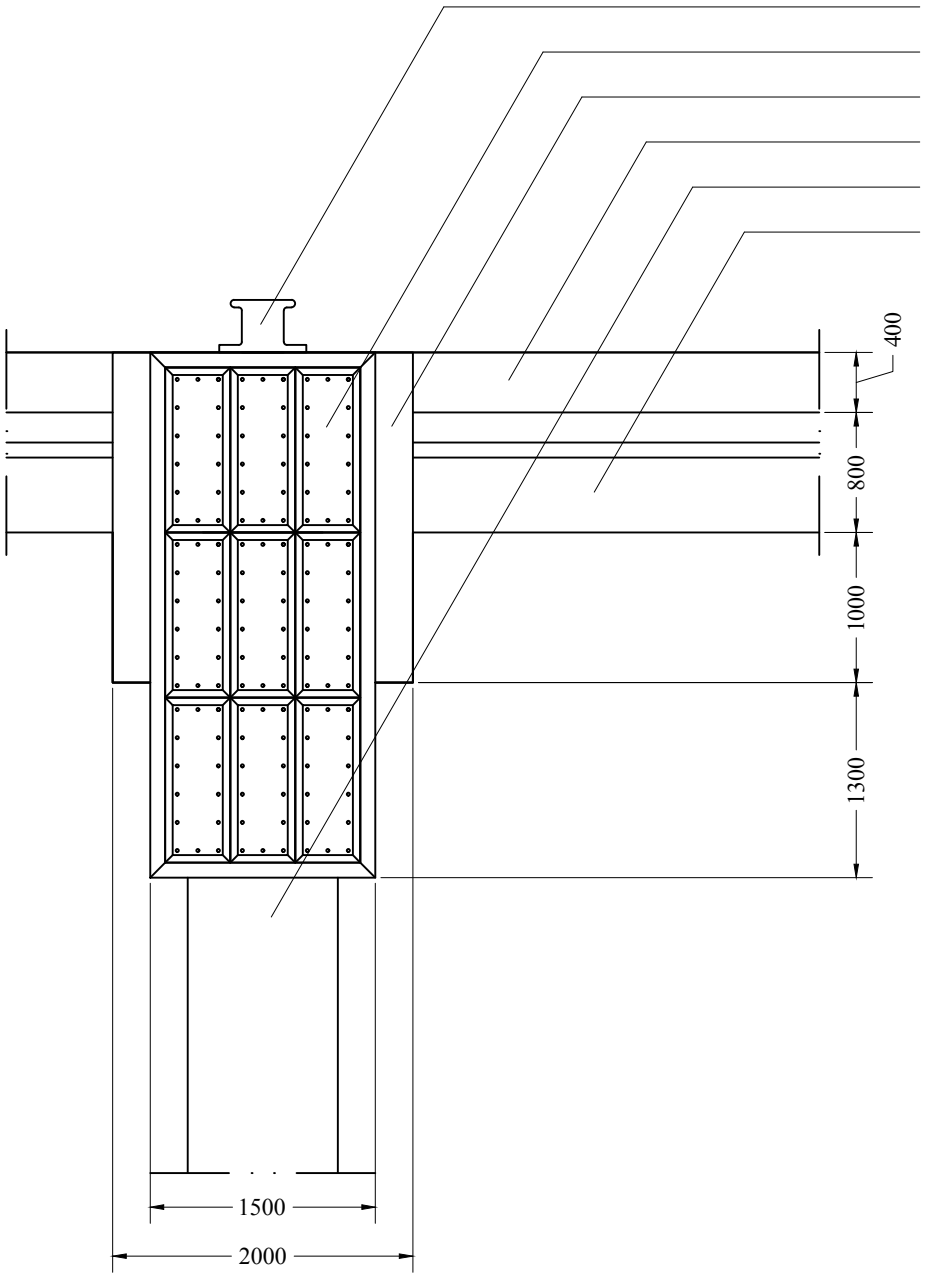
NAMA MAHASISWA

FAROQ NOVRIANDI
NRP. 3112100087

JUDUL GAMBAR

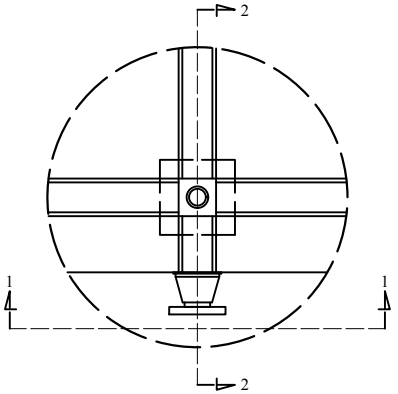
POTONGAN 1-1 (POER GANDA)

SKALA	NO GAMBAR
1:50	11/16



TAMPAK DEPAN 1-1 (DETAIL C)

SKALA 1:50



DETAIL C

SKALA 1:100

JURUSAN TEKNIK SIPIL
FAKULTAS TEKNIK SIPIL DAN PERENCANAAN
INSTITUT TEKNOLOGI SEPULUH NOPEMBER SURABAYA

catatan:

1. Dimensi dalam satuan mm
2. Detail C merujuk pada gambar 6

TUGAS AKHIR
(RC14-1501)

PERENCANAAN DERMAGA JETTY 2 : UNTUK UNLOADING MUATAN KAPAL MULTIPURPOSE 6800 DWT PADA DERMAGA SISI SELATAN, DI TERMINAL KHUSUS PT. BADAK NGL, BONTANG

DOSEN PEMBIMBING

Ir. DYAH IRIANI W., M.Sc.
NIP. 196112191986032002

Prof. Dr. Ir. HERMAN WAHYUDI, DEA
NIP. 195503291980031002

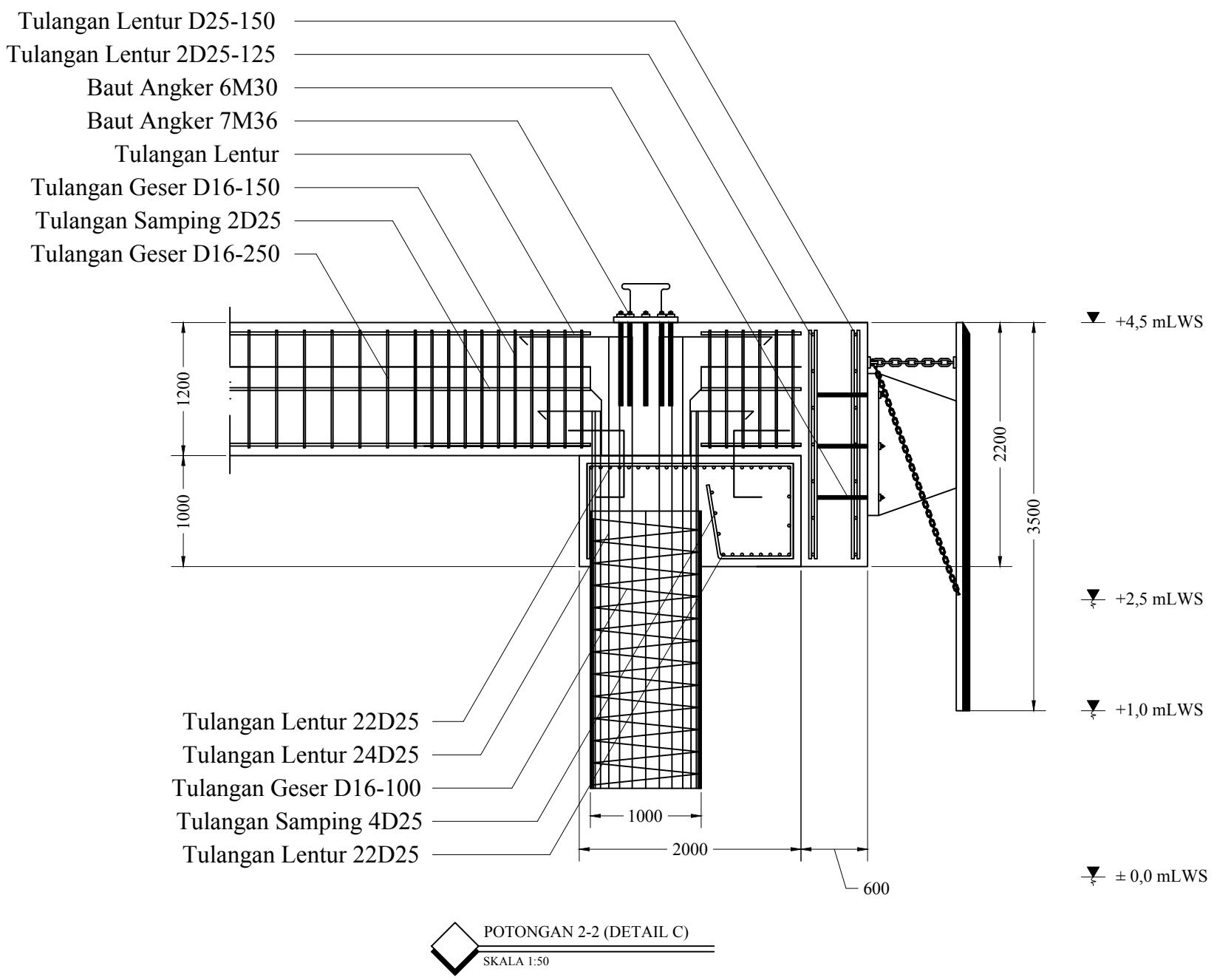
NAMA MAHASISWA

FAROQ NOVRIANDI
NRP. 3112100087

JUDUL GAMBAR

DETAIL C DAN TAMPAK DEPAN 1-1 (DETAIL C)

SKALA	NO GAMBAR
	12/16



POTONGAN 2-2 (DETAIL C)

SKALA 1:50

JURUSAN TEKNIK SIPIL
FAKULTAS TEKNIK SIPIL DAN PERENCANAAN
INSTITUT TEKNOLOGI SEPULUH NOPEMBER SURABAYA

catatan:

1. Dimensi dalam satuan mm

TUGAS AKHIR
(RC14-1501)

PERENCANAAN DERMAGA JETTY 2 : UNTUK UNLOADING MUATAN KAPAL MULTIPURPOSE 6800 DWT PADA DERMAGA SISI SELATAN, DI TERMINAL KHUSUS PT. BADAK NGL, BONTANG

DOSEN PEMBIMBING

Ir. DYAH IRIANI W., M.Sc.
NIP. 196112191986032002

Prof. Dr. Ir. HERMAN WAHYUDI, DEA
NIP. 195503291980031002

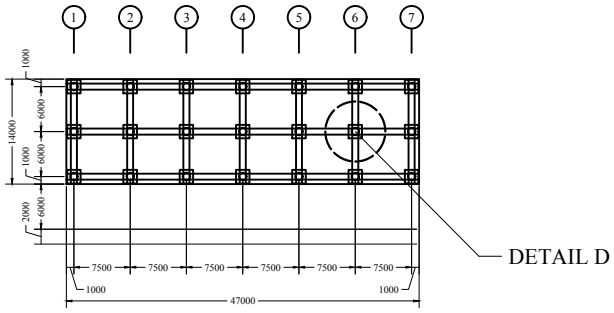
NAMA MAHASISWA

FAROQ NOVRIANDI
NRP. 3112100087

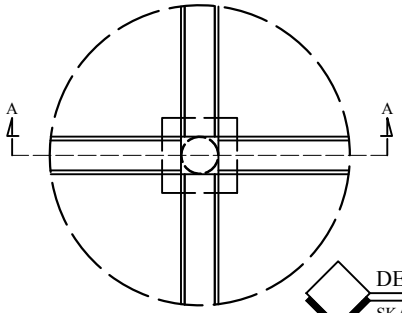
JUDUL GAMBAR

POTONGAN 2-2 (DETAIL C)

SKALA	NO GAMBAR
1:50	13/16

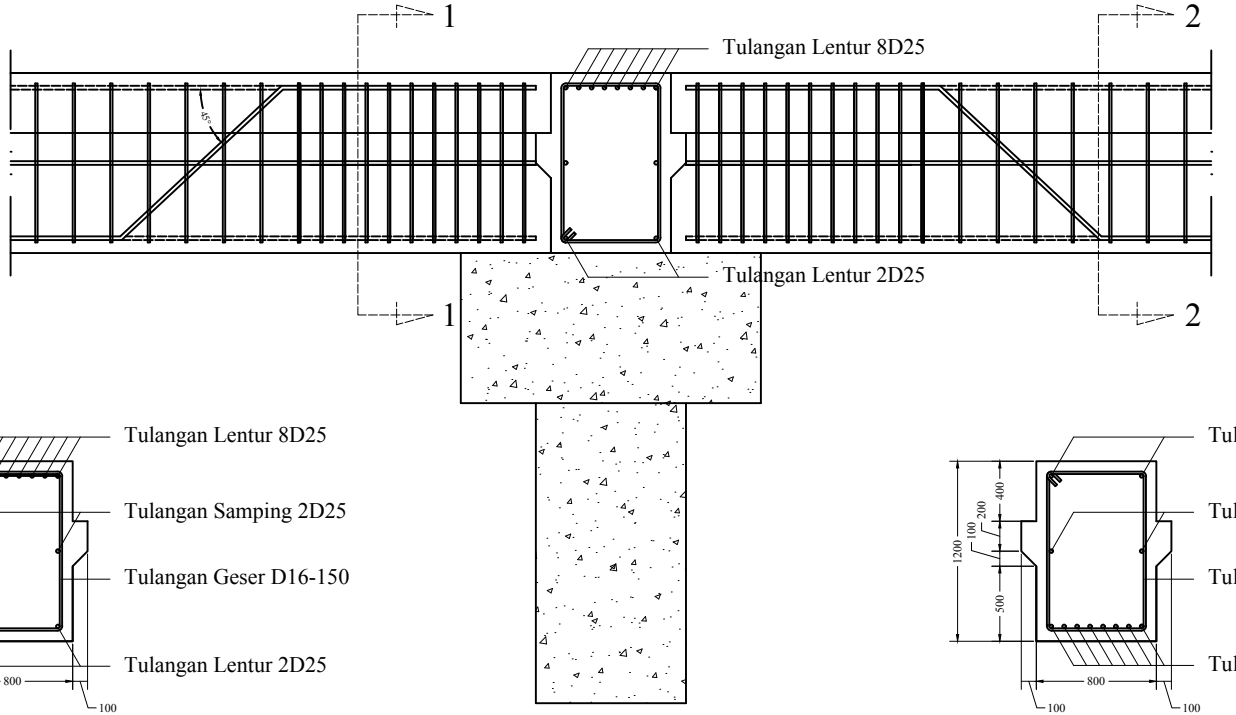


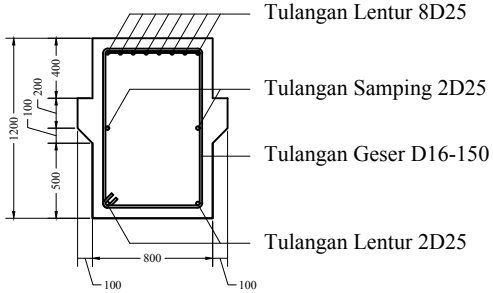
DETAIL D

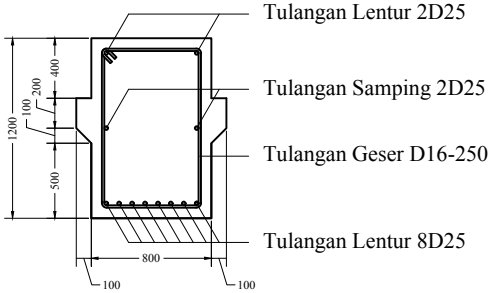


DETAIL D

SKALA 1:100







POTONGAN 1-1 (TUMPUAN)

SKALA 1:50

POTONGAN A-A (BALOK MEMANJANG)

SKALA 1:50

POTONGAN 2-2 (LAPANGAN)

SKALA 1:50

JURUSAN TEKNIK SIPIL
FAKULTAS TEKNIK SIPIL DAN PERENCANAAN
INSTITUT TEKNOLOGI SEPULUH NOPEMBER
SURABAYA

catatan:

1. Dimensi dalam satuan mm
2. Tulangan pada balok memanjang dan melintang sama yaitu tulangan tumpuan 8D25 dan tulangan lapangan 8D25

TUGAS AKHIR
(RC14-1501)

PERENCANAAN DERMAGA JETTY 2 : UNTUK UNLOADING MUATAN KAPAL MULTIPURPOSE 6800 DWT PADA DERMAGA SISI SELATAN, DI TERMINAL KHUSUS PT. BADAK NGL, BONTANG

DOSEN PEMBIMBING

Ir. DYAH IRIANI W., M.Sc.
NIP. 196112191986032002

Prof. Dr. Ir. HERMAN WAHYUDI, DEA
NIP. 195503291980031002

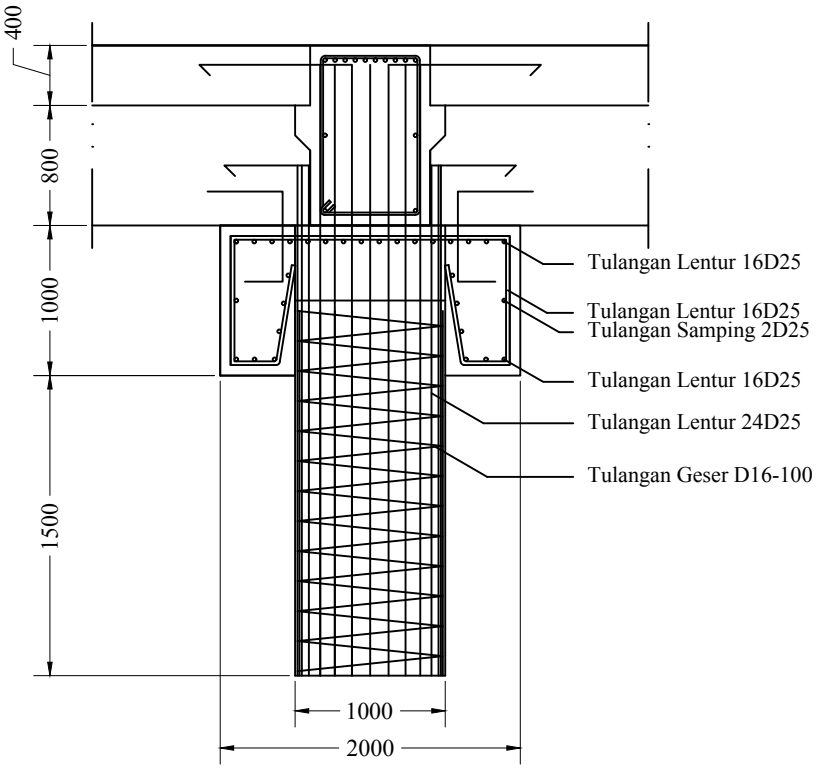
NAMA MAHASISWA

FAROQ NOVRIANDI
NRP. 3112100087

JUDUL GAMBAR

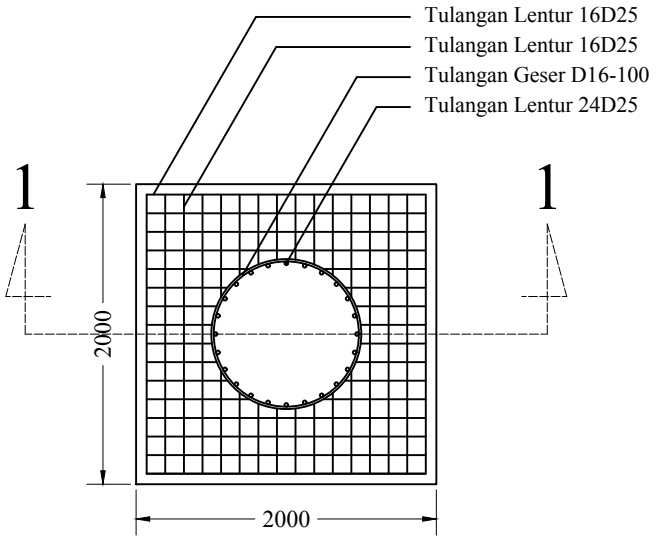
DETAIL D PADA TRESTLE DAN PENULANGAN BALOK MEMANJANG

SKALA	NO GAMBAR
	14/16



POTONGAN 1-1 (POER TUNGGAL)

SKALA 1:50



PENULANGAN POER TUNGGAL

SKALA 1:50

JURUSAN TEKNIK SIPIL
FAKULTAS TEKNIK SIPIL DAN PERENCANAAN
INSTITUT TEKNOLOGI SEPULUH NOPEMBER SURABAYA

catatan:

1. Dimensi dalam satuan mm

TUGAS AKHIR
(RC14-1501)

PERENCANAAN DERMAGA JETTY 2 : UNTUK UNLOADING MUATAN KAPAL MULTIPURPOSE 6800 DWT PADA DERMAGA SISI SELATAN, DI TERMINAL KHUSUS PT. BADAK NGL, BONTANG

DOSEN PEMBIMBING

Ir. DYAH IRIANI W., M.Sc.
NIP. 196112191986032002

Prof. Dr. Ir. HERMAN WAHYUDI, DEA
NIP. 195503291980031002

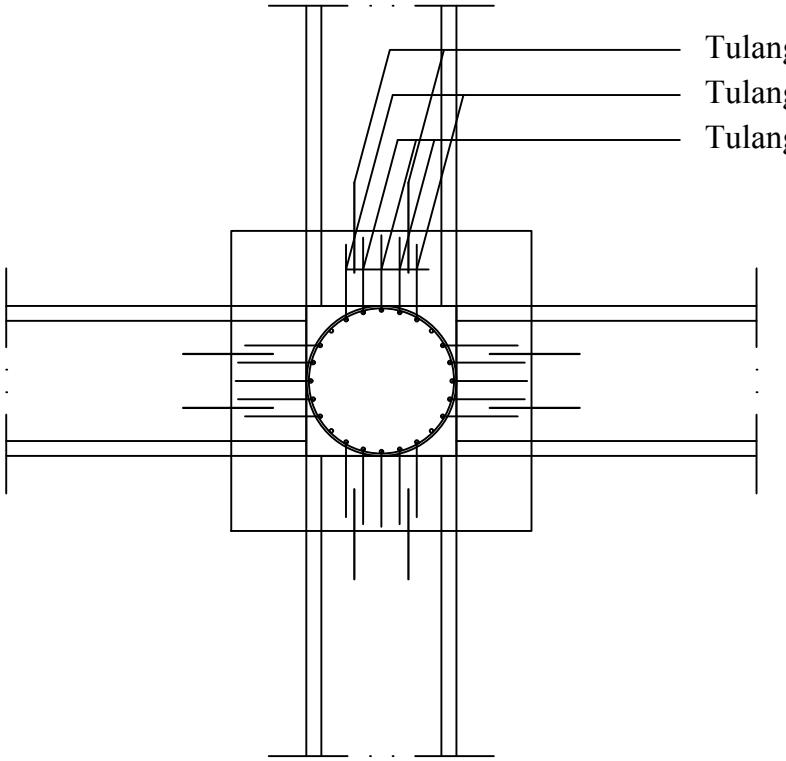
NAMA MAHASISWA

FAROQ NOVRIANDI
NRP. 3112100087

JUDUL GAMBAR

PENULANGAN POER TUNGGAL TRESTLE DAN POTONGAN 1-1

SKALA	NO GAMBAR
1:50	15/16



TAMPAK ATAS TULANGAN PENYALURAN POER TUNGGAL

SKALA 1:50

JURUSAN TEKNIK SIPIL
FAKULTAS TEKNIK SIPIL DAN PERENCANAAN
INSTITUT TEKNOLOGI SEPULUH NOPEMBER SURABAYA

catatan:

1. Dimensi dalam satuan mm

TUGAS AKHIR
(RC14-1501)

PERENCANAAN DERMAGA JETTY 2 : UNTUK UNLOADING MUATAN KAPAL MULTIPURPOSE 6800 DWT PADA DERMAGA SISI SELATAN, DI TERMINAL KHUSUS PT. BADAK NGL, BONTANG

DOSEN PEMBIMBING

Ir. DYAH IRIANI W., M.Sc.
NIP. 196112191986032002

Prof. Dr. Ir. HERMAN WAHYUDI, DEA
NIP. 195503291980031002

NAMA MAHASISWA

FAROQ NOVRIANDI
NRP. 3112100087

JUDUL GAMBAR

TAMPAK ATAS TULANGAN PENYALURAN POER TUNGGAL TRESTLE

SKALA	NO GAMBAR
1:50	16/16

Super Cone Fenders

Super Cones are the latest generation of "cell" fender combining excellent energy capacity with low reaction force to give the most efficient performance of any fender type. The conical shape keeps the body stable under all combinations of axial, shear and angular loading, making it ideal for berths where large berthing angles and heavy impacts need to be accommodated.

All Super Cones are single piece mouldings – unlike traditional "cell" types – so they are robust, long lasting and easy to install. Optional overload stops can be moulded inside the cone to prevent over compression, making the Super Cone extremely reliable and resistant to accident damage.

Soft structures such as monopiles, dolphins and open piled jetties can often be built more economically due to the very low loads generated by Super Cones. UHMW-PE faced steel frontal frames are generally used in conjunction with Super Cones, although they have also been used with great success behind fender piles, in Parallel Motion systems and for numerous other applications.

CORE ATTRIBUTES

- **Highly efficient shape**
- **Excellent under large berthing angles and shear**
- **Large range of sizes**
- **Versatile design suits numerous applications**
- **Choice of standard & intermediate compounds**
- **Stable geometry maintains performance under all loading combinations**
- **Well proven design – thousands in use**
- **Easy and fast to install**
- **Optional overload stop (unique to Super Cones).**

▲ **Nhava Sheva (INDIA)**

▼ **Pontile Elba, Livorno (ITALY)**

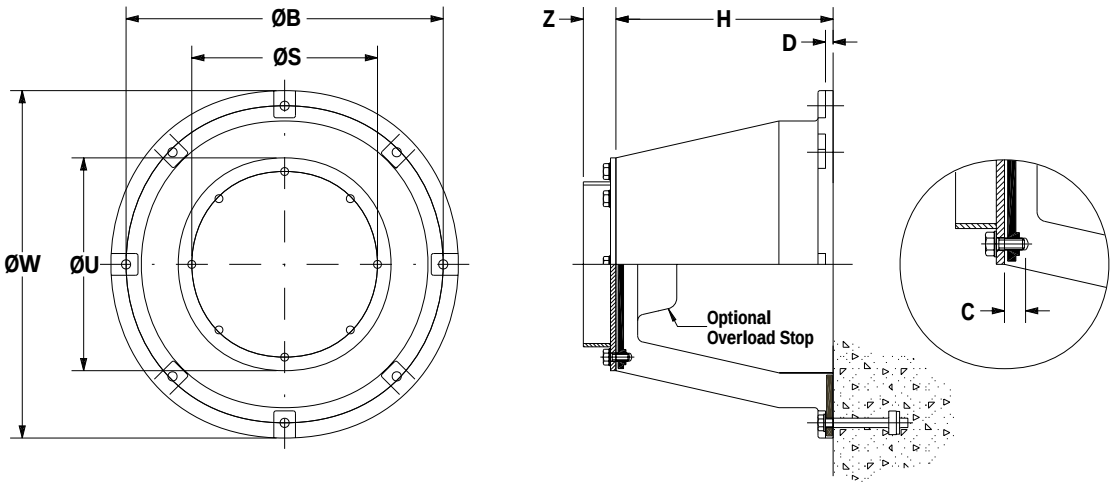
▼ **Star Cruise Berth, Langkawi (MALAYSIA)**

SUPER CONE FENDER DIMENSIONS

Fender	H	ØW	ØU	C	D	ØB	Anchors	ØS	Head Bolts	Z	Weight (kg)
SCN 300	300	500	295	27~37	15	440	4-M20	255	4-M20	45	31
SCN 350	350	570	330	27~37	15	510	4-M20	275	4-M20	52	40
SCN 400	400	650	390	30~40	20	585	4-M24	340	4-M24	60	74
SCN 500	500	800	490	32~42	25	730	4-M24	425	4-M24	75	144
SCN 550	550	880	525	32~42	25	790	4-M24	470	4-M24	82	195
SCN 600	600	960	590	40~52	30	875	4-M30	515	4-M30	90	240
SCN 700	700	1120	685	40~52	35	1020	4-M30	600	4-M30	105	395
SCN 800	800	1280	785	40~52	35	1165	6-M30	685	6-M30	120	606
SCN 900	900	1440	885	40~52	35	1313	6-M30	770	6-M30	135	841
SCN 1000	1000	1600	980	50~65	35	1460	6-M36	855	6-M36	150	1120
SCN 1050	1050	1680	1030	50~65	40	1530	6-M36	900	6-M36	157	1360
SCN 1100	1100	1760	1080	50~65	40	1605	8-M36	940	8-M36	165	1545
SCN 1200	1200	1920	1175	57~80	40	1750	8-M42	1025	8-M42	180	1970
SCN 1300	1300	2080	1275	65~90	40	1900	8-M48	1100	8-M48	195	2455
SCN 1400	1400	2240	1370	65~90	50	2040	8-M48	1195	8-M48	210	3105
SCN 1600	1600	2560	1570	65~90	60	2335	8-M48	1365	8-M48	240	4645
SCN 1800	1800	2880	1765	75~100	60	2625	10-M56	1540	10-M56	270	6618
SCN 2000	2000	3200	1955	80~105	90	2920	10-M56	1710	10-M56	300	9560

All dimensions in millimetres.

Anchor and head bolt locations are equispaced on the same pitch circle diameter.



APPLICATION

Super Cone systems can be used by most vessels on almost any berthing structure including:-

- **Container Terminals**
- **Tanker Berths**
- **RoRo & Cruise Berths**
- **Dolphins & Monopiles**
- **Bulk Terminals**
- **General Cargo Facilities**
- **Parallel Motion Fenders**
- **Fender Walls**
- **Many other applications**

▲ **Ferry Terminal, Kiel (GERMANY)**

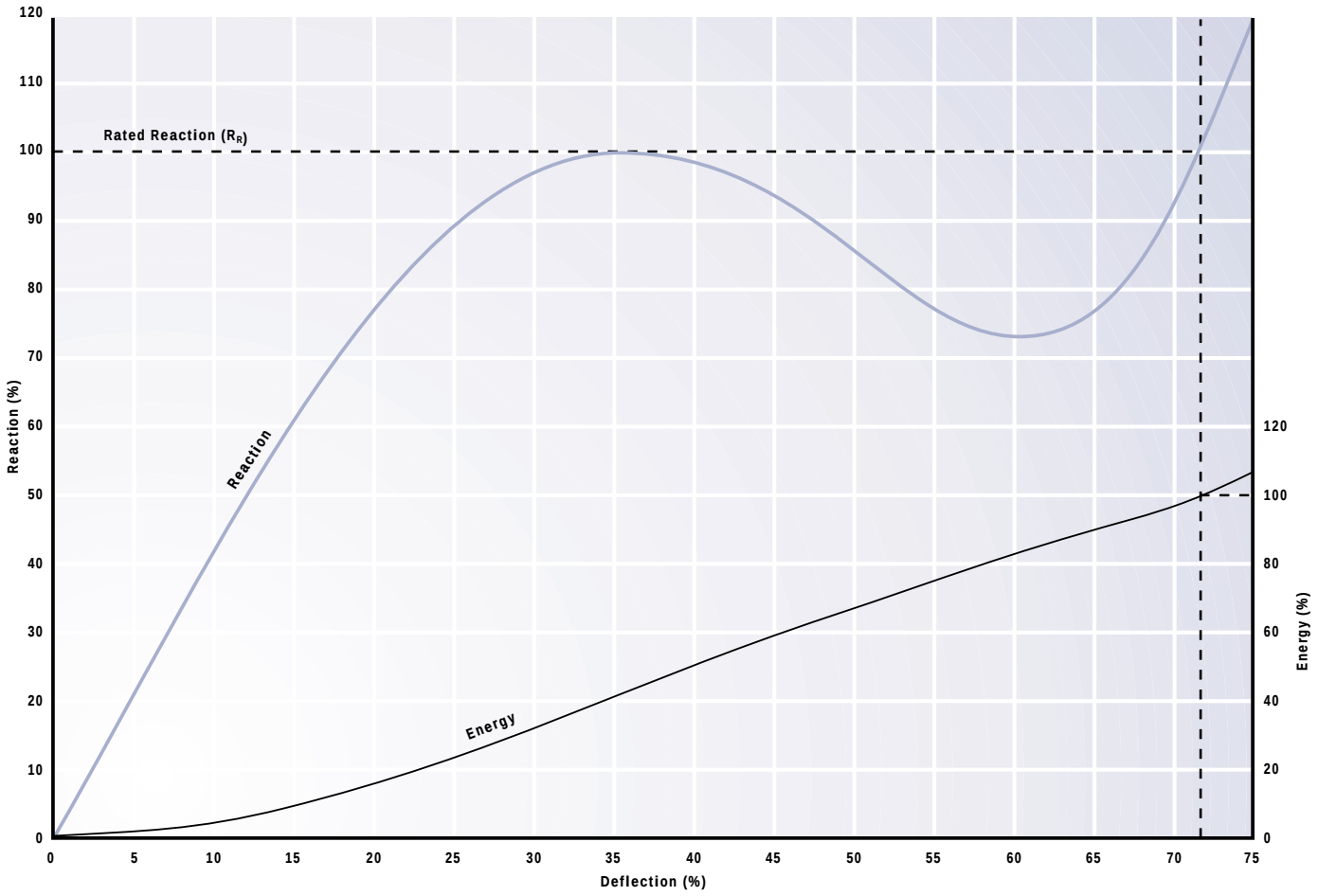
▲ **Barry Lock Entrance (WALES)**

SUPER CONE FENDERS PERFORMANCE

Energy Index		SCN 300	SCN 350	SCN 400	SCN 500	SCN 550	SCN 600	SCN 700	SCN 800	SCN 900	SCN 1000	SCN 1050	SCN 1100	SCN 1200	SCN 1300	SCN 1400	SCN 1600	SCN 1800	SCN 2000
E0.9	E_R	7.7	12.5	18.6	36.5	49	63	117	171	248	338	392	450	585	743	927	1382	1967	2700
	R_R	59	80	104	164	198	225	320	419	527	653	720	788	941	1103	1278	1670	2115	2610
E1.0	E_R	8.6	13.9	20.7	40.5	54	70	130	190	275	375	435	500	650	825	1030	1535	2185	3000
	R_R	65	89	116	182	220	250	355	465	585	725	800	875	1045	1225	1420	1855	2350	2900
E1.1	E_R	8.9	14.4	21.4	41.9	56	72	134	196	282	385	447	514	668	847	1058	1577	2244	3080
	R_R	67	91	119	187	226	257	365	478	601	745	822	899	1073	1258	1459	1905	2413	2978
E1.2	E_R	9.2	14.8	22.1	43.2	58	74	137	201	289	395	458	527	685	869	1085	1618	2303	3160
	R_R	68	93	122	191	231	263	374	490	617	764	843	923	1101	1291	1497	1955	2476	3056
E1.3	E_R	9.5	15.3	22.8	44.6	59	76	141	207	296	405	470	541	703	891	1113	1660	2362	3240
	R_R	70	96	125	196	237	270	384	503	633	784	865	947	1129	1324	1536	2005	2539	3134
E1.4	E_R	9.8	15.7	23.5	45.9	61	78	144	212	303	415	481	554	720	913	1140	1701	2421	3320
	R_R	72	98	128	200	242	276	393	515	649	803	886	971	1157	1357	1574	2055	2602	3212
E1.5	E_R	10.1	16.2	24.2	47.3	63	80	148	218	310	425	493	568	738	935	1168	1743	2480	3400
	R_R	74	100	131	205	248	283	403	528	665	823	908	995	1185	1390	1613	2105	2665	3290
E1.6	E_R	10.4	16.7	24.8	48.6	65	82	151	223	317	435	504	581	755	957	1195	1784	2539	3480
	R_R	75	102	133	209	253	289	412	540	681	842	929	1019	1213	1423	1651	2155	2728	3368
E1.7	E_R	10.6	17.1	25.5	50.0	67	84	155	229	324	445	516	595	773	979	1223	1826	2598	3560
	R_R	77	104	136	214	259	296	422	553	697	862	951	1043	1241	1456	1690	2205	2791	3446
E1.8	E_R	10.9	17.6	26.2	51.3	68	86	158	234	331	455	527	608	790	1001	1250	1867	2657	3640
	R_R	79	107	139	218	264	302	431	565	713	881	972	1067	1269	1489	1728	2255	2854	3524
E1.9	E_R	11.2	18.0	26.9	52.7	70	88	162	240	338	465	539	622	808	1023	1278	1909	2716	3720
	R_R	80	109	142	223	270	309	441	578	729	901	994	1091	1297	1522	1767	2305	2917	3602
E2.0	E_R	11.5	18.5	27.6	54.0	72	90	165	245	345	475	550	635	825	1045	1305	1950	2775	3800
	R_R	82	111	145	227	275	315	450	590	745	920	1015	1115	1325	1555	1805	2355	2980	3680
E2.1	E_R	11.8	19.0	28.3	55.4	74	93	169	252	355	488	565	652	847	1074	1341	2003	2851	3904
	R_R	84	114	149	233	283	324	462	606	765	945	1042	1145	1361	1597	1853	2418	3060	3778
E2.2	E_R	12.1	19.4	29.0	56.7	76	96	173	258	364	501	580	669	869	1102	1376	2056	2926	4008
	R_R	86	117	153	239	290	332	474	621	785	969	1069	1174	1396	1638	1901	2480	3139	3876
E2.3	E_R	12.4	19.9	29.7	58.1	77	99	177	265	374	514	595	686	891	1131	1412	2109	3002	4112
	R_R	89	120	157	246	298	341	486	637	805	994	1096	1204	1432	1680	1949	2543	3219	3974
E2.4	E_R	12.7	20.3	30.4	59.4	79	102	181	271	383	527	610	703	913	1159	1447	2162	3077	4216
	R_R	91	123	161	252	305	349	498	652	825	1018	1123	1233	1467	1721	1997	2605	3298	4072
E2.5	E_R	13.0	20.8	31.1	60.8	81	105	185	278	393	540	625	720	935	1188	1483	2215	3153	4320
	R_R	93	126	165	258	313	358	510	668	845	1043	1150	1263	1503	1763	2045	2668	3378	4170
E2.6	E_R	13.3	21.3	31.8	62.2	83	108	189	284	402	553	640	737	957	1216	1518	2268	3228	4424
	R_R	95	129	169	264	320	366	522	683	865	1067	1177	1292	1538	1804	2093	2730	3457	4268
E2.7	E_R	13.5	21.7	32.5	63.5	85	111	193	291	412	566	655	754	979	1245	1554	2321	3304	4528
	R_R	97	132	173	270	328	375	534	699	885	1092	1204	1322	1574	1846	2141	2793	3537	4366
E2.8	E_R	13.8	22.2	33.2	64.9	86	114	197	297	421	579	670	771	1001	1273	1589	2374	3379	4632
	R_R	100	135	177	277	335	383	546	714	905	1116	1231	1351	1609	1887	2189	2855	3616	4464
E2.9	E_R	14.1	22.6	33.9	66.2	88	117	201	304	431	592	685	788	1023	1302	1625	2427	3455	4736
	R_R	102	138	181	283	343	392	558	730	925	1141	1258	1381	1645	1929	2237	2918	3696	4562
E3.0	E_R	14.4	23.1	34.6	67.6	90	120	205	310	440	605	700	805	1045	1330	1660	2480	3530	4840
	R_R	104	141	185	289	350	400	570	745	945	1165	1285	1410	1680	1970	2285	2980	3775	4660
E3.1	E_R	15.9	25.4	38.1	74.4	99	132	226	341	484	666	770	886	1150	1463	1826	2728	3883	5324
	R_R	114	155	204	318	385	440	627	820	1040	1282	1414	1551	1848	2167	2514	3278	4153	5126
E/R (ϵ)		0.138	0.163	0.186	0.232	0.256	0.290	0.364	0.414	0.466	0.518	0.544	0.571	0.622	0.674	0.725	0.830	0.932	1.036
Energy Index		**SCN 300**	**SCN 350**	**SCN 400**	**SCN 500**	**SCN 550**	**SCN 600**	**SCN 700**	**SCN 800**	**SCN 900**	**SCN 1000**	**SCN 1050**	**SCN 1100**	**SCN 1200**	**SCN 1300**	**SCN 1400**	**SCN 1600**	**SCN 1800**	**SCN 2000**

All Energy Absorption and Reaction Force values are at Rated Deflection of 72%.
Maximum deflection is 75%.
Energies (E_R) are in kNm.
Reactions (R_R) are in kN.
Performance values are for a single Super Cone.
Super Cones are usually used with a steel frontal panel, faced with UHMW-PE pads.
Standard tolerances apply.

GENERIC PERFORMANCE CURVE



INTERMEDIATE DEFLECTION TABLE

D(%)	0	5	10	15	20	25	30	35	40	45	50	55	60	65	70	**72**	75
E(%)	0	1	4	8	15	22	31	40	50	59	67	75	82	89	96	**100**	106
R(%)	0	19	39	59	75	89	97	100	98	92	84	77	73	77	91	**100**	118

▲ CALCULATION EXAMPLE

The graph and table can be used to estimate the fender performance at intermediate deflections as follows:-

EXAMPLE:SCN900(E2.5)

Rated Energy from performance table,

E_R: 393kNm

Rated Reaction from performance table,

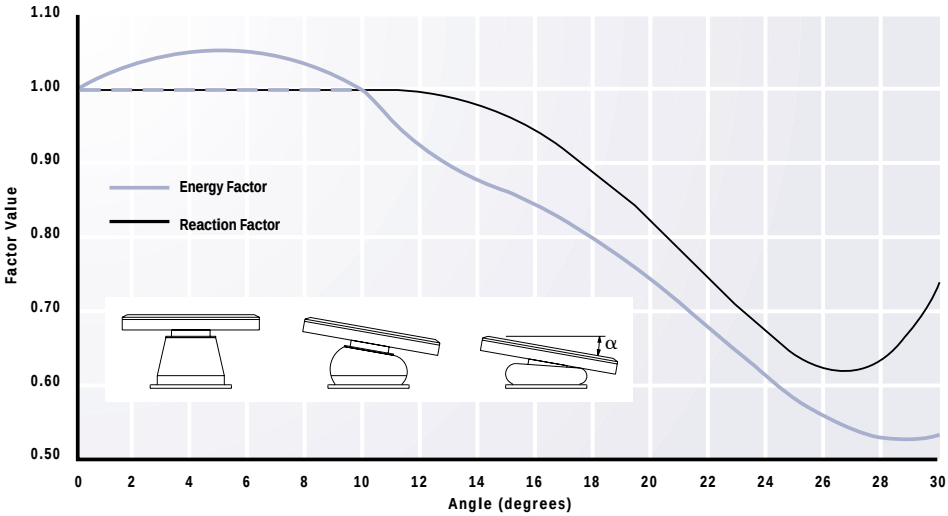
R_R: 845kN

Performance at 45% deflection:

Energy → E_{45} = 0.59 x 393 = 232kNm

Reaction → R_{45} = 0.92 x 845 = 777kN

ENERGY & REACTION ANGULAR CORRECTION FACTORS



◀ CALCULATION EXAMPLE

The adjacent graph can be used to estimate the fender performance under angular compression (due to bow flares, berthing angles etc) as follows:-

EXAMPLE: SCN1000(E2)

Rated Energy from performance table,

E_R: 475kNm

Rated Reaction from performance table,

R_R: 920kN

Performance at 15°angular compression:

Energy → E_α = 0.86 x 475 = 409kNm

Reaction → R_α = 0.96 x 920 = 883kN

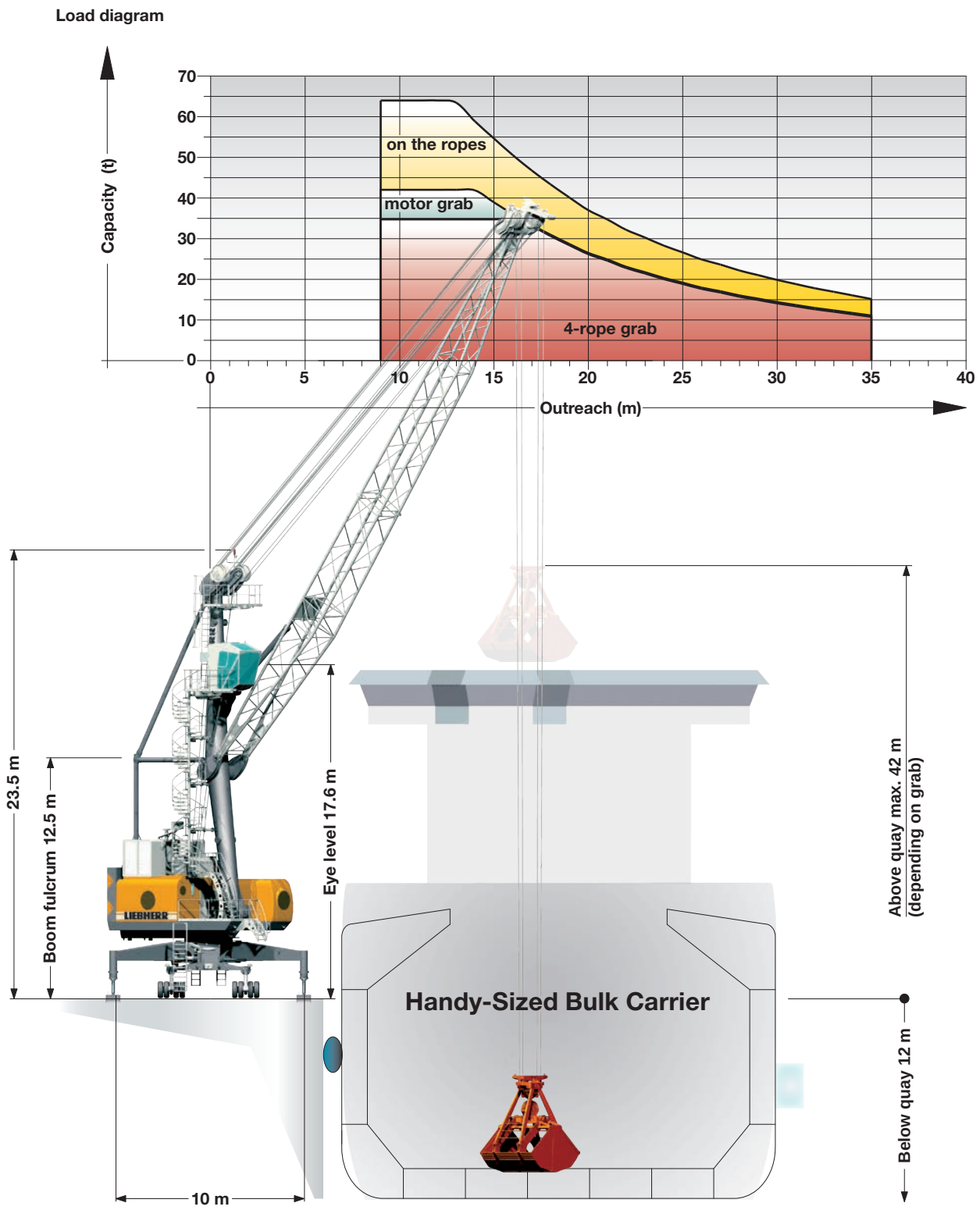
Mobile Harbour Crane

LHM 180

LIEBHERR

Main dimensions

Bulk operation



Bulk operation

Maximum crane capacity 64 t			
	Hook operation	Grab operation	
Outreach	on the ropes	4-rope grab	motor grab
(m)	(t)	(t)	(t)
9-12	64.0	35.0	42.0
13	63.5	35.0	42.0
14	58.9	35.0	41.9
15	54.7	35.0	38.9
16	50.6	35.0	36.0
17	46.9	33.3	33.3
18	43.5	30.9	30.9
19	40.2	28.6	28.6
20	37.1	26.4	26.4
21	34.9	24.8	24.8
22	32.3	23.0	23.0
23	30.4	21.6	21.6
24	28.4	20.2	20.2
25	26.8	19.0	19.0
26	25.1	17.8	17.8
27	23.8	16.9	16.9
28	22.3	15.9	15.9
29	21.2	15.1	15.1
30	20.0	14.2	14.2
31	19.0	13.5	13.5
32	18.0	12.8	12.8
33	17.1	12.2	12.2
34	16.2	11.5	11.5
35	15.3	10.9	10.9

Weight ramshorn hook 2.2 t
Weight rotator 2.2 t

Maximum crane capacity 42 t			
	Hook operation	Grab operation	
Outreach	on the ropes	4-rope grab	motor grab
(m)	(t)	(t)	(t)
9-12	42.0	24.0	30.0
13	42.0	24.0	30.0
14	42.0	24.0	30.0
15	42.0	24.0	30.0
16	42.0	24.0	30.0
17	42.0	24.0	30.0
18	42.0	24.0	30.0
19	40.2	24.0	28.6
20	37.1	24.0	26.4
21	34.9	24.0	24.8
22	32.3	23.0	23.0
23	30.4	21.6	21.6
24	28.4	20.2	20.2
25	26.8	19.0	19.0
26	25.1	17.8	17.8
27	23.8	16.9	16.9
28	22.3	15.9	15.9
29	21.2	15.1	15.1
30	20.0	14.2	14.2
31	19.0	13.5	13.5
32	18.0	12.8	12.8
33	17.1	12.2	12.2
34	16.2	11.5	11.5
35	15.3	10.9	10.9

Weight ramshorn hook 1.3 t
Weight rotator 1.5 t

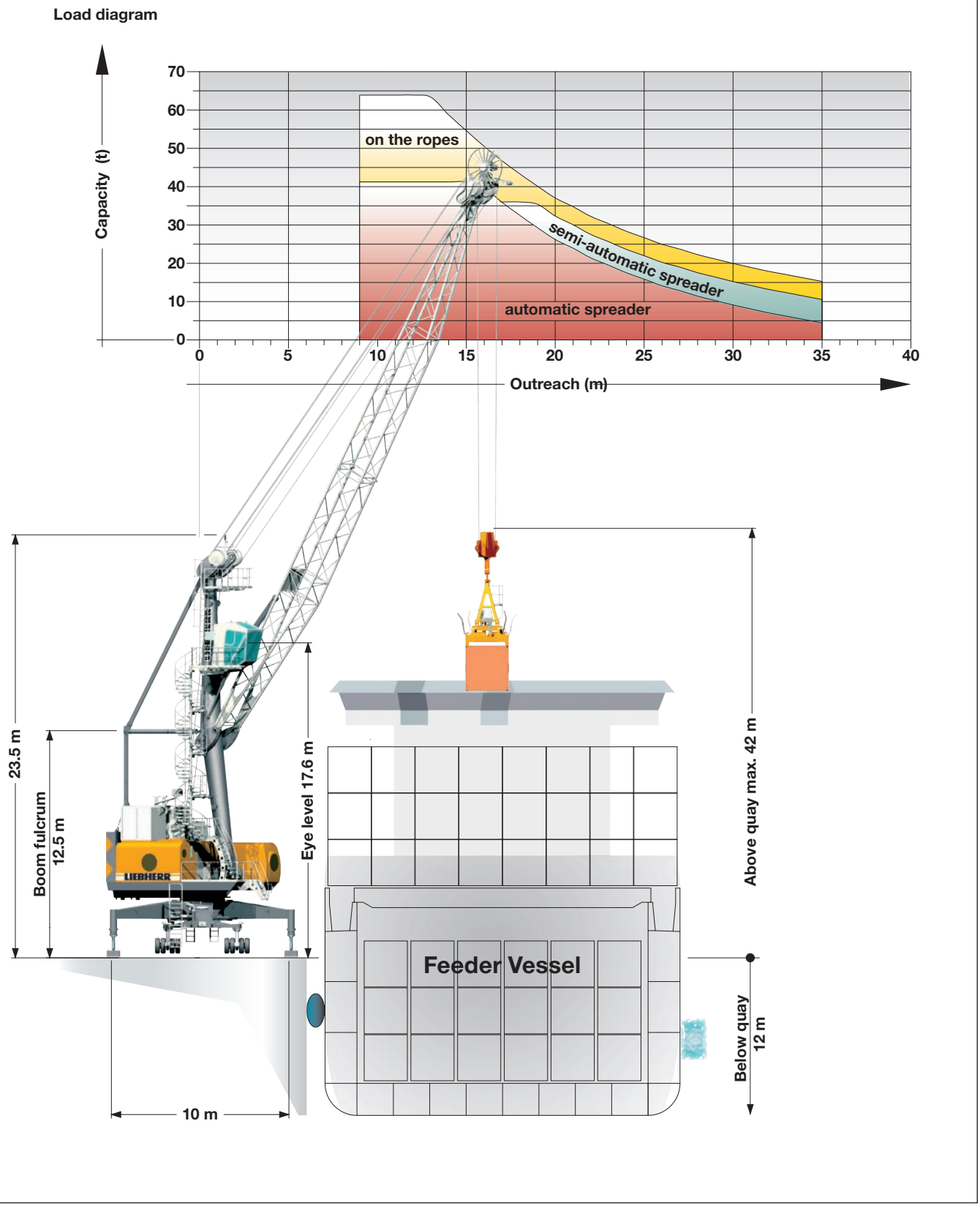
Professional bulk handling – Turnover up to 800 t per hour

The powerful hydrostatic transmission and advanced Liebherr electronics ensure short, productive working cycles during bulk handling.

- During grab operation, hoisting, slewing, and luffing are driven simultaneously at maximized speed to achieve the highest (possible) turnover.
- During grab filling, features such as automatic lowering and hoisting guarantee the optimum filling level of the grab.
- The slack rope monitoring system ensures extended life-time of the ropes and increases operational safety.
- Reverse power is returned to the drive process through closed loop hydraulics which results in reduced fuel consumption.
- The Cycoptronic® anti-sway system automatically compensates for all rotational swing, transverse and longitudinal sway of the load at maximum speeds.
- To provide safe and stress-free working conditions for the operator, Liebherr offers the Cycoptronic® including teach-in® feature, a semi-automatic system, which pilots the crane from the vessel hatch to the quay without any sway. Especially for bulk operation into hoppers, the teach-in® system increases turnover and ensures consistent turnover rates during the entire ship unloading.
- Liebherr technology is absolutely resistant to all types of dust and dirt due to the closed hydraulic system and an electronic system which is military proven and tested.
- The airflow needed for cooling hydraulic and engine systems is routed external from the main machinery house. This helps keep the engine room clean and free of debris.

Main dimensions

Container operation



Container operation

Maximum crane capacity 64 t			
	Hook operation	Capacity under 40´ spreader	
Outreach	on the ropes	automatic	semi-automatic
(m)	(t)	(t)	(t)
9	64.0	41.0	36.0
10	64.0	41.0	36.0
11	64.0	41.0	36.0
12	64.0	41.0	36.0
13	63.5	41.0	36.0
14	58.9	41.0	36.0
15	54.7	41.0	36.0
16	50.6	39.4	36.0
17	46.9	35.7	36.0
18	43.5	32.3	36.0
19	40.2	29.0	35.4
20	37.1	25.9	32.3
21	34.9	23.7	30.1
22	32.3	21.1	27.5
23	30.4	19.2	25.6
24	28.4	17.2	23.6
25	26.8	15.6	22.0
26	25.1	13.9	20.3
27	23.8	12.6	19.0
28	22.3	11.1	17.5
30	20.0	8.8	15.2
32	18.0	6.8	13.2
34	16.2	5.0	11.4
35	15.3	4.1	10.5

Weight rotator 2.2 t
Weight fully automatic (telescopic) spreader 9 t
Weight semi-automatic spreader 1.3 t (20 ft), 2.6 t (40 ft)

Maximum crane capacity 42 t			
	Hook operation	Capacity under 40´ spreader	
Outreach	on the ropes	automatic	semi-automatic
(m)	(t)	(t)	(t)
9	42.0	31.5	36.0
10	42.0	31.5	36.0
11	42.0	31.5	36.0
12	42.0	31.5	36.0
13	42.0	31.5	36.0
14	42.0	31.5	36.0
15	42.0	31.5	36.0
16	42.0	31.5	36.0
17	42.0	31.5	36.0
18	42.0	31.5	36.0
19	40.2	29.7	36.0
20	37.1	26.6	33.0
21	34.9	24.4	30.8
22	32.3	21.8	28.2
23	30.4	19.9	26.3
24	28.4	17.9	24.3
25	26.8	16.3	22.7
26	25.1	14.6	21.0
27	23.8	13.3	19.7
28	22.3	11.8	18.2
30	20.0	9.5	15.9
32	18.0	7.5	13.9
34	16.2	5.7	12.1
35	15.3	4.8	11.2

Weight rotator 1.5 t
Weight fully automatic (telescopic) spreader 9 t
Weight semi-automatic spreader 1.3 t (20 ft), 2.6 t (40 ft)

Professional container handling – Turnover up to 35 cycles per hour

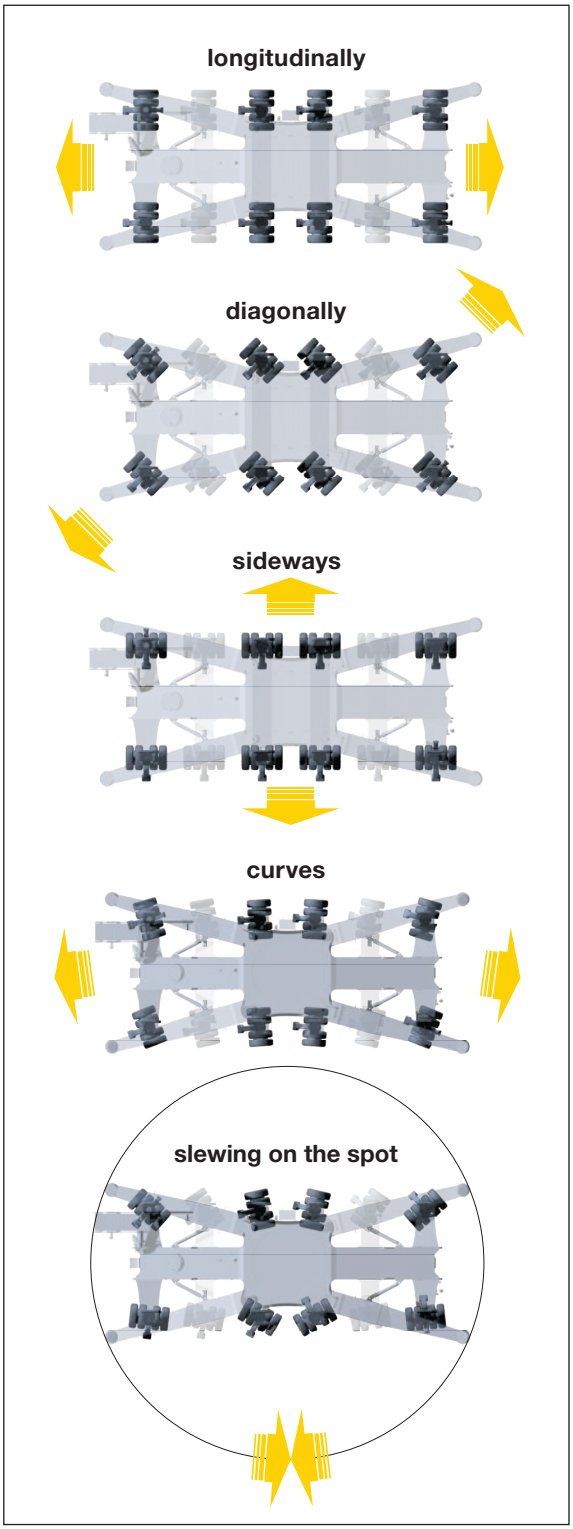
Precision to perfection: With incredibly short acceleration times for all crane motions, Liebherr is the top performer in container handling.

- The crane can be fitted with various types of spreaders (fixed or telescopic) connected to the rotator. Manual, semi or fully automatic telescopic spreaders are available for various container sizes.
- Liebherr Cycoptronic® is an accurate, sway-free load motion control system that uses in-house designed software. Cycoptronic® allows for direct load positioning and aids the crane driver in mastering his task. With Cycoptronic® turnover, safety and the confidence of the operator will be improved.
- Safety: The luffing cylinder is positioned above the lattice boom. This eliminates the possibility of any damage to the cylinder through swinging loads or highly stowed rows of containers on board the vessel.
- The Liebherr hydrostatic drive is the most reliable and highest performing drive system for mobile harbour cranes. Independent closed loop hydraulic systems utilize the minimum number of components to guarantee highly responsive, smooth and precise operation while maximizing operational safety.

Undercarriage

Mobility

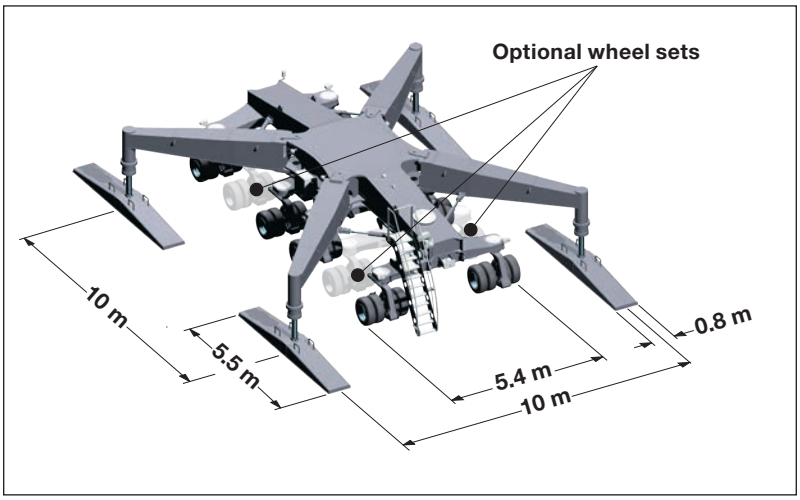
- Outstanding mobility and manoeuvrability
- Curves at any possible radii and even slewing on the spot



Schematic diagram

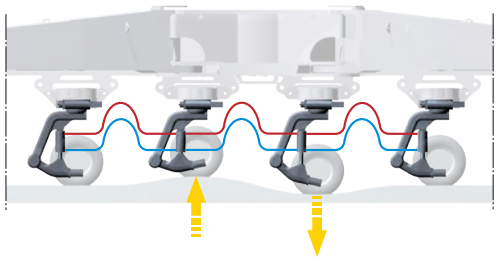
Modular propping system

- Minimised stress and strain of undercarriage due to cruciform support base which directs the load path from boom tip to quay
- Modular system allows further reduction of quay loads by installing additional axle sets
- Easy adaptation to various sizes of support pads and bases



Hydraulic load distribution

- Hydraulic suspension avoids overloading of individual wheel sets
  Standard trailer tyres making requisition of spares economical and time-saving
  Increased lifetime of tyres due to individually steerable wheel sets



Optimum pressure distribution and adaption of wheel sets on uneven surfaces

Technical data

Capacity and Classification

	Capacity	Classification
Grab operation	< 24 t	A8
Grab operation	< 35 t	A7
Container	< 35 t	A7
Heavy lift	64 t	A4

Main dimensions

Min. to max. outreach	9—35 m
Height of boom fulcrum	12.5 m
Tower cabin height (eye level)	17.6 m
Overall height (top of tower)	23.5 m
Overall length of undercarriage	12.6 m
Overall width of undercarriage	5.4 m

Working speeds

Hoisting / lowering	0 — 90 m/min
Slewing	0 — 1.6 rpm
Luffing	0 — 83 m/min
Travelling	0 — 5.4 km/h

Propping arrangements

Standard supporting base	10 m x 10 m
Standard pad dimension	4 x 5.5 m x 0.8 m
Standard supporting area of pads	4.4 m^2

Optional size of supporting pads and bases on request

Quay load arrangements

Uniformly distributed load	1.36 t/m^2
Max. load per tyre	5.2 t

Due to a unique undercarriage design its parameters (pad sizes, supporting base and number of axle sets) can easily be adapted to comply with the most stringent quay load restrictions.

Weight

Total weight	approx. 165 t

Hoisting heights

Above quay at minimum radius	42 m
Above quay at maximum radius	19 m
Below quay level	12 m

Optional equipment

1. **Cycoptronic® - anti-sway system**
2. **Teach-In - semi-automatic point to point system**
3. **Sycratronic® - synchronizing crane control system**
4. **Vertical Line Finder - diagonal pull preventing system**
5. **Dynamic anti-collision system**
6. **Lidat® - basic package**
7. **Lidat® - tele service package**
8. **Lidat® - turnover package**
9. **SCULI - crane analyzer with various features**
10. **Economy software - for optimised fuel consumption**
11. **Video monitoring system**
12. **Radio remote control**
13. **Autopropping undercarriage**
14. **Cyclone air-intake system for the engine**
15. **Low temperature package**
16. **Customer-specific painting & logo**
17. **Additional (driven) axle sets**
18. **Axle sets equipped with foamed tyres**
19. **Different supporting bases and pad sizes**
20. **And many more as per customers´ requirements**

KALMAR

Kalmar TR626i – TR632i
Heavy Terminal Tractor 4x4

TECHNICAL INFORMATION

TR626i – TR632i

Technical data

Kalmar TR626i – TR632i Heavy Terminal Tractor 4x4

Engine

The Volvo TAD1360VE series is a powerful, reliable and economical diesel engine range built on the Volvo in-line six concept. Maximum power and torque are available at low rpms. Efficient injection as well as robust engine design in combination with SCR technology contributes to excellent combustion and low fuel consumption. The TAD1360VE engines comply with EU Stage 3B emission regulation. The standard 300 liter fuel tank and 50 liter urea tank ensure long running time without refuelling.

Transmission

The ZF 6 WG 260/310 is a direct engine mounted transmission with integrated torque converter and lock-up function. This long drop power shift transmission provides 6 speeds forward and 3 speeds reverse as well as continuous four wheel drive.

Axles

Standard rear axle differential lock and parking brake on front and rear wheels.

Sisu Axles

Front:	SSDP-18G, 20.6:1, capacity 25 ton @ 10 km/h, drum brakes
Rear:	SRDP-32P, 20.6:1, capacity 34 ton @ 10 km/h, dry disk brakes
Tyres:	6 x 11.00 - 20/16 PR

Kessler axles

Front:	LT81, 19.8:1, capacity 30 ton @ 10 km/h, drum brakes
Rear:	D91, 19.8:1, capacity 57 ton @ 10 km/h, drum brakes
Tyres:	6 x 12.00R24

Chassis

All-welded steel frame. Heavy duty steel mudguards are integrated in the chassis and rear bumper. Stairways to rear deck are on both sides of the chassis. Integrated towing pins at front and rear. Standard colour RAL 7021 (Kalmar black).

Cabin

Designed according to ROPS safety standard (ISO 3471:1994). Air suspended cabin. Excellent visibility in all directions and superb comfort for the driver. Cabin is electrically tiltable to 60 degrees. Standard color Kalmar Red (RAL 3000).

Lift boom

Heavy-duty active tilting lift boom which allows +/-10° lateral inclination of the fifth wheel. The inclination is adjusted by two double acting lift cylinders and can be easily controlled from the cabin. Lifting capacities from 32 tons up to 50 tons.

Hydraulic system

Variable displacement pump with 135 l/min flow capacity, maximum system pressure 200 bar. Hydrostatic steering by orbitrol with emergency function and two double-acting steering cylinders fitted on front axle. 200 liter tank capacity.

Pneumatic system

Double-cylinder compressor, air dryer, 8 bar working pressure. The brake system has independent front and rear circuits.

Electrical system

24 V, negative ground. Batteries 2x170 Ah, 1000 A (EN) cold-start current. Halogen headlights – all other lights LED type.
Kalmar Vehicle CAN-Bus (Controller Area Network)-interface.

Turning radius

Wall to wall

Sisu axles:	7,77 m
Kessler axles:	8,23 m

Performance*

TR626i: maximum GCW up to 240 ton @ 0% and 150ton@ 5%.
TR632i: maximum GCW up to 320 ton @ 0% and 220ton@ 5%.

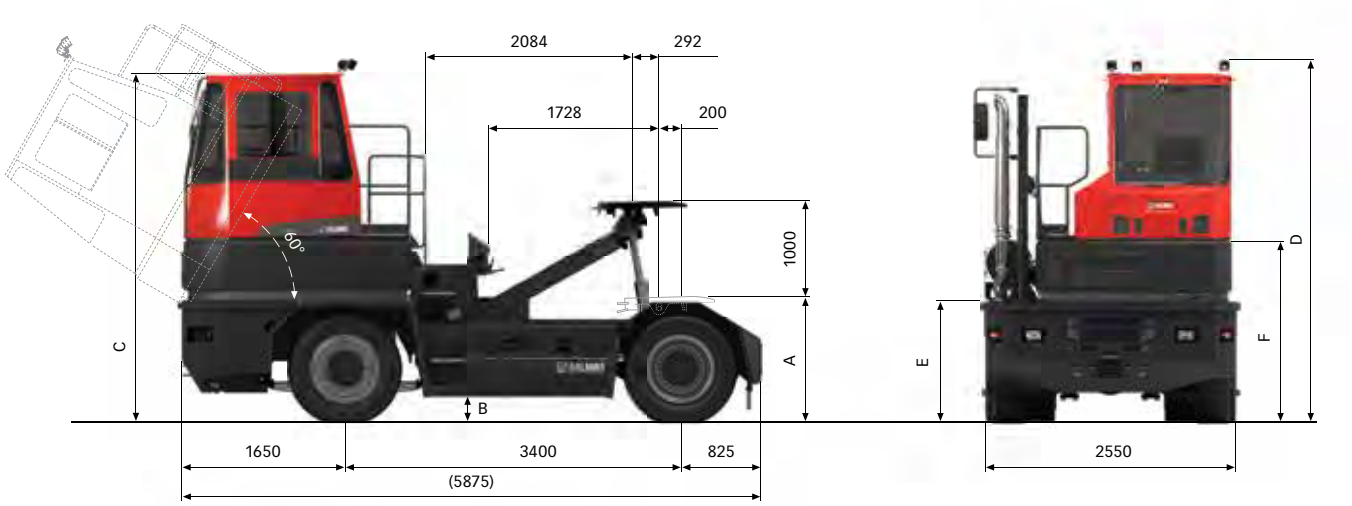
Vehicle mass*

Total vehicle mass	14.000 kg
On front axle	9.000 kg
On Rear axle	5.000 kg

Optional equipment

Wide selection of optional equipment available.

* Depending on specifications



All dimensions in mm	TR626i*	TR632i*
A	1200	1300
B	220	305
C	3600	3665
D	3730	3800
E	1310	1375
F	1940	2010

* References values for standard configuration; exact values may vary depending on final specifications

Standard and optional configurations		TR626i	TR632i
Engine & transmission	Volvo TAD1360VE Stage 3B, 256 kW / 1746 Nm – ZF 6WG260	S	–
	Volvo TAD1362VE Stage 3B, 315 kW / 2050 Nm – ZF 6WG310	–	S
Axles	Front axle Sisu SSDP-18G, capacity 25 ton @ 10 km/h Rear axle Sisu SRDP-32P, capacity 34 ton @ 10 km/h	S	–
	Front axle Kessler LT81, capacity 30 ton @ 10 km/h Rear axle Kessler D91, capacity 57 ton @ 10 km/h	O	S
Fifth wheel & lift boom	Sisu CW500 fifth wheel – 32 ton lifting capacity, 1000 mm lifting height	S	S
	Sisu CW500 fifth wheel – 36 ton lifting capacity, 1000 mm lifting height	O	O
	Holland FW0100 fifth wheel – 50 ton lifting capacity, 650 mm lifting height	O*	O

S = Standard feature *O = Option* *- = Not available* **Requires optional Kessler axles*

BSP INTERNATIONAL FOUNDATIONS LTD
Claydon Industrial Park, Gt. Blakenham, Ipswich,
Suffolk, IP6 0JD, England
Tel. + 44 (0) 1473 830431
Cell + 44 (0) 7831 709180
Email: acooper@bspif.co.uk

Bearing Capacity Chart for BSP Hydraulic Hammer Models

BSP Model Bearing Capacity Summary	Dropweight kg	lbs	Hammer Hydraulic System	Max. Bearing Capacity @ 0**.8m** equiv stroke Tonnes	kN	Kips	Max. Bearing Capacity @ **1.2m** equiv stroke Tonnes	kN	Kips	Max. Bearing Capacity @ **1.5m** equiv stroke Tonnes	kN	Kips
SL20/DX20	1500	3307	DA	95	934	210	143	1401	315			
SL30	2500	5512	DA	159	1557	350	258	2530	568			
LX30	2500	5512	SA	159	1557	350						
LX40	4000	8818	SA	254	2491	559						
LX50	5000	11023	SA	317	3114	699						
CX50	4000	8818	Assisted	254	2491	559	381	3737	839			
CX60	5000	11023	Assisted	317	3114	699	476	4671	1049			
CX85	7000	15432	Assisted	444	4360	979	667	6540	1468			
CX110	9000	19842	Assisted	571	5606	1259	857	8409	1888			
CG180	12000	26455	SA	762	7474	1678	1143	11211	2517	1452	14248	3199
CG210	14000	30865	SA	889	8720	1958	1333	13080	2937	1694	16623	3732
CG240	16000	35274	SA	1016	9966	2238	1524	14949	3356	1937	18997	4265
CG300	20000	44092	SA	1270	12457	2797	1905	18686	4196	2421	23746	5332
CGL370	25000	55116	SA	1587	15571	3496	2381	23357	5244	2976	29196	6555
CGL440	30000	66139	SA	1905	18686	4196	2857	28029	6293	3571	35036	7867
CGL520	35000	77162	SA	2222	21800	4895	3333	32700	7342	4167	40875	9178
CGL590	40000	88185	SA	2540	24914	5594	3810	37371	8391	4762	46714	10489

Maximum Bearing Capacity achievable with a particular hammer is based on operating at maximum stroke / impact energy with driving rates NOT exceeding 10 blows / 25mm penetration.
Driving may be continued for a MAX period of 3 minutes at higher penetration rates,
If in that time driving reaches 25 blows/25mm the hammer must be stopped immediately.

Issued Feb-12

Bearing Capacities are calculated using the Hiley Formula;
Bearing Capacity (tonnes) = Blow Efficiency x E/(s+2.54), where E=Hammer Energy (kg.m), s=Final Set per Blow (mm/blow).
Blow efficiency for a hydraulic hammer is taken to be 80%. Using a safety factor of 2 the formula becomes - Bearing Capacity (tonnes) = 0.4 x E/(s+2.54).

The Hiley formula is a simplified analysis and actual bearing capacity achieved will be significantly affected by pile type, length, mass and ground conditions
The Hiley formula was originally devised to estimate pile bearing capacity based on actual site measurements.

BIODATA PENULIS

Faroq Novriandi, lahir di Jambi, 6 November 1994, merupakan anak pertama dari 3 bersaudara. Penulis telah menempuh pendidikan formal di SDN 182 Batanghari, SMPN 3 Batanghari dan SMAN 1 Kota Jambi. Setelah lulus penulis melanjutkan pendidikan di Institut Teknologi Sepuluh Nopember, Surabaya melalui jalur SNMPTN Tertulis. Penulis diterima di Jurusan Teknik Sipil FTSP - ITS pada tahun 2012 dengan NRP 3112100087.

Di Jurusan Teknik Sipil FTSP-ITS penulis mengambil Bidang Studi Transportasi. Penulis pernah aktif di berbagai organisasi kemahasiswaan sebagai staf Departemen Ristek dan Keprofesian BEM FTSP (2013-2014) dan staf khusus divisi Civil Engineering Computer Club HMS (2014-2015). Penulis dapat dihubungi melalui email berikut, nov_riandi@live.com.