TUGAS AKHIR – RC14-1501

PERENCANAAN DERMAGA UNTUK KAPAL *MULTI PURPOSE SUPPLY VESSEL (MPSV) / PLATFORM SUPPLY VESSEL (PSV)* 3.500 *DWT* DAN *FLOATING PONTOON* DI TERMINAL KHUSUS PT. BADAK NGL, BONTANG

BAYU ARGO NUSANTORO
NRP. 3112 100 097

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

Dosen Pembimbing II
Ir. Fuddoly, M.Sc.

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

TUGAS AKHIR – RC14-1501

PERENCANAAN DERMAGA UNTUK KAPAL *MULTI PURPOSE SUPPLY VESSEL (MPSV) / PLATFORM SUPPLY VESSEL (PSV)* 3.500 *DWT* DAN *FLOATING PONTOON* DI TERMINAL KHUSUS PT. BADAK NGL, BONTANG

BAYU ARGO NUSANTORO
NRP. 3112 100 097

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

Dosen Pembimbing II
Ir. Fuddoly, M.Sc.

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

“Halaman ini sengaja dikosongkan”

FINAL PROJECT – RC14-1501

PLANNING OF PIER FOR MULTI PURPOSE SUPPLY VESSEL (MPSV) / PLATFORM SUPPLY VESSEL (PSV) 3.500 DWT AND FLOATING PONTOON IN MULTI PURPOSE TERMINAL OF PT. BADAK NGL, BONTANG

BAYU ARGO NUSANTORO
NRP. 3112 100 097

Supervisor I
Ir. Dyah Iriani Widyastuti, M.Sc

Supervisor II
Ir. Fuddoly, M.Sc.

DEPARTMENT OF CIVIL ENGINEERING
Faculty of Civil Engineering and Planning
Institut Teknologi Sepuluh Nopember
Surabaya 2017

“Halaman ini sengaja dikosongkan”

LEMBAR PENGESAHAN

PERENCANAAN DERMAGA UNTUK KAPAL *MULTI PURPOSE SUPPLY VESSEL (MPSV)* / *PLATFORM SUPPLY VESSEL (PSV)* 3.500 *DWT* DAN *FLOATING PONTOON* DI TERMINAL KHUSUS PT. BADAK NGL, BONTANG

TUGAS AKHIR

Diajukan Untuk Memenuhi Salah Satu Syarat
Memperoleh Gelar Sarjana Teknik
pada
Bidang Studi Transportasi (Pelabuhan)
Program Studi S-1 Jurusan Teknik Sipil
Fakultas Teknik Sipil dan Perencanaan
Institut Teknologi Sepuluh Nopember

Oleh :

BAYU ARGO NUSANTORO
NRP. 3112 100 097

Disetujui oleh Pembimbing Tugas Akhir :

1. Ir. Dyah Iriani Widyastuti, MSc.
   NIP. 196112191986032002

2. Ir. Fuddoly, M.Sc.
   NIP. 196102071986011001

SURABAYA, JANUARI 2017

"Halaman ini sengaja dikosongkan"

PERENCANAAN DERMAGA UNTUK KAPAL *MULTI PURPOSE SUPPLY VESSEL (MPSV) / PLATFORM SUPPLY VESSEL (PSV)* 3.500 *DWT* DAN *FLOATING PONTOON* DI TERMINAL KHUSUS PT. BADAK NGL, BONTANG

Nama Mahasiswa	**: BAYU ARGO NUSANTORO**
NRP	**: 3112 100 097**
Jurusan	**: TEKNIK SIPIL FTSP – ITS**
Dosen Pembimbing	**: Ir. Dyah Iriani W, M.Sc.**
	: Ir. Fuddoly, M.Sc.

ABSTRAK

Setiap tahunnya, konsumsi bahan bakar minyak nasional mengalami peningkatan. Sementara angka produksi bahan bakar minyak dari kilang di Indonesia masih berada di bawah konsumsi bahan bakar minyak rata – rata tiap tahun. Untuk mengurangi defisit produksi minyak tersebut, PT. Pertamina melakukan beberapa program, salah satunya yaitu program *Grass Root Refinery*. Program tersebut bertujuan untuk meningkatkan produksi minyak dalam negeri dengan cara membangun kilang minyak baru. Salah satu kilang minyak yang akan dibangun berada di area PT. Badak NGL, Bontang.

Untuk menunjang kegiatan operasional kilang minyak, maka dibangun beberapa fasilitas di antaranya, dermaga *Jetty* 1, dermaga *Jetty* 2 dan SPM (*Single Point Mooring*). Selain itu, di dekat dermaga *Jetty* 1 juga akan dibangun dermaga untuk kapal *MPSV / PSV* 3.500 *DWT* dan *floating pontoon*. Dengan adanya pembangunan dermaga tersebut maka dibutuhkan perencanaan struktur dermaga yang memenuhi standar dan kriteria perencanaan yang akan dibahas dalam Tugas Akhir ini.

Hasil dari perencanaan struktur dermaga untuk kapal *MPSV / PSV* 3.500 *DWT* dan *floating pontoon*, didapatkan bahwa dermaga yang digunakan adalah tipe *open pier* yang memiliki dimensi panjang 100 m, lebar 18 m dan elewasi +3,5 mLWS.

Selain itu direncanakan panjang *trestle* sepanjang 75 m, lebar 8 m dan elevasi +3,5 mLWS. Metode pelaksanaan yang digunakan dalam pembangunan struktur dermaga dan *trestle* ini menggunakan metode in-situ (*in place*). Sedangkan dari estimasi rencana anggaran biaya yang diperlukan untuk pembangunan seluruh fasilitas dermaga adalah Rp. 86.874.239.000,00 (delapan puluh enam milyar delapan ratus tujuh puluh empat juta dua ratus tiga puluh sembilan ribu rupiah).

Kata kunci : Dermaga, *Floating Pontoon, In-situ, Open Pier*, Terminal Khusus, *Trestle.*

PLANNING OF PIER FOR MULTI PURPOSE SUPPLY VESSEL (MPSV) / PLATFORM SUPPLY VESSEL (PSV) 3.500 DWT AND FLOATING PONTOON IN MULTI PURPOSE TERMINAL OF PT. BADAK NGL, BONTANG

Name	***: BAYU ARGO NUSANTORO***
NRP	***: 3112 100 097***
Department	***: CIVIL ENGINEERING – ITS***
Supervisor	***: Ir. Dyah Iriani W, M.Sc.***
	: Ir. Fuddoly, M.Sc.

ABSTRACT

National fuel consumption increased each year. While the figures of fuel production from refineries in Indosesia remain below average fuel consumption of each year. To reduce the deficit of the oil production, PT. Pertamina has conducted several programs, one of which is the Grass Root Refinery program. The program aims to increase domestic oil production by building a new oil refinery. One of the refineries to be built is in the area of PT. Badak NGL, Bontang.

To support the operations of the refinery, several facilities are built such as pier of Jetty 1, pier of Jetty 2 and SPM (Single Point Mooring). In addition, next to the pier of Jetty 1, a pier for ships MPSV / PSV 3.500 DWT and a floating pontoon will also be constructed. With the construction of the pier, a planning for the pier structure that meets the planning standards and criteria will be discussed in this final project.

The results of the structural design of the pier for MPSV / PSV 3500 DWT and a floating pontoon, found that the pier used is a type of open pier which has dimensions of length 100 m, width 18 m and elevation +3.5 mLWS. In addition, a trestle is planned along 75 m, a width of 8 m and +3.5 mLWS elevation. Methods of execution used in the construction of the pier and trestle structures is using in situ (in place) method. While estimates of budget plan to finance the entire dock facility is Rp. 86.874.239.000,00 (eighty-

six billion eight hundred and seventy four million two hundred and thirty nine thousand rupiah).

***Key word** : Pier, Floating Pontoon, In-situ, Open Pier, Multi Purpose Terminal, Trestle.*

KATA PENGANTAR

Puji syukur penulis panjatkan atas kehadirat Allah SWT karena berkat Rahmat dan Karunia-Nya penulis dapat menyelesaikan penyusunan Tugas Akhir ini. Shalawat beserta salam semoga senantiasa terlimpah curahkan kepada Nabi Muhammad SAW, kepada keluarganya dan para sahabatnya, hingga kepada umatnya hingga akhir zaman.

Penulisan Tugas Akhir ini diajukan untuk memenuhi salah satu syarat memperoleh gelar Sarjana pada Jurusan Teknik Sipil, Fakultas Teknik Sipil dan Perencanaan, Institut Teknologi Sepuluh Nopember, Surabaya. Judul Tugas Akhir ini adalah Perencanaan Dermaga Untuk Kapal *Multi Purpose Supply Vessel (MPSV) / Platform Supply Vessel (PSV)* 3.500 *DWT* dan *Floating Pontoon*, di Terminal Khusus PT. Badak NGL, Bontang.

Dalam penyusunan dan penulisan Tugas Akhir ini tidak terlepas dari bantuan, bimbingan serta dukungan dari berbagai pihak. Oleh karena itu dalam kesempatan ini penulis dengan senang hati menyampaika terima kasih kepada:

1. Kedua orang tua yang selalu memberikan dukungan dan semangat dalam proses pengerjaan Tugas Akhir ini.
2. Ir. Dyah Iriani Widyastuti, M,Sc. dan Ir. Fuddoly, M.Sc. selaku dosen Jurusan Teknik Sipil FTSP ITS dan dosen pembimbing yang telah banyak memberikan ilmu dan bimbingan kepada saya dalam mengerjakan Tugas Akhir ini.
3. Teman dan kerabat di Jurusan Teknik Sipil FTSP ITS yang memberikan bantuan dan motivasi selama proses penyusunan Tugas Akhir berlangsung.
4. Serta semua pihak yang tidak dapat saya sebutkan satu persatu di sini.

Semoga Allah SWT memberikan balasan yang berlipat ganda kepada semuanya. Demi perbaikan selanjutnya, saran dan kritik yang membangun akan penulis terima dengan senang hati. Akhirnya, hanya kepada Allah SWT penulis serahkan segalanya, mudah - mudahan Tugas Akhir ini dapat bermanfaat khususnya bagi penulis umumnya bagi kita semua.

Surabaya, 6 Januari 2017

Hormat saya,
Penulis

DAFTAR ISI

HALAMAN JUDUL i
LEMBAR PENGESAHAN v
ABSTRAK vii
ABSTRACT ix
KATA PENGANTAR xi
DAFTAR ISI xiii
DAFTAR GAMBAR xix
DAFTAR TABEL xxv
DAFTAR LAMPIRAN xxix
BAB I PENDAHULUAN 1
1.1 Latar Belakang 1
1.2 Rumusan Masalah 4
1.3 Tujuan 4
1.4 Lingkup Pekerjaan 5
1.5 Batasan Masalah 5
1.6 Lokasi Perencanaan 5
1.7 Metodologi 7
1.7.1 Diagram alir 7
1.7.2 Langkah pengerjaan tugas akhir 8
BAB II TINJAUAN PUSTAKA 11
2.1 Definisi Pelabuhan 11
2.2 Pengumpulan Data 12
2.2.1 Peta batimetri 12
2.2.2 Arus 12

2.2.3 Pasang surut 13
2.2.4 Angin 15
2.2.5 Tanah 18
2.2.6 Kapal 19
2.2.7 Alat 19
2.3 Evaluasi *Layout* 20
2.3.1 Layout perairan 20
2.3.2 Layout daratan 25
2.4 Fasilitas Pendukung 26
2.4.1 Fender 26
2.4.2 Bollard 28
2.5 Pembebanan Dermaga 30
2.5.1 Beban vertikal 30
2.5.2 Beban horizontal 31
2.6 Perhitungan Struktur Dermaga 34
2.6.1 Struktur atas 34
2.6.2 Struktur bawah 40
2.6.3 Struktur *floating pontoon* 45
BAB III PENGUMPULAN DAN ANALISIS DATA 51
3.1 Umum 51
3.2 Data Peta Batimetri 51
3.3 Data Pasang Surut 54
3.4 Data Arus 56
3.5 Data Angin 58
3.6 Data Tanah 66
BAB IV KRITERIA DESAIN 71
4.1 Peraturan yang Digunakan 71
4.2 Data Kapal 72

4.3 Kualitas Bahan dan Material 75
4.3.1 Kualitas Beton 75
4.3.2 Kualitas Baja Tulangan 75
4.3.3 Kualitas Tiang Pancang 76
4.3.4 Bahan *floating pontoon* 76
4.4 Pembebanan 83
4.4.1 Pembebanan Vertikal 83
4.4.2 Pembebanan Horizontal 86
4.5 Kriteria *Fender* dan *Bollard* 104
4.5.1 Fender 104
4.5.2 Bollard 113
BAB V EVALUASI LAYOUT 117
5.1 Umum 117
5.2 Prosedur Bongkar dan Muat 117
5.2.1 Proses bongkar 117
5.2.2 Proses muat 118
5.3 *Layout* Rencana Awal 119
5.4 Evaluasi *Layout* Perairan 122
5.4.1 Area penjangkaran 122
5.4.2 Alur masuk 122
5.4.3 Kolam putar 123
5.4.4 Kolam dermaga 124
5.4.5 Dermaga apung (*floating pontoon*) 125
5.4.6 Hasil evaluasi *layout* perairan 127
5.5 Evaluasi *Layout* Daratan 133
5.5.1 Layout dermaga *open pier* 133
5.5.2 *Layout* dermaga apung (*floating pontoon*) 134
5.5.3 *Layout trestle* 136
5.5.4 Hasil evaluasi *layout* daratan 137
BAB VI PERENCANAAN STRUKTUR 141
6.1 Perencanaan Dermaga 141

6.1.1 Umum 141
6.1.2 Perencanaan Pelat 141
6.1.3 Analisis Struktur 202
6.1.4 Perencanaan Balok 210
6.1.5 Perencanaan *Pile Cap* 224
6.1.6 Perencanaan Pondasi 233

6.2 Perencanaan *Trestle* 247
6.2.1 Umum 247
6.2.2 Perencanaan Pelat 247
6.2.3 Analisis Struktur 273
6.2.4 Perencanaan Balok (Contoh pada balok melintang) 278
6.2.5 Perencanaan *Pile Cap* 288
6.2.6 Perencanaan Pondasi 296

6.3 Perencanaan *Floating Pontoon* 305
6.3.1 Umum 305
6.3.2 Perencanaan *Box Pontoon* 305
6.3.3 Perencanaan *Gangway* 306
6.3.4 Perencanaan Pondasi 307

BAB VII METODE PELAKSANAAN KONSTRUKSI 309

7.1 Umum 309

7.2 Pekerjaan Persiapan 310

7.3 Pekerjaan *Trestle* 312
7.3.1 Pekerjaan Tiang Pancang *Trestle* 312
7.3.2 Pekerjaan Beton (Pengecoran) *Trestle* 329

7.4 Pekerjaan Dermaga 340
7.4.1 Pekerjaan Tiang Pancang Dermaga 340
7.4.2 Pekerjaan Beton (Pengecoran) Dermaga 344
7.4.3 Pekerjaan *Fender* dan *Bollard* Dermaga 345

7.5 Pekerjaan Floating Pontoon 347
7.5.1 Pekerjaan Tiang Pancang *Floating Pontoon* 347
7.5.2 Pekerjaan *Floating Box* dan Kelengkapannya ... 348

7.5.3 Pekerjaan *Gangway* dan Kelengkapannya 349
BAB VII RENCANA ANGGARAN BIAYA 351
8.1 Umum.....351
8.2 Harga Satuan Upah, Bahan dan Alat.....351
8.3 Analisis Harga Satuan Pekerjaan.....355
8.4 Rencana Anggaran Biaya 360
8.5 Rekapitulasi Rencana Anggaran Biaya 365
BAB IX KESIMPULAN.....367
DAFTAR PUSTAKA.....373
LAMPIRAN 375
BIODATA PENULIS.....419

"Halaman ini sengaja dikosongkan"

DAFTAR GAMBAR

Gambar 1.1 Fasilitas penunjang kilang 3
Gambar 1.2 Peta lokasi Kota Bontang (skala 1 : 1000) 6
Gambar 1.3 Peta lokasi pembangunan dermaga (skala 1 : 500).... 6
Gambar 1.4 Diagram alir pengerjaan tugas akhir..... 7
Gambar 1.5 Diagram alir pengerjaan tugas akhir (lanjutan) 8
Gambar 2.1 Hubungan kecepatan angin di darat dan di laut..... 16
Gambar 2.2 Contoh peramalan *fetch* 18
Gambar 2.3 Contoh dimensi kapal 19
Gambar 2.4 Jenis – jenis penjangkaran kapal 21
Gambar 2.5 Benturan kapal pada *pier*..... 28
Gambar 2.6 Grafik hubungan tekanan angin dan kecepatan angin 32
Gambar 2.7 Koefisien kuat arus (C)..... 33
Gambar 2.8 Posisi titik jepit tiang pancang..... 42
Gambar 2.9 Gaya pada suatu benda yang mengapung..... 47
Gambar 2.10 Variasi bentuk kubus apung HDPE 48
Gambar 2.11 Contoh *pontoon* pelat baja..... 49
Gambar 3.1 Peta batimetri sekitar lokasi perencanaan..... 52
Gambar 3.2 Potongan A – A peta batimetri 53
Gambar 3.3 Grafik pengukuran pasang surut di stasiun pasang surut Sekambing. 54
Gambar 3.4 *Current rose* di lokasi perencanaan pada bulan Januari 2015 57
Gambar 3.5 *Current rose* di lokasi perencanaan pada bulan Agustus 2015 57
Gambar 3.6 Peta lokasi pengambilan data angin (skala 1:5000). 58
Gambar 3.7 *Windrose* perairan Kota Bontang 60
Gambar 3.8 *Fetch* arah utara (skala 1:200) 61
Gambar 3.9 *Fetch* arah timur laut (skala 1:200)..... 61
Gambar 3.10 *Fetch* arah timur (skala 1:200)..... 62
Gambar 3.11 *Fetch* arah tenggara (skala 1:200) 62
Gambar 3.12 *Fetch* arah selatan (skala 1:200) 63
Gambar 3.13 Lokasi pengambilan data tanah (skala 1:500) 67

Gambar 3.14 Hasil *bore log* dan SPT tanah 68
Gambar 3.15 Hasil *bore log* dan SPT tanah (Lanjutan) 69
Gambar 4.1 MPSV Bourbone Jade 3.660 DWT 72
Gambar 4.2 PSV Bourbon Explorer 3.700 DWT 73
Gambar 4.3 *Tugboat* 750 hp 74
Gambar 4.4 Contoh penyusunan modul dermaga apung 77
Gambar 4.5 *Cross cleat* 78
Gambar 4.6 *Fender* tipe D 78
Gambar 4.7 *Railing* portal 79
Gambar 4.8 *Railing* tiang 79
Gambar 4.9 *Pile guide's frame* 79
Gambar 4.10 Baut pendek dengan penutup 80
Gambar 4.11 Baut panjang 80
Gambar 4.12 Modul *gangway* 81
Gambar 4.13 Konfigurasi beban sumbu truk 83
Gambar 4.14 Dimensi *crawler crane* tampak samping 84
Gambar 4.15 Dimensi *crawler crane* tampak depan 85
Gambar 4.16 Grafik kecepatan kapal bertambat 87
Gambar 4.17 Perhitungan koefisien C_M 89
Gambar 4.18 Penentuan koefisien C_E 90
Gambar 4.19 Penentuan koefisien Cc 91
Gambar 4.20 Penentuan koefisien Cs 91
Gambar 4.21 Koefisien tekanan arus 95
Gambar 4.22 Gempa maksimum yang dipertimbangkan risiko-tertrget (MCER) untuk S_S 98
Gambar 4.23 Gempa maksimum yang dipertimbangkan risiko-tertrget (MCER) untuk S_1 98
Gambar 4.24 Keterangan dimensi *fender* UE 106
Gambar 4.25 Penentuan jarak antar fender 107
Gambar 4.26 Besar defleksi pada *fender* 108
Gambar 4.27 Posisi *panel fender* terhadap kapal saat air surut 110
Gambar 4.28 Posisi *panel fender* terhadap kapal saat air pasang 111
Gambar 4.29 Kemampuan *fender* menopang panel 111
Gambar 4.30 Sudut tarikan beban terhadap *bollard* 113

Gambar 4.31 Dimensi *bollard* 114
Gambar 4.32 Spesifikasi *bollard* 115
Gambar 5.1 Layout umum rencana *Jetty 1* dan *Jetty 2* 120
Gambar 5.2 *Layout* daratan rencana awal *Jetty 1* 120
Gambar 5.3 Jarak aman kapal tanker terhadap kapal lain 124
Gambar 5.4 Kebutuhan *layout* perairan pada peta batimetri (skala 1:20.000) 131
Gambar 5.5 *Layout* perairan 132
Gambar 5.6 Kebutuhan *layout* dermaga apung 134
Gambar 5.7 Posisi *pontoon* saat muka air pasang 135
Gambar 5.8 Posisi *pontoon* saat muka air surut 136
Gambar 5.9 Kebutuhan *layout* daratan 138
Gambar 5.10 Kebutuhan *layout* daratan terhadap kedalaman perairan 139
Gambar 6.1 Pembagian Tipe Pelat Dermaga 142
Gambar 6.2 Tumpuan pelat jepit penuh 143
Gambar 6.3 Tumpuan pelat jepit sebagian (elastis) 143
Gambar 6.4 Pelat tipe A dermaga 144
Gambar 6.5 Konfigurasi beban roda truk 149
Gambar 6.6 Posisi roda truk arah melintang pelat dermaga tipe A kombinasi 1 150
Gambar 6.7 Posisi roda truk arah memanjang pelat dermaga tipe A kombinasi 1 155
Gambar 6.8 Posisi roda truk arah melintang pelat dermaga tipe A kombinasi 2 160
Gambar 6.9 Posisi roda truk arah memanjang pelat dermaga tipe A kombinasi 2 164
Gambar 6.10 Konfigurasi beban roda *crawler crane* 174
Gambar 6.11 Posisi roda *crawler crane* arah melintang pelat dermaga tipe A kombinasi 1 175
Gambar 6.12 Posisi roda *crawler crane* arah memanjang pelat dermaga tipe A kombinasi 1 179
Gambar 6.13 Posisi roda *crawler crane* arah melintang pelat dermaga tipe A kombinasi 2 183

Gambar 6.14 Posisi roda *crawler crane* arah memanjang pelat dermaga tipe A kombinasi 2 186
Gambar 6.15 Tampak 3 dimensi struktur dermaga 205
Gambar 6.16 Tampak atas struktur dermaga 205
Gambar 6.17 Tampak melintang struktur dermaga 205
Gambar 6.18 Tampak memanjang struktur dermaga 206
Gambar 6.19 Beban hidup merata struktur dermaga 206
Gambar 6.20 Beban berat sendiri *bollard* dan *fender* dermaga. 206
Gambar 6.21 Beban tarikan kapal pada *bollard* dermaga 207
Gambar 6.22 Beban tumbukan kapal pada *fender* dermaga 207
Gambar 6.23 Lintasan beban truk dermaga 208
Gambar 6.24 Lintasan beban *crawler crane* dermaga 208
Gambar 6.25 Pembagian tegangan geser balok dermaga 216
Gambar 6.26 Beban yang terjadi pada *pile cap* tunggal dan ganda dermaga 225
Gambar 6.27 Grafik perhitungan daya dukung tanah 236
Gambar 6.28 Grafik daya dukung tanah terhadap kedalaman tiang pancang dermaga 237
Gambar 6.29 Contoh pelapisan *three layer polyethylene coating (sumber : www.brederoshaw.com)* 245
Gambar 6.30 Pembagian Tipe Pelat *Trestle* 248
Gambar 6.31 Pelat tipe A *trestle* 249
Gambar 6.32 Posisi roda truk arah memanjang pelat tipe A kombinasi 1 253
Gambar 6.33 Posisi roda truk arah memanjang pelat tipe A kombinasi 2 255
Gambar 6.34 Posisi roda *crawler crane* arah memanjang pelat tipe A kombinasi 1 260
Gambar 6.35 Posisi roda *crawler crane* arah memanjang pelat tipe A kombinasi 2 262
Gambar 6.36 Tampak 3 dimensi struktur *trestle* 274
Gambar 6.37 Tampak atas struktur *trestle* 275
Gambar 6.38 Tampak melintang struktur *trestle* 275
Gambar 6.39 Tampak memanjang struktur *trestle* 275
Gambar 6.40 Beban hidup merata struktur *trestle* 276

Gambar 6.41 Beban *gangway* 276
Gambar 6.42 Lintasan beban truk *trestle* 277
Gambar 6.43 Lintasan beban *crawler crane trestle* 277
Gambar 6.44 Pembagian tegangan geser balok *trestle*.....284
Gambar 6.45 Beban yang terjadi pada *pile cap* tunggal *trestle*.289
Gambar 6.46 Grafik daya dukung tanah terhadap kedalaman (*trestle*) 298
Gambar 7.1 Diagram alir pekerjaan umum pelabuhan.....309
Gambar 7.2 Diagram alir pekerjaan tiang pancang 312
Gambar 7.3 (a) Tiang pancang dengan lapisan lapisan PE; (b) Tiang pancang tanpa lapisan lapisan PE 313
Gambar 7.4 *Bevel* pada ujung tiang pancang yang disambung .314
Gambar 7.5 (a) Tulangan pengisi tiang pancang; (b) *Stopper* penahan tulangan.....314
Gambar 7.6 Contoh *barge* dengan *crane* dan *pile ladder (sumber: swijetty)* 315
Gambar 7.7 (a) Contoh *power pack* untuk *hammer* ; (b) Contoh *hammer* yang digunakan (*sumber: starke.com*) 316
Gambar 7.8 Spesifikasi *hydraulic hammer* dan *power pack* (*sumber: starke.com*).....316
Gambar 7.9 (a) *Welder generator*; (b) *Crane*; (c) Kawat las; (d) *Stopper* D13.....317
Gambar 7.10 Perlengkapan APD 317
Gambar 7.11 Titik pemasangan *stopper*.....318
Gambar 7.12 Proses penggabungan tiang pancang 319
Gambar 7.13 Proses pengelasan tiang pancang di darat.....319
Gambar 7.14 Pelapisan bahan anti karat pada permukaan las...320
Gambar 7.15 Contoh mobilisasi tiang pancang ke titik pemancangan.....320
Gambar 7.16 *Total Station* 321
Gambar 7.17 Contoh pencatatan *Pile Driving Record*.....322
Gambar 7.18 Contoh komputer PDA.....323
Gambar 7.19 Contoh pemasangan *strain transducer* dan *accelerometer*.....323
Gambar 7.20 Contoh proses pencatatan data *calendering* 324

Gambar 7.21 Contoh hasil pencatatan *calendering*.....325
Gambar 7.22 Contoh alat UT dan cairan CMC.....326
Gambar 7.23 Proses pemindaian permukaan pengelasan.....326
Gambar 7.24 (a) Alat ukur level; (b) *Blender* / *cutting torch*; (c) Tabung oksigen; (d) Tabung *asetilen*.....327
Gambar 7.25 Contoh proses pemotongan tiang pancang 328
Gambar 7.26 Diagram alir pekerjaan beton 329
Gambar 7.27 Pembersihan form work baja profil I.....330
Gambar 7.28 Perakitan bekisting 331
Gambar 7.29 Contoh pengecoran dengan *concrete pump*.....331
Gambar 7.30 Proses pemadatan beton menggunakan *vibrator*.331
Gambar 7.31 Contoh *mobile crane* di darat 332
Gambar 7.32 Contoh pengangkutan crane menggunakan barge332
Gambar 7.33 Penulangan isian tiang pancang *trestle*.....333
Gambar 7.34 Proses produksi tulangan tiang pancang.....334
Gambar 7.35 Pemasangan perancah untuk *pile cap*.....335
Gambar 7.36 Pemasangan bekisting *pile cap*.....336
Gambar 7.37 Pemasangan tulangan pada *pile cap*.....336
Gambar 7.38 Contoh pemasangan bekisting pada balok dan pelat 337
Gambar 7.39 Contoh penulangan pada balok dan pelat.....338
Gambar 7.40 Contoh proses pengecoran balok dan pelat 339
Gambar 7.41 Perlindungan beton dari suhu tinggi.....339
Gambar 7.42 Pemasangan *stoper* pada tiang pancang 342
Gambar 7.43 Proses penyambungan tiang pancang di laut.....342
Gambar 7.44 Proses pengelasan tiang pancang.....343
Gambar 7.45 Penulangan isian tiang pancang dermaga.....344
Gambar 7.46 Contoh pemasangan fender *unit element*.....345
Gambar 7.47 Pemasangan baut angker fender dengan resin.....346
Gambar 7.48 Proses pemasangan rangka pada *floating pontoon* 349

DAFTAR TABEL

Tabel 2.1 Kebutuhan area penjangkaran dengan angkur.....21
Tabel 2.2 Kebutuhan area penjangkaran dengan *buoy*.....21
Tabel 2.3 Ukuran panjang alur.....23
Tabel 2.4 Perhitungan elevasi dermaga.....26
Tabel 2.5 Gaya tarikan pada *bollard*.....29
Tabel 2.6 Jarak dan jumlah *bollard* terpasang pada dermaga 29
Tabel 2.7 Berat jenis material.....30
Tabel 2.8 Koefisien-koefisien ωp, C3, C4, C5.....37
Tabel 2.9 Nilai base coefficient (α) dan shaft coefficient (β).....44
Tabel 3.1 Hasil perhitungan nilai pasang surut menggunakan *software T-Tide* 55
Tabel 3.2 Hasil perhitungan elevasi pasang surut berdasarkan formula Surimiharja (1997).....56
Tabel 3.3 Frekuensi rata – rata kejadian angin per bulan selama 10 tahun (2004 – 1014) 59
Tabel 3.4 Perhitungan *fetch* efektif di lokasi perencanaan.....64
Tabel 4.1 Dimensi MPSV Bourbone Jade 3.660 DWT.....72
Tabel 4.2 Dimensi PSV Bourbon Explorer 3.700 DWT 73
Tabel 4.3 Dimensi *Tugboat* 250 hp 74
Tabel 4.4 Spesifikasi *crawler crane*.....84
Tabel 4.5 Daya angkat *crane* berdasarkan panjang *boom*.....85
Tabel 4.6 Penentuan *displacement tonnage* kapal.....86
Tabel 4.7 Penentuan kecepatan kapal bertambat.....88
Tabel 4.8 Faktor keamanan kapal bertambat abnormal.....92
Tabel 4.9 Penentuan gaya tarik kapal terhadap *bollard* 93
Tabel 4.10 Koefisien hambatan angin.....94
Tabel 4.11 Klasifikasi situs 97
Tabel 4.12 Kategori risiko bangunan 99
Tabel 4.13 Faktor keutamaan gempa 99
Tabel 4.14 Koefisien situs Fa 100
Tabel 4.15 Koefisien situs Fv.....100
Tabel 4.16 Penentuan nilai C_t dan x 101
Tabel 4.17 Penentuan nilai C_u 102

Tabel 4.18 Faktor R.....103
Tabel 4.19 Nilai spektral percepatan di permukaan 104
Tabel 4.20 Kekuatan *fender* UE sesuai dimensinya.....105
Tabel 4.21 Dimensi *fender* UE sesuai jenisnya.....106
Tabel 4.22 Tekanan kontak lambung kapal.....110
Tabel 5.1 Dimensi layout rencana awal dermaga MPSV/PSV .121
Tabel 5.2 Dimensi *layout* perairan dermaga *open pier* 129
Tabel 5.3 Dimensi *layout* perairan dermaga apung.....130
Tabel 5.4 Dimensi *layout* daratan.....137
Tabel 6.1 Nilai koefisien X masing – masing pelat dermaga....145
Tabel 6.2 Momen akibat beban mati dan hidup pelat dermaga.147
Tabel 6.3 Koefisien momen akibat beban terpusat pelat dermaga 148
Tabel 6.4 Momen akibat beban terpusat roda truk pelat dermaga 171
Tabel 6.5 Momen akibat beban terpusat roda truk pelat dermaga (lanjutan) 172
Tabel 6.6 Momen akibat beban terpusat roda truk pelat dermaga (lanjutan) 173
Tabel 6.7 Momen akibat beban terpusat *crawler crane* pelat dermaga 192
Tabel 6.8 Momen akibat beban terpusat *crawler crane* pelat dermaga (lanjutan).....193
Tabel 6.9 Momen akibat beban terpusat *crawler crane* pelat dermaga (lanjutan).....194
Tabel 6.10 Momen rencana pelat dermaga.....195
Tabel 6.11 Penulangan pelat dermaga.....201
Tabel 6.12 Gaya hasil perhitungan SAP2000 v.14.2.2 struktur dermaga 209
Tabel 6.13 Rekapitulasi perhitungan penulangan balok dan *pile cap* dermaga 232
Tabel 6.14 Hasil perhitungan gaya yang terjadi pada tiang pancang dermaga 234
Tabel 6.15 Nilai koefisien X masing – masing pelat *trestle*.....250
Tabel 6.16 Momen akibat beban mati dan hidup pelat *trestle*...251

Tabel 6.17 Koefisien momen akibat beban terpusat pelat *trestle* 252
Tabel 6.18 Momen akibat beban terpusat roda truk pelat *trestle* 258
Tabel 6.19 Momen akibat beban terpusat roda truk pelat *trestle* (lanjutan) 259
Tabel 6.20 Momen akibat beban terpusat *crawler crane* pelat *trestle* 265
Tabel 6.21 Momen akibat beban terpusat *crawler crane* pelat *trestle* (lanjutan) 266
Tabel 6.22 Momen rencana pelat trestle.....267
Tabel 6.23 Penulangan pelat pada *trestle* 272
Tabel 6.24 Gaya hasil perhitungan SAP2000 v.14.2.2 *trestle*...278
Tabel 6.25 Rekapitulasi perhitungan penulangan balok *pile cap trestle* 295
Tabel 6.26 Hasil perhitungan gaya yang terjadi pada tiang pancang *trestle* 297
Tabel 8.1 Daftar harga upah, bahan dan material serta alat 351
Tabel 8.2 Analisis harga satuan pekerjaan 355
Tabel 8.3 Rencana Anggaran Biaya 361
Tabel 8.4 Rekapitulasi Rencana Anggaran Biaya 365
Tabel 9.1 Hasil evaluasi *layout* perairan dermaga *open pier* 367
Tabel 9.2 Hasil evaluasi *layout* perairan dermaga apung.....368
Tabel 9.3 Hasil evaluasi *layout* daratan.....368

"Halaman ini sengaja dikosongkan"

DAFTAR LAMPIRAN

Lampiran 1 Gambar *Layout* Perairan 375
Lampiran 2 Gambar *Layout* Daratan.....377
Lampiran 3 Gambar Denah Pembalokan dan Tiang Pancang Dermaga 379
Lampiran 4 Gambar Potongan A – A Dermaga 381
Lampiran 5 Gambar Potongan B – B Dermaga.....383
Lampiran 6 Gambar Penulangan Pelat Dermaga 385
Lampiran 7 Gambar Penulangan Balok Melintang Dermaga ...387
Lampiran 8 Gambar Penulangan Balok Memanjang Dermaga.389
Lampiran 9 Gambar Penulangan *Pile Cap* Ganda dan Tunggal Dermaga 391
Lampiran 10 Gambar Penulangan *Plank Fender* 393
Lampiran 11 Gambar Denah Pembalokan dan Tiang Pancang *Trestle*.....395
Lampiran 12 Gambar Potongan A – A *Trestle*.....397
Lampiran 13 Gambar Potongan B – B *Trestle* 399
Lampiran 14 Gambar Penulangan Pelat *Trestle*.....401
Lampiran 15 Gambar Penulangan Balok Melintang *Trestle*.....403
Lampiran 16 Gambar Penulangan Balok Memanjang *Trestle* ..405
Lampiran 17 Gambar Penulangan *Pile Cap* Tunggal *Trestle*....407
Lampiran 18 Gambar *Layout Floating Pontoon* dan *Gangway* 409
Lampiran 19 Gambar Tampak Melintang *Floating Pontoon* dan *Gangway*.....411
Lampiran 20 Gambar Detail *Gangway* 413
Lampiran 21 Lembar Asistensi 415

"Halaman ini sengaja dikosongkan"

BAB I
PENDAHULUAN

1.1 Latar Belakang

Pada tahun 2015 konsumsi bahan bakar minyak nasional rata – rata mencapai 1,5 juta barel per hari, sementara produksi dari kilang minyak di Indonesia hanya mencapai 800 ribu barel per hari (www.esdm.go.id). Sedangkan menurut PT. Pertamina, konsumsi bahan bakar minyak pada 6 sampai 10 tahun kedepan diperkirakan akan mencapai 2,4 juta sampai 2,8 juta barel *crude oil* per hari. Untuk mengurangi defisit produksi minyak tersebut, PT. Pertamina merencanakan program *Refining Development Master Plan* (RDMP) dan *Grass Root Refinery* (GRR). *Refining Development Master Plan* merupakan program *upgrading* kilang minyak yang ada di Indonesia (kilang di Balikpapan, Dumai, Plaju, Cilacap dan Balongan) yang nantinya akan meningkatkan kualitas dan kuantitas produksi minyak dalam negeri. Dari program ini produksi kilang minyak yang ada akan naik dua kali lipat menjadi 1,6 juta barel per hari. Sedangkan *Grass Root Refinery* merupakan program pembangunan kilang baru yang juga bertujuan untuk meningkatkan produksi minyak dalam negeri. PT. Pertamina berencana membangun empat kilang baru secara bertahap, dua kilang diantaranya sudah ditentukan lokasinya yakni di Kota Bontang, Kalimanan Timur dan di Kabupaten Tuban, Jawa Timur, dengan target produksi 300 ribu barel per hari dari masing - masing kilang tersebut.

Pembangunan kilang baru di Kota Bontang akan dilakukan di atas lahan PT. Badak NGL. Kilang baru ini akan dibangun seluas 500 hektar dari 700 hektar lahan yang sudah disiapkan oleh PT. Badak NGL. Kota Bontang menjadi pilihan lokasi pembangunan kilang karena lokasinya yang berdekatan dengan sejumlah aset PT. Pertamina seperti bandar udara, pelabuhan, akses *boiler* hingga kepemilikan lahannya. Selain itu pembangunan kilang di Kota Bontang ini juga termasuk dalam 10 prioritas pembangunan

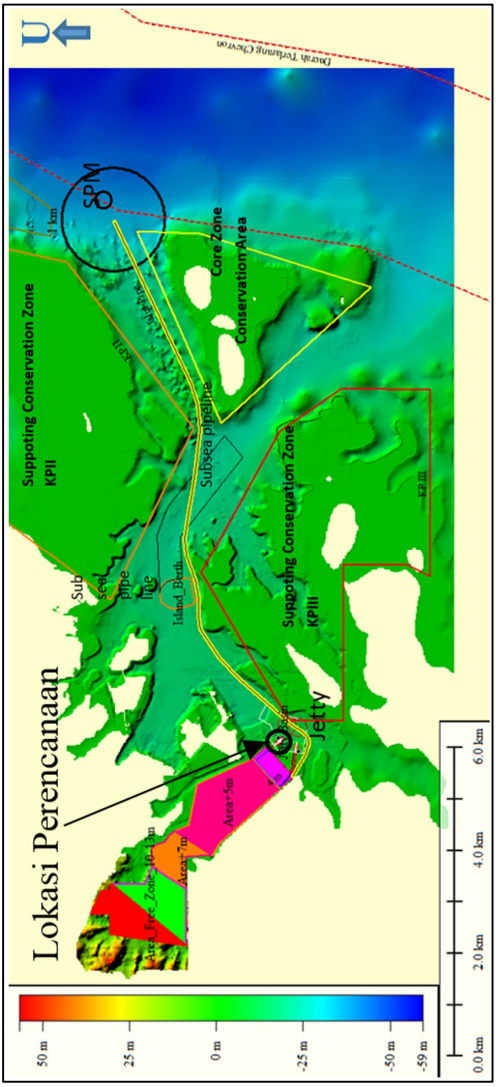
infrastruktur oleh pemerintah saat ini. Diperkirakan kilang ini akan mulai beroperasi pada tahun 2019.

Untuk menunjang kegiatan operasional pada kilang, diperlukan adanya pembangunan dermaga dan fasilitas penunjang lain. Secara umum terdapat tiga fasilitas penunjang yang akan dibangun yakni *jetty* (*Jetty* 1 dan *Jetty* 2), *island berth* dan *Single Point Mooring* (SPM). Dermaga *Jetty* 1 berfungsi untuk memuat (*loading*) LPG ke kapal LPG dan produk minyak ke kapal *tanker*. Dermaga *Jetty* 2 berfungsi untuk bongkar (*unloading*) muatan kapal kargo dan muatan kapal curah kering. Dermaga *island berth* berfungsi untuk memuat (*loading*) BBM premium ke kapal *tanker*. Sedangkan *Single Point Mooring* (SPM) berfungsi sebagai penambatan dan interkoneksi untuk muatan tanker atau pembongkaran produk gas atau cairan. *Layout* fasilitas penunjang kilang ini dapat pada Gambar 1.1.

Di area dermaga *Jetty* 1 juga akan dibangun fasilitas penunjang lain yakni dermaga *open pier* untuk kapal *Multi Purpose Supply Vessel* (MPSV) 3.500 DWT dan/atau *Platform Supply Vessel* (PSV) 3.500 DWT serta *floating pontoon* untuk *tugboat*. Kapal MPSV dan PSV merupakan kapal yang banyak digunakan untuk menunjang kegiatan kilang minyak lepas pantai. Secara umum kedua kapal ini memiliki fungsi yang hampir sama diantaranya, pengangkut peralatan dan persediaan kebutuhan kilang minyak, pemeliharaan struktur kilang lepas pantai serta penanganan kecelakaan kerja seperti pemadam kebakaran. Sedangkan *tugboat* merupakan kapal yang digunakan untuk menarik atau mendorong kapal di perairan pelabuhan atau laut lepas. Kapal ini juga bisa digunakan untuk mengangkut kru dan *supply* bahan makanan, air atau peralatan lain untuk mendukung kegiatan kilang minyak.

Dengan adanya rencana pembangunan fasilitas dermaga untuk kapal MPSV / PSV 3.500 DWT *floating pontoon* untuk *tugboat* di area kilang, maka dibutuhkan perencanaan struktur dermaga yang memenuhi standar serta kriteria perencanaan. Untuk

itulah penulis melakukan penyusunan tugas akhir berupa perencanaan detail pembangunan dermaga tersebut.



Gambar 1.1 Fasilitas penunjang kilang
(*sumber: LPPM-ITS Surabaya*)

1.2 Rumusan Masalah

Dalam tugas akhir ini akan dibahas permasalahan yang berkaitan tentang perencanaan dermaga untuk kapal MPSV / PSV 3.500 DWT serta *floating pontoon* di area kilang minyak Kota Bontang. Dengan detail permasalahannya adalah sebagai berikut:

1. Diperlukan pengembangan struktur dermaga untuk kapal MPSV / PSV 3.500 DWT yang sesuai dengan kebutuhannya, sebagai fasilitas pendukung akibat adanya pembangunan kilang minyak baru di Kota Bontang.
2. Dibutuhkan evaluasi terhadap *layout* perairan dan daratan rencana pembangunan dermaga yang ada yang terletak di wilayah kilang minyak lepas pantai.
3. Diperlukan adanya perencanaan detail struktur dermaga pada area *offshore* yang mampu menahan kombinasi pembebanan yang bekerja pada struktur tersebut.
4. Diperlukan penentuan metode pelaksanaan konstruksi dermaga yang aman dan efektif serta rencana anggaran biaya yang dibutuhkan.

1.3 Tujuan

Dalam pembahasan tugas akhir ini tujuan yang akan dicapai adalah sebagai berikut:

1. Dapat melakukan perencanaan dermaga untuk kapal MPSV/PSV 3.5000 DWT dan *floating pontoon* yang akan mendukung operasional kilang.
2. Dapat mengevaluasi serta merencanakan *layout* perairan dan daratan berdasarkan kriteria yang direncanakan.
3. Mampu menentukan detail struktur dermaga dan *floating pontoon* yang kuat dan efisien.
4. Dapat menentukan metode pelaksanaan yang baik sehingga tercapai efektifitas kerja serta mengestimasi rencana anggaran biaya pembangunan dermaga untuk kapal MPSV/PSV 3.5000 DWT dan *floating pontoon* di area kilang Bontang.

1.4 Lingkup Pekerjaan

Pekerjaan yang akan dibahas dalam tugas akhir ini meliputi :

1. Pengumpulan serta analisis data.
2. Perencanaan dan evaluasi *layout* perairan dan *layout* daratan.
3. Perhitungan struktur dermaga dan *floating pontoon*.
4. Penentuan metode pelaksanaan pembangunan dermaga.
5. Perhitungan rencana anggaran biaya pembangunan dermaga.

1.5 Batasan Masalah

Dalam penyusunan tugas akhir ini terdapat beberapa hal yang menjadi batasan permasalahan dalam perencanaan dermaga, antara lain sebagai berikut :

1. Tidak menghitung struktur *break water*, pengaruh sedimentasi, serta kebutuhan pengerukan dan reklamasi untuk lapangan penumpukan.
2. Tidak merencanakan Sarana Bantu Navigasi Pelayaran (SBNP).
3. Tidak melakukan perhitungan penjadwalan pekerjaan konstruksi.

1.6 Lokasi Perencanaan

Lokasi dari perencanaan dermaga ini adalah di area kilang minyak PT. Pertamina, Kota Bontang, Kalimantan Timur. Dengan lokasi geografis Kota Bontang di 117.023° E sampai 117.032° E dan 00.01° N sampai 00.12° N, sedangkan lokasi geografis pembangunan dermaga pada 0°4'30.81"N, 117°28'54.48"E. Peta Kota Bontang dan lokasi pembangunan dermaga dapat dilihat pada Gambar 1.2 dan Gambar 1.3.

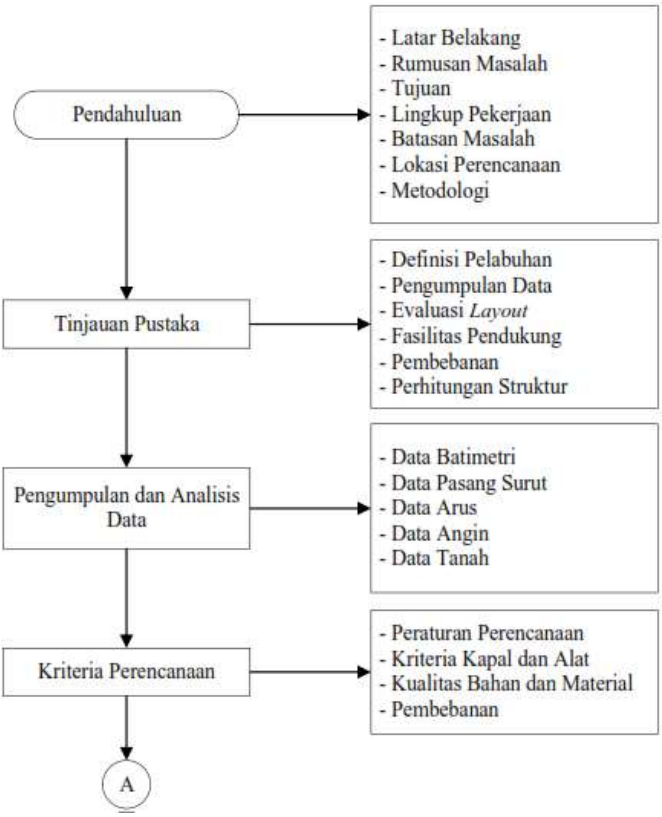
Gambar 1.2 Peta lokasi Kota Bontang (skala 1 : 1000)
(*sumber: maps.google.com 2016*)

Gambar 1.3 Peta lokasi pembangunan dermaga (skala 1 : 500)
(*sumber: maps.google.com 2016*)

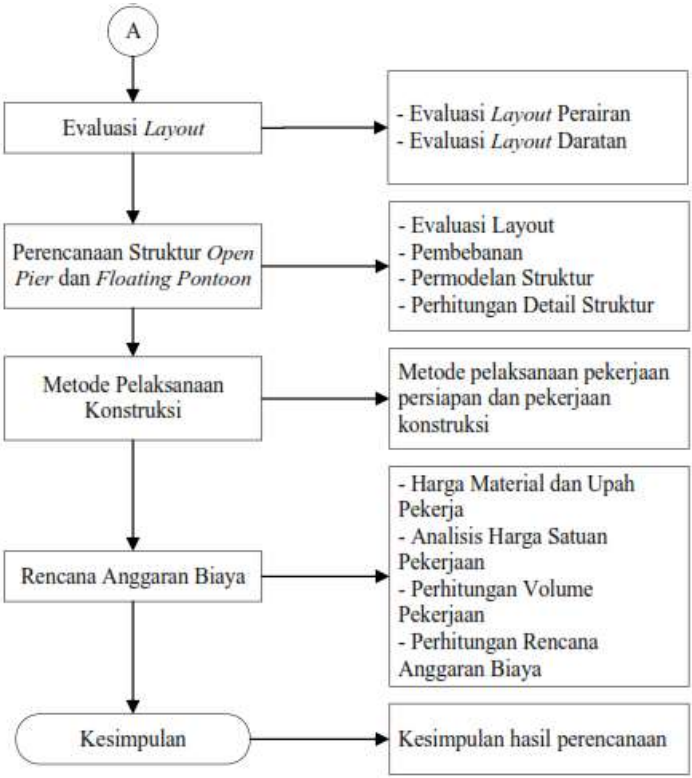
1.7 Metodologi

1.7.1 Diagram alir

Langkah – langkah dalam pengerjaan tugas akhir tentang perencanaan detail dermaga untuk kapal MPSV / PSV 3.500 DWT serta *floating pontoon* di area kilang PT. Badak NGL, Kota Bontang, dapat dilihat pada Gambar 1.4 dan Gambar 1.5.



Gambar 1.4 Diagram alir pengerjaan tugas akhir



Gambar 1.5 Diagram alir pengerjaan tugas akhir (lanjutan)

1.7.2 Langkah pengerjaan tugas akhir

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

1. Pendahuluan
   Menjelaskan tentang latar belakang, rumusan masalah, tujuan, lingkup pekerjaan, batasan masalah, lokasi perencanaan dan metodologi yang digunakan.
2. Tinjauan pustaka
   Menjelaskan tentang landasan teori, konsep serta perumusan yang akan digunakan dalam perencanaan.

3. Pengumpulan dan anaisis data
   Data yang akan digunakan dan dianalisis untuk perencanaan adalah data sekunder sebagai berikut :
   a. Data peta batimetri
   b. Data pasang surut
   c. Data arus
   d. Data angin
   e. Data tanah
4. Perencanaan struktur dermaga
   a. Evaluasi *layout*
      Melakukan evaluasi pada layout yang telah ada meliputi :
      - *Layout* perairan

      Evaluasi *layout* perairan meliputi area penjangkaran, alur masuk, kolam putar dan kolam dermaga.
      - *Layout* daratan

      Evaluasi *layout* daratan meliputi kemiringan dermaga, panjang dermaga, lebar dermaga dan elevasi permukaan dermaga.
      - Sistem bongkar muat

      Merupakan tahapan dimana kapal mulai bertambat kemudian melakukan bongkar maupun muat barang atau penumpang hingga kapal meninggalkan dermaga.
   b. Pembebanan
      Perhitungan beban terdiri dari beban vertikal dan horizontal. Beban vertikal meliputi: beban mati dari berat sendiri, beban hidup terpusat dan beban hidup merata akibat muatan. Sedangkan beban horizontal meliputi: gaya *fender*, gaya *bollard*, gaya arus, tekanan angin dan beban gempa
   c. Perencanaan struktur bagian atas dermaga
      Perencanaan ini meliputi pelat, balok dan *pile cap*. Analisis struktur bertujuan untuk mendapatkan *output* gaya dalam berupa gaya aksial, geser, dan momen. Analisis struktur dicari dengan dengan menggunakan

program bantu SAP 2000 dan Peraturan Beton Indonesia (PBI) 1971.

d. Perencanaan struktur bagian bawah dermaga
   Perencanaan ini meliputi kontrol tiang pancang, perhitungan daya dukung tanah dan kalendering. 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.
   - Mengontrol kekuatan bahan yaitu membandingkan besarnya tegangan yang terjadi akibat beban luar harus lebih kecil dari pada tegangan izin bahan.
   - Menghitung daya dukung tiang pancang dengan metode *Luciano Decourt.*
   - Menghitung daya dukung tiang pancang dengan sistem kalendering.

e. Perencanaan *floating pontoon*
   Perencanaan ini meliputi pembebanan *floating pontoon,* dimensi, kontrol stabilitas, sistem *mooring* dan jembatan penghubung.

5. Perencanaan metode pelaksanaan
   Perencanaan metode pelaksanaan meliputi pekerjaan persiapan dan pelaksanaan struktur dermaga, *trestle* dan *floating pontoon*.
6. Perhitungan Rencana Anggaran Biaya
   Analisis anggaran biaya dilakukan sesuai dengan standar dan kebutuhan yang ada. Urutan dari analisis ini yaitu :
   a. Harga satuan material dan upah
   b. Analisis harga satuan pekerjaan
   c. Perhitungan volume pekerjaan
   d. Penentuan Rencana Anggaran Biaya

BAB II
TINJAUAN PUSTAKA

2.1 Definisi Pelabuhan

Menurut Peraturan Pemerintah Republik Indonesia nomor 61 tahun 2009 tentang kepelabuhanan, pelabuhan adalah tempat yang terdiri atas daratan dan/atau perairan dengan batas-batas tertentu sebagai tempat kegiatan pemerintahan dan kegiatan pengusahaan yang dipergunakan sebagai tempat kapal bersandar, naik turun penumpang, dan/atau bongkar muat barang, berupa terminal dan tempat berlabuh kapal yang dilengkapi dengan fasilitas keselamatan dan keamanan pelayaran dan kegiatan penunjang pelabuhan serta sebagai tempat perpindahan intra moda dan antar moda transportasi. Wilayah perairan terdiri dari alur pelayaran, kolam pelabuhan dan *breakwater*. Sedangkan wilayah daratan terdiri tempat kapal bersandar atau bertambat, tempat penumpukan, tempat menunggu dan naik turun penumpang, dan/atau tempat bongkar muat barang.

Salah satu fasilitas yang ada di pelabuhan adalah dermaga atau tempat untuk kapal berlabuh atau bertambat untuk melakukan bongkar muat barang dan/atau penumpang. Menurut tipe konstruksinya, dermaga dibedakan menjadi dua tipe, yaitu dermaga konstruksi dinding tertutup (*wharf* atau *quay wall*) dan dermaga konstruksi dinding terbuka (*jetty* atau *open pier*). Pemilihan tipe dermaga sangat dipengaruhi oleh kebutuhan kapal yang akan dilayani, ukuran kapal, arah gelombang dan angin, kondisi topografi dan tanah dasar laut, dan tinjauan ekonomi untuk mendapatkan bangunan yang paling ekonomis. Perencanaan dermaga pada tugas akhir ini adalah dermaga tipe *open pier* yang berada di Terminal Khusus PT. Badak NGL, Kota Bontang. Terminal Khusus adalah terminal yang terletak di luar Daerah Lingkungan Kerja dan Daerah Lingkungan Kepentingan pelabuhan yang merupakan bagian dari pelabuhan terdekat untuk melayani kepentingan sendiri sesuai dengan usaha pokoknya

2.2 Pengumpulan Data

2.2.1 Peta batimetri

Peta batimetri merupakan peta yang menunjukkan kontur kedalaman dasar laut dari posisi 0,00 mLWS. Dengan melihat data dari peta batimetri dapat diketahui kedalaman dasar laut atau dasar sungai sehingga perencanaan dermaga dapat dilakukan secara tepat agar kapal aman untuk bermanuver sesuai dengan kebutuhannya. Hasil dari pemetaan batimetri ini adalah susunan garis-garis permukaan tanah (kontur).

Pembuatan peta batimetri ini dapat dilakukan dengan mengumpulkan data kedalaman dasar laut dengan metode penginderaan dari permukaan bumi, yang akan diolah untuk menghasilkan relief dasar perairan, sehingga dapat digambarkan susunan dari garis-garis kontur. Peralatan utama yang digunakan dalam pembuatan peta topografi adalah alat ukur kedalaman *echosounder* (sonar) dan alat ukur jarak yaitu *theodolite*. Dalam perencanaan tugas akhir, data peta batimetri ini dapat diperoleh dengan pengukuran langsung maupun dengan melihat dokumen data sekunder dari lembaga yang mengeluarkan peta batimetri tersebut.

Dalam perencanaan dermaga, peta batimetri ini berfungsi untuk:

- Menentukan lokasi perencanaan dermaga dan fasilitas terminal lainnya secara tepat
- Merencanakan kedalaman perairan pelabuhan dan mengetahui daerah yang berbahaya untuk dilalui kapal sehingga aman untuk dilalui kapal.

2.2.2 Arus

Pada umumnya arus yang terjadi di sepanjang pantai merupakan arus yang terjadi akibat perbedaan muka air pasang surut antara satu lokasi dengan lokasi yang lainnya. Selain itu, pergerakan arus laut juga dapat dipengaruhi oleh adanya perbedaan tekanan air pada lokasi satu dengan lokasi lainya, perbedaan muka tanah dibawah air, perbedaan kerapatan air, dan arus permukaan.

Dalam perencanaan dermaga, data arus ini digunakan untuk mengetahui tekanan arus yang terjadi dan untuk menghindari pengaruh tekanan arus arah tegak lurus kapal sehingga kapal dapat bermanuver secara cepat dan aman. Selain itu data arus juga di gunakan untuk mengevaluasi stabilitas garis atau morfologi pantai (erosi atau sedimentasi). Sedangkan pada dermaga yang berada di sungai, data arus digunakan untuk menghitung debit air, intrusi laut dan juga sedimentasi.

Umumnya dari data arus ini yang dibutuhkan adalah mengetahui frekuensi arah dan kecepatan arus terhadap pola aliran pasang surut. Selain itu juga dilakukan analisa untuk mengetahui kecepatan dan arah arus maksimum yang terjadi. Analisa data ini bertujuan untuk mengetahui tekanan arus serta kelayakannya untuk kapal berlabuh.

2.2.3 Pasang surut

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

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

sudut siku, akan terjadi pasang tinggi yang rendah dan pasang rendah yang tinggi. Kejadian ini disebut pasang perbani (*neap tide*)

Dalam perencanaan pelabuhan, data pasang surut digunakan untuk mengetahui elevasi tertinggi dan terendah. Umumnya nilai elevasi tertinggi atau elevasi muka air pasang digunakan untuk menentukan tinggi dermaga atau *breakwater*. Sedangkan nilai elevasi terendah atau muka air surut digunakan untuk menentukan alur kedalaman dalam pelayaran.

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

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

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

- Tipe pasang surut yang dapat dilihat dari periode dan keteraturannya.
- LWS (*Low water Spring*) adalah hasil perhitungan elevasi muka air rata-rata terendah yang dicapai pada saat air surut.

- MSL (*Mean Sea Level*) adalah elevasi rata-rata muka air pada kedudukan pertengahan antara muka air terendah dan tertinggi. Elevasi ini digunakan sebagai referensi untuk elevasi di daratan.
- HWS (*High Water Spring*) adalah elevasi rata-rata muka air tertinggi yang dicapai pada saat air pasang.

2.2.4 Angin

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

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

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

Ada bebarapa hal yang perlu diperhatikan dalam analisis datanangin ini, antara lain:

a. Koreksi kecepatan angin

Pengukuran angin dapat dliakukan di daratan maupun di lautan. Namun dalam persamaan – persamaan pembangkitan gelombang, data nagin yang digunakan adalah yang ada di atas permukaan laut. Untuk itu, apabila pengukuran angin dilakukan di daratan, data kecepatan yang didapat harus dikoreksi. Data tersebut dkoreksi dengan menggunakan persamaan:

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

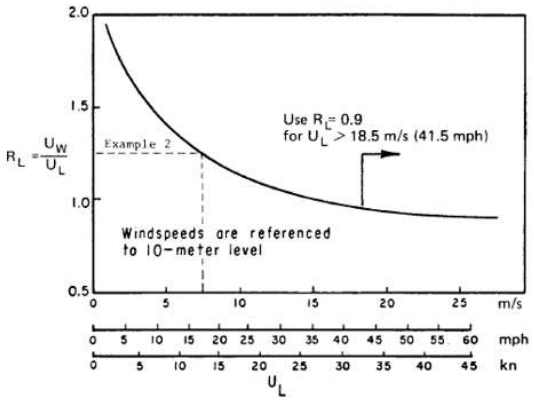
keterangan :

R_L = faktor koreksi terhadap kecepatan angin di darat

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

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

Grafik hubungan antara kecepatan angin di darat dan di laut dapat dilihat pada Gambar 2.1.



Gambar 2.1 Hubungan kecepatan angin di darat dan di laut

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

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

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

keterangan:
U = kecepatan angin terkoreksi (m/s)
Us = kecepatan angin yang diukur oleh kapal (m/s)

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

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

keterangan :
U = kecepatan angin dalam m/s
U_A = faktor tegangan angin

b. Fetch

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

$$F_{eff} = \frac{\Sigma(X_i \times \cos\alpha_i)}{\Sigma\cos\alpha_i} \quad (2.4)$$

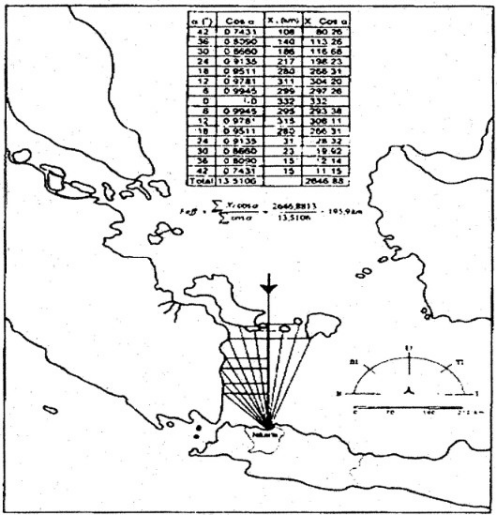
keterangan :

F_{eff} = *fetch* rata –rata efektif

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

α_i = deviasi pada kedua sisi arah angin dengan menggnakan pertambahan 6^o sampai sudut 42^o pada kedua sisi dari arah angin.

Contoh peramalan fetch dapat dilihat pada Gambar 2.2.



Gambar 2.2 Contoh peramalan *fetch*
(sumber: Teknik Pantai, Bambang T., 2008)

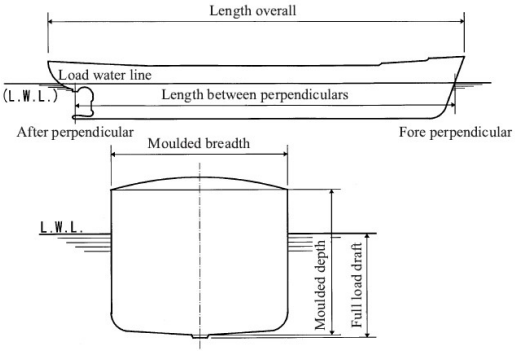
2.2.5 Tanah

Dalam Perencanaan pelabuhan, survey data tanah digunakan untuk mengetahui kondisi tanah yang akan gunakan untuk perencanaan struktur bawah (fondasi) dermaga. Data tanah ini dapat diperoleh dengan melakukan pengeboran dengan mesin bor di beberapa titik yang ditinjau. Selain itu dilakukan uji SPT, dimana dalam uji SPT ini didapatkan nilai N-SPT untuk mengetahui kedalaman tanah keras serta sifat daya dukung setiap

kedalaman. Tes laboratorium juga perlu dilakukan untuk mengetahui parameter tanah seperti kadar air, porositas, *specific gravity* dan densitas.

2.2.6 Kapal

Dimensi serta karakteristik kapal (tipe dan fungsinya) sangat penting untuk diketahui karena berpengaruh terhadap perencanaan pelabuhan. Pada umumnya data kapal yang digunakan adalah berat kapal, panjang kapal (LOA), lebar kapal dan *draft* kapal yang digunakan untuk menetapkan kedalaman alur pelayaran yang dilewati kapal serta kolam pelabuhan termasuk kedalaman air di dermaga. Detail dari elemen data tersebut dapat dilihat pada Gambar 2.3.



Gambar 2.3 Contoh dimensi kapal
(sumber: Technical Standards and Commentaries for Port and Harbour Facilities in Japan, 2002)

2.2.7 Alat

Alat – alat pada dermaga digunakan untuk aktivitas bongkar muat seperti *crane* dan *forklif* serta alat – alat lain yang digunakan untuk menunjang aktivitas di pelabuhan. Dalam perencanaan pelabuhan data alat digunakan untuk mengetahui pembebanan yang membebani struktur dermaga yang direncanakan.

2.3 Evaluasi *Layout*

Pada evaluasi *layout* ini bertujuan untuk mengetahui apakah *layout* rencana pelabuhan yang sudah ada (*existing*) sudah sesuai dengan standar yang ada dan kebutuhan yang diperlukan dalam perencanaan dermaga ini. Apabila *layout* yang sudah ada sesuai dengan standar dan kebutuhan maka *layout* tersebut dapat digunakan. Namun apabila *layout* tersebut tidak memenuhi kriteria perencanaan maka dapat dilakukan perencanaan *layout* ulang. Evaluasi *layout* meliputi evaluasi *layout* perairan yang berupa kedalaman kebutuhan perairan yang dibutuhkan, alur masuk, kebutuhan kolam putar dan kolam dermaga serta evaluasi *layout* daratan yang berupa evaluasi struktur dermaga dan *trestle*.

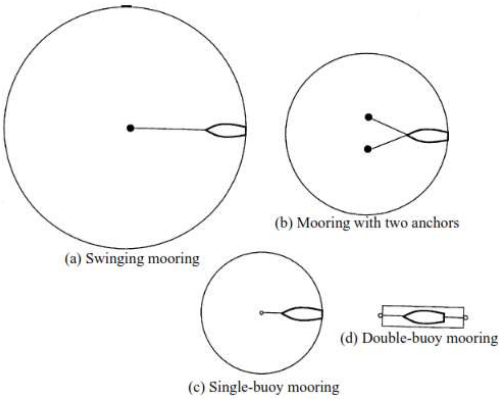
2.3.1 Layout perairan

a. Area penjangkaran

Area penjangkaran merupakan area kapal menunggu sebelum memasuki alur masuk atau bertambat ke dermaga. Penyebabnya antara lain karena cuaca buruk, dermaga dan alur masih terpakai, adanya karantina atau karena alasan lainnya. Aspek yang perlu diperhatikan dalam perencanaan area penjangkaran ini adalah:

- Jumlah kapal yang akan ditampung
- Karakteristik kapal
- Kedalaman dan luas perairan yang disediakan

Terdapat beberapa cara penjangkaran kapal pada area penjangkaran yang dapat dilihat pada Gambar 2.4. Sedangkan kebutuhaan luasan area penjangkaran dari masing – masing cara tersebut dapat ditentukan berdasarkan Tabel 2.1 dan Tabel 2.2.



Gambar 2.4 Jenis – jenis penjangkaran kapal
(sumber: Technical Standards and Commentaries for Port and Harbour Facilities in Japan, 2002)

Tabel 2.1 Kebutuhan area penjangkaran dengan angkur

Purpose of the use of the basin	Anchorage method	Sea bottom material or wind speed	Radius
Offshore waiting or cargo handling	Swinging mooring	Good anchoring	$L + 6D$
		Poor anchoring	$L + 6D + 30$ m
	Mooring with two anchors	Good anchoring	$L + 4.5D$
		Poor anchoring	$L + 4.5D + 25$ m

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

Tabel 2.2 Kebutuhan area penjangkaran dengan *buoy*

Anchorage method	Area
Single-buoy mooring	Circle having a radius of $(L + 25$ m)
Double-buoy mooring	$(L + 50$ m) $\times L/2$ rectangle

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

keterangan:
L = LoA kapal (m)
D = kedalaman perairan (m)

b. Alur masuk

Parameter yang perlu diketahui dalam perencanaan alur masuk meliputi jenis, lebar, kedalaman dan panjang alur. Perhitungan lebar alur masuk direncanakan sama lebar sepanjang alur masuk. Pendekatan untuk menentukan lebar alur masuk dapat ditentukan berdasarkan jenis alur masuk (*one way traffic* atau *two way traffic*), panjang kapal dan lebar kapal (B). Jika penentuan berdasarkan panjang kapal maka lebar alur (W) sebesar minimal 1 LOA untuk *one way traffic* dan 2 LOA untuk *two way traffic*. Sedangkan perumusan untuk kebutuhan panjang alur masuk berdasarkan lebar kapal (B) dapat dilihat dalam keputusan menteri perhubungan KM 54 tahun 2002 tentang Penyelenggaraan Pelabuhan Laut seperti dibawah ini:

$$A = W \times L \quad (2.5)$$

$$W = 5 \times B + 30 \text{ meter } (\textit{one way traffic}) \quad (2.6)$$

$$W = 9 \times B + 30 \text{ meter } (\textit{two way traffic}) \quad (2.7)$$

keterangan:
A = luas area alur
W = lebar alur
L = panjang alur pemandu & penundaan
B = lebar kapal maksimum

Sedangkan untuk kedalaman alur masuk dapat ditentukan berdasarkan *draft* kapal, yaitu:

$$\text{kedalaman} = 1{,}15 \times \textit{draft} \quad \text{(peairan tenang)} \quad (2.8)$$

$$\text{kedalaman} = 1{,}2 \times \textit{draft} \quad \text{(perairan terbuka bergelombang)} \quad (2.9)$$

$$\text{kedalaman} = 1{,}5 \times \textit{draft} \quad \text{(perairan gelombang tinggi)} \quad (2.10)$$

Faktor utama penentu panjang alur adalah *stopping distance* (S_d). *Stopping distance* merupakan jarak dimana kapal mampu menurunkan kecepatan dari kecepatan jelajah di laut (kecepatan awal) menjadi berhenti (kecepatan nol) dengan mesin tetap menyala. Hasil penenlitian menunjukkan adanya variasi jarak henti antara berbagai ukuran kapal dan kecepatan awal, dapat dilihat pada Tabel 2.3 berikut:

Tabel 2.3 Ukuran panjang alur

Lokasi	Ukuran	Keterangan
Panjang alur (*stopping distance*)	7×LOA s/d 8×LOA	Kapal terisi
	3×LOA s/d 5×LOA	Kapal *ballast*

(sumber: C. A. Thoresen, Port Designe's Handbook, 2014, hal. 84)

c. Kolam putar

Kolam putar yang digunakan untuk mengubah arah kapal dapat diletakkan di ujung alur masuk atau diletakkan di sepanjang alur bila alurnya panjang. Kapal diharapkan dapat bermanuver dengan kecepatan rendah (mendekati nol). Area yang disediakan dibatasi dengan bentuk lingkaran berdiameter Db. Sedangkan kedalaman perairan dapat disamakan dengan alur masuk. Untuk diameter kolam putar (Db) dapat ditentukan dengan persamaan berikut:

$$Db = 2\times LOA \quad \text{(kapal bermanuver dengan dipandu)} \tag{2.11}$$

$$Db = 3\times LOA \quad \text{(kapal bermanuver tanpa bantuan pandu)} \tag{2.12}$$

(sumber: Technical Standards and Commentaries for Port and Harbour Facilities in Japan, 2002, hal. 352)

d. Kolam dermaga

Kolam dermaga berada di depan dermaga dan luasan ini perlu ditentukan bila perlu kedalaman perairan dilakukan pengerukan. Secara keseluruhan ukuran kolam dermaga dapat ditentukan sebagai berikut:

Panjang = 1,25×LOA (2.13)
(bila dengan dibantu kapal pandu)
Panjang = 1,50×LOA (2.14)
(bila tanpa dibantu kapal pandu)
(sumber: C. A. Thoresen, Port Designer's Handbook, 2014, bab 3.2.5)

Lebar = 4×B + 50 m, >1 dermaga berhadapan (2.15)
Lebar = 2×B + 30 m, 1 dermaga berhadapan (2.16)
Lebar = 1,25×B, dermaga bebas (2.17)
(sumber: C. A. Thoresen, Port Designer's Handbook, 2014, bab 3.2.5)

Sedangkan kedalaman perairan yang direncanakan harus lebih dalam dari *draft* penuh kapal terbesar, ditambah kedelaman untuk gerakan akibat gelombang dan angin maupun arus serta *squad* dan *trim* sebagai konsekuensi pergerakan kapal, serta untuk ketidakteraturan kedalaman perairan dan kondisi tanah dasar laut. Kedalaman kolam dermaga dapat ditentukan penggunakan persamaan 2.8, 2.9 atau 2.10.

2.3.2 Layout daratan

a. Dermaga

Pada tugas akhir ini dalam perencanaan dermaga digunakan kontruksi *open pier*. perencanaan dermaga tipe *open pier* meliputi:

- Panjang dermaga

  Panjang dermaga dapat dihitung dengan rumusan sebagai berikut:

$$Lp = n \times LOA + (n+1) \times 10\% \times LOA \qquad (2.18)$$

sumber : International Maritim Organization (dalam buku Perencanaan Pelabuhan, Bambang T., 2002)

- Lebar dermaga

  Lebar dermaga disesuaikan dengan kebutuhan ruang operasional, bongkar muat dan gudang. Lebar apron antara 15 sampai 50 m. Atau bisa dihitung menggunakan persamaan:

$$Bp = 2 \times a + b \qquad (2.19)$$

- Elevasi dermaga

  Penentuan elevasi dermaga (*crown heights*) didasarkan pada kapal yang bertambat serta kondisi alam disekitar dermaga. Tingkat pasang surut digunakan untuk datum dalam penentuan elevasi dermaga, dimana elevasi dermaga harus lebih tinggi dari muka air tertinggi (HWS). Penentuan elevasi dermaga dapat dilihat pada Tabel 2.4.

Tabel 2.4 Perhitungan elevasi dermaga

	Pasang surut lebih dari 3 meter	**Pasang surut kurang dari 3 meter**
Kapal besar (kedalaman air > 4,5 m)	Beda pasang surut + (0,5 ~ 1,5 meter)	Beda pasang surut + (1 ~ 2 meter)
Kapal kecil (kedalaman air < 4,5 meter	Beda pasang surut + (0,3 ~ 1 meter)	Beda pasang surut + (0,5 ~ 1,5 meter)

(sumber: Technical Standards and Commentaries for Port and Harbour Facilities in Japan, 2002, hal. 405)

b. Trestle

Trestle merupakan struktur untuk menghubungkan dermaga dengan daratan atau *causeway*, apabila dermaga berada jauh dari tepi pantai. Jarak antara dermaga dengan daratan sangat menentukan panjang dari *trestle* tersebut. Sedangkan lebar *trestle* ditentukan berdasarkan kegiatan apa saja yang akan melalui *trestle* dan fasilitas yang akan dipasang di atasnya.

2.4 Fasilitas Pendukung

2.4.1 Fender

Fungsi utama *fender* adalah untuk mengurangi gaya horizontal akibat benturan antara kapal dengan dermaga. Sehingga dengan adanya *fender*, dapat dihindari adanya kerusakan antara dermaga dan kapal akibat dari benturan pada saat kapal merapat ke dermaga. Pemilihan *fender* yang akan digunakan pada dermaga dapat berdasarkan dari beberapa faktor seperti, ukuran kapal, kondisi gelombang, arus dan angin, serta kecepatan dan arah kapal.

Untuk mentukan ukuran *fender*, dihitung terlebih dahulu besarnya energi kinetik yang terjadi saat kapal merapat (Ef). Rumus untuk menemukan Ef diturunkan dari rumus Energi Kinetik yang disesuiakan dengan kondisi sistem merapat kapal (faktor C):

$$Ef = (\frac{1}{2} \times Ms \times V^2) \times C_M \times C_E \times C_C \times C_S \quad (2.20)$$

(sumber: Technical Standards and Commentaries for Port and Harbour Facilities in Japan, 2002, hal. 16)

keterangan:
Ef = Energi benturan (ton meter)
C_M = Koefisien massa
C_E = Koefisien eksentrisitas
C_C = Koefisien bentuk tambatan (1 untuk *jetty*)
C_S = Koefisien kekerasan (1 jika tidak ada deformasi)
V = Kecepatan kapal waktu merapat (m/s)
M_S = Berat kapal (ton)

Koefisien massa didapat dari persamaan:

$$Cm = 1 + \frac{\pi}{2 \, . \, Cb} \times \frac{d}{B} \quad (2.21)$$

$$Cb = \frac{V}{Lpp \times B \times d} \quad (2.22)$$

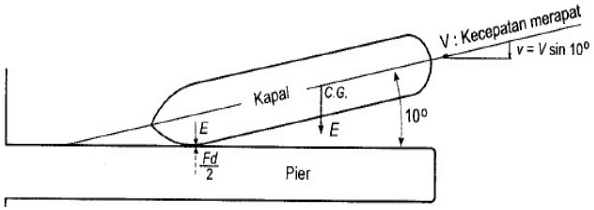
keterangan:
Cb = koefisien blok kapal
d = *draft* kapal (m)
B = lebar kapal (m)
Lpp = panjang garis air (m)

Energi yang diserap oleh dermaga dapat dihitung dengan persamaan:

$$E = \frac{1}{2} \times F \times d \quad (2.23)$$

keterangan:
F = gaya reaksi *fender*
d = defleksi *fender*

Hubungan antara energi yang diserap dermaga, gaya reaksi *fender* dan defleksi *fender* dapat dilihat pada Gambar 2.5.



Gambar 2.5 Benturan kapal pada *pier*
(sumber: Guidelines for the Design of Fenders Systems, PIANC, 2002)

$$E = \frac{1}{2} \times \frac{W}{g} \times V^2 \qquad (2.24)$$

keterangan:
W = berat kapal (ton)
V = kecepatan kapal (m/s)

2.4.2 Bollard

Bollard merupakan alat sebagai tempat untuk mengikat kapal pada tambatan. Kapal yang bertambat ke dermaga diikat pada bagian haluan, buritan dan badan kapal. Kemampuan *bollard* harus lebih besar dari gaya tarikan akibat kapal yang diikatkan pada *bollard* tersebut. Gaya tarik yang terjadi pada *bollard* disesuaikan dengan berat kapal. Gaya tarik *bollard* dapat dilihat pada Tabel 2.5, sedangkan jarak dan jumlah *bollard* yang harus dipasang pada dermaga dapat dilihat pada Tabel 2.6.

Tabel 2.5 Gaya tarikan pada *bollard*

Gross tonnage (GT) *of vessel* (tons)	*Tractive force acting on mooring post* (kN)	*Tractive force acting on 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 Standards and Commentaries for Port and Harbour Facilities in Japan, 2002, hal. 25)

Tabel 2.6 Jarak dan jumlah *bollard* terpasang pada dermaga

Gross tonnage (GT) kapal (ton)	Jarak maksimum *Bollard* (m)	Jumlah minimum *bollard* per dermaga (buah)
GT < 2000	10 ~ 15	4
2000 < GT < 5000	20	6
5000 < GT < 20000	25	6
20000 < GT < 50000	35	8
50000 < GT < 100000	45	8

(sumber: Technical Standards and Commentaries for Port and Harbour Facilities in Japan, 2002, hal. 521)

2.5 Pembebanan Dermaga

2.5.1 Beban vertikal

a. Beban mati (beban sendiri konstruksi)

Beban mati merupakan berat sendiri dari komponen struktur yang secara permanen dan konstan membebani selama waktu hidup konstruksi. Komponen-komponen yang membebani tersebut diantaranya pelat, balok, *fender* dan *bollard*. Berat jenis material dari komponen – komponen dalam desain dermaga dapat dilihat pada Tabel 2.7. Untuk kasus dimana berat jenis material lain dapat ditentukan dengan cara penelitian ataupun dengan cara lain.

Tabel 2.7 Berat jenis material

Material	**Berat jenis (kN/m3)**
Baja	77
Alumunium	27,5
Beton bertulang	24
Beton	22,6
Timber	7,8
Aspal beton	22,6
Batu (granit)	26
Batu berpasir	25
Pasir, kerikil dan puing – puing (basah)	18

(sumber: Technical Standards and Commentaries for Port and Harbour Facilities in Japan, 2002, hal. 207)

b. Beban hidup merata

Beban hidup merupakan beban yang terjadi akibat muatan yang dianggap merata di atas dermaga. Beban hidup terbagi rata bisa berupa beban air hujan dan beban pangkalan. Saat menghitung stabilitas struktur secara keseluruhan, beban tidak merata dapat dikonversi menjadi beban merata di daerah apron maupun gudang. Namun,

beban maksimal yang terkonsentrasi secara besar harus tetap dipertimbangkan tanpa dikonversi menjadi beban merata.

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

2.5.2 Beban horizontal

a. Gaya sandar
Gaya sandar merupakan gaya yang ditimbulkan akibat benturan antara kapal yang masih memiliki kecepatan dengan dermaga saat kapal merapat ke dermaga. Energi ini kemudian diterima oleh *fender* kemudin diredam dan ditransfer menjadi gaya horizontal tekan yang membebani bangunan dermaga. Hubungan antara gaya dan energi benturan tergantung pada tipe fender yang digunakan. Besar energi benturan ini dapat dihitung menggunakan persamaan 2.20.

b. Gaya pada *bollard*
Saat kapal merapat di sepanjang dermaga, kapal akan berhenti dengan ditahan oleh tali yang diikatkan pada *bollard*. Gaya tarik yang bekerja ini sangat berpengaruh pada stabilitas struktur dermaga karena adanya gaya yang cukup besar. Beban tarik ini akan ditahan oleh struktur *bollard* yang didesain untuk menahan gaya tarikan akibat kapal, angin dan arus. Untuk itu *bollard* harus mampu menahan gaya tarikan yang paling tidak sama dengan gaya yang bisa memutuskan tali penambat. Gaya tarik yang terjadi pada *bollard* dapat dilihat pada Tabel 2.4.

c. Gaya angin

Angin yang menerpa badan kapal yang sedang bertambat akan menyebabkan gaya pada dermaga. Jika arah angin meninggalkan dermaga maka akan menyebabkan gaya tarik kapal pada *bollard*. Namun, apabila arah angin menuju dermaga maka akan menyebabkan gaya benturan ke dermaga. Menurut *National Standards and Regulations* (dalam *C. A. Thoresen, Port Designe's Handbook, 2014, hal. 41*), tekanan angin pada badan kapal yang ada di atas air dihitung dengan rumus:

$$P_w = C_w \left(A_w \times \sin^2 Ø + B_w \times \cos^2 Ø\right) \frac{V_w^2}{1600} \qquad (2.25)$$

keterangan :

P_W = tekanan angin pada kapal yang bertambat

C_W = koefisien tekanan angin

C_w = 1,3 untuk angin melintang

C_w = 0,8 untuk angin dari belakang

C_w = 0,9 untuk angin dari depan

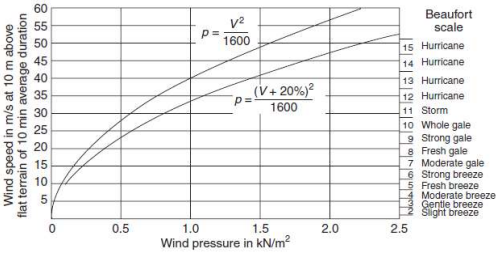
A_W = luasan proyeksi arah memanjang (m^2)

B_W = luasan proyeksi arah muka (m^2)

ϕ = sudut arah datangnya angin terhadap *centerline*

V_W = kecepatan angin (m/s)

Sedangkan grafik hubungan antara tekanan angin dengan kecepatan angin dapat dilihat pada Gambar 2.6.



Gambar 2.6 Grafik hubungan tekanan angin dan kecepatan angin
(sumber: C. A. Thoresen, Port Designer's Handbook, 2014, hal. 41)

d. Gaya akibat arus

Arus yang bekerja pada kapal bagian yang terendam air akan menyebabkan gaya pada kapal. Kemudian gaya tersebut diteruskan pada alat penambat dan dermaga. Tekanan akibat arus pada kapal yang tertambat dapat dihitung dengan persamaan:

$$R_c = \frac{C_c \times \gamma_w \times A_c \times V_c^2}{2 \times g} \qquad (2.26)$$

keterangan:

R_c = gaya akibat arus (kgf)

γ_w = berat jenis air laut (1,025 t/m^3)

A_C = luasan kapal di bawah permukaan air (m^2)

V_C = kecepatan arus (m/dt)

C_C = koefisien tekanan arus

= 1-1,5 (untuk perairan dalam)

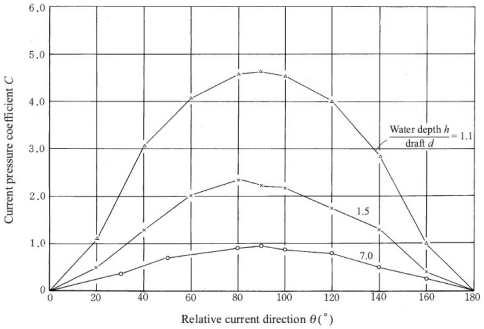
= 2 (untuk kedalaman perairan = 2×*draft* kapal)

= 3 (untuk kedalaman perairan = 1,5×*draft* kapal)

= 5 (untuk kedalaman perairan = 1,1×*draft* kapal)

= 6 (kedalaman perairan mendekati *draft* kapal)

Nilai C_C juga bisa diperoleh dari grafik pada Gambar 2.7.



Gambar 2.7 Koefisien kuat arus (C)

(sumber: Technical Standards and Commentaries for Port and Harbour Facilities in Japan, 2002, hal. 25)

e. Beban gempa
Perhitungan beban gempa berdasarkan SNI 03-1726-2012. Perhitungan dilakukn dengan metode statik ekuivalen menggunakn program bantu SAP2000.

2.6 Perhitungan Struktur Dermaga

Pada perencanaan bangunan atas meliputi perencanaan pelat, balok memanjang serta balok melintang. Dalam perhitungan konstruksi beton dapat dilakukan dengan metode elastis dan metode plastis. Pada metode elastis, apabila terjadi beban berlebih maka struktur beton tersebut masih bisa menahannya (tidak mengalami retak). Pada metode plastis, apabila terjadi beban berlebih maka struktur beton akan mengalami retak, tetapi beban tersebut masih bisa dipikul oleh tulangan.

Sedangkan pada perencanaan dermaga, harus dihindari adanya retak pada struktur agar tidak terjadi pengkaratan pada tulangan yang akan beraikabat fatal pada kekuatan struktur. Selain itu pada pelabuhan juga sering terjadi beban berlebih akibat beban luar (arus, gelombang, gempa dan sebagainya). Maka dari itu perencanaan struktur beton pada dermaga ini menggunakan metode elastis yang terdapat pada Peraturan Beton Indonesia (PBI) 1971.

2.6.1 Struktur atas

Struktur dermaga bagian atas terdiri dari pelat, balok memanjang, balok melintang dan *pile cap*. Dalam perhitungan struktur tersebut menggunakan Peraturan Beton Indonesia (PBI) 1971.

a. Pelat
1. Momen pelat
Pada perhitungan pelat diasumsikan terjepit sebagian. Perhitungan momen lapangan tan tumpuan dapat dihitung dengan menggunakan persamaan:

$$Ml = 0{,}001 \times q \times lx^2 \times X \quad (2.27)$$

$$Mt = -0{,}001 \times q \times lx^2 \times X \quad (2.28)$$

keterangan :
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 (PBI 1971, Tabel 13.3.1)

2. Penulangan pelat
Dengan anggapan bahwa pelat adalah struktur statis tertentu, maka tulangan pada pelat digunakan tulangan rangkap. Metode penulangan pelat meliputi:
   - Menentukan besarnya momen *ultimate* (Mu) pada pelat
   - Menentukan perbandingan antara luas tulangan tarik dengan tulangan tekan (δ). Pada pelat dianggap tidak memerlukan tulangan tekan sehingga δ= 0
   - Menghitung nilai Ca dengan persamaan:

$$Ca = \frac{h}{\sqrt{\frac{n \times M}{b \times \sigma'_a}}} \qquad (2.29)$$

keterangan:
h = tinggi manfaat penampang
b = lebar penampang
= (untuk pelat = 1000mm)
M = momen *ultimate*
n = angka ekivalensi baja beton
σ'a = tegangan izin baja (tabel 10.4.1 PBI'71)

- Mencari nilai φ, φ', dan ω
  Dari "Tabel Perhitungan Lentur dengan Cara-n disesuaikan kepada peraturan Beton Bertulang Indonesia 1971 oleh Ir. Wiratman W"

$$\emptyset > \emptyset o = \frac{\sigma' a}{n \; x \; \sigma' a} \qquad (2.30)$$

$$\emptyset = 100 n\omega \qquad (2.31)$$

  keterangan :
  σ'b = Tegangan tekan beton akibat lentur tanpa dan atau dengan gaya normal tekan
  = 0,33σ'bk

- Mencari kebutuhan tulangan

$$As = \omega \text{ x } b \text{ x } h \qquad (2.32)$$

3. Kontrol retak
   Menurut PBI 1971 pasal 10.7.1b halaman 114, lebar retak yang diizinkan adalah 0.1 mm. Lebar retak dihitung dengan rumus:

$$w = \alpha \left(C_3 \times c + C_4 \times \frac{d}{\omega_p} \right) \left(\sigma_a - \frac{C_5}{\omega_p} \right) \times 10^{-6} \qquad (2.33)$$

   keterangan:
   c = tebal penutup beton (cm)
   d = diameter batang polos (cm)
   σ_a = tegangan baja yang bekerja ditempat yang retak (kg/cm^2)
   A = luas tulanagan tarik (cm^2)
   b = lebar balok (cm)
   h = tinggi manfaat balok (cm)

y = jarak garis netral terhadap sisi yang tertekan (cm)
Bt = luas penampang beton yang tertarik (cm^2)
α = koefisien yang bergantung pada jenis batang tulangan (1,2 untuk batang polos dan 1 untuk batang yang diprofilkan). Koefisien ωp, C3, C4 dan C5 dapat dilihat pada Tabel 2.8.

Tabel 2.8 Koefisien-koefisien ωp, C3, C4, C5

Uraian	ω_p	C_3	C_4	C_5
Balok persegi dan balok T mengalami lentur murni	$\frac{A}{b.h}$	1,05	0,04	7,5
Balok persegi dan balok T mengalami lentur murni dengan gaya normal tekan	$\frac{A}{b(h.y)}$	1,05	0,07	12
Bagian – bagian konstruksi yang mengalami tarik aksial	$\frac{A}{B_t}$	1,05	0,16	30

(sumber: PBI 1971)

b. Balok dan *pile cap*
   1. Penulangan lentur
      Penulangan balok dihitung dengan menggunakan perhitungan lentur "n". Untuk perhitungan tulangan, *pile cap* dianalisis sebagian besar sama dengan balok. Metode perhitungan tulangan utama balok dan *pile cap* seperti pada pelat yaitu :
      - Menentukan besarnya momen *ultimate* (Mu) yang bekerja pada balok dari hasil analisis SAP 2000.
      - Menentukan perbandingan antar luas tulangan tarik dengan tulangan tekan (δ). Nilai δ diambil mulai dari 0,2 ; 0,4 ; 0,6 ; 0,8 ; 1,0 ; 1,25 ; 1,67 sampai 2,50
      - Menghitung nilai Ca
      - Mencari nilai φ, φ', dan ω dari tabel

- Menghitung luas tulangan tarik dan tekan

  $As = \omega \times b \times h$ (2.34)

  $As' = \delta A$ (2.35)

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

- Kontrol terhadap retak
  Perhitungan retak pada balok sama dengan perhitungan retak pada pelat

2. Penulangan geser
   Salah satu jenis keruntuhan yang kemungkinan terjadi pada elemen struktur balok adalah keruntuhan geser (*shear failure*) yang dalam hal ini keruntuhan geser didefinisikan sebagai keruntuhan tarik di arah retak miring. Untuk itu juga dibutuhkan tulangan geser pada balok dan *pile cap*. Metode perhitungan tulangan geser balok dan *pile cap* adalah sebagai berikut :
   - Menentukan besarnya gaya lintang yang bekerja pada tumpuan.
   - Menghitung tegangan beton izin berdasarkan PBI '71 tabel 10.4.2 akibat geser oleh lentur dengan puntir, dengan tulangan geser :
     Untuk pembebanan tetap :

     $\tau'_{bm-t} = 1.35\sqrt{\sigma'bk}$ (2.36)

     Untuk pembebanan sementara :

     $\tau'_{bm-s} = 2.12\sqrt{\sigma'bk}$ (2.37)
   - Menghitung tegangan geser lentur beton akibat beban kerja di tengah-tengah tinggi penampang dengan rumus sebagai berikut :

$$\tau_b = \frac{D}{b \times \frac{7}{8} h} \quad (2.38)$$

keterangan:
D = gaya lintang

Diperlukan tulangan geser jika :

$$\tau_b < \tau'_{bt} \quad (2.39)$$

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

$$\tau''_b = \frac{Mt}{b \times Ft} \quad (2.40)$$

keterangan:
Mt = T = Momen Torsi akibatbebanbatas
Ft = luas penampang balok

Disyaratkan dalam PBI ’71 Pasal 11.8.(4)

$$\tau_s \geq \tau_b + \tau_b'' \quad (2.41)$$

- Menghitung jarak tulangan sengkang:

$$as = \frac{As \times \overline{\sigma_a}}{\tau_s \times b} \quad (2.42)$$

2.6.2 Struktur bawah

Pada struktur dermaga bagian bawah digunakan tiang pancang untuk menyalurkan beban permukaan ke dalam tanah. Tiang pancang dapat dipasang secara *single* maupun *group* dan bisa tertanam penuh atau tertanam sebagian. Tipe material untuk tiang pancang dapat berupa kayu, beton atau baja. Daya dukung *ultimate* pondasi tiang pancang ditentukan oleh hal – hal diantaranya daya dukung tanah, pembebanan serta metode pemasangan. Sebelum dilakukan pemancangan, material atau bahan dari tiang pancang perlu dicek terlebih dahulu. Kontrol tersebut dilakukan dengan mengecek besarnya tegangan yang terjadi akibat beban luar harus lebih rendah dari tegangan izin bahan, dan momen yang terjadi harus lebih kecil dari kekuatan momen *ultimate* atau momen *crack* dari bahan.

a. Kontrol kekuatan tiang

   Apabila digunakan tiang pancang dari beton, maka kontrol dari kekuatan bahan adalah sebagai berikut :

   - Kontrol kekuatan bahan

     Spesifikasi kekuatan bahan tiang pancang yang diproduksi oleh pabrik berupa momen *crack* harus dikontrol terhadap momen yang terjadi pada tiang pancang. Momen yang terjadi pada tiang pancang didapat dari perhitungan program bantu SAP. Momen yang disyaratkan adalah sebagai berikut:

     $$M_{\text{tiang pancang}} < M_{\text{crack}} \qquad (2.43)$$

     Selain kontrol momen, tegangan tekan yang terjadi akibat beban kerja harus lebih kecil dari kapasitas tekan yang diijinkan sebagai berikut:

     $$f = \frac{P}{A} \leq f_{\text{izin}} \qquad (2.44)$$

keterangan :
F = tegangan yang terjadi akibat beban baik itu aksial maupun momen (kg/cm^2)
f_{izin} = tegangan ijin lentur dari material beton bertulang
P = gaya tekan kerja yang terjadi (kg)
A = luas penampang tiang (cm^2)

- Posisi titik jepit tiang pancang
  Posisi titik jepit tiang dari permukaan tanah untuk jenis *normally consolidated clay* dan *granular soil* adalah 1,8 T, di mana T adalah faktor kekakuan yang dihitung sebagai berikut:

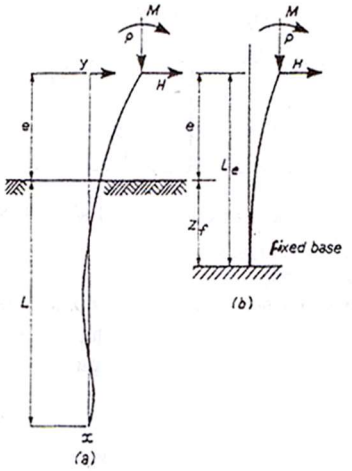
$$T = \sqrt[5]{E \times I / nh} \qquad (2.45)$$

keterangan :
E = modulus elastisitas *Young* yang tergantung dari bahan tiang pancang
I = momen inersia dari penampang tiang pancang
nh = untuk *cohesionless soil* diperoleh dari *Terzaghi*, sedangkan untuk *normally consolidated clays* = 350 s/d 700 KN/m3 dan *soft organic silts* = 150KN/m3.

- Kontrol lendutan
  Untuk mendapatkan besarnya defleksi horizontal (Y) dari tiang vertikal dapat menggunakan rumus :

$$Y = \frac{H \times (e + Z_f)^3}{12 \times E \times I} \qquad (2.46)$$

keterangan :
H = beban lateral (ton)
e = jarak lateral load dengan dengan muka tanah (m)
Zf = posisi titik jepit tanah terhadap sebuah tiang pondasi (m). Dapat dilihat pada Gambar 2.8.



Gambar 2.8 Posisi titik jepit tiang pancang

- Kontrol tiang pancang berdiri sendiri
  Pada saat tiang telah selesai dilakukan pemancangan, kekuatan tiang pada saat berdiri sendiri harus di cek terhadap gelombang. Frekuensi tiang pancang harus lebih besar dari frekuensi gelombang agar tidak goyang dan patah. Perhitungan frekuensi tiang pancang dan gelombang adalah sebagai berikut:

$$\omega t = 1{,}73 \sqrt{\frac{E \times I}{w \times l^2/g}} \qquad (2.47)$$

$$\omega = \frac{1}{T} \qquad (2.48)$$

keterangan:
ωt = frekuensi tiang
w = berat tiang pancang (kg)

l = tinggi tiang di atas tanah
g = gravitasi (m/s^2)
ω = frekuensi gelombang
T = periode gelombang (s)

b. Daya dukung tanah
Pada perhitungan daya dukung tanah menggunakan metode *Luciano Decourt* dengan persamaan:

$$Q_L = Q_P + Q_S \quad (2.49)$$

keterangan :
Q_L= daya dukung tanah maksimum (ton)
Q_P = *resistance ultime* di dasar pondasi (ton)
Q_S = *resistance ultime* akibat lekatan lateral (ton)

$$Qp = \alpha \times qp \times Ap = \alpha \times (Np \times K) \times Ap \quad (2.50)$$

keterangan :
α = *base coeficcient* (terdapat pada Tabel 2.9)
Np = harga rata-rata SPT sekitar 4B diatas dan 4B dibawah dasar tiang.
Catatan: Apabila tanah dalam kondisi terendam/dibawah muka air tanah maka harga Np harus dikoreksi, N' = 15 + 0,5 (N-15)

K = koefisien karakteristik tanah
K = 12 t/m2 untuk lempung
K = 20 t/m2 untuk lempung berlanau
K = 25 t/m2 untuk pasir berlanau
K = 40 t/m2 untuk pasir
Ap = luas penampang dasar tiang (m^2)
Qp = tegangan ujung tiang (t/m^2)

$$Qs = \beta \times qs \times As = \beta \times (Ns / 3 + 1) \times As \quad (2.51)$$

keterangan:
β = *shaft coefficient* (terdapat pada Tabel 2.9)
qs = tegangan akibat lekatan lateral (t/m^2)
Ns = harga N rata sepanjang tiang tertanam, dengan batasan $3 < N < 50$
As = luas selimut tiang yang terbenam (m^2)

Tabel 2.9 Nilai base coefficient (α) dan shaft coefficient (β)

Pile/soil	Clay		Intermediate soil		Sands	
	α	β	α	β	α	β
Driven pile	1	1	1	1	1	1
Bore pile	0,85	0,8	0,6	0,65	0,5	0,5
Injected pile	1	3	1	3	1	3

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

c. Kalendering
Secara umum kalendering digunakan pada pekerjaan pemancangan tiang pancang untuk mengetahui daya dukung tanah secara empiris melalui perhitungan yang dihasilkan oleh proses pemukulan alat pancang. Alat pancang bisa berupa *diesel hammer* maupun *hydraulic hammer*. Perhitungan kalendering menghasilkan output yang berupa daya dukung tanah dalam ton. Untuk kalendering digunakan rumus *Alfred Hilley Formula*.

$$Qu = \frac{\alpha \times W \times H}{S + 0{,}5 \times C} \cdot \frac{W + n^2 \times Wp}{W + Wp} \qquad (2.52)$$

keterangan :
Qu = kapasitas ultimate tiang pancang (ton)
α = efisiensi hammer
α = 0,95 untuk *hydraulic hammer*
α = 0,85 untuk *diesel hammer*
α = 0,75 untuk *drop hammer*
W = berat *hammer* (K25 = 2,5 T ; K35 = 3,5 T)
Wp = *weight of pile* (ton)

H = tinggi jatuh *hammer* (1,9 m s/d. 2 m untuk kondisi normal).

n = *Coeffisien of restitusion*
n = 0,25 untuk tiang kayu/beton
n = 0,4 untuk tiang beton tanpa *cap*
n = 0,55 untuk tiang baja tanpa *cushion*

S = penetrasi pukulan terakhir (cm/*blow*)

C = total temporary compression (mm)
$= C_1 + C_2 + C_3$

C_1 = kompresi sementara dari *cushion*, menurut BSP:
Hard cushion = 3mm
Hard cushion + *packing, soft cushion* = 5mm
Soft cushion + *packing* = 7mm

C_2 = kompresi sementara dari tiang

$$= \frac{Qu \,.\, L}{Ap \,.\, E_{pile}}$$

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

C_3 = kompresi sementara dari tanah, nilai nominal = 2,5 mm
Tanah keras (SPT > 50) : 0-1 mm
Tanah sedang (SPT 20-30) : 2-3 mm
Tanah lunak (SPT 10-20) : 4-5mm

2.6.3 Struktur *floating pontoon*

Floating pontoon merupakan struktur terapung yang pada umumnya diguakan untuk sarana bertambatnya kapal. Dalam perencanaan ini, struktur *floating pontoon* digunakan untuk bertambatnya kapal tunda (*tugboat*). *Floating pontoon* harus didisain hingga taraf kestabilan dan keamanan yang diinginkan. *Pontoon* tersebut haruslah memiliki area permukaan dan tinggi

freeboard yang mencukupi sehingga dapat berfungsi dengan baik. Dimensi *pontoon* yang didesain akan tergantung dari tipe pembebanan yang digunakan. Beban-beban yang harus dipertimbangkan yang dapat bekerja pada sebuah *pontoon*.

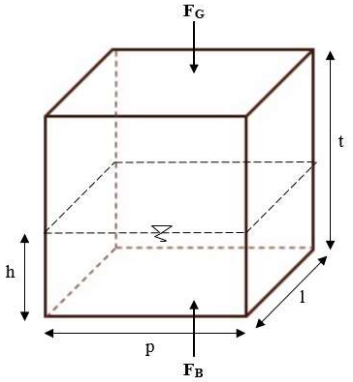
Sistem *mooring* baik menggunakan tiang pancang maupun jangkar harus dirancang dengan kekuatan yang cukup untuk menahan gaya dari luar. Struktur ini harus ditambatkan dengan benar untuk mencegah berpindah tempat saat kondisi cuaca badai dan menyebabkan kecelakaan sekunder.

Bagian utama *floating pontoon* adalah bahan pengapung yang berfungsi agar struktur dapat tetap mengapung diatas air meskipun menerima beban yang diizinkan. Gaya yang terjadi pada benda yang berada di air dapat dilihat pada Gambar 2.9. Untuk menjaga agar struktur ini tetap mengapung maka terdapat syarat utama persamaan yang harus dipenuhi, yaitu:

$$F_B > F_G$$
$$\rho \times g \times V = \rho \times g \times h \times A > m \times g \quad (2.53)$$

keterangan:

F_B = gaya apung yang bekerja pada *pontoon* (N)
F_G = gaya tekan kebawah *pontoon* (N)
ρ = berat jenis air (997 kg/m^3)
g = percepatan gravitasi (9,8 m/s^2)
V = volume air yang dipindahkan (m^3)
h = tinggi *pontoon* yang tenggelam (m)
A = luas permukaan dasar *pontoon* (m^2)
m = berat *pontoon* dan beban diatasnya (kg)



Gambar 2.9 Gaya pada suatu benda yang mengapung

Terdapat beberapa bahan yang dapat digunakan sebagai pengapung pada *pontoon* antara lain, plastik, baja, beton, kayu dan drum bekas. Pada umumnya bahan pengapung *floating pontoon* untuk dermaga terbuat dari kubus apung (HDPE) dan pelat baja. Pemilihan bahan pengapung ini harus disesuaikan dengan beban rencana yang bekerja, kondisi lingkungan dermaga dan biaya yang dibutuhkan. Penjelasan dari masing – masing bahan pengapung ini adalah sebagai berikut:

1. Kubus apung HDPE

   Modular Float System atau biasa disebut kubus apung adalah produk inovatif berbentuk kubus yang sangat sering digunakan dalam pengerjaan objek terapung. Kubus apung ini terbuat dari material HDPE (*Hight Density Polyethylene*) yang mana material tersebut sangat kuat dan ramah lingkungan karena dapat di daur ulang serta tahan terhadap bahan kimia. Kubus apung memiliki fitur dan bentuk yang unik yang mana sangat aman pada waktu operasionalnya serta mudah pada saat pemasangan karena disertai peralatan yang sangat mendukung untuk mengubah - ubah fungsi dari kubus apung tersebut.

   Variasi bentuk kubus apung HDPE dapat dilihat pada Gambar 2.10. Kubus apung standar memiliki ukuran 50 x

50 x 40 cm dengan berat 6 kg. Kubus apung ini dapat menerima beban hingga 350 kg/m^2 dengan *freeboard* sebesar 5 cm.

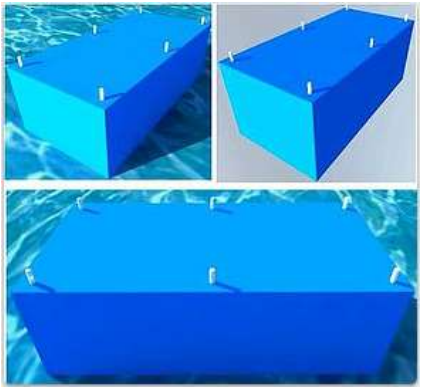
Gambar 2.10 Variasi bentuk kubus apung HDPE

Kelebihan kubus apung:
- Ramah lingkungan
- Perawatan mudah
- Pemasangan mudah
- Harga relatif murah
- Anti korosi
- Aksesoris lengkap

2. Pelat baja
   Tipe *pontoon* ini terbuat dari material *Galvanised Steel Plate filled with polystyrene foam* atau *High grade Stainless Steel.* Sama seperti kubus apung HDPE, *pontoon* ini juga memiliki bentuk kubus. Contoh bentuk *pontoon* ini dapat dilihat pada Gambar 2.11. Untuk *pontoon* yang memiliki dimensi 240 x 60 x 50 cm memiliki berat 118 kg. Sedangkan daya angkutnya sebesar 382 kg/buah.

Kelebihan pontoon pelat baja:

- Kemampuan menerima beban lebih besar
- Lebih awet
- Dimensi dapat dibuat sesuai permintaan
- Dapat digunakan untuk perairan dengan elevasi pasang surut air laut yang besar



Gambar 2.11 Contoh *pontoon* pelat baja

"Halaman ini sengaja dikosongkan"

BAB III
PENGUMPULAN DAN ANALISIS DATA

3.1 Umum

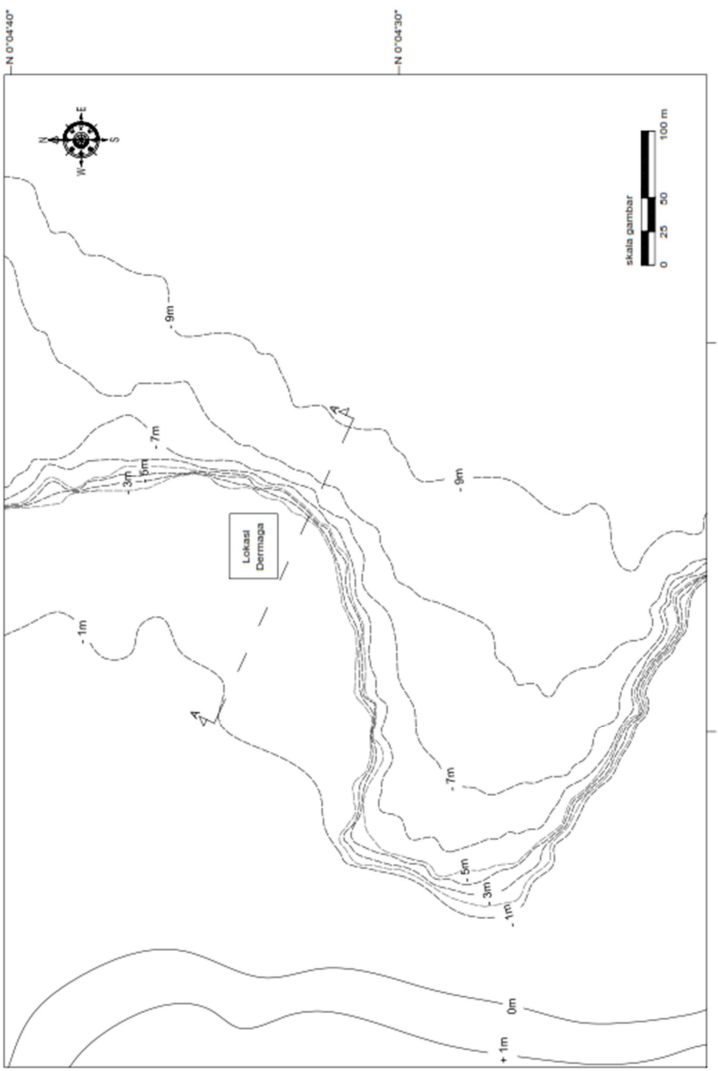
Diperlukan pengumpulan data dan analisis dalam perencanaan dermaga untuk kapal MPSV atau PSV di perairan Kota Bontang ini. Data yang digunakan merupakan data yang didapatkan dari berbagai sumber. Data – data tersebut diantaranya, data peta batimetri, pasang surut, arus, angin dan data tanah.

3.2 Data Peta Batimetri

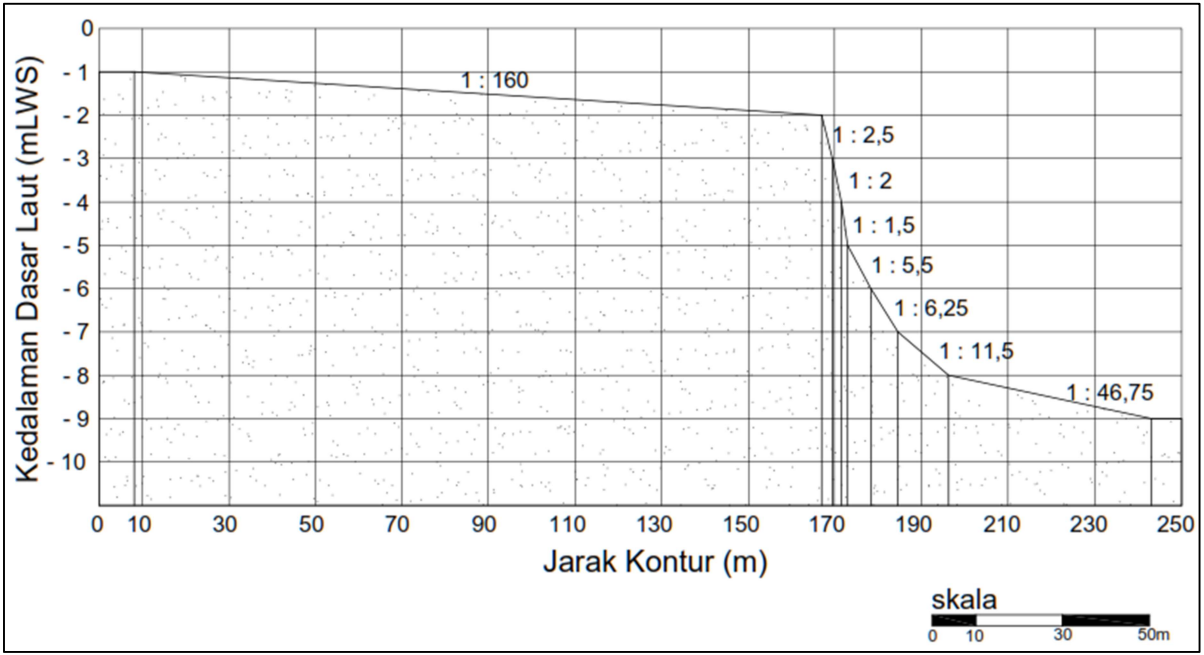
Peta batimetri merupakan peta yang menunjukkan relief dasar laut dengan garis – garis kontur dan dapat memiliki informasi tambahan berupa informasi navigasi permukaan. Dalam perencanaan dermaga, peta batimetri digunakan untuk menentukan elevasi struktur dermaga secara tepat. Selain itu, peta batimetri ini dapat digunakan untuk memperkirakan kedalaman perairan laut yang aman bagi kapal. Peta batimetri yang digunakan merupakan peta hidral wilayah perairan Kota Bontang dari Dishidros TNI – AL tahun 2010. Peta ini merupakan peta yang digunakan khusus untuk perencanaan dermaga ini yang didapat dari tim LPPM ITS.

Hasil analisis data peta batimetri

Dari data yang didapat terlihat bahwa kondisi kedalaman perairan di sekitar dermaga kapal MPSV dan PSV serta *floating pontoon* di Kota Bontang, pada bagian kolam dermaga memiliki kedalaman sekitar – 1 m mLWS. Peta batimetri dapat dilihat pada Gambar 3.1 dengan koordinat 0°4'30.81"N, 117°28'54.48"E. Sedangkan potongan dapat dilihat pada Gambar 3.2.



Gambar 3.1 Peta batimetri sekitar lokasi perencanaan



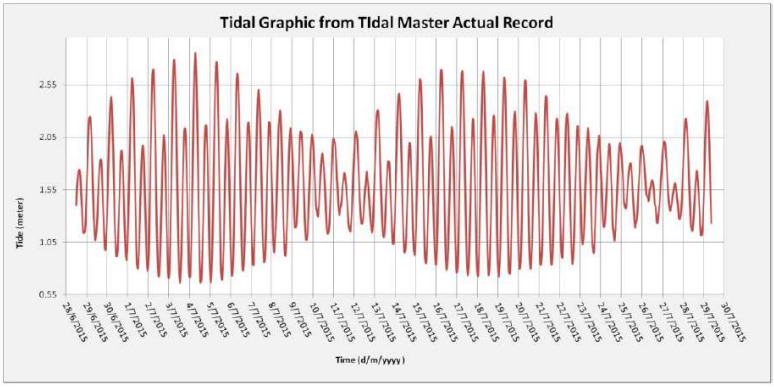
Gambar 3.2 Potongan A – A peta batimetri

3.3 Data Pasang Surut

Data pasang surut dipergunakan untuk kebutuhan koreksi pada peta batimetri juga untuk mengetahui tipe pasang surut, muka surut terendah (*Mean Low Water Spring*) dan muka pasang tertinggi (*Mean High Water Spring*). Data pasang surut ini sebagai acuan untuk penetapan elevasi kontur tanah dan elevasi seluruh bangunan, sehingga kondisi kedalaman perairan dan elevasi posisi kering dari struktur dan wilayah darat dapat ditentukan.

Hasil analisis data pasang surut

Data pasang surut yang digunakan dalam perencanaan ini didapat dari survei yang dilakukan oleh tim LPPM ITS di pelabuhan Kayu Pagung, Sekambing, Bontang. Pengukuran dilakukan selama 31 hari (28 Juni 2015 – 29 Juli 2015) dengan menggunakan peralatan *Tide Master*. Dengan hasil pengukuran dapat dilihat pada Gambar 3.3.



Gambar 3.3 Grafik pengukuran pasang surut di stasiun pasang surut Sekambing.
(sumber: LPPM-ITS Surabaya)

Dari grafik diatas kemudian dilakukan analisis *harmonic component* pasang surut menggunakan *software T-Tide* dengan hasil yang dapat dilihat pada Tabel 3.1.

Tabel 3.1 Hasil perhitungan nilai pasang surut menggunakan *software T-Tide*

Tidal constituent based on water level produced by **TideMaster Actual Record**			
tide	freq	amp	pha
MSF	0.0028219	0.0039	93.72
2Q1	0.0357064	0.0024	288.86
*Q1	0.0372185	0.0275	220.32
*O1	0.0387307	0.1446	242.75
*NO1	0.0402686	0.0122	325.97
*K1	0.0417807	0.2187	281.5
*J1	0.0432929	0.0166	276.77
OO1	0.0448308	0.0046	91.52
UPS1	0.046343	0.0025	52.67
*N2	0.0789992	0.0773	145.57
*M2	0.0805114	0.5556	153.4
*S2	0.0833333	0.3253	215.42
ETA2	0.0850736	0.0179	250.61
MO3	0.1192421	0.0027	299.26
*M3	0.1207671	0.0046	343.23
*MK3	0.1222921	0.0082	31.53
*SK3	0.1251141	0.0061	53.62
MN4	0.1595106	0.001	301.89
*M4	0.1610228	0.0046	4.12
*MS4	0.1638447	0.0042	63.05
S4	0.1666667	0.0003	302.14
2MK5	0.2028035	0.0019	72.41
2SK5	0.2084474	0.0003	292.03
2MN6	0.2400221	0.0001	297.17
*M6	0.2415342	0.0023	346
2MS6	0.2443561	0.0022	80.04
2SM6	0.2471781	0.0009	177.18
3MK7	0.2833149	0.0012	102.21
M8	0.3220456	0.0001	113.5

(sumber: LPPM-ITS Surabaya)

Berdasarkan analisis harmonik *T-Tide* ini lalu ditentukan kondisi muka air laut dari masing – masing kondisi pasang surut. Hasil perhitungan berdasarkan formula Surimiharja (1997) dapat dilihat pada Tabel 3.2.

Tabel 3.2 Hasil perhitungan elevasi pasang surut berdasarkan formula Surimiharja (1997)

Tidal Level		Calculation	
HAT	(Highest Astronomical Tide)	= LAT + 2(AK_1 + AO_1 + AS_2 + AM_2)	= 2.8242
MHHWS	(Mean Higher High Water Spring)	= LAT + 2(AS_2 + AM_2)+AK_1+AO_1	= 2.4609
MHHWN	(Mean Higher High Water Neap)	= LAT + 2AM_2 + AK_1 + AO_1	= 1.8103
MSL	(Mean Sea Level)		= 1.58
MLLWN	(Mean Lower Low Water Neap)	= LAT + 2 AS_2 + AK_1 + AO_1	= 1.3497
MLLWS	(Mean Low Lower Water Spring)	= LAT + AK1 + AO1	= 0.6991
LAT	(Lowest Astronomical Tide)	= MSL - AK1 - AO1 - AS2 - AM2	= 0.3358

(sumber: LPPM-ITS Surabaya)

Dengan mengambil LAT sebagai titik nol, maka dapat ditentukan bahwa:

- Tipe pasang surut adalah campuran dominan *semi diurnal*
- Beda pasang surut sebesar 2,4884 m ≃ 2,5 m diatas ± 0,00m mLWS
- Elevasi *High Water Spring* (HWS) pada + 2,4884m mLWS ≃ 2,5 mLWS
- Elavasi Mean Sea Level (MSL) pada + 1,2442m mLWS ≃ 1,25 mLWS
- Elevasi Low Water Spring (LWS) pada ± 0,00m mLWS

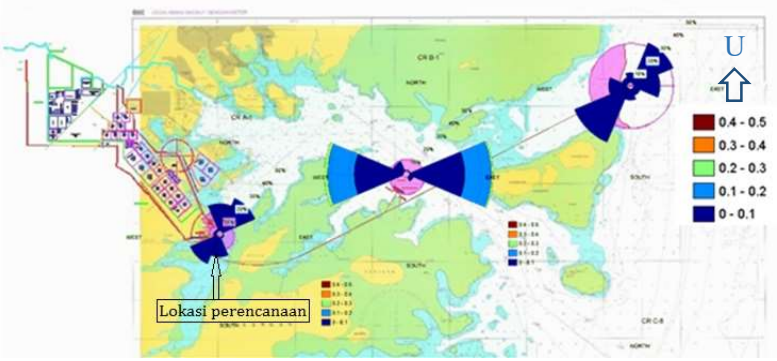
3.4 Data Arus

Pada umumnya arus yang terjadi di sepanjang pantai disebabkan oleh perbedaan muka air pasang surut antara satu lokasi dengan lokasi yang lain, sehingga perilaku arus dipengaruhi pola pasang surut. Beberapa kegunaan data arus adalah:

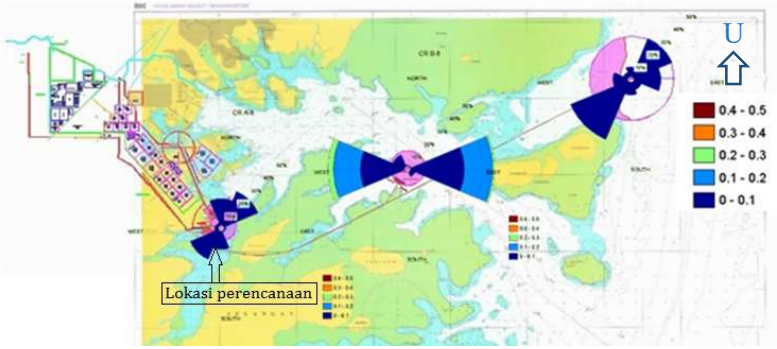
- menghindari pengaruh tekanan arus berarah tegak lurus (*cross currents*), agar kapal dapat bermanuver dengan cepat dan mudah. Kecepatan arus maksimum 3 knot (1.5 m/s).
- mengevaluasi kondisi stabilitas garis pantai, mengalami erosi atau sedimentasi

Pengukuran arus dilakukan oleh tim LPPM ITS menggunakan *ADCP Bottom Mounted* pada tanggal 27 Juni – 7

Agustus 2015. Pengukuran dilakukan di kedalaman 21 m. Hasil dari pengukuran arus di sekitar lokasi perencanaan dapat dilihat pada Gambar 3.4 dan Gambar 3.5.



Gambar 3.4 *Current rose* di lokasi perencanaan pada bulan Januari 2015
(sumber: LPPM-ITS Surabaya)



Gambar 3.5 *Current rose* di lokasi perencanaan pada bulan Agustus 2015
(sumber: LPPM-ITS Surabaya)

Hasil analisis data Arus

Berdasarkan *current rose* di lokasi perencanaan *Jetty* 1 pada bulan Januari dan Februari 2015 dapat diketahui bahwa:

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

3.5 Data Angin

Informasi tentang arah dan kecepatan angin sangat diperlukan dalam mempelajari proses pantai. Angin merupakan unsur pembentuk gelombang yang paling dominan. Dengan adanya angin, permukaan air laut yang tenang akan mengalami gangguan pada permukaannya sehingga menimbulkan gelombang. Data angin yang digunakan diukur dalam periode 6 jam selama 10 tahun (tahun 2004 – 2014). Data ini didapatkan dari analisis ulang data *National Centre for Environment Prediction* (NCEP) oleh tim LPPM ITS. Lokasi data angin dapat dilihat pada Gambar 3.6, dengan koordinat 0°01'23.0"S 117°31'23.2"E.

Gambar 3.6 Peta lokasi pengambilan data angin (skala 1:5000)
(*sumber: maps.google.com 2016*)

Pengolahan data dilakukan untuk menghitung persentase dari kejadian angin serta mengklasisifikasikan arah dan kecepatan angin selama interval waktu tahun 2004 sampai tahun 2014.

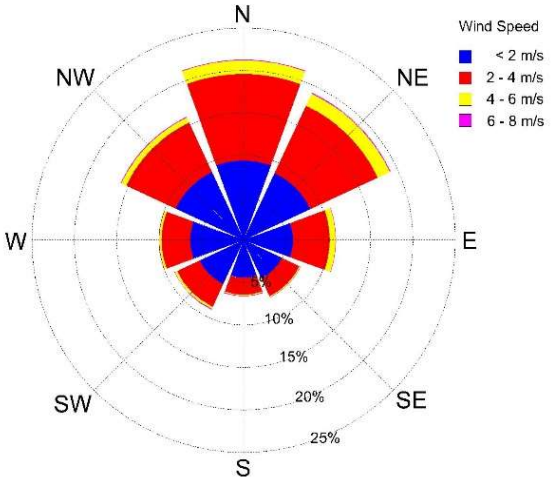
Hasil analisis data angin

Data angin yang diperoleh berupa *windrose* serta tabel distribusi frekuensi dari arah dan kecepatan angin dalam 8 arah utama (Utara, Timur Laut, Timur, Tenggara, Selatan, Barat Daya, Barat dan Barat laut) per bulan selama 10 tahun. Kemudian data – data tersebut di rata – rata sehingga didapatkan data angin rata – rata per bulan selama 10 tahun. Data tersebut dapat dilihat pada Tabel 3.3. Dari Tabel 3.3 dapat ditampilkan *windrose* di sekitar wilayah perencanaan pada Gambar 3.7.

Tabel 3.3 Frekuensi rata – rata kejadian angin per bulan selama 10 tahun (2004 – 1014)

Wind direction	Wind speed (m/s)						Total (%)
	<2	2-4	4-6	6-8	8-10	>10	
N	9.37	10.21	1.61	0.06	0.00	0.00	21.26
NE	8.70	8.76	1.58	0.10	0.00	0.00	19.13
E	5.85	4.31	0.70	0.05	0.00	0.00	10.92
SE	4.95	2.32	0.16	0.00	0.00	0.00	7.43
S	4.43	1.99	0.17	0.05	0.00	0.00	6.63
SW	5.69	2.95	0.25	0.08	0.00	0.00	8.98
W	6.30	3.37	0.27	0.05	0.00	0.00	9.98
NW	8.83	6.42	0.65	0.10	0.00	0.00	15.99
All	54.11	40.33	5.38	0.50	0.00	0.00	100

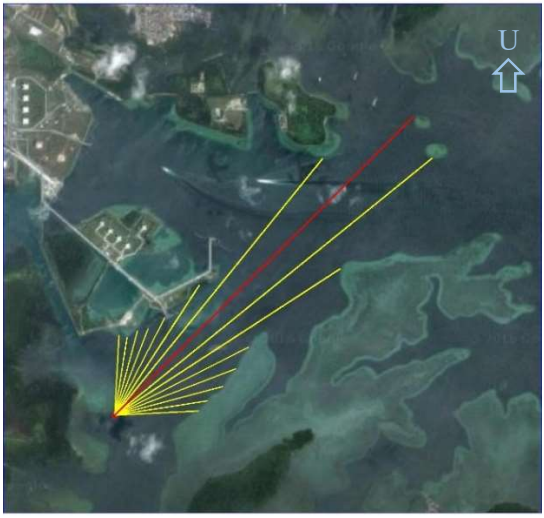
(sumber: LPPM-ITS Surabaya yang telah diolah)



Gambar 3.7 *Windrose* perairan Kota Bontang
(sumber: LPPM-ITS Surabaya yang telah diolah)

Dari tabel diatas dapat dilihat pola angin di sekitar Bontang dengan frekuensi periode 10 tahun angin dominan arah utara laut serta memiliki kecepatan maksimum 6 – 8 m/dt. Analisis *fetch* di lokasi perencanaan dengan koordinat 0°4'30.81"N, 117°28'54.48"E dari arah utara (Gambar 3.8), arah timur laut (Gambar 3.9), arah timur (Gambar 3.10), arah tenggara (Gambar 3.11), dan arah selatan (Gambar 3.12). Hasil perhitungan *fetch* efektif dapat dilihat pada Tabel 3.4.

Gambar 3.8 *Fetch* arah utara (skala 1:200)
(*sumber: maps.google.com 2016*)



Gambar 3.9 *Fetch* arah timur laut (skala 1:200)
(*sumber: maps.google.com 2016*)

Gambar 3.10 *Fetch* arah timur (skala 1:200)
(*sumber: maps.google.com 2016*)

Gambar 3.11 *Fetch* arah tenggara (skala 1:200)
(*sumber: maps.google.com 2016*)

Gambar 3.12 *Fetch* arah selatan (skala 1:200)
(*sumber: maps.google.com 2016*

α	cos α	Xi (Km)					Xi . Cos α (Km)				
		T	TL	U	Tg	S	T	TL	U	Tg	S
42	0.74	4.39	0.82	0	0.72	0.85	3.26	0.61	0.00	0.54	0.63
36	0.81	5.64	0.81	0	0.65	0.88	4.56	0.66	0.00	0.53	0.71
30	0.87	1.72	0.9	0	0.62	0.94	1.49	0.78	0.00	0.54	0.81
24	0.91	1.43	0.96	0	0.66	1.09	1.31	0.88	0.00	0.60	1.00
18	0.95	1.23	1.13	0	0.7	1.25	1.17	1.07	0.00	0.67	1.19
12	0.98	1.02	1.59	0	0.77	1.32	1.00	1.56	0.00	0.75	1.29
6	0.99	0.92	3.41	0	0.86	1.53	0.91	3.39	0.00	0.86	1.52
0	1.00	0.76	4.37	0.82	0.83	1.82	0.76	4.37	0.82	0.83	1.82
6	0.99	0.7	4.22	0.83	0.86	2.65	0.70	4.20	0.83	0.86	2.64
12	0.98	0.64	2.78	0.87	0.88	3.49	0.63	2.72	0.85	0.86	3.41
18	0.95	0.65	1.55	1.08	1.03	0.29	0.62	1.47	1.03	0.98	0.28
24	0.91	0.67	1.34	1.07	1.12	0.27	0.61	1.22	0.98	1.02	0.25
30	0.87	0.72	1.15	1.14	1.34	0.25	0.62	1.00	0.99	1.16	0.22
36	0.81	0.79	0.97	1.67	1.31	0.25	0.64	0.78	1.35	1.06	0.20
42	0.74	0.85	0.86	4.67	1.56	0.26	0.63	0.64	3.47	1.16	0.19
Total	13.51						18.91	25.35	10.31	12.40	16.16
Fetch efektif (Km)							1.40	1.88	0.76	0.92	1.20

Tabel 3.4 Perhitungan *fetch* efektif di lokasi perencanaan

Dari peramalan *fetch* diatas didapatkan bahwa *fetch* efektif terbesar adalah 1,88 km yakni pada arah timur laut. Hal ini menunjukkan bahwa pada lokasi perencanaan termasuk dalam perairan tertutup yang dikelilingi oleh pulau – pulau.

Selanjutnya dilakukan peramalan gelombang dari data angin dan *fetch* sebagai pembangkit utama gelombang. Dari peramalan tersebut dapat diketahui:

1. Tipe gelombang
   Tipe gelombang yang terjadi adalah *non fully developed waves*. Hal ini dikarenakan *fetch* yang relatif pendek karena dibatasi oleh kondisi geografis di sekitar lokasi perencanaan.

2. Tinggi gelombang
   Tinggi gelombang (*non fully developed waves)* dapat dihitung menggunakan metode SBM dari *Shore Protection Manual* Vol. 1 sebagai berikut:

$$H_{m_0} = 1{,}616 \times 10^{-2} \times U_A \times F^{1/2}$$

   dimana:
   U_A = Kecepatan angin terkoreksi (m/s) = $0{,}71 \times U^{1{,}23}$
   U = Kecepatan angin (m/s)
   F = Panjang *fetch* efektif (km)
   t = Waktu (jam)

   sehingga:
   $U_A = 0{,}71 \times U^{1{,}23} = 0{,}71 \times 8^{1{,}23} = 9{,}16$ m/s
   $H_{m_0} = 1{,}616 \times 10^{-2} \times 9{,}16 \times 1{,}88^{1/2} = 0{,}2$ m

3. Periode gelombang

$$T_m = 6{,}238 \times 10^{-1} \times (U_A \times F)^{1/3}$$
$$T_m = 6{,}238 \times 10^{-1} \times (9{,}16 \times 1{,}88)^{1/3}$$
$$T_m = 1{,}6 \text{ s}$$

4. Lama angin berhembus

$$t = 8{,}93 \times 10^{-1} \times \left(\frac{F^2}{U_A}\right)^{1/3}$$

$$t = 8{,}93 \times 10^{-1} \times \left(\frac{1{,}88^2}{9{,}16}\right)^{1/3}$$

$$t = 0{,}65 \text{ jam} = 39 \text{ menit}$$

3.6 Data Tanah

Data penyelidikan tanah sangat diperlukan khususnya untuk perencanaan struktur, baik untuk struktur bangunan bawah (tiang pancang), jalan atau areal terbuka lain. Untuk perencanaan struktur tiang pancang, analisa data tanah dilakukan untuk mendapatkan daya dukung izin terhadap kedalaman tiang pancang.

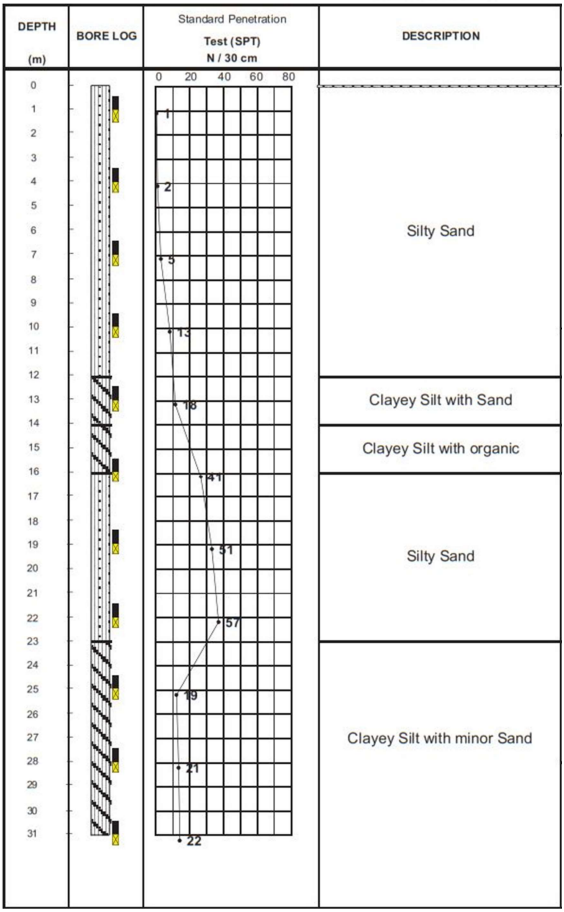
Hasil analisis data tanah

Data tanah yang dipergunakan diperoleh dari pekerjaan *soil investigation* oleh tim LPPM ITS di lokasi perencanaan dermaga. Data yang digunakan adalah data pada titik B3 koordinat 0°04'31.30"N 117°28'56.10"E atau 553663.00 m E, 8330.00 m N zona 50 N pada skala UTM dengan lokasi pengambilan data yang dapat dilihat pada Gambar 3.13.

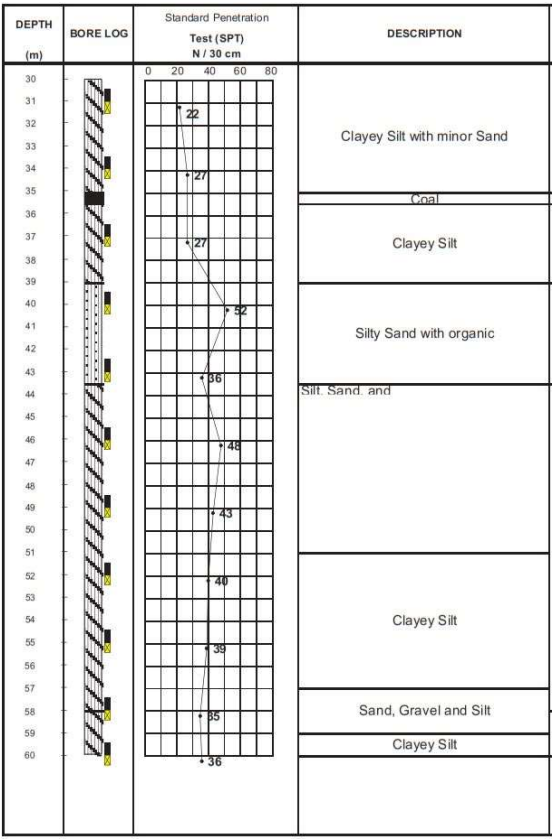
Gambar 3.13 Lokasi pengambilan data tanah (skala 1:500)
(*sumber: maps.google.com 2016*)

Hasil *bore log* dan SPT dapat dilihat pada Gambar 3.14. Kedalaman yang diambil mulai dari - 8 mLWS (*seabed*) sampai dengan - 68 mLWS. Dari hasil bor dan SPT yang dilakukan, diketahui bahwa pada kedalaman – 8 mLWS sampai – 20 mLWS merupakan jenis tanah *loose silty sand* dengan rata - rata nilai N_{SPT} 5. Dibawahnya terdapat lapisan tanah *stiff clayey silt* hingga kedalaman - 38 mLWS dengan rata - rata N_{SPT} 30.

Bore No. : B3
Project : LAND DEVELOPMENT PERTAMINA
Location : KABUPATEN BONTANG PROPINSI KALIMANTAN TIMUR
Coordinates of GPS (UT X = 0553663
Y = 0008330
Diameter of Bore : 73 mm
Diameter of Casing : 89 mm



Gambar 3.14 Hasil *bore log* dan SPT tanah
(sumber: LPPM-ITS Surabaya)



Gambar 3.15 Hasil *bore log* dan SPT tanah (Lanjutan)
(sumber: LPPM-ITS Surabaya)

"Halaman ini sengaja dikosongkan"

BAB IV
KRITERIA DESAIN

4.1 Peraturan yang Digunakan

Dalam perancanaan dermaga ini, peraturan dan acuan yang digunakan diantaranya:

1. Peraturan Pemerintah Republik Indonesia Nomor 61 Tahun 2009 Tentang Kepelabuhanan.
2. Peraturan Beton Bertulang Indonesia 1971 (PBI 1971). Digunakan untuk menghitung balok, pelat dan *pile cap*.
3. Perhitungan Lentur dengan Cara "n" Disesuaikan kepada Peraturan Beton Bertulang Indonesia 1971 (Ir. Wiratman Wangsadinata). Digunakan untuk perencanaan tulangan lentur cara "n".
4. Standar Nasional Indonesia 03-1726-2012 Tentang Standar Perencanaan Ketahanan Gempa untuk Struktur Bangunan Gedung dan *Non* Gedung. Digunakan untuk perhitungan beban gempa.
5. *Technical Standards and Commentaries for Port and Harbour Facilities in Japan* 2002, *The Overseas Coastal Area Development Institute of Japan* (OCDI). Digunakan untuk perencanaan *layout* perairan dan daratan.
6. *Guidelines for the Design of Fenders Systems* 2002, *Permanent International Association of Navigation Congresses* (PIANC). Digunakan untuk perhitungan energi yang terjadi pada *fender*.
7. *Port Designer's Handbook: Recommendations and Guidelines* 2003, Carl A. Thoresen. Digunakan untuk perencanaan *layout* perairan dan daratan.

4.2 Data Kapal

Kapal rencana yang digunakan untuk perencanaan dermaga ini adalah sebagai berikut:

1. *Multi Purpose Supply Vessel* (MPSV) 3.500 DWT
   Merupakan kapal yang menyediakan berbagai macam fungsi pemeliharaan dan fungsi pasokan dalam industri kilang minyak lepas pantai. Kapal ini memiliki peralatan yang canggih serta kemampuan seperti penempatan yang dinamis, pemadam kebakaran, *crane* dan *helipad*. Kapal ini juga memiliki kemampuan untuk membawa peralatan besar dan mengakomodasi personil. Contoh kapal rencana ini dapat dilihat pada Gambar 4.1, sedangkan dimensinya dapat dilihat pada Tabel 4.1.

Gambar 4.1 MPSV Bourbone Jade 3.660 DWT
(sumber: http://www.bourbonoffshore.com)

Tabel 4.1 Dimensi MPSV Bourbone Jade 3.660 DWT

Length Over All (panjang)	78,80	m
Breadth (lebar)	18,80	m
Depth (kedalaman)	7,60	m
Draft max. (sarat muat)	6,22	m
Draft min. (sarat muat)	4,80	m
Dead Weight Tonnage (DWT)	3.660,00	ton

2. *Platform Supply Vessel* (PSV) 3.500 DWT
   Merupakan kapal yang dirancang untuk transportasi peralatan dan persediaan dari dan ke tempat kilang minyak atau gas, *rig* pengeboran lepas pantai serta berbagai tipe kapal lepas pantai lainnya. Kapal ini memiliki kemampuan mengangkut kargo di dek terbuka. Selain itu kapal ini juga memiliki kapasitas penyimpanan sub-dek yang tinggi. Contoh kapal rencana ini dapat dilihat pada Gambar 4.2, sedangkan dimensinya dapat dilihat pada Tabel 4.2.

Gambar 4.2 PSV Bourbon Explorer 3.700 DWT
(sumber: http://www.bourbonoffshore.com)

Tabel 4.2 Dimensi PSV Bourbon Explorer 3.700 DWT

Length Over All (panjang)	78,25	m
Breadth (lebar)	17,20	m
Depth (kedalaman)	7,80	m
Draft max. (sarat muat)	6,30	m
Dead Weight Tonnage (DWT)	3.703,00	ton

3. *Tugboat* 750 hP
   Dalam tugas akhir ini, *tugboat* digunakan untuk mendorong atau menarik kapal lain. *Tugboat* yang digunakan memiliki kekuatan mesin 750 hP. Contoh kapal yang digunakan dapat dilihat pada Gambar 4.3 dan dimensinya dapat dlihat pada Tabel 4.3.

Gambar 4.3 *Tugboat* 750 hp
(sumber: http://www.wotol.com)

Tabel 4.3 Dimensi *Tugboat* 250 hp

Length Over All (panjang)	14,9	m
Breadth (lebar)	5,1	m
Draft max. (sarat muat)	1,6	m
Depth (kedalaman)	2,8	m
Tenaga mesin	750	Hp

4.3 Kualitas Bahan dan Material

4.3.1 Kualitas Beton

Ketentuan mutu beton berdasarkan PBI 1971 dengan kondisi beton terpapar terhadap kelembaban dan sumber klorida eksternal dari bahan kimia, garam, air asin atau dari sumber – sumber lainnya adalah sebagai berikut:

- Kekuatan karakteristik beton (σ'_{bk}) = 350 kg/cm²
- Modulus tekan untuk beban tetap (Eb) = $6.400\sqrt{\sigma'_{bk}}$ = 1,2 . 10^5 kg/cm² (PBI 1971 pasal 11.1)
- Tegangan tekan beton akibat lentur dan gaya normal (σ'_b) = 0,33 . σ'_{bk} = 115,5 kg/cm² (PBI 1971 Tabel 10.4.2)
- Tebal selimut beton untuk plat yang berbatasan langsung dengan laut = 7,0 cm (Peraturan Perencanaan Teknik Jembatan BMS Bab 6.3.8.3)
- Tebal selimut beton untuk beton yang berbatasan langsung dengan laut = 7,0 cm (Peraturan Perencanaan Teknik Jembatan BMS Bab 6.3.8.3)

4.3.2 Kualitas Baja Tulangan

Kualitas bahan baja tulangan direncanakan dengan mengacu pada PBI 1971 dengan spesifikasi sebagai berikut:

- Baja tulangan yang digunakan adalah mutu baja U-32 (PBI 1971 Bab 3.7)
- Tegangan leleh karakteristik (σ_{au}) = 3.200 kg/cm²
- Tegangan tarik yang diijinkan akibat beban tetap (σ_a) = 1.850 kg/cm² (PBI 1971 Tabel 10.4.1)
- Kekuatan tarik baja rencana (σ'_{au}) = 2.780 kg/cm² (PBI 1971 Tabel 10.4.3)
- Modulus elastisitas (Ea) = 2,1 . 10^6 kg/cm² (PBI 1971 Bab 12.0)

4.3.3 Kualitas Tiang Pancang

Pondasi yang digunakan dalam struktur dermaga *open pier* ini menggunakan *steel pipe pile* diameter 1016 mm. Direncanakan mutu baja tiang pancang ASTM A 252 *grade* 2. Pada perencanaan ini digunakan *steel pipe pile* dari brosur Swarna baja dengan spesifikasi sebagai berikut:

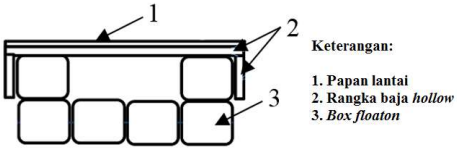
- Tegangan putus minimum (Fu) = 4.221 kg/cm^2
- Tegangan leleh minimum (Fy) = 1.688 kg/cm^2
- Modulus elastisitas = 2,1 x 10^6 kg/cm^2
- Diameter luar = 1016 mm
- Tebal = 19 mm
- Berat = 314 kg/m
- Luas penampang melintang = 595,1 cm^2
- Modulus Inersia = 740 x 10^3 cm^4
- Section modulus = 146 x 10^2 cm^3
- Radius girasi = 35,3 cm

4.3.4 Bahan *floating pontoon*

Floating pontoon yang direncanakan pada tugas akhir ini adalah dermaga apung tipe modular (terdiri dari bagian – bagian yang lebih kecil dan dapat dibongkar – pasang dengan mudah). Dermaga apung ini memiliki 2 modul utama, yaitu modul dermaga dan modul *gangway* (jembatan penghubung). Selain itu, untuk mempertahankan posisi dermaga agar tidak bergeser ke samping maka sistem *mooring* yang digunakan adalah dengan menggunakan tiang pancang. Dalam sub bab ini akan dibahas bahan – bahan penyusun dermaga apung, sedangkan perhitungan kebutuhan struktur ini akan dibahas pada Bab VI.

1. Modul dermaga apung

   Modul dermaga apung juga terdiri dari bagian – bagian yang lebih kecil yang dapat disusun sesuai kebutuhan. Bagian – bagian tersebut dapat dilihat pada Gambar 4.4, diantaranya:



Gambar 4.4 Contoh penyusunan modul dermaga apung

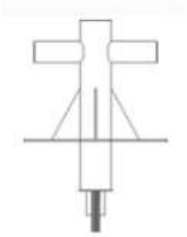
- Papan lantai
  Papan lantai yang digunakan adalah papan kayu yang berfungsi sebagai lantai untuk menyalurkan beban diatasnya ke rangka baja. Papan ini memiliki berat 14,5 kg dengan ukuran tebal 2 cm, panjang 240 cm dan lebar 20 cm.

- Rangka baja *hollow*
  Rangka baja ini berfungsi untuk memperkuat dan mengikat *floating box*. Jenis baja yang digunakan adalah *Hollow Steel Galvanized* dengan dimensi 100 x 50 x 3 mm. Sedangkan beratnya sebesar 7,5 kg/m.

- Kotak apung (*floating box*)
  Floating box merupakan bagian utama penyusun modul dermaga apung yang terbuat dari bahan *High Density Polyethelyne* (HDPE). Selain memiliki harga yang relatif lebih murah dibandingkan dengan bahan lain (pelat baja), tipe ini juga mudah untuk dirakit dan tahan terhadap korosi. *Floating box* ini berfungsi untuk menjaga agar dermaga tetap terapung. Sebuah kotak apung memiliki dimensi panjang 50 cm, lebar 50 cm dan tinggi 40 cm dengan berat 6 kg.

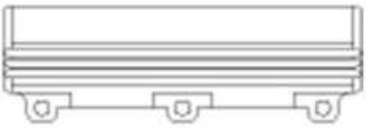
- *Bollard*
  Untuk bertambat kapal, digunakan *bollard* tipe *cross cleat* berbahan *stainless steel* SUS304. *Cross cleat* ini

memiliki tinggi 30 cm dan lebar 20 cm. Contoh bollard ini dapat dilihat pada Gambar 4.5.



Gambar 4.5 *Cross cleat*

- *Fender*
  Untuk mengurangi energi tumbukan antara kapal dan pontoon, digunakan *fender* tipe D. *Fender* ini berbahan HDPE dengan dimensi panjang 130 cm, lebar 30 cm dan tinggi 25 cm. Contoh dari fender ini dapat dilihat pada Gambar 4.6.



Gambar 4.6 *Fender* tipe D

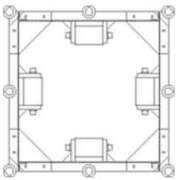
- *Railing*
  Railing digunakan sebagai pengaman dan pembatas tepi dermaga apung. Bahan railing ini adalah *stainless steel* SUS304. Terdapat dua bentuk *railing* yang digunakan, yaitu:
  - *Railing* portal dengan tinggi 100 cm dan panjang 150 cm (dapat dilihat pada Gambar 4.7).

Gambar 4.7 *Railing* portal

- *Railing* tiang dengan tinggi 100 cm (dapat dilihat pada Gambar 4.8). Diantara *railing* tiang ini dihubungkan dengan tali sebagai pengaman.

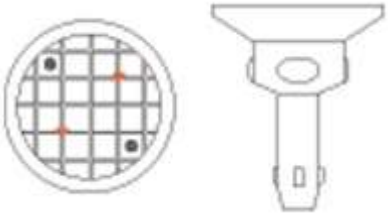
Gambar 4.8 *Railing* tiang

- *Pile guide's frame*
  Frame ini dipasang pada tiang pancang kemudian disambungkan dengan *pontoon*. Fungsinya adalah untuk menjaga *pontoon* dapat bergerak naik turun mengikuti elevasi perairan. *Frame* ini berbentuk persegi dengan ukuran 80 x 80 cm (dapat dilihat pada Gambar 4.9). Dibuat dengan bahan *stainless steel* dan dilengkapi dengan *roller*.



Gambar 4.9 *Pile guide's frame*

- Aksesoris pengait
  Untuk menghubungkan antara satu kubus apung dengan kubus apung lain diperlukan alat pengait. Pengait ini berbentuk seperti baut yang terbuat dari HDPE. Beberapa tipe pengait yang digunakan diantaranya:
  - *Short Connecting Pin with 2 Nuts Inlaid*
    Baut ini memiliki diameter 18,6 cm dan panjang 23 cm. Digunakan untuk menyambung kubus apung satu lapis. Baut tipe ini dapat dilihat pada Gambar 4.10.

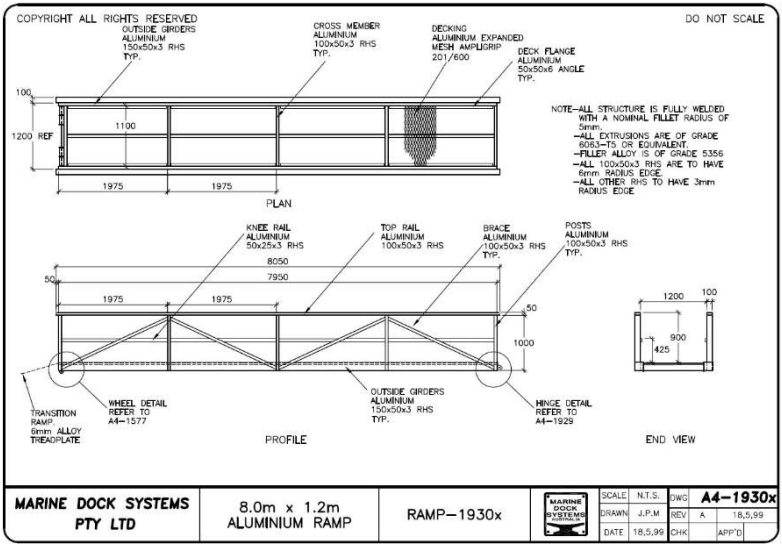


Gambar 4.10 Baut pendek dengan penutup

  - *Long Connecting Pin*
    Baut ini memiliki diameter 18,6 cm dan panjang 63 cm. Digunakan untuk menyambung kubus apung dua lapis. Baut tipe ini dapat dilihat pada Gambar 4.11

Gambar 4.11 Baut panjang

2. Modul *gangway* (jembatan penghubung)
   Gangway berfungsi sebagai jembatan penghubung antara dermaga apung dan *trestle*. Direncanakan sebuah modul *self levelling gangway* (Gambar 4.12) memiliki dimensi lebar 1,2 m dan panjang 8,05 m. Struktur utama dari *gangway* ini menggunakan besi *galvanised* RHS (*Rectangular Hollow Section)* 150x50x3 mm.



Gambar 4.12 Modul *gangway*
(sumber: http://www.bmackay.com.au/)

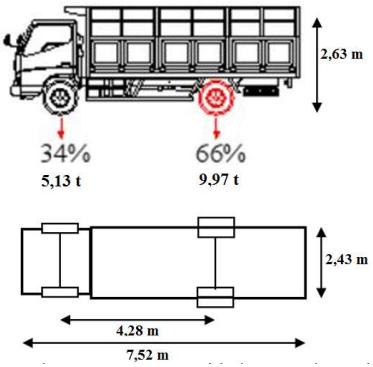
3. Tiang pancang dermaga apung
   Tiang pancang berfugsi untuk alat penambat agar posisi dermaga apung tetap pada tempatnya (tidak bergeser ke samping). Pondasi yang digunakan dalam struktur dermaga dermaga apung ini menggunakan *steel pipe pile* diameter 609,6 mm. Direncanakan mutu baja tiang pancang ASTM A 252 *grade* 2. Pada perencanaan ini digunakan *steel pipe pile* dari brosur Swarna baja dengan spesifikasi sebagai berikut:
   - Tegangan putus minimum (Fu) = 4.221 kg/cm^2
   - Tegangan leleh minimum (Fy) = 1.688 kg/cm^2
   - Modulus elastisitas = 2,1 x 10^6 kg/cm^2
   - Diameter luar = 609,6 mm
   - Tebal = 16 mm
   - Berat = 234,21 kg/m
   - Luas penampang melintang = 298,4 cm^2
   - Modulus Inersia = 132 x 10^3 cm^4
   - Section modulus = 431 x 10 cm^3
   - Radius girasi = 21 cm

4.4 Pembebanan

4.4.1 Pembebanan Vertikal

1. Berat mati
   - Berat beton bertulang = 2.400 kg/m^3
   - Berat baja = 7.850 kg/m^3
   - Berat kayu = 1.100 kg/m^3
   - Beban mati tambahan = *bollard*, *fender* dan peralatan lain
2. Beban hidup
   - Beban merata dermaga akibat muatan (beban pangkalan) = 4 t/m^2
   - Beban air hujan (5 cm) = 0,05 x 1 t/m^2 = 0,05 t/m^2
3. Beban bergerak
   - Truk

     Jenis truk yang direncanakan untuk menunjang aktivitas bongkar muat di dermaga ini adalah *light truck* dengan konfigurasi sumbu 1,2L. Truk ini memiliki berat total maksimum 15,1 ton dan berat kosong 4,6 ton. Dengan spesifikasi yang sama, berdasarkan spesifikasi truk Hino FG 235 JJ, truk ini memiliki radius putar 7,3 m dan area kontak tiap roda adalah 20 cm x 40 cm. Konfigurasi beban sumbu truk ini dapat dilihata pada Gambar 4.13.

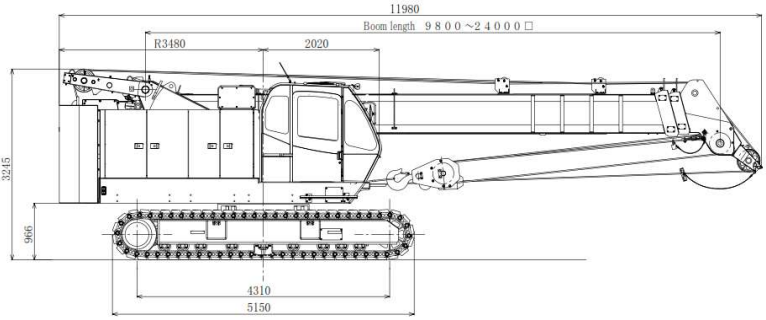


Gambar 4.13 Konfigurasi beban sumbu truk

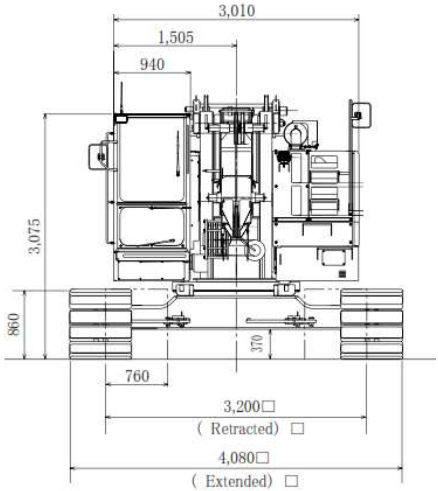
- *Crawler Crane*
  Crawler Crane digunakan untuk melakukan aktivitas bongkar muat barang dengan berat yang cukup besar dari kapal MPSV atau PSV. *Crawler Crane* rencana yang akan digunakan adalah Kobelco TK 350, dengan spesifikasi dan dimensi yang dapat dilihat pada Tabel 4.4, Gambar 4.14 dan Gambar 4.15. Sedangkan Kemampuan *crane* untuk mengangkat beban berdasarkan radius kerjanya dapat dilihat pada Tabel 4.5.

Tabel 4.4 Spesifikasi *crawler crane*

Daya angkat maks.	35,0 ton x 2,7 m
Panjang *boom*	9,8 - 24,0 m
Tinggi *hook*	24,9 m
Kecepaatan jelajah	1,3 km/h
Berat	40,98 ton
Ground pressure	0,625 kg/cm2
Luas kontak roda	2 x (4,31 x 0,76 m)



Gambar 4.14 Dimensi *crawler crane* tampak samping
(sumber: Kobelco Construction Machinery CO., LTD.)



Gambar 4.15 Dimensi *crawler crane* tampak depan
(sumber: Kobelco Construction Machinery CO., LTD.)

Tabel 4.5 Daya angkat *crane* berdasarkan panjang *boom*

Boom length (m)		9.80	16.90	20.45	24.00
Working radius (m)	2.7	35.00	19.00	15.00	12.50
	3.0	32.00	19.00	15.00	12.50
	3.5	28.30	19.00	15.00	12.50
	4.0	25.30	19.00	15.00	12.50
	4.5	23.00	19.00	15.00	12.50
	5.0	21.00	18.00	15.00	12.50
	5.5	19.15	16.70	14.60	12.50
	6.0	17.00	15.60	13.70	12.00
	6.5	15.10	14.40	12.85	11.30
	7.0	13.25	13.10	12.10	10.70
	7.5	12.00	11.85	11.50	10.10
	7.8	8.00	11.25	11.15	9.85
	8.0		10.90	10.70	9.60
	8.5		9.60	9.80	9.10
	9.0		8.80	9.00	8.65
	9.5		8.10	8.30	8.20
	10.0		7.50	7.70	7.80
	11.0		6.60	6.65	6.75
	12.0		5.65	5.85	5.95
	13.0		5.00	5.15	5.25
	14.0		4.45	4.60	4.70
	14.9		3.50	4.15	4.25
	15.0			4.10	4.20
	16.0			3.70	3.80
	17.0			3.35	3.45
	18.0			3.05	3.10
	18.4			2.65	3.00
	19.0				2.85
	20.0				2.60
	21.0				2.40
	22.0				2.05
Min. boom angle		0°	0°	0°	0°

4.4.2 Pembebanan Horizontal

1. Gaya tumbukan akibat kapal

   Besarnya energi kinetik (*Ef*) yang timbul saat kapal merapat ke dermaga dapat dihitung dengan persamaan dari *Guidelines for the Design of Fenders Systems* 2002, PIANC sebagai berikut (menggunakan kapal PSV):

$$Ef = \left(\frac{1}{2} \times Ms \times V^2\right) \times C_M \times C_E \times C_C \times C_S$$

   keterangan:

   Ef = Energi benturan normal (kNm)
   M_S = *Displacement tonnage* (ton)
   V = Kecepatan kapal saat merapat (m/s)
   C_M = Koefisien massa
   C_E = Koefisien eksentrisitas
   C_C = Koefisien bentuk tambatan
   C_S = Koefisien kekerasan

   a. Menentukan *Displacement tonnage* (Ms)

   Displacement tonnage merupakan berat total kapal dan muatannya pada saat kapal dimuati sampai *draft* maksimum. Dengan asumsi kapal *cargo less than* 10000 DWT, maka berdasarkan Tabel 4.6 dapat dihitung *Displacement Tonnage* nya.

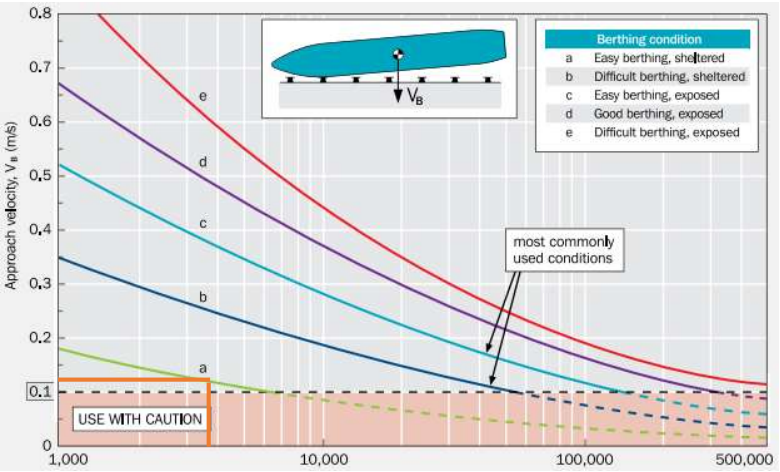
Tabel 4.6 Penentuan *displacement tonnage* kapal

Cargo ships (less than 10,000*DWT*) :	log (*DT*) = 0.550 + 0.899 log (*DWT*)
Cargo ships (10,000*DWT* or more) :	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-to-medium distance) :	log (*DT*) = 0.506 + 0.904 log (*GT*)
Roll-on/roll-off 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*)
Car carriers :	log (*DT*) = 1.915 + 0.588 log (*GT*)
Oil tankers :	log (*DT*) = 0.332 + 0.956 log (*DWT*)

(sumber: Technical Standards and Commentaries for Port and Harbour Facilities in Japan, 2002, hal. 17)

sehingga:
Log (DT) = 0,550 + 0,899 log (DWT)
= 0,550 + 0,899 log (3700)
= 3,758
DT = 5.727,96 ton

b. Menentukan kecepatan kapal bertambat (v)
Dengan anggapan bahwa area dermaga merupakan area terlindung dan kapal mudah bertambat, maka dapat ditentukan kecepatan kapal saat merapat ke dermaga menurut Gambar 4.16 dan Tabel 4.7 untuk kondisi a (*easy berthing, sheltered*).



Gambar 4.16 Grafik kecepatan kapal bertambat
(sumber: Guidelines for the Design of Fenders Systems, PIANC, 2002)

Tabel 4.7 Penentuan kecepatan kapal bertambat

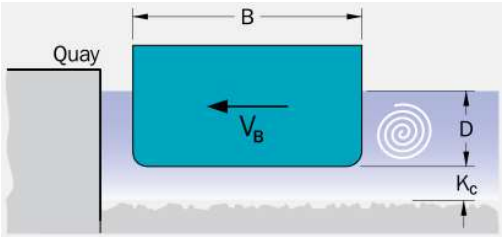
DWT	VELOCITY, V_B (m/s)				
	a	b	c	d	e
1,000	0.179	0.343	0.517	0.669	0.865
2,000	0.151	0.296	0.445	0.577	0.726
3,000	0.136	0.269	0.404	0.524	0.649
4,000	0.125	0.250	0.374	0.487	0.597
5,000	0.117	0.236	0.352	0.459	0.558
10,000	0.094	0.192	0.287	0.377	0.448
20,000	0.074	0.153	0.228	0.303	0.355
30,000	0.064	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: Guidelines for the Design of Fenders Systems, PIANC, 2002)

Dari gambar dan tabel di atas dapat diperoleh nilai v dengan cara interpolasi sebesar:

$$v = 0{,}136 + \frac{3700-3000}{4000-3000}(0{,}125-0{,}136) = 0{,}128 \text{ m/dt.}$$

c. Menentukan *virtual mass factor* (C_M)
Dalam menentukan C_M, digunakan peraturan standar PIANC (2002) yaitu dengan cara membandingkan nilai Kc yaitu kedalaman dari dasar kapal kondisi *draft* maksimum dengan D yaitu *draft* maksimum kapal (lihat Gambar 4.17).



PIANC (2002)	
for $\frac{K_C}{D} \le 0.1$	$C_M = 1.8$
for $0.1 \le \frac{K_C}{D} \le 0.5$	$C_M = 1.875 - 0.75\left[\frac{K_C}{D}\right]$
for $\frac{K_C}{D} \ge 0.5$	$C_M = 1.5$

*valid where $V_B \ge 0.08$m/s, $K_C \ge 0.1$D

where,
D = draft of vessel (m)
B = beam of vessel (m)
L_{BP} = length between perpendiculars (m)
K_C = under keel clearance (m)

Gambar 4.17 Perhitungan koefisien C_M
(sumber: Guidelines for the Design of Fenders Systems, PIANC, 2002)

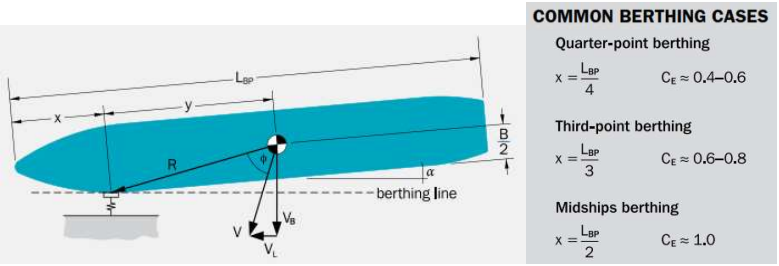
Sehingga nilai koefisien C_M sebesar:

$$\frac{Kc}{D} = \frac{1,7}{6,3} = 0,274$$

$$Cm = 1,875 - 0,75 \times \frac{Kc}{D} = 1,875 - 0,75 \times \frac{1,7}{6,3} = 1,67$$

d. Menentukan *eccentricity factor* (C_E)
Dalam menentukan koefisien eksentrisitas atau C_E digunakan pendekatan asumsi kapal menumbuk *fender* pada saat berlabuh. Terdapat tiga kemungkinan kondisi ketika kapal berlabuh, yaitu seperempat bagian kapal

menumbuk *fender* (*Quarter-point berthing*), sepertiga bagian kapal menumbuk *fender* (*third-point berthing*), dan setengah bagian kapal menumbuk *fender* (*mid-point berthing*).

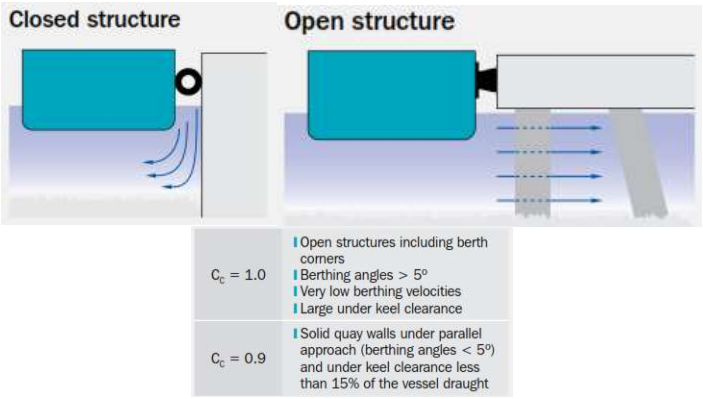


Gambar 4.18 Penentuan koefisien C_E

(sumber: Guidelines for the Design of Fenders Systems, PIANC, 2002)

Ditentukan berdasarkan kasus umum *continous bert* dengan asumsi awal kapal bertambat pada posisi sepertiga dari LoA. Maka dengan asumsi tersebut dapat ditentukan nilai C_E sebesar 0,8.

e. Menentukan *Cushion coeficient* (Cc)
Untuk koefisien Cc dipilih berdasarkan tipe konstruksi yang digunakan pada struktur yang direncanakan. Baik merupakan tipe struktur terbuka, tertutup maupun semi terbuka. Penentuan Koefisien Cc dapat dilihat pada Gambar 4.19. Untuk perhitungan efek dari bantalan dengan kondisi struktur dermaga berbentuk *open pier,* nilai Cc = 1.



Gambar 4.19 Penentuan koefisien Cc
(sumber: Guidelines for the Design of Fenders Systems, PIANC, 2002)

f. Menentukan *Softness coefficient* (Cs)
Koefisien Cs ditentukan untuk mengantisipasi pengaruh deformasi elastis terhadap keadaan kapal maupun konstruksi tambatan (lihat Gambar 4.20). Ditentukan dengan asumsi tidak terjadinya deformasi, sehingga harga Cs = 1.

C_S = 1.0	Soft fenders (δ_f > 150mm)
C_S = 0.9	Hard fenders ($\delta_f \leq$ 150mm)

Gambar 4.20 Penentuan koefisien Cs
(sumber: Guidelines for the Design of Fenders Systems, PIANC, 2002)

g. Menentukan Energi kinetik normal (Ef)

$$Ef = (\frac{1}{2} \times Ms \times v^2) \times C_M \times C_E \times C_C \times C_S$$

$$Ef = (0{,}5 \times 5727{,}96 \times 0{,}125^2) \times 1{,}67 \times 0{,}8 \times 1 \times 1$$

$$Ef = 62{,}69 \text{ kNm}$$

h. Menentukan energi kinetik kapal bertambat kondisi abnormal

$$E_A = Fs \times Ef$$

keterangan:
Fs = Faktor keamanan. Dapat dilihat pada Tabel 4.8.
Ef = Energi kinetik tumbukan normal

$E_A = Fs \times Ef = 1{,}75 \times 62{,}69 = 109{,}7$ kNm

Tabel 4.8 Faktor keamanan kapal bertambat abnormal

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

Source: PIANC 2002; Table 4.2.5.

(sumber: Guidelines for the Design of Fenders Systems, PIANC, 2002)

2. Gaya tarikan kapal pada *bollard*
Kapal rencana yang akan bertambat pada dermaga memiliki kapasitas 3.500 DWT dengan *Gross Tonnage* (GT) sebesar 3.147 ton. Dengan melihat Tabel 4.9 dapat diketahui gaya tarik kapal ini sebesar 350 kN. Gaya tarik kapal tersebut selanjutnya akan dibandingkan dengan gaya tarik kapal akibat arus dan angin.

Tabel 4.9 Penentuan gaya tarik kapal terhadap *bollard*

Gross tonnage (GT) of vessel (tons)	Tractive force acting on a mooring post (kN)	Tractive force acting on a bollard (kN)
$200 < GT \leqq 500$	150	150
$500 < GT \leqq 1{,}000$	250	250
$1{,}000 < GT \leqq 2{,}000$	350	250
$2{,}000 < GT \leqq 3{,}000$	350	350
$3{,}000 < GT \leqq 5{,}000$	500	350
$5{,}000 < GT \leqq 10{,}000$	700	500
$10{,}000 < GT \leqq 20{,}000$	1,000	700
$20{,}000 < GT \leqq 50{,}000$	1,500	1,000

(sumber: Technical Standards and Commentaries for Port and Harbour Facilities in Japan, 2002, tabel 2.2.1)

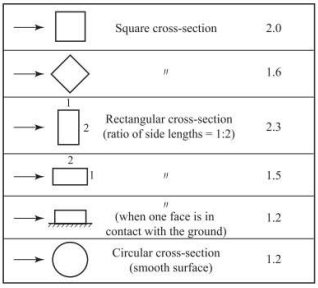
3. Beban angin yang bekerja pada kapal
   Berdasarkan analisis data angin, didapatkan angin dominan arah utara dengan kecepatan 2 – 4 m/s. Sehingga untuk perhitungan gaya angin pada kapal digunakan angin dengan kecepatan 4 m/s. Perhitungan gaya angin tersebut menggunakan persamaan berikut:

$$R_X = 0{,}5.\ \rho a \times U^2 \times A_T \times C_X$$
$$R_Y = 0{,}5.\ \rho a \times U^2 \times A_L \times C_Y$$

(sumber: Technical Standards and Commentaries for Port and Harbour Facilities in Japan, 2002, persamaan 2.2.11 dan 2.2.12)

keterangan :
R_X = Gaya angin arah X, searah kapal (kN)
R_Y = Gaya angin arah Y, tegak lurus kapal (kN)
C_X = Koefisien hambatan arah X = 1,5 (lihat Tabel 4.10)
C_Y = Koefisien hambatan arah Y = 2,3 (lihat Tabel 4.10)

Tabel 4.10 Koefisien hambatan angin



(sumber: Technical Standards and Commentaries for Port and Harbour Facilities in Japan, 2002, tabel 8.2.1)

Pa = Massa jenis angin = $1{,}23 \times 10^{-3}$ (t/m^3)
U = Kecepatan angin (m/s)
A_T = Luas permukaan kapal di atas permukaan air arah memanjang (m^2)
= Lebar × *(depth – draft)*
= $17{,}2 \times 1{,}5 = 25{,}8$ m^2
A_L = Luas permukaan kapal di atas permukaan air arah melintang (m^2)
= panjang seluruh kapal (Loa) x *(depth – draft)*
= 78,25 x 1,5 = 117,375 m^2

sehingga

$R_X = 0{,}5 \times \rho a \times U^2 \times A_T \times C_X$
$R_X = 0{,}5 \times 1{,}23 \times 10^{-3} \times 4^2 \times 25{,}8 \times 1{,}5 = 0{,}38$ kN
$R_Y = 0{,}5 \times \rho a \times U^2 \times A_L \times C_Y$
$R_Y = 0{,}5 \times 1{,}23 \times 10^{-3} \times 4^2 \times 117{,}375 \times 2{,}3 = 2{,}66$ Kn

4. Beban arus yang bekerja pada kapal
Berdasarkan analisis data arus didapatkan arus sebesar 0 – 0,1 m/dt dengan arah dominan yakni timur laut dan barat daya. Sehingga perhitungan gaya arus pada kapal digunakan arus sebesar 0,1 m/s. Untuk perhitungan gaya arus dapat digunakan persamaan berikut :

$$Rf = 0{,}0014 \times S \times Vx^2$$

$$R = 0.5 \times \rho_0 \times C \times Vy^2 \times B$$

(sumber: Technical Standards and Commentaries for Port and Harbour Facilities in Japan, 2002, persamaan 2.2.16 dan 2.2.17)

keterangan:

Rf = Beban tambat akibat arah arus sejajar dengan kapal (kN)

R = Beban tambat akibat arah arus tegak lurus dengan kapal (kN)

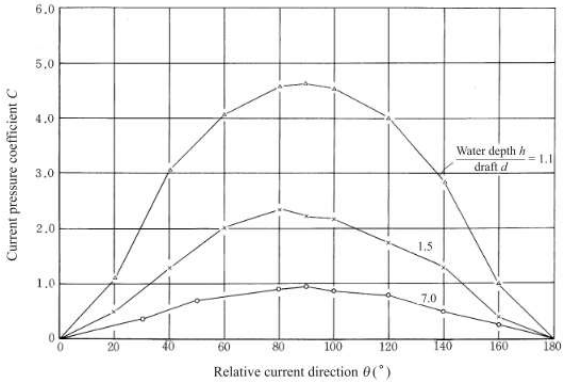
S = Luasan permukaan bawah kapal yang tenggelam dalam keadaan penuh (m^2)
= panjang seluruh kapal (Loa) x lebar kapal (B)
= 78,25 × 17,2 = 1.345,9 m^2

Vx = Kecepatan arus sejajar pantai (m/s) = 0,1 m/s

Vy = Kecepatan arus tegak lurus pantai (m/s) = 0,1m/s

ρ_0 = Massa jenis air laut (t/m^3) = 1,03 t/m^3

C = Koefisien tekanan arus = 2,1 (lihat Gambar 4.21)



Gambar 4.21 Koefisien tekanan arus

(sumber: Technical Standards and Commentaries for Port and Harbour Facilities in Japan, 2002, gambar 2.2.9)

B = proyeksi luas lambung kapal dibawah permukaan air (m^2)
= LoA panjang kapal x *draft*
= 78,25 x 6,3 = 492,975 m^2

sehingga:
Rf = $0{,}0014 \times S \times Vx^2$
Rf = $0{,}0014 \times 1345{,}9 \times 0{,}1 = 0{,}19$ kN
R = $0.5 \times \rho_0 \times C \times Vy^2 \times B$
R = $0.5 \times 1{,}03 \times 2{,}1 \times 0{,}1 \times 492{,}975 = 53{,}31$ kN

5. Beban gempa
Perhitungan beban gempa disesuaikan dengan SNI 1726 2012. Dengan kondisi sebagai berikut:
Lokasi : Kota Bontang Kalimantan Timur
Fungsi bangunan : Dermaga (industri)
- Menentukan kelas situs
Profil tanah di situs harus diklasifikasikan sesua dengan tabel Tabel 4.11 berdasarkan tanah lapisan 30 m paling atas (dalam hal ini pada lapisan kedalaman 8 m sampai dengan 38 m karena rencana pengerukan). Berdasarkan tabel Tabel 4.11, klasifikasi situs dapat ditentukan berdasarkan nilai N SPT rata – rata. Nilai N rata – rata dapat dihitung dengan persamaan berikut:

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

keterangan:
d*i* = tebal tiap lapisan (kedalaman 8 m - 38 m)
N*i* = nilai N rata – rata tiap lapisan (kedalaman 8 m - 38 m)

Berdasarkan Tabel 3.14 dan Tabel 3.15 pada BAB III maka:

$$N = \frac{30}{\frac{4}{13} + \frac{2}{18} + \frac{2}{30} + \frac{7}{50} + \frac{12}{23} + \frac{3}{27}} = 23{,}84$$

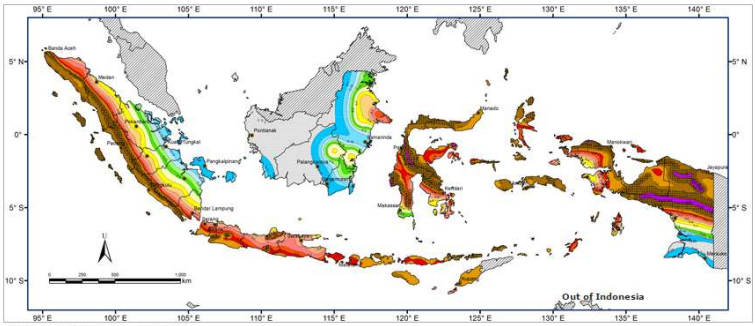
Sehingga kelas situs tanah termasuk SD (tanah sedang)

Tabel 4.11 Klasifikasi situs

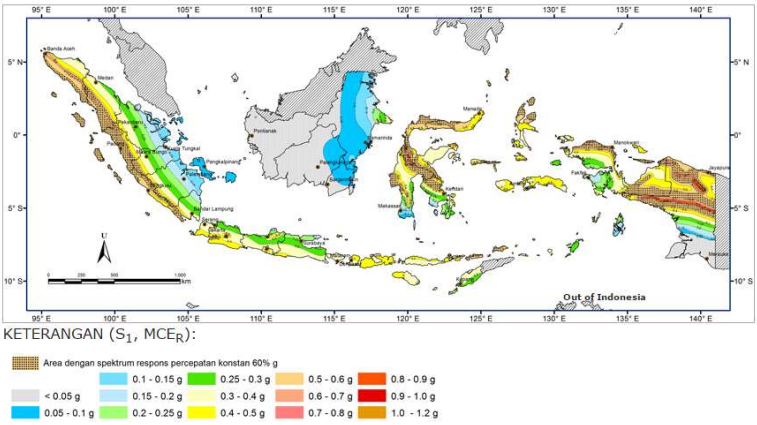
Kelas situs	$\overline{v}_s$ (m/detik)	$\overline{N}$ atau $\overline{N}_{ch}$	$\overline{s}_u$ (kPa)
SA (batuan keras)	>1500	N/A	N/A
SB (batuan)	750 sampai 1500	N/A	N/A
SC (tanah keras, sangat padat dan batuan lunak)	350 sampai 750	>50	≥100
SD (tanah sedang)	175 sampai 350	15sampai 50	50 sampai100
SE (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)

- Menentukan S_1 dan S_S
  Penentuan S_1 dan S_S sesuai dengan lokasi perencanaan dapat dilihat pada Gambar 4.22 dan Gambar 4.23.



Gambar 4.22 Gempa maksimum yang dipertimbangkan risiko-tertrget (MCER) untuk S_S
(sumber: SNI 1726 2012)



Gambar 4.23 Gempa maksimum yang dipertimbangkan risiko-tertrget (MCER) untuk S_1
(sumber: SNI 1726 2012)

Berdasarkan gambar diatas, Kota Bontang terletak pada daerah yang memiliki nilai S_S sebesar 0,2g dan S_1 sebesar 0,12g.

- Menentukan kategori risiko dan faktor keutamaan gempa.
  Penentuan kategori risiko dan faktor keutamaan gempa dapat dilihat pada Tabel 4.12 dan Tabel 4.13. Bangunan dermaga termasuk dalam kategori 2 dan memiliki faktor keutamaan gempa (I_e) sebesar 1.

Tabel 4.12 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 4.13 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)

- Menentukan koefisien situs Fa dan Fv
  Penentuan koefisien situs Fa dan Fv dapat dilihat pada Tabel 4.14 dan Tabel 4.15.

Tabel 4.14 Koefisien situs Fa

Kelas situs	Parameter respons spektral percepatan gempa (MCE_R) terpetakan pada perioda pendek, T=0,2 detik, S_s				
	$S_s \leq 0{,}25$	$S_s = 0{,}5$	$S_s = 0{,}75$	$S_s = 1{,}0$	$S_s \geq 1{,}25$
SA	0,8	0,8	0,8	0,8	0,8
SB	1,0	1,0	1,0	1,0	1,0
SC	1,2	1,2	1,1	1,0	1,0
SD	1,6	1,4	1,2	1,1	1,0
SE	2,5	1,7	1,2	0,9	0,9
SF	SS[b]				

CATATAN:

(a) Untuk nilai-nilai antara S_s dapat dilakukan interpolasi linier

(b) SS= Situs yang memerlukan investigasi geoteknik spesifik dan analisis respons situs-spesifik, lihat 6.10.1

(sumber: SNI 1726 2012)

Kelas situs = SD
Ss = 0,2 (≤0,25)
Fa = 1,6

Tabel 4.15 Koefisien situs Fv

Kelas situs	Parameter respons spektral percepatan gempa MCE_R terpetakan pada perioda 1 detik, S_1				
	$S_1 \leq 0{,}1$	$S_1 = 0{,}2$	$S_1 = 0{,}3$	$S_1 = 0{,}4$	$S_1 \geq 0{,}5$
SA	0,8	0,8	0,8	0,8	0,8
SB	1,0	1,0	1,0	1,0	1,0
SC	1,7	1,6	1,5	1,4	1,3
SD	2,4	2	1,8	1,6	1,5
SE	3,5	3,2	2,8	2,4	2,4
SF	SS[b]				

CATATAN :

(a) Untuk nilai-nilai antara S_1 dapat dilakukan interpolasi linier

(b) SS= Situs yang memerlukan investigasi geoteknik spesifik dan analisis respons situs-spesifik,lihat 6.10.1

(sumber: SNI 1726 2012)

Kelas situs = SD
S_1 = 0,12
Fv = $\frac{2-2{,}4}{0{,}2-0{,}1} \times (0{,}12 - 0{,}1) + 2{,}4 = 2{,}32$

- Menentukan S_{MS} dan S_{M1}
  S_{MS} = Fa × Ss = 1,6 × 0,2 = 0,32
  S_{M1} = Fv × S_1 = 2,32 × 0,12 = 0,278

- Menentukan nilai S_{DS} dan S_{D1}
  $S_{DS} = 2/3 \times S_{MS} = 2/3 \times 0{,}32 = 0{,}213$
  $S_{D1} = 2/3 \times S_{M1} = 2/3 \times 0{,}278 = 0{,}185$

- Menentukan T_0 dan T_S
  $T_0 = 0{,}2 \times S_{D1}/S_{DS} = 0{,}2 \times 0{,}869 = 0{,}174$
  $T_S = S_{D1}/S_{DS} = 0{,}869$

- Menentukan periode waktu getar alami fundamental (T)
  Nilai T dapat ditentukan dengan persamaan:

$$T = T_a \times C_u$$
$$T_a = C_t \times h_n^x$$

Nilai C_t dan x dapat ditentukan dengan Tabel 4.16 sedangkan nilai Cu dapat ditentukan dengan Tabel 4.17.

Tabel 4.16 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)

Tabel 4.17 Penentuan nilai C_u

Parameter percepatan respons spektral desain pada 1 detik, S_{D1}	Koefisien C_u
≥ 0,4	1,4
0,3	1,4
0,2	1,5
0,15	1,6
≤ 0,1	1,7

(sumber: SNI 1726 2012)

Dengan asumsi bahwa tinggi dermaga adalah 20 m dan sebagai rangka beton pemikul momen, maka:

$T_a = C_t \times h_n^x = 0{,}0466 \times 20^{0{,}9} = 0{,}69$ ($T_0 < T_a < T_S$)
$T = T_a \times C_u = 0{,}69 \times 1{,}5 = 1{,}035$
$Sa = S_{D1} / T = 0{,}185 / 1{,}035 = 0{,}179$

- Menentukan koefisien respon seismik (Cs)
  Koefisien respon seismik Cs harus ditentukan sesuai dengan SNI 03-1726-2012 Persamaan 7.8-2.

$$Cs = \frac{SDS}{R/Ie}$$

keterangan:
S_{DS} = percepatan respon spektrum dalam rentan periode pendek
R = faktor modifikasi respon (Tabel 4.18) = 5
Ie = Faktor keutamaan gempa

Tabel 4.18 Faktor R

Tabel 9-Faktor R, C_d, dan Ω_o untuk sistem penahan gaya gempa (lanjutan)

Sistem penahan-gaya seismik	Koefisien modifikasi respons, R^a	Faktor kuat-lebih sistem, Ω_0^g	Faktor pembesaran defleksi, C_d^b	Batasan sistem struktur dan batasan tinggi struktur, h_n (m)[c]				
				Kategori desain seismik				
				B	C	D[d]	E[d]	F[e]
24. Dinding rangka ringan dengan panel geser dari semua material lainnya	2½	2½	2½	TB	TB	10	TB	TB
25. Rangka baja dengan bresing terkekang terhadap tekuk	8	2½	5	TB	TB	48	48	30
26. Dinding geser pelat baja khusus	7	2	6	TB	TB	48	48	30
C. Sistem rangka pemikul momen								
1. Rangka baja pemikul momen khusus	8	3	5½	TB	TB	TB	TB	TB
2. Rangka batang baja pemikul momen khusus	7	3	5½	TB	TB	48	30	TI
3. Rangka baja pemikul momen menengah	4½	3	4	TB	TB	10[h,i]	TI[h]	TI[i]
4. Rangka baja pemikul momen biasa	3½	3	3	TB	TB	TI[h]	TI[h]	TI[i]
5. Rangka beton bertulang pemikul momen khusus	8	3	5½	TB	TB	TB	TB	TB
6. Rangka beton bertulang pemikul momen menengah	5	3	4½	TB	TB	TI	TI	TI
7. Rangka beton bertulang pemikul momen biasa	3	3	2½	TB	TI	TI	TI	TI
8. Rangka baja dan beton komposit pemikul momen khusus	8	3	5½	TB	TB	TB	TB	TB
9. Rangka baja dan beton komposit pemikul momen menengah	5	3	4½	TB	TB	TI	TI	TI
10. Rangka baja dan beton komposit terkekang parsial pemikul momen	6	3	5½	48	48	30	TI	TI

(sumber: SNI 1726 2012)

sehingga:

$$Cs = \frac{0{,}213}{5 / 1} = 0{,}0426$$

$$Cs\ max = \frac{SD1}{T \times R / Ie} = \frac{0{,}185}{1{,}035 \times 5 / 1} = 0{,}0357$$

$Cs\ min = 0{,}044 \times S_{DS} \times Ie = 0{,}044 \times 0{,}213 \times 1 = 0{,}0094$

Maka diambil Cs = 0,0357

- Sedangkan koefisien – koefisien beban gempa yang diambil dari data Pusat Penelitian dan Pengembangan Pemukiman Kementerian Pekerjaan Umum untuk Kota Bontang dengan tanah sedang dapat dilihat pada Tabel 4.19.

Tabel 4.19 Nilai spektral percepatan di permukaan

PGA (g)	0.088	PSA (g)	0.141
SS (g)	0.203	SMS (g)	0.324
S1 (g)	0.118	SM1 (g)	0.275
CRS	1.026	SDS (g)	0.216
CR1	1.341	SD1 (g)	0.184
FPGA	1.6	T0 (detik)	0.17
FA	1.6	TS (detik)	0.849
FV	2.326		

(sumber: puskim.go.id)

4.5 Kriteria *Fender* dan *Bollard*

4.5.1 Fender

1. Pemilihan tipe *fender*

   Dari perhitungan gaya tumbukan kapal diperoleh Ef maksimum = 109,7 kNm. Kemudian sistem *fender* direncanakan menggunakan *Unit Elements* setelah mempertimbangkan beberapa hal. Fender yang digunakan berdasarkan katalog *Trelleborg Marine Systems.* Berdasarkan keterangan dimensi *fender* UE pada Tabel 4.20, besar gaya Ef maksimum dapat diterima oleh satu elemen dengan panjang 1 m. Sedangkan *fender* yang direncanakan menggunakan dua elemen dengan panjang masing – masing 1,5 m. Sehingga gaya tumbukan kapal yang diterima oleh satu elemen *fender* UE dengan panjang 1,5 m (asumsi *fender* tertumbuk keseluruhan) adalah:

$$\text{Ef} = \frac{109{,}7\ \text{kNm}}{2 \times 1{,}5} = 36{,}57\ kNm$$

   Berdasarkan gaya Ef maksimum yang terjadi pada satu elemen dan kecepatan kapal saat bertambat (0,128 m/s), maka dipilih *fender* yang paling sesuai yaitu *fender* UE RPD 500 dengan kemampuan menerima gaya sebesar

41,6 kNm dan reaksi yang ditimbulkan sebesar 2 × 182,5 kN = 365 kN.

Tabel 4.20 Kekuatan *fender* UE sesuai dimensinya

			E0.9	E1.0	E1.1	E1.2	E1.3	E1.4	E1.5	E1.6	E1.7	E1.8	E1.9	E2.0
250	CV	E	8.1	9.0	9.3	9.6	9.9	10.2	10.5	10.8	11.1	11.4	11.7	12.0
		R	79.0	88.0	90.0	93.0	95.0	98.0	100.0	103.0	106.0	108.0	111.0	113.0
	RPD	E_R	9.6	10.6	11.0	11.3	11.7	12.0	12.4	12.7	13.1	13.5	13.8	14.2
		R_R	93.2	103.8	106.2	109.7	112.1	115.6	118.0	121.5	125.1	127.4	131.0	133.3
300	CV	E	11.7	13.0	13.4	13.8	14.2	14.6	15.0	15.4	15.8	16.2	16.6	17.0
		R	95.0	105.0	108.0	111.0	114.0	117.0	121.0	124.0	127.0	130.0	133.0	136.0
	RPD	E_R	13.7	15.2	15.7	16.1	16.6	17.1	17.6	18.0	18.5	19.0	19.4	19.9
		R_R	111.2	122.9	126.4	129.9	133.4	136.9	141.6	145.1	148.6	152.1	155.6	159.1
400	CV	E	21.0	23.0	24.0	24.0	25.0	26.0	27.0	27.0	28.0	29.0	29.0	30.0
		R	113.0	126.0	130.0	134.0	137.0	141.0	145.0	149.0	153.0	156.0	160.0	164.0
	RPD	E_R	24.4	26.7	27.8	27.8	29.0	30.2	31.3	31.3	32.5	33.6	33.6	34.8
		R_R	131.1	146.2	150.8	155.4	158.9	163.6	168.2	172.8	177.5	181.0	185.6	190.2
500	CV	E	32.4	36.0	37.1	38.2	39.3	40.4	41.5	42.6	43.7	44.8	45.9	47.0
		R	142.0	158.0	163.0	167.0	172.0	177.0	182.0	186.0	191.0	196.0	200.0	205.0
	RPD	E_R	37.4	41.6	42.9	44.1	45.4	46.7	47.9	49.2	50.5	51.7	53.0	54.3
		R_R	164.0	182.5	188.3	192.9	198.7	204.4	210.2	214.8	220.6	226.4	231.0	236.8
550	CV	E	40.0	44.0	45.0	47.0	48.0	49.0	51.0	52.0	53.0	54.0	56.0	57.0
		R	157.0	174.0	179.0	184.0	190.0	195.0	200.0	205.0	210.0	216.0	221.0	226.0
	RPD	E_R	46.0	50.6	51.8	54.1	55.2	56.4	58.7	59.8	61.0	62.1	64.4	65.6
		R_R	180.6	200.1	205.9	211.6	218.5	224.3	230.0	235.8	241.5	248.4	254.2	259.9
600	CV	E	47.0	52.0	54.0	55.0	57.0	58.0	60.0	62.0	63.0	65.0	66.0	68.0
		R	171.0	190.0	196.0	201.0	207.0	212.0	218.0	224.0	229.0	235.0	240.0	246.0
	RPD	E_R	53.6	59.3	61.6	62.7	65.0	66.1	68.4	70.7	71.8	74.1	75.2	77.5
		R_R	194.9	216.6	223.4	229.1	236.0	241.7	248.5	255.4	261.1	267.9	273.6	280.4

* In accordance with PIANC. [Units: kNm, kN]

Values are for a single element, 1000mm long.

***Note:**

1. CV: performance data at slow speed constant velocity (2-8 cm/min) compression at 23 ±5°C temperature and 0° compression angle.
2. RPD: Rated performance data, in accordance with PIANC with initial high speed berthing velocity 0.15 m/s.
   RPD = CV (performance) x VF (velocity factor for Natural and Synthetic rubber blend) x TF (temperature factor) x AF (angle factor).
   RPD is reported at 23 ±5°C temperature and 0° compression angle, therefore TF = 1, AF = 1.

(sumber: Trelleborg Marine Systems Catalog, 2015)

Sedangkan dimensi dari fender UE 500 dapat dilihat pada Tabel 4.21 dan Gambar 4.24. Didapatkan:

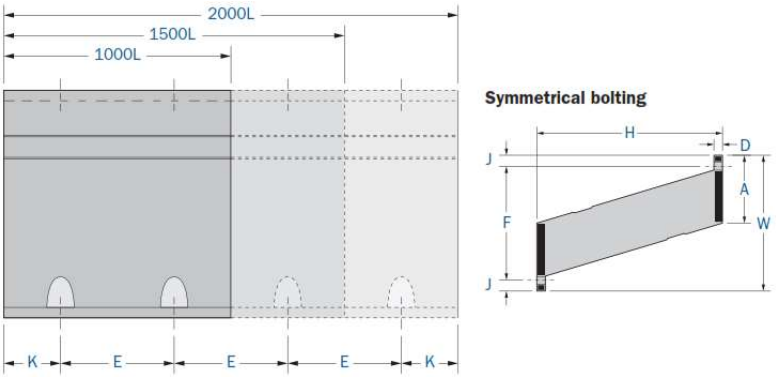
- Berat = 135 kg/m × 2 × 1,5 = 405 kg/m
- Panjang = 1,5 m
- Tinggi = 0,5 m

Tabel 4.21 Dimensi *fender* UE sesuai jenisnya

Element	H	A	B*	C*	D	F	J	M	W	K	E	Anchors / Head bolts	Weight
UE250	250	109	114	71	20 – 27	152	33	25 – 35	218	50	300	M20	38
UE300	300	130	138	84	23 – 32	184	38	30 – 40	260	50	300	M24	54
UE400	400	165	187	102	25 – 35	248	41	30 – 40	330	250	500	M24	89
UE500	500	195	229	119	28 – 37	306	42	40 – 52	390	250	500	M30	135
UE550	550	210	252	126	32 – 38	336	42	40 – 52	420	250	500	M30	153
UE600	600	225	275	133	35 – 45	366	42	40 – 52	450	250	500	M30	179
UE700	700	270	321	163	35 – 45	428	56	50 – 65	540	250	500	M36	247
UE750	750	285	344	170	38 – 45	458	56	50 – 65	570	250	500	M36	298
UE800	800	300	366	178	38 – 45	488	56	50 – 65	600	250	500	M36	338
UE900	900	335	412	198	42 – 50	550	60	57 – 80	670	250	500	M42	410
UE1000	1000	365	458	212	46 – 58	610	60	57 – 80	730	250	500	M42	509
UE1200	1200	435	557	252	46 – 60	748	61	65 – 90	870	250	500	M48	717
UE1400	1400	495	642	281	50 – 65	856	67	65 – 90	990	250	500	M48	948
UE1600	1600	565	733	321	50 – 65	978	76	75 – 100	1130	250	500	M56	1236

* Asymmetrical bolting version only [Units: mm, kg/m]

(sumber: Trelleborg Marine Systems Catalog, 2015)



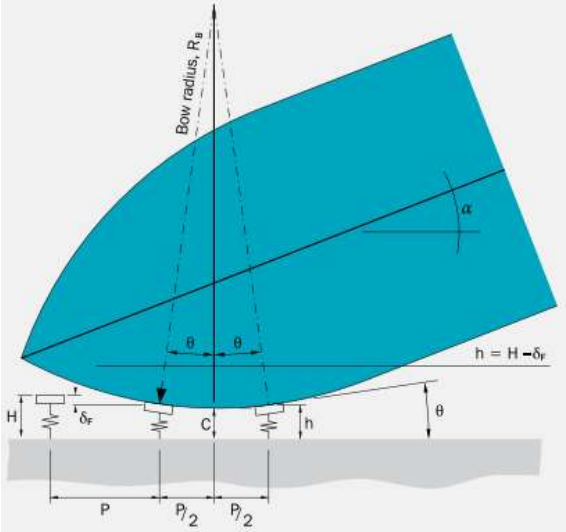
Gambar 4.24 Keterangan dimensi *fender* UE
(sumber: Trelleborg Marine Systems Catalog, 2015)

2. Pemasangan *fender*
   Jarak pemasangan fender dapat dihitung menggunakan persamaan berikut:

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

keterangan:
P = *pitch of fender* / jarak antar *fender* (lihat Gambar 4.25)
R_B = *bow radius (m)*

h = *fender projection when compressed, measured at centerline of fender*
C = *clearance between vessel and dock (C should be 5–15% of the undeflected fender projection, including panel)*



Gambar 4.25 Penentuan jarak antar fender
(sumber: Trelleborg Marine Systems Catalog, 2015)

penentuan R_B

$$R_B = \frac{1}{2}\left(\frac{B}{2} + \frac{L_{OA}^2}{8B}\right)$$

keterangan:
R_B = *bow radius (m)*
B = *beam of vessel (m)*
LoA = *vessel length overall (m)*

$$R_B = \frac{1}{2}\left(\frac{18{,}8}{2} + \frac{78{,}8^2}{8\times 18{,}8}\right) = 25{,}34 \text{ m}$$

penentuan defleksi *fender*:
besar defleksi pada fender dapat dilihat pada tabel Gambar 4.26.

D_i (%)	0	5	10	15	20	25	30	35	40	45	50	55	**57.5**	62.5
E_i (%)	0	1	5	12	21	32	43	54	65	75	84	95	**100**	113
R_i (%)	0	23	47	69	87	97	100	97	90	85	84	92	**100**	121

Gambar 4.26 Besar defleksi pada *fender*
(sumber: Trelleborg Marine Systems Catalog, 2015)

maka defleksi yang terjadi pada *fender* dengan E sebesar 88 % (36,57 kNm / 41,6 kNm) adalah : $d = 50 + \frac{88-84}{95-84}(55-50) = 51{,}8$ %.

penentuan h:
h = H – defleksi = (0,5 m + 0,15 m) – (0,5 × 0,518) m = 0,39 m

penentuan C:
C = 0,15 × H = 0,05 × 0,65 = 0,033 m

sehingga:

$$P \leq 2\sqrt{25{,}34^2-(25{,}34-0{,}39+0{,}033)^2}=8{,}47 \text{ m}$$

Maka jarak pemasangan antar *fender* arah horizontal mengikuti jarak antar portal melintang dermaga yaitu 7 m.

3. Pemilihan panel *fender*
Panel vertikal pada pemasangan *fender* ini perlu direncanakan karena kapal yang akan bersandar memiliki *freeboard* yang relatif kecil (1,5 m). Dengan pemasangan panel ini diharapkan kapal dapat menumbuk pada *fender* saat kondisi muka air surut, bukan menumbuk pada tiang pancang. Selain itu karena bidang sentuh *fender* tipe *Unit Elements* ini memiliki bidang sentuh dengan kapal yang

kecil (0,67 m^2), sehingga panel dapat mengamankan badan kapal dari kemungkinan kerusakan.

Elevasi dermaga yang direncanakan adalah + 3,5 mLWS, sedangkan perencanaan panel *fender* dimana bagian ujung atas panel dipasang 0,5 m dibawah elevasi dermaga dan bagian ujung bawah dipasang 0,5 m diatas elevasi 0 mLWS, maka diperoleh tinggi panel fender = 2,5 m. Kemudian direncanakan lebar panel *fender* = 1 m. Posisi panel ini terhadap kapal saat muka air surut dan pasang dapat dilihat pada Gambar 4.27 dan Gambar 4.28.

Untuk kontrol kontak panel dengan kapal dapat dihitung dengan persamaan berikut:

$$P = \frac{R}{W \,.\, H} \leq Pp$$

keterangan:
P = tekanan kontak lambung kapal (kN/m^2)
R = reaksi maksimum fender (kN)
W = lebar panel (m)
H = tinggi panel (m)
Pp = tekanan kontak lambung izin kapal (kN/m^2). Lihat Tabel 4.22. Digunakan 400 kN/m^2

sehingga:

$$P = \frac{365}{1 \,.\, 2{,}5} = 146 \text{ kN/m}^2 \leq 400 \text{ kN/m}^2$$

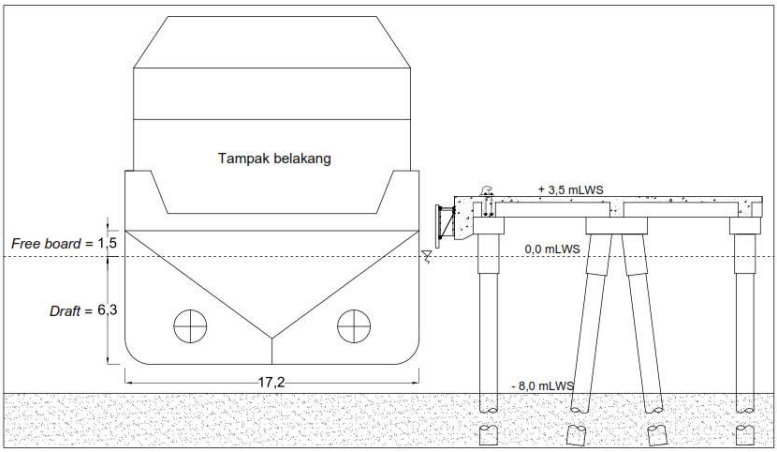
Maka berdasarkan perhitungan tersebut, panel *fender* berukuran 2,5 x 1 m dapat digunakan.

Tabel 4.22 Tekanan kontak lambung kapal

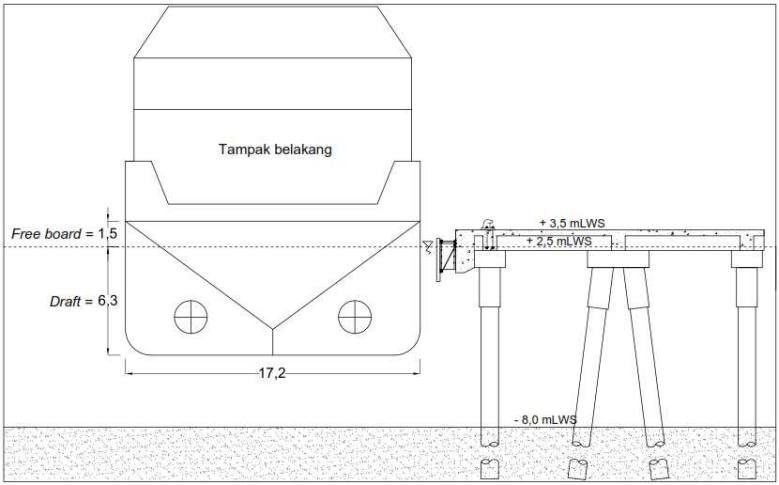
Table 4.4.1. Hull Pressure Guide

Type of vessel	Hull Pressure kN/m²
Container vessels 1st and 2nd generation	<400
3rd generation (Panamax)	<300
4th generation	<250
5th and 6th generation (Superpost Panamax)	<200
General cargo vessels	
=/< 20.000 DWT	400-700
> 20.000 DWT 40	<400
Oil tankers	
=/< 60.000 DWT	<300
> 60.000 DWT	<350
VLCC	150-200
Gas carriers (LNG /LPG)	<200
Bulk carriers	<200
SWATH	}
RO-RO vessels	} these vessels are usually belted
Passenger Vessels	}

(PIANC Guidelines for the Design of Fenders Systems 2002, tabel 4.4.1)

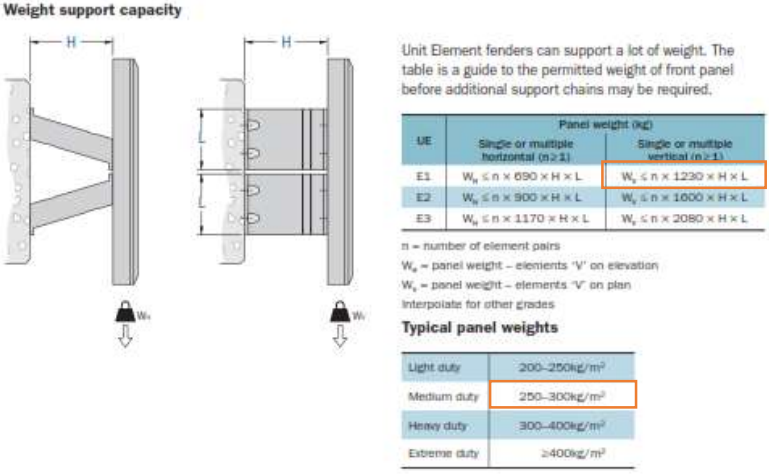


Gambar 4.27 Posisi *panel fender* terhadap kapal saat air surut



Gambar 4.28 Posisi *panel fender* terhadap kapal saat air pasang

4. Kebutuhan rantai panel tambahan
   Kontrol kemampuan *fender* dalam menopang panel dapat dilihat pada Gambar 4.29.



Weight support capacity

Unit Element fenders can support a lot of weight. The table is a guide to the permitted weight of front panel before additional support chains may be required.

UE	Panel weight (kg)	
	Single or multiple horizontal (n ≥ 1)	Single or multiple vertical (n ≥ 1)
E1	$W_H \leq n \times 690 \times H \times L$	$W_V \leq n \times 1230 \times H \times L$
E2	$W_H \leq n \times 900 \times H \times L$	$W_V \leq n \times 1600 \times H \times L$
E3	$W_H \leq n \times 1170 \times H \times L$	$W_V \leq n \times 2080 \times H \times L$

n = number of element pairs
W_H = panel weight – elements 'H' on elevation
W_V = panel weight – elements 'V' on plan
Interpolate for other grades

Typical panel weights

Light duty	200–250kg/m²
Medium duty	250–300kg/m²
Heavy duty	300–400kg/m²
Extreme duty	≥400kg/m²

Gambar 4.29 Kemampuan *fender* menopang panel

sehingga:

$$Wv \leq n \times 1.230\ kg/m^2 \times H \times L$$
$$2{,}5\ m^2 \times 300\ kg/m^2 \leq 1 \times 1.230\ kg/m^2 \times 0{,}5 \times 1{,}5$$
$$750\ kg \leq 992{,}5\ kg$$

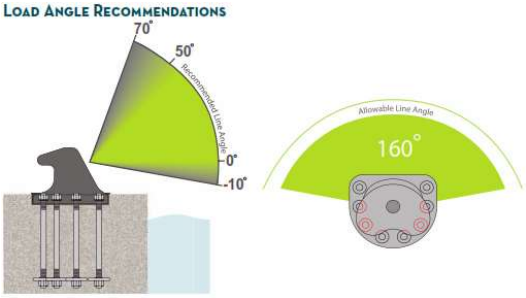
Maka dari kontrol diatas, panel tidak memerlukan rantai tambahan unrtuk menopang. Namun karena adanya kemungkinan gaya horizontal yang bekerja pada bagian bawah panel saat kapal menumbuk maka diperlukan rantai untuk menahan gaya tersebut.

4.5.2 Bollard

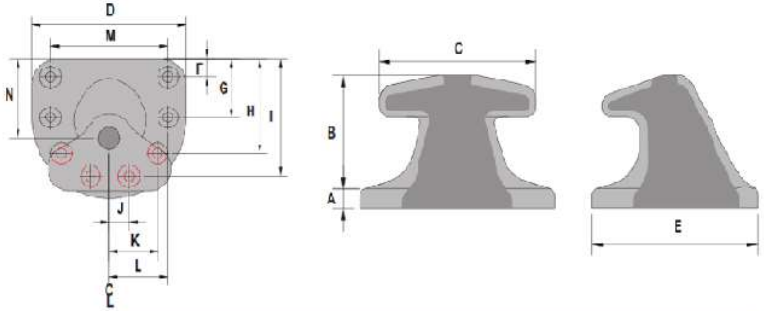
1. Gaya tarik *bollard*
   Berdasarkan perhitungan gaya tarik kapal terhadap *bollard* serta beban angin dan arus yang bekerja pada kapal saat bertambat maka dapat diketahui:
   - Gaya tarik kapal terhadap *bollard* = 350 kN
   - Gaya tarik arah memanjang (akibat angin dan arus) = 0,57 kN
   - Gaya tarik arah melintang (akibat angin dan arus) = 55,97 kN

   Dari hasil tersebut maka gaya tarik *bollard* yang digunakan adalah gaya akibat tarikan kapal (yang terbesar) yakni 350 kN.

2. Pemilihan tipe *bollard*
   Dalam perencanaan ini digunakan *bollard* tipe *T-Head* MT 50 (kekuatan 50 ton). Pertimbangan pemilihan tipe ini adalah karena kekuatan *bollard* yang sudah mampu menahan tarikan sebesar 350 kN atau sekitar 35,69 ton dan juga memiliki sudut tarikan yang cukup besar. Berdasarkan *Maritime International Bollard Catalog*, sudut tarikan, dimensi dan spesifikasi *bollard* dapat dilihat pada Gambar 4.30, Gambar 4.31 dan Gambar 4.32



Gambar 4.30 Sudut tarikan beban terhadap *bollard*
(sumber: Maritime International Bollard Catalog, 2010)



	Standard Bollard Capacity (Metric Tonnes)									
Metric Dimensions (mm)	MT 10	MT 15	MT 20	MT 30	MT 50	MT 75	MT 100	MT 125	MT 150	MT 200
A	47	52	54	57	70	80	80	87	93	97
B	199	219	240	250	308	354	413	458	492	521
C	305	335	351	366	451	518	610	671	719	762
D	381	419	438	457	564	648	762	838	899	952
E	330	363	380	396	489	561	660	726	779	826
F	44	49	51	53	66	76	89	98	105	111
G	-	-	-	-	-	-	305	335	360	349
H	-	-	232	242	298	298	496	546	586	559
I	243	267	329	343	423	463	572	629	674	694
J	103	114	0	0	0	105	0	0	0	119
K	-	-	152	159	196	241	195	215	231	299
L	-	-	-	-	-	-	291	320	343	365
M	292	321	336	351	432	497	584	643	689	730
N	189	208	217	226	279	321	377	415	445	472
Bolt Size	M24	M24	M24	M30	M36	M42	M42	M48	M48	M56
Bolt Length	450	450	450	450	600	600	600	750	750	915
Bolt Qty	4	4	5	5	5	6	7	7	7	8

Gambar 4.31 Dimensi *bollard*
(sumber: Maritime International Bollard Catalog, 2010)

Cast Steel ASTM Specifications				
ASTM Grade	Tensile Strength Min. ksi [MPa]	Yield Strength Min. ksi [MPa]	Elongation in 2 in. or 50mm, Min %	Reduction of Area, Min. %
A27 Gr. 65-35	65 [450]	35 [240]	24	35
A27 Gr. 70-36	70 [485]	36 [250]	22	30
A27 Gr. 70-40	70 [485]	40 [275]	22	30
A148 Gr. 80-50	80 [550]	50 [345]	22	35

Ductile Iron ASTM Specifications				
ASTM Grade	Tensile Strength Min. ksi [MPa]	Yield Strength Min. ksi [MPa]	Elongation in 2 in. or 50mm, Min %	Reduction of Area, Min %
A536 Gr. 65-45-12	65 [448]	45 [310]	12	N/A
A536 Gr. 80-55-06	80 [552]	55 [379]	6	N/A

Gambar 4.32 Spesifikasi *bollard*
(sumber: Maritime International Bollard Catalog, 2010)

3. Pemasangan *bollard*
   Jarak pemasangan antar *bollard* arah horizontal mengikuti jarak antar portal melintang dermaga yaitu 7 m.

"Halaman ini sengaja dikosongkan"

BAB V
EVALUASI LAYOUT

5.1 Umum

Evaluasi *layout* merupakan salah satu tahapan dalam tugas akhir perencanaan dermaga ini yang bertujuan untuk melakukan tinjauan ulang *layout* rencana sebelumnya yang sudah ada. Hal ini dikarenakan ada beberapa komponen yang perlu disesuaikan dalam perencanaan dermaga. Dengan adanya evaluasi *layout* ini diharapkan *layout* perairan dan daratan yang akan digunakan benar – benar sesuai dengan kebutuhan dan standar yang ada. Hasil dari tahapan ini adalah *layot* perairan dan daratan dari dermaga serta *floating pontoon* yang telah sesuai dengan kebutuhan dan standar yang ada.

5.2 Prosedur Bongkar dan Muat

Kapal MPSV / PSV ini merupakan kapal yang dimiliki oleh pihak pengelola pelabuhan yang berfungsi untuk melayani kegiatan operasional pelabuhan dan kapal – kapal lainnya. Untuk memasuki area pelabuhan, kapal ini tidak memerlukan izin terlebih dahulu, misalnya dengan surat izin untuk bertambat dan melakukan bongkar muat.

5.2.1 Proses bongkar

Prosedur bongkar muatan untuk kapal MPSV / PSV bongkar adalah sebagai berikut:

1. Awak kapal melakukan koordinasi dengan petugas pelabuhan apakah kapal aman untuk bertambat dan melakukan proses bongkar. Perlu dipastikan juga agar tidak ada kapal yang bertambat di *Jetty 1*.
2. Kapal memasuki alur masuk dan dapat melakukan pengereman di sepanjang *stopping distance*.
3. Kapal berputar di kolam putar, kemudian menuju dermaga.
4. Memulai proses bertambat dengan memasang tali penambat ke dermaga. Mesin penggerak kapal dimatikan.

5. Petugas melakukan koordinasi untuk memulai proses bongkar.
6. *Crawler crane* masuk menuju ke dermaga.
7. Truk untuk mengangkut muatan yang dibongkar dari kapal masuk menuju dermaga.
8. Proses bongkar dimulai. *Crawler crane* mengangkat muatan dari kapal kemudian dipindahkan ke truk hingga seluruh muatan selesai di pindahkan untuk dibongkar.
9. Truk untuk proses bongkar meninggalkan dermaga.
10. *Crawler crane* meninggalkan dermaga.
11. Petugas berkoordinasi bahwa proses bongkar telah selesai dilakukan.
12. Mesin penggerak kapal dinyalakan kemudian tali tambat dilepaskan.
13. Kapal meninggalkan dermaga. Proses bongkar telah selesai.

5.2.2 Proses muat

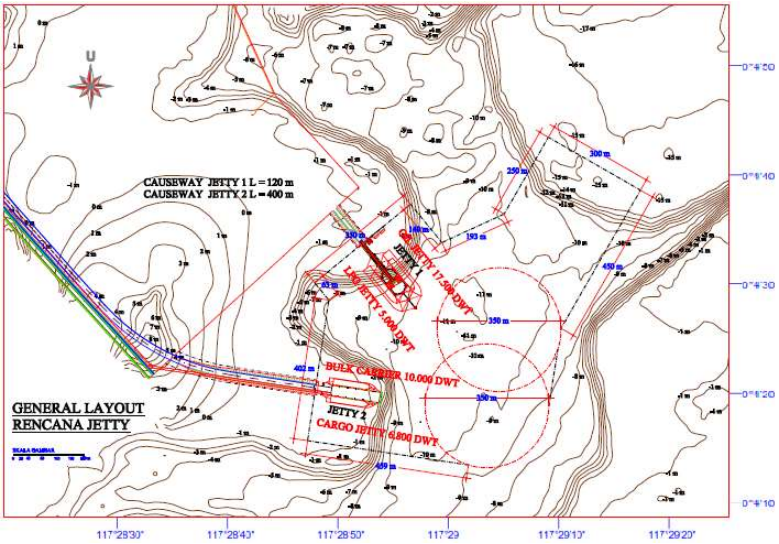
Prosedur muat muatan untuk kapal MPSV / PSV bongkar adalah sebagai berikut:

1. Awak kapal melakukan koordinasi dengan petugas pelabuhan apakah kapal aman untuk bertambat & melakukan proses muat. Perlu dipastikan juga agar tidak ada kapal yang bertambat di *Jetty 1*.
2. Kapal memasuki alur masuk dan dapat melakukan pengereman di sepanjang *stopping distance*.
3. Kapal berputar di kolam putar, kemudian menuju dermaga.
4. Memulai proses bertambat dengan memasang tali penambat ke dermaga. Mesin penggerak kapal dimatikan.
5. Petugas melakukan koordinasi untuk memulai proses muat.
6. *Crawler crane* masuk menuju ke dermaga.
7. Truk untuk mengangkut muatan yang dimuat ke kapal masuk menuju dermaga.

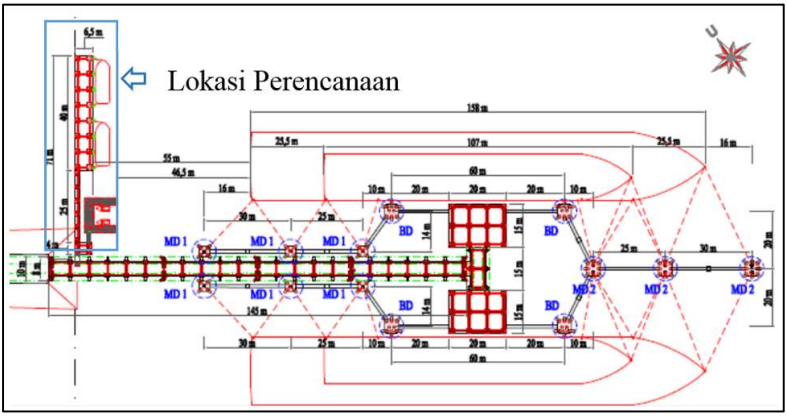
8. Proses muat dimulai. *Crawler crane* mengangkat muatan dari truk kemudian dipindahkan ke kapal hingga seluruh muatan selesai di pindahkan untuk dimuat ke kapal.
9. Truk untuk proses muat meninggalkan dermaga.
10. *Crawler crane* meninggalkan dermaga.
11. Petugas berkoordinasi bahwa proses muat telah selesai dilakukan.
12. Mesin penggerak kapal dinyalakan kemudian tali tambat dilepaskan.
13. Kapal meninggalkan dermaga. Proses muat telah selesai.

5.3 *Layout* Rencana Awal

Dermaga *open pier* pada *Jetty 1* di perairan Kota Bontang direncanakan bisa melayani kapal MPSV atau PSV 3.500 DWT. Sedangkan untuk *floating pontoon* direncanakan untuk melayani *tugboat* maupun *crewboat* dengan kapasitas 12 penumpang serta mesin 750 Hp. *Layout* rencana awal yang digunakan dalam tugas akhir ini mengacu pada rencana pembangunan dermaga *Jetty 1* dan *Jetty 2* oleh tim LPPM – ITS Surabaya. Layout ini dapat dilihat pada Gambar 5.1. Sedangkan untuk *layout* daratan rencana awal dapat dilihat pada Gambar 5.2. Berdasarkan *layout* tersebut, dapat dilihat dimensi dari masing – masing *layout* rencana awal pada Tabel 5.1.



Gambar 5.1 Layout umum rencana *Jetty 1* dan *Jetty 2*
(*sumber: LPPM-ITS Surabaya*)



Gambar 5.2 *Layout* daratan rencana awal *Jetty 1*
(*sumber: LPPM-ITS Surabaya*)

Tabel 5.1 Dimensi layout rencana awal dermaga MPSV/PSV

No.	Rencana	Dimensi	Keterangan
1	Area penjangkaran	-	Tidak ditentukan
2	Alur masuk	-	Tidak ditentukan
3	Kolam putar	-	Tidak ditentukan
4	Kolam dermaga		
	a. Panjang	± 40,0 m	Untuk 2 dermaga
	b. Lebar	55,0 m	Dari sisi belakang kapal tanker *Jetty 1*
	c. Kedalaman	- 1,0 mLWS	-
5	Dermaga *open pier*		
	Panjang	40,0 m	Untuk 2 dermaga
	Lebar	6,5 m	-
	Elevasi	-	-
6	*Trestle*		
	Panjang	25,0 m	-
	Lebar	1,5 m	-
	Elevasi	-	-
7	*Floating pontoon*		
	Panjang	± 10,0 m	-
	Lebar	± 10,0 m	-
	Elevasi	-	-

5.4 Evaluasi *Layout* Perairan

5.4.1 Area penjangkaran

Pada perencanaan ini tidak dibutuhkan area penjangkaran. Hal ini dikarenakan kapal MPSV / PSV dapat langsung bertambat ke dermaga tanpa menunggu terlebih dahulu di area penjangkaran.

5.4.2 Alur masuk

1. Tipe alur masuk
   Seperti yang telah dijelaskan pada sub bab sebelumnya, jumlah dermaga ini berjumlah 1 dan lalu – lintas kapal dianggap kurang dari dua unit per jam. Dengan data tersebut dermaga memiliki kondisi lalu lintas yang cukup kecil. Sehingga tipe alur masuk dapat ditentukan *sebagai one way traffic*.

2. Panjang alur masuk
   Kecepatan maksimum kapal yang direncanakan melalui alur ini sebesar 14 - 16 knot. Dengan asumsi bahwa kapal terisi penuh, maka panjang alur masuk dapat dihitung dengan persamaan berikut:

$$\text{Sd min} = 7 \times \text{LoA}$$
$$\text{Sd min} = 7 \times 78{,}25 = 547{,}75 \text{ m} \simeq 548 \text{ m}$$

3. Lebar alur masuk
   Lebar alur masuk *one way traffic* dapat dihitung dengan persamaan berikut:

$$W = 5 \times \textit{Breadth} + 30 \text{ m}$$
$$W = 5 \times 17{,}2 + 30 = 116 \text{ m}$$

4. Kedalaman alur masuk
   Berdasarkan data yang diperoleh, kondisi perairan di sekitar dermaga termasuk kondisi yang tenang. Untuk kondisi perairan yang tenang, kedalaman alur masuk dapat dihitung dengan persamaan berikut:

$$D = 1{,}15 \times \textit{Draft}$$
$$D = 1{,}15 \times 6{,}3 = -\,7{,}245 \text{ mLWS} \simeq -\,8 \text{ mLWS}$$

5.4.3 Kolam putar

1. Diameter kolam putar
   Kapal rencana yaitu MPSV / PSV dapat melakukan manuver di kolam putar tanpa dipandu. Sehingga diameter kolam putar dihitung dengan persamaan berikut:

$$Db = 3 \times LoA$$
$$Db = 3 \times 78{,}25 = 234{,}75 \text{ m} \simeq 235 \text{ m}$$

2. Kedalaman kolam putar
   Posisi kolam putar direncanakan berada di depan kolam dermaga. Kedalaman kolam putar direncanakan sama dengan kedalaman alur masuk yaitu:

$$D = 1{,}15 \times \textit{Draft}$$
$$D = 1{,}15 \times 6{,}3 = -\,7{,}245 \text{ mLWS} \simeq -\,8 \text{ mLWS}$$

3. Kebutuhan pengerukan
   Dikarenakan kondisi kedalaman pada kolam putar ini kurang mencukupi yakni berkisar antara – 2 mLWS hingga – 10 mLWS, maka dibutuhkan pengerukan pada area kolam putar. Kedalam pengerukan direncanakan hingga area kolam putar memiliki kedalaman minimal - 8 mLWS.

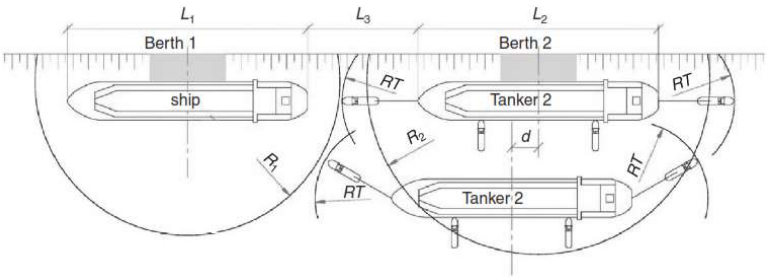
5.4.4 Kolam dermaga

1. Panjang kolam dermaga
   Lokasi kolam dermaga direncanakan berada di depan dermaga. Panjang kolam dermaga untuk kapal yang bertambat tanpa dipandu dapat dihitung dengan persamaan berikut:

$$L = 1{,}5 \times LoA$$
$$L = 1{,}5 \times 78{,}25 = 117{,}375 \text{ m} \simeq 120 \text{ m}$$

2. Lebar kolam dermaga
   Dikarenakan lokasi dermaga ini berdekatan dengan dermaga *Jety 1* untuk kapal *tanker*, maka perlu dipertimbangkan jarak aman kapal tanker terhadap kapal lain. Menurut *C. A. Thoresen, Port Designer's Handbook, 2014,* jarak aman kapal tanker ini dapat dilihat pada Gambar 5.3. Dari gambar tersebut ditentukan bahwa jarak ujung kapal *tanker* terhadap ujung kapal lain (L3) sebesar 50 – 100 m. Sehingga lebar untuk kolam dermaga ini adalah:

$$W = Breadth + 50 \text{ m}$$
$$W = 17{,}2 + 50 = 67{,}2 \text{ m} \simeq 68 \text{ m}$$



Gambar 5.3 Jarak aman kapal tanker terhadap kapal lain
(sumber: C. A. Thoresen, Port Designer's Handbook, 2014, fig. 3.13)

3. Kedalaman kolam dermaga
   Kedalaman kolam dermaga direncanakan sama dengan kedalaman alur masuk dan kolam putar. Untuk kondisi perairan yang tenang, kedalaman kolam dermaga dapat dihitung dengan persamaan berikut:

$$D = 1{,}15 \times \textit{Draft}$$
$$D = 1{,}15 \times 6{,}3 = -\ 7{,}245\ \text{m} \simeq -\ 8\ \text{mLWS}$$

4. Kebutuhan pengerukan
   Dikarenakan kondisi kedalaman pada kolam dermaga ini kurang mencukupi yakni sedalam – 1 mLWS, maka dibutuhkan pengerukan pada area kolam dermaga. Kedalam pengerukan direncanakan hingga area kolam dermaga memiliki kedalaman minimal - 8 mLWS.

5.4.5 Dermaga apung (*floating pontoon*)

1. Jenis kapal rencana
   Kapal yang direncanakan bertambat pada dermaga apung ini adalah *tugboat* dengan spesifikasi seperti pada sub bab 4.2.

2. Tipe alur masuk
   One way traffic

3. Panjang alur masuk
   Kecepatan maksimum kapal *tugboat* yang direncanakan melalui alur ini sebesar 16 knot. Untuk kapal dengan kecepatan tersebut maka panjang alur masuk dapat dihitung dengan persamaan berikut:

$$\text{Sd min} = 7 \times \text{LoA}$$
$$\text{Sd min} = 7 \times 14{,}9 = 104{,}3\ \text{m} \simeq 105\ \text{m}$$

4. Lebar alur masuk
   Lebar alur masuk *one way traffic* dapat dihitung dengan persamaan berikut:

$$W = 5 \times Breadth$$
$$W = 5 \times 5{,}1 = 25{,}5 \text{ m} \simeq 26 \text{ m}$$

5. Kedalaman alur masuk
   Kapal rencana yang digunakan memiliki *draft* 1,6 m. Sedangkan kondisi perairan di sekitar dermaga termasuk kondisi yang tenang. Untuk kondisi perairan yang tenang, kedalaman alur masuk minimal dapat dihitung dengan persamaan berikut:

$$D = 1{,}15 \times Draft$$
$$D = 1{,}15 \times 1{,}6 = -1{,}84 \text{ mLWS} \simeq -2 \text{ mLWS}$$

6. Diameter kolam putar
   Kapal *tugboat* dapat melakukan manuver di kolam putar tanpa dipandu. Sehingga diameter kolam putar dihitung dengan persamaan berikut:

$$Db = 3 \times LoA$$
$$Db = 3 \times 14{,}9 = 44{,}7 \text{ m} \simeq 45 \text{ m}$$

7. Kedalaman kolam putar
   Kedalaman kolam putar minimal direncanakan sama dengan kedalaman alur masuk yakni:

$$D = 1{,}15 \times Draft$$
$$D = 1{,}15 \times 1{,}6 = -1{,}84 \text{ m} \simeq -2 \text{ mLWS}$$

8. Panjang kolam dermaga
   Panjang kolam dermaga untuk kapal yang bermanuver tanpa dipandu dapat dihitung dengan persamaan berikut:

$$L = 1{,}5 \times LoA$$
$$L = 1{,}5 \times 14{,}9 = 22{,}35 \text{ m} \simeq 23 \text{ m}$$

9. Lebar kolam dermaga
   Direncanakan terdapat dua dermaga yang saling berhadapan. Lebar kolam untuk dua dermaga ini adalah:

$$W = 3 \times Breadth$$
$$W = 3 \times 5{,}1 = 15{,}3 \text{ m} \simeq 16 \text{ m}$$

10. Kedalaman kolam dermaga
    Kedalaman kolam putar minimal direncanakan sama dengan kedalaman alur masuk dan kolam putar yakni:

$$D = 1{,}15 \times Draft$$
$$D = 1{,}15 \times 1{,}6 = -1{,}84 \text{ m} \simeq -2 \text{ mLWS}$$

11. Kebutuhan pengerukan
    Dikarenakan kondisi kedalaman pada kolam dermaga apung ini kurang mencukupi yakni sedalam – 1 mLWS, maka dibutuhkan pengerukan pada area kolam dermaga. Kedalam pengerukan direncanakan hingga area kolam dermaga apung ini memiliki kedalaman minimal - 2 mLWS.

5.4.6 Hasil evaluasi *layout* perairan

Berdasarkan tinjauan ulang *layout* rencana awal maka:

1. Tidak dibutuhkan area penjangkaraan baru.
2. Dibutuhkan alur masuk baru (sesuai dengan alur masuk *Jetty 1*) dengan dimensi seperti pada sub bab 5.4.2.
3. Dibutuhkan kolam putar baru (terpisah dari kolam putar *Jetty 1*) dengan dimensi seperti pada sub bab 5.4.3.
4. Dibutuhkan penambahan panjang kolam dermaga dengan dimensi seperti pada sub bab 5.4.4.1.
5. Dibutuhkan penambahan lebar kolam dermaga dengan dimensi seperti pada sub bab 5.4.4.2.
6. Dibutuhkan pengerukan di area kolam dermaga dan sebagian kolam putar hingga sedalam minimal - 8 mLWS.

7. Dibutuhkan alur masuk baru dermaga apung dengan dimensi seperti pada sub bab 5.4.5.1 - 5.4.5.5.
8. Dibutuhkan kolam putar baru dermaga apung dengan dimensi seperti pada sub bab 5.4.5.6 dan 5.4.5.7.
9. Dibutuhkan penambahan panjang dan lebar kolam dermaga apung dengan dimensi seperti pada sub bab 5.4.5.8 dan 5.4.5.9.
10. Dibutuhkan pengerukan pada kolam dermaga apung hingga sedalam minimal – 2 mLWS.

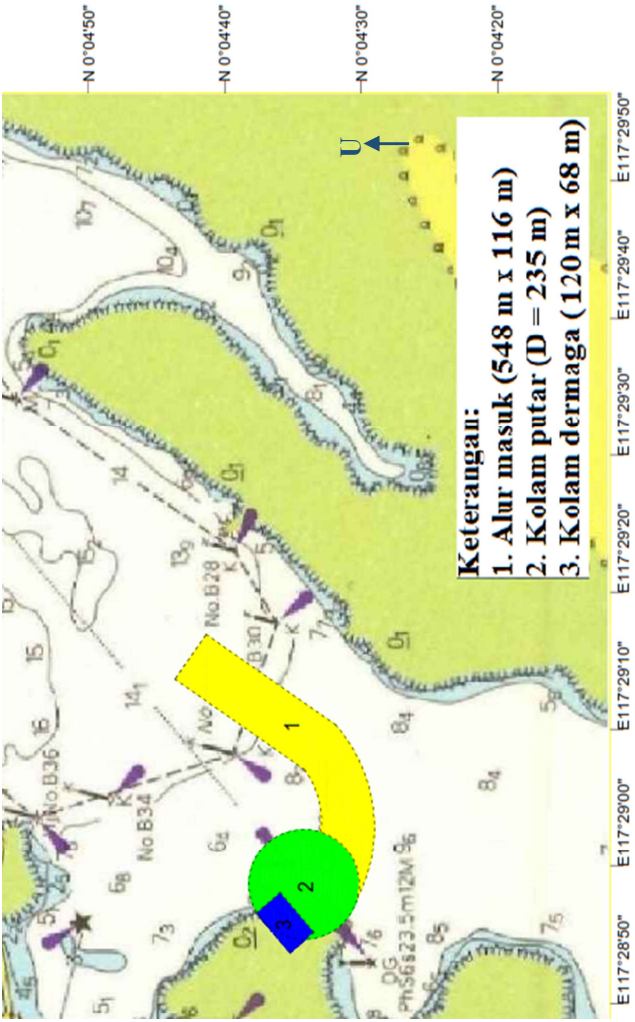
Dari perhitungan sebelumnya maka didapatkan rekapitulasi kebutuhan *layout* perairan dermaga *open pier* pada Tabel 5.2 dan dermaga apung pada Tabel 5.3. Sedangkan *layout* perairan hasil evaluasi dapat dilihat pada Gambar 5.4 dan Gambar 5.5.

Tabel 5.2 Dimensi *layout* perairan dermaga *open pier*

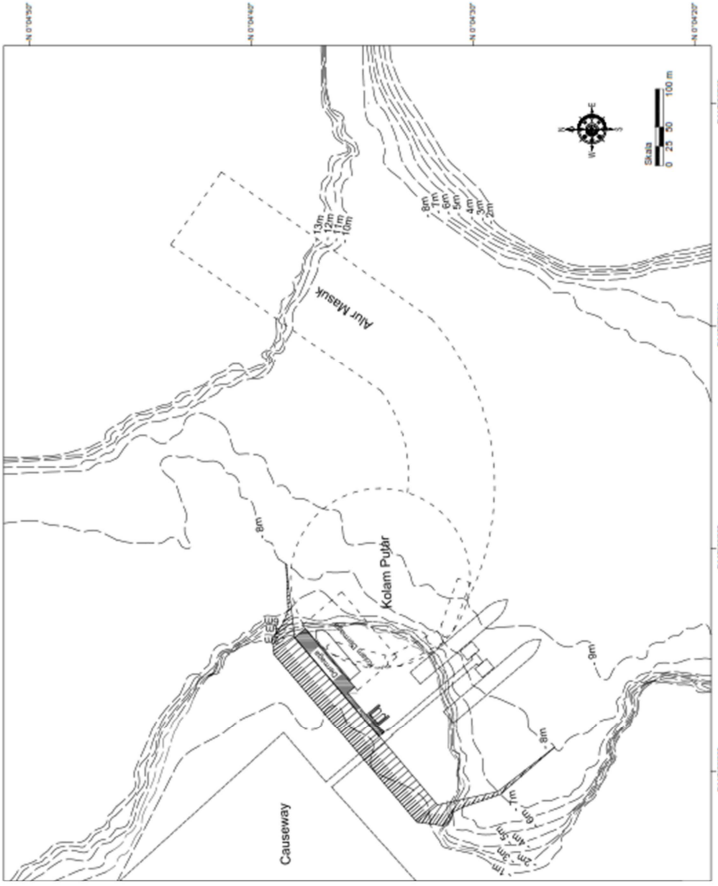
No.	Kebutuhan	Dimensi	Keterangan
1	Area penjangkaran	-	Tidak dibutuhkan
2	Alur masuk		
	Tipe	*One way traffic*	-
	Panjang	548,0 m	Baru
	Lebar	116,0 m	Baru
	Kedalaman	- 8,0 mLWS	Tanpa pengerukan
3	Kolam putar		
	Diameter	235,0 m	Baru
	Kedalaman	- 8,0 mLWS	Perlu pengerukan sebagian
4	Kolam dermaga		
	Panjang	100,0 m	Diperpanjang
	Lebar	68,0 m	Diperlebar
	Kedalaman	- 8,0 mLWS	Perlu pengerukan

Tabel 5.3 Dimensi *layout* perairan dermaga apung

No.	Kebutuhan	Dimensi	Keterangan
1	Alur masuk		
	Tipe	*One way traffic*	-
	Panjang	105,0 m	Baru
	Lebar	26,0 m	Baru
	Kedalaman	- 2,0 mLWS	Perlu pengerukan
2	Kolam putar		
	Diameter	26,0 m	Baru
	Kedalaman	- 2,0 mLWS	Perlu pengerukan
3	Kolam dermaga		
	Panjang	23 m	Diperpanjang
	Lebar	16 m	Diperlebar
	Kedalaman	- 2,0 mLWS	Butuh pengerukan



Gambar 5.4 Kebutuhan *layout* perairan pada peta batimetri (skala 1:20.000)



Gambar 5.5 *Layout* perairan

5.5 Evaluasi *Layout* Daratan

5.5.1 Layout dermaga *open pier*

1. Panjang dermaga
   Dalam tugas akhir ini direncanakan jumlah dermaga sebanyak satu buah (satu sisi). Berdasarkan kapal rencana yang bertambat yakni MPSV/PSV 3.500 DWT dengan LoA 78,25 m, maka direncanakan panjang dermaga adalah:

$$Lp = LOA + (2 \times 10\ m)$$
$$Lp = 78{,}25 + 20\ m$$
$$Lp = 98{,}25\ m \simeq 100\ m$$

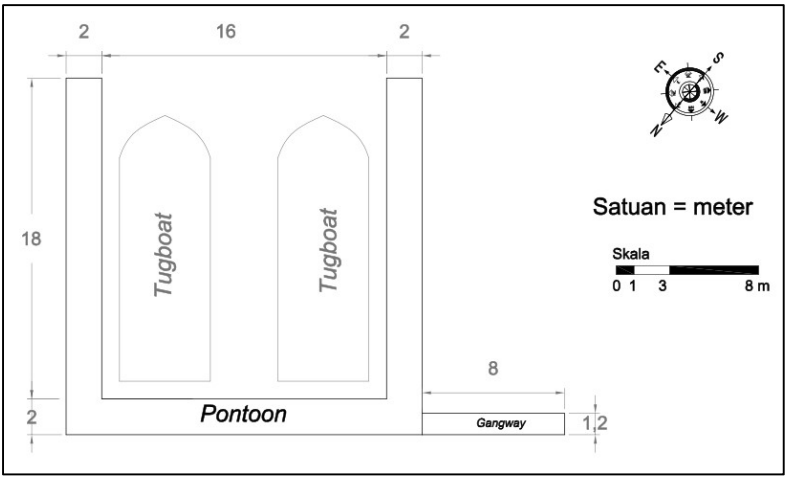
2. Lebar dermaga
   Kebutuhan lebar dermaga dapat ditentukan dari peralatan dan kendaraan yang melintas diatasnya. Peralatan yang akan melintasi dermaga ini adalah *crawler crane* dengan lebar 4,1 m dan panjang 5,2 m. Sedangkan kendaraan yang melintas adalah truk dengan panjan 7,52 m, lebar 2,43 m dan radius putar 7,3 m. Berdasarkan data tersebut maka direncanakan lebar dermaga sebesar 18 m (termasuk lebar jagaan untuk truk berputar).

3. Elevasi permukaan dermaga
   Elevasi permukaan dermaga ditentukan berdasarkan besarnya beda pasang surut dan tinggi jagaan yang direncanakan. Berdasarkan data yang diperoleh, pasang surut yang terjadi di perairan dermaga ini sebesar 2,5 m. Sedangkan tinggi jagaan yang dianjurkan untuk dermaga sebesar 0,5 m – 1,5 m. Untuk tinggi jagaan ini diambil 1,0 m. Maka untuk elevasi permukaan dermaga ini adalah:

$$El = \text{beda pasang surut} + \text{tinggi jagaan}$$
$$El = 2{,}5\ m + 1{,}0\ m = +\ 3{,}5\ mLWS$$

5.5.2 *Layout* dermaga apung (*floating pontoon*)

Direncanakan *layout floating pontoon* berbentuk seperti huruf "U" untuk bertambat 2 buah kapal (lihat Gambar 5.6)



Gambar 5.6 Kebutuhan *layout* dermaga apung

1. Panjang *pontoon* bagian untuk bertambat
   Diketahui panjang (LoA) *tugboat* yang bertambat adalah 14,9 m. Panjang *pontoon* dapat dihitung dengan persamaan berikut:

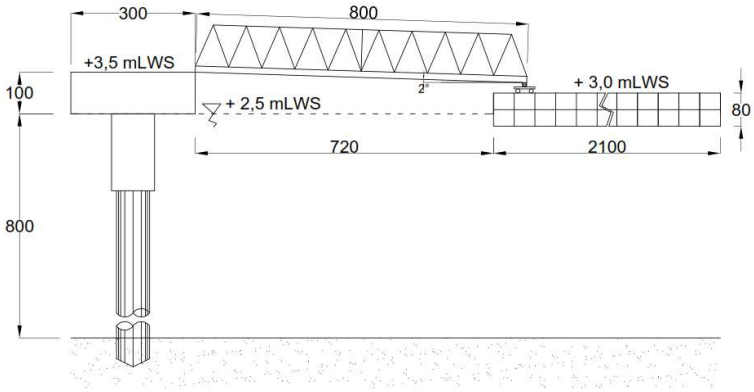
$$L = 1{,}2 \times LoA$$
$$L = 1{,}2 \times 14{,}9 = 17{,}88 \text{ m} \simeq 18 \text{ m}$$

2. Lebar *pontoon* bagian untuk bertambat
   Lebar pontoon bagian untuk bertambat direncanakan sama dengan lebar kolam dermaga apung yakni:

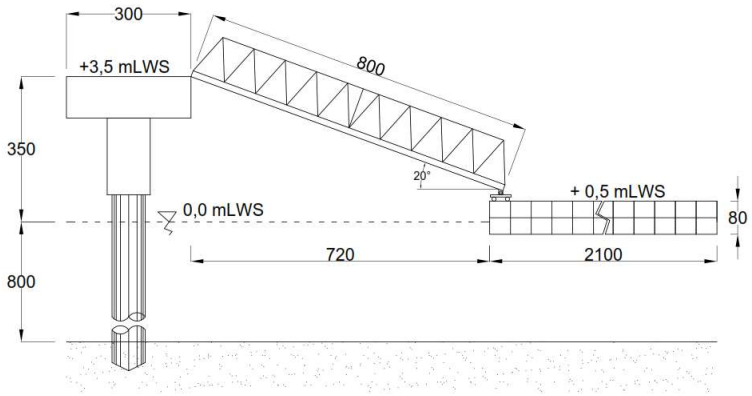
$$W = 3 \times Breadth$$
$$W = 3 \times 5{,}1 = 15{,}3 \text{ m} \simeq 16 \text{ m}$$

3. Lebar *pontoon* area pejalan kaki
   Direncanakan lebar pontoon untuk keperluan pejalan kaki sebesar 2 m.

4. Panjang dan lebar *gangway*
   Berdasarkan spesifikasi *gangway* yang digunakan, *gangway* memiliki panjang 8 m dan lebar 1,2 m. Dengan panjang *gangway* 8,0 m dan beda elevasi antara *trestle* dan dermaga apung saat muka air surut sebesar 2,8 m (*freeboard* dermaga apung 0,5 m), maka kemiringan maksimal dari *gangway* ini sebesar 20^{o} (lihat Gambar 5.7 dan Gambar 5.8)



Gambar 5.7 Posisi *pontoon* saat muka air pasang



Gambar 5.8 Posisi *pontoon* saat muka air surut

5.5.3 *Layout trestle*

1. Panjang *trestle*
   Kebutuhan panjang *trestle* dapat ditentukan dari jarak antara dermaga *open pier* dengan daratan atau struktur lain. Berdasarkan jarak antara dermaga *open pier* dan *trestle Jetty* 1 dapat ditentukan panjang *trestle* adalah 75 m.

2. Lebar *trestle*
   Lebar *trestle* ditentukan dari lalu lintas yang melintas diatasnya. Sedangkan lalu lintas terbesar yang melewati dermaga ini adalah *crawler crane* dengan lebar 4,1 m, maka lebar trestle yang dibutuhkan sebesar 8 m.

3. Elevasi permukaan *trestle*
   Elevasi permukaan *trestle* direncanakan sama dengan permukaan dermaga yakni + 3,5 mLWS

5.5.4 Hasil evaluasi *layout* daratan

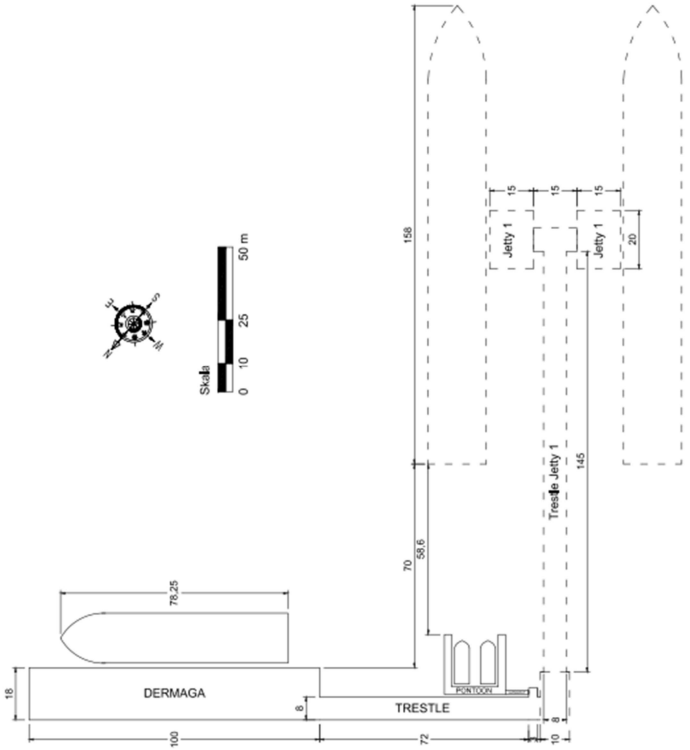
Berdasarkan tinjauan ulang *layout* rencana awal maka:

1. Dibutuhkan penambahan panjang dan lebar dermaga dengan dimensi seperti pada sub bab 5.5.1
2. Dibutuhkan penambahan panjang dan lebar dermaga apung dengan dimensi seperti pada sub bab 5.5.2.
3. Dibutuhkan penambahan lebar *trestle* dengan dimensi seperti pada sub bab 5.5.3.

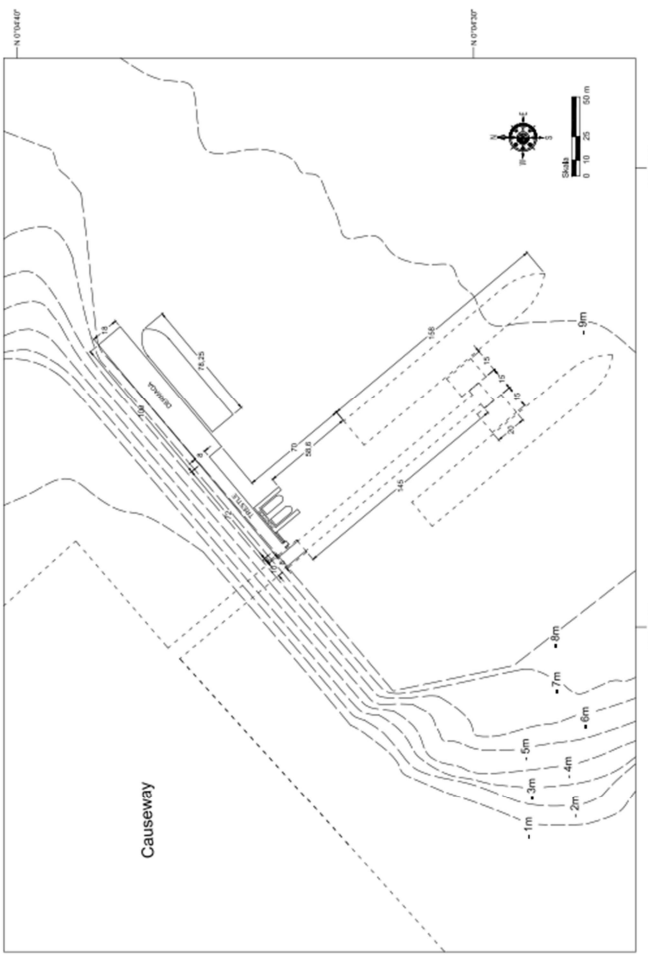
Dari perhitungan sebelumnya maka didapatkan rekapitulasi kebutuhan *layout* daratan pada Tabel 5.4. Sedangkan layout daratan hasil evaluasi dapat dilihat pada Gambar 5.9 dan Gambar 5.10.

Tabel 5.4 Dimensi *layout* daratan

No.	Kebutuhan	Dimensi	Keterangan
1	Dermaga *open pier*		
	Panjang	100,0 m	Diperpanjang
	Lebar	18,0 m	Diperlebar
	Elevasi permukaan	+ 3,5 mLWS	-
2	*Floating pontoon*		
	Panjang	18 m	-
	Lebar	16 m	-
3	*Gangway*		
	Panjang	8 m	-
	Lebar	1,2 m	-
	Kemiringan (max & min)	2^{O} – 20^{O}	-
4	*Trestle*		
	Panjang	75,0 m	Diperpanjang
	Lebar	8,0 m	Diperlebar
	Elevasi permukaan	+ 3,5 mLWS	-



Gambar 5.9 Kebutuhan *layout* daratan



Gambar 5.10 Kebutuhan *layout* daratan terhadap kedalaman perairan

"Halaman ini sengaja dikosongkan"

BAB VI
PERENCANAAN STRUKTUR

6.1 Perencanaan Dermaga

6.1.1 Umum

Tipe konstruksi dermaga dalam perencanaan ini adalah tipe *open pier*. Struktur dermaga ini terdiri dari beberapa komponen utama, antara lain tiang pancang, *pile cap*, balok dan pelat. Untuk komponen pelat, balok dan *pile cap* dicor dengan metode *cast in-situ*. Berikut desain dimensi struktur dermaga ini:

1. Panjang dermaga = 100 m
2. Lebar dermaga = 18 m
3. Balok memanjang = 80 cm × 120 cm
4. Balok melintang = 80 cm × 120 cm
5. Tebal pelat lantai = 35 cm
6. Pile cap tunggal = 180 x 180 × 100 cm
7. Pile cap ganda = 360 x 180 × 100 cm

6.1.2 Perencanaan Pelat

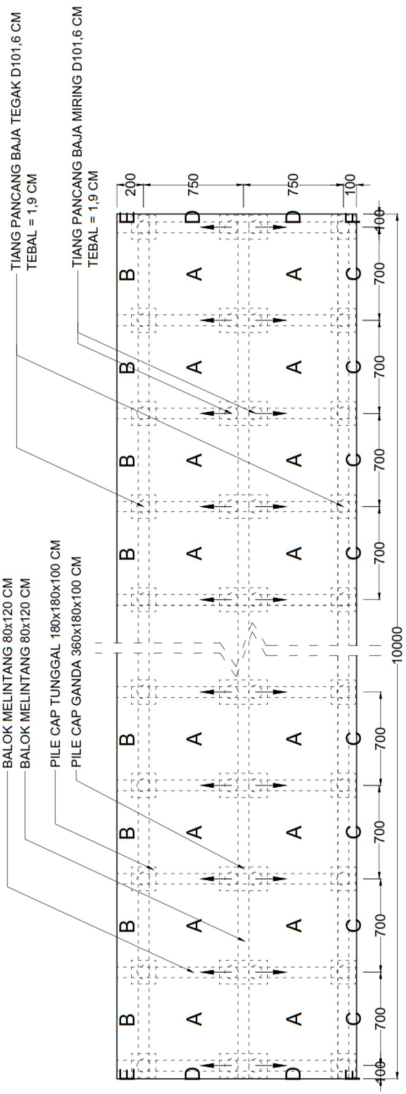
6.1.2.1 Penentuan tipe pelat

Penentuan tipe pelat ini berdasarkan pada lebar dan panjang pelat. Penentuan tipe pelat dapat dilihat pada Gambar 6.1.

6.1.2.2 Pembebanan pelat

Beban yang diterima pelat adalah sebagai berikut:

1. Berat sendiri (qd) = 0,84 t/m^2
2. Beban hidup merata (ql) = 4,0 t/m^2
3. Beban bergerak
   - Truk (lihat sub Bab 4.4.1)
   - *Crawler crane* (Lihat sub Bab 4.4.1)



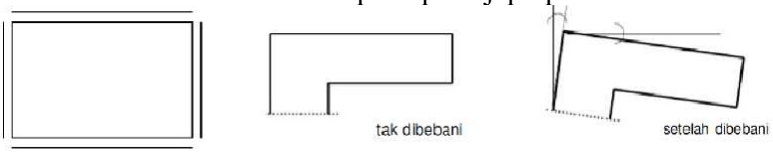
Gambar 6.1 Pembagian Tipe Pelat Dermaga

6.1.2.3 Perhitungan momen pelat

Terdapat dua kondisi tumpuan pelat saat menerima beban yakni jepit penuh dan jepit sebagian. Pelat dikatakan jepit penuh bila penampang pelat di atas tumpuan itu tidak dapat berputar akibat pembebanan pada pelat. Sedangkan bila pelat pada tumpuan merupakan kesatuan monolit dengan balok pemikulnya yang relatif tidak terlalu kaku dan sesuai dengan kekakuannya memungkinkan pelat untuk berputar pada tumpuan itu (lihat Gambar 6.2 dan Gambar 6.3).

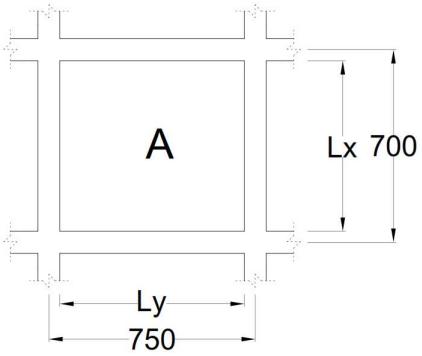
Pada kondisi perencanaan ini, pelat diasumsikan terkondisi jepit sebagian. Secara umum kondisi tumpuan ini yang sering dijumpai di lapangan.

Gambar 6.2 Tumpuan pelat jepit penuh



Gambar 6.3 Tumpuan pelat jepit sebagian (elastis)

1. Koefisien momen ly/lx beban mati dan hidup pelat
   Perhitungan koefisien momen pelat ini berdasarkan PBI 1971 Tabel 13.3.1. Sebagai contoh perhitungan koefisien momen dilakukan pada pelat Tipe A (lihat Gambar 6.4). Sedangkan koefisien momen pelat tipe lain dapat dilihat pada Tabel 6.1. Perhitungan koefisien momen pelat Tipe A adalah sebagai berikut:
   Ly = 750 – 80 = 670 cm = 6,7 m
   Lx = 700 – 80 = 620 cm = 6,2 m
   Ly/Lx = 1,1



Gambar 6.4 Pelat tipe A dermaga

Tabel 6.1 Nilai koefisien X masing – masing pelat dermaga

Tipe Pelat	lx	ly	ly/lx	Koefisien x	
A	6,20	6,70	1,1	Mlx	42
	6,20	6,70		Mtx	42
	6,20	6,70	two way slab	Mly	37
	6,20	6,70		Mty	37
B	1,60	6,20	3,9	Mlx	54
	1,60	6,20		Mtx	54
	1,60	6,20	one way slab	Mly	19
	1,60	6,20		Mty	56
C	0,60	6,20	10,3	Mlx	54
	0,60	6,20		Mtx	54
	0,60	6,20	one way slab	Mly	19
	0,60	6,20		Mty	56
D	0,60	6,70	11,2	Mlx	54
	0,60	6,70		Mtx	54
	0,60	6,70	one way slab	Mly	19
	0,60	6,70		Mty	56
E	0,60	1,60	2,7	Mlx	94
	0,60	1,60		Mtx	94
	0,60	1,60	one way slab	Mly	19
	0,60	1,60		Mty	56
F	0,6	0,6	1,0	Mlx	48
	0,6	0,6		Mtx	48
	0,6	0,6	two way slab	Mly	48
	0,6	0,6		Mty	48

2. Momen akibat beban mati dan hidup
   Sebagai contoh perhitungan momen akibat beban mati dan hidup dilakukan pada pelat Tipe A. Sedangkan momen akibat beban mati dan hidup pelat tipe lain dapat dilihat pada Tabel 6.2. Perhitungan momen akibat beban mati dan hidup pelat Tipe A adalah sebagai berikut:
   - Momen akibat beban mati
     - Momen tumpuan
       $Mtx = Mty = - 0{,}001 \times qd \times Lx^2 \times X$
       $Mtx = - 0{,}001 \times 840 \times 6{,}2^2 \times 42 = - 1356{,}2$ kgm
       $Mty = -0{,}001 \times 840 \times 6{,}2^2 \times 37 = - 1194{,}7$ kgm
     - Momen lapangan
       $Mlx = Mly = 0{,}001 \times qd \times Lx^2 \times X$
       $Mlx = 0{,}001 \times 840 \times 6{,}2^2 \times 42 = 1356{,}2$ kgm
       $Mly = 0{,}001 \times 840 \times 6{,}2^2 \times 37 = 1194{,}7$ kgm

   - Momen akibat beban hidup
     - Momen tumpuan
       $Mtx = Mty = - 0{,}001 \times ql \times Lx^2 \times X$
       $Mtx = - 0{,}001 \times 4000 \times 6{,}2^2 \times 42 = - 6457{,}9$ kgm
       $Mty = - 0{,}001 \times 4000 \times 6{,}2^2 \times 37 = - 5689{,}1$ kgm
     - Momen lapangan
       $Mlx = Mly = 0{,}001 \times ql \times Lx^2 \times X$
       $Mlx = 0{,}001 \times 4000 \times 6{,}2^2 \times 42 = 6457{,}9$ kgm
       $Mly = 0{,}001 \times 4000 \times 6{,}2^2 \times 37 = 5689{,}1$ kgm

Tabel 6.2 Momen akibat beban mati dan hidup pelat dermaga

Tipe Pelat	lx	ly	ly/lx	Koefisien X		Momen Akibat Beban (kgm)		
						Mati	Hidup	Total
A	6,2	6,7	1,1	Mlx	42	1356,2	6457,9	7814,1
	6,2	6,7		Mtx	42	-1356,2	-6457,9	-7814,1
	6,2	6,7	two way slab	Mly	37	1194,7	5689,1	6883,8
	6,2	6,7		Mty	37	-1194,7	-5689,1	-6883,8
B	1,6	6,2	3,9	Mlx	54	116,1	553,0	669,1
	1,6	6,2		Mtx	54	-116,1	-553,0	-669,1
	1,6	6,2	one way slab	Mly	19	40,9	194,6	235,4
	1,6	6,2		Mty	56	-120,4	-573,4	-693,9
C	0,6	6,2	10,3	Mlx	54	16,3	77,8	94,1
	0,6	6,2		Mtx	54	-16,3	-77,8	-94,1
	0,6	6,2	one way slab	Mly	19	5,7	27,4	33,1
	0,6	6,2		Mty	56	-16,9	-80,6	-97,6
D	0,6	6,7	11,2	Mlx	54	16,3	77,8	94,1
	0,6	6,7		Mtx	54	-16,3	-77,8	-94,1
	0,6	6,7	one way slab	Mly	19	5,7	27,4	33,1
	0,6	6,7		Mty	56	-16,9	-80,6	-97,6
E	0,6	1,6	2,7	Mlx	94	28,4	135,4	163,8
	0,6	1,6		Mtx	94	-28,4	-135,4	-163,8
	0,6	1,6	one way slab	Mly	19	5,7	27,4	33,1
	0,6	1,6		Mty	56	-16,9	-80,6	-97,6
F	0,6	0,6	1,0	Mlx	48	14,5	69,1	83,6
	0,6	0,6		Mtx	48	-14,5	-69,1	-83,6
	0,6	0,6	two way slab	Mly	48	14,5	69,1	83,6
	0,6	0,6		Mty	48	-14,5	-69,1	-83,6

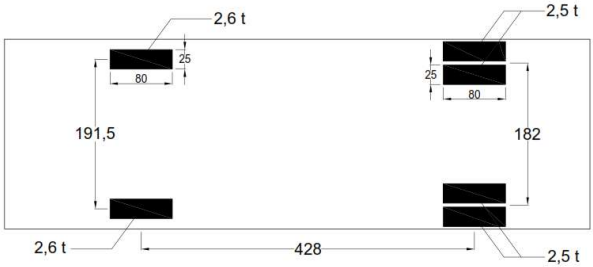
3. Koefisien momen akibat beban terpusat
   Untuk menghitung momen akibat beban terpusat truk dan *crawler crane* dibutuhkan koefisien momen (lihat Tabel 6.3). Penentuan koefisien momen ini berdasarkan Tabel VI "Konstruksi Beton Indonesia" tahun 1971 oleh Ir. Sutami.

Tabel 6.3 Koefisien momen akibat beban terpusat pelat dermaga

Tipe pelat	ly/lx	Koefisien Momen		Koefisien X				c1	c2
				a1	a2	a3	a4		
A	1.1	Mlx	42	-0.062	-0.017	0.130	0.390	0.10	0.10
		Mtx	42	0.062	0.136	-0.355	1.065	0.10	0.10
	two way slab	Mly	37	-0.017	-0.062	0.130	0.390	0.10	0.10
		Mty	37	0.136	0.062	-0.355	1.065	0.10	0.10
B	3.9	Mlx	54	-0.026	-0.052	0.141	0.423	0.10	0.05
		Mtx	54	0.026	0.334	-0.531	1.593	0.10	0.05
	one way slab	Mly	19	-0.005	-0.118	0.136	0.408	0.10	0.05
		Mty	56	0.033	0.100	-0.216	0.648	0.10	0.05
C	10.3	Mlx	54	-0.026	-0.052	0.141	0.423	0.10	0.05
		Mtx	54	0.026	0.334	-0.531	1.593	0.10	0.05
	one way slab	Mly	19	-0.005	-0.118	0.136	0.408	0.10	0.05
		Mty	56	0.033	0.100	-0.216	0.648	0.10	0.05
D	11.2	Mlx	54	-0.026	-0.052	0.141	0.423	0.10	0.05
		Mtx	54	0.026	0.334	-0.531	1.593	0.10	0.05
	one way slab	Mly	19	-0.005	-0.118	0.136	0.408	0.10	0.05
		Mty	56	0.033	0.100	-0.216	0.648	0.10	0.05
E	2.7	Mlx	94	-0.028	-0.053	0.143	0.429	0.05	0.05
		Mtx	94	0.029	0.339	-0.535	1.605	0.05	0.05
	one way slab	Mly	19	-0.005	-0.116	0.134	0.402	0.05	0.05
		Mty	56	0.032	0.101	-0.216	0.648	0.05	0.05
F	1.0	Mlx	48	-0.071	-0.017	0.158	0.474	0.05	0.05
		Mtx	48	0.054	0.163	-0.442	1.326	0.05	0.05
	two way slab	Mly	48	-0.017	-0.071	0.158	0.474	0.05	0.05
		Mty	48	0.163	0.054	-0.442	1.326	0.05	0.05

4. Momen akibat beban terpusat truk

   Besarnya momen akibat beban terpusat truk yang bergerak harus dihitung berdasarkan pada momen maksimum yang terjadi. Area kontak roda tunggal truk seluas 0,20 × 0,25 m^2. Konfigurasi beban roda truk dapat dilihat pada Gambar 6.5. Untuk perhitungan momen hanya dihitung dengan 2 kombinasi pada tengah - tengah pelat dengan asumsi momen maksimum berada pada tengah pelat bukan tepi pelat.



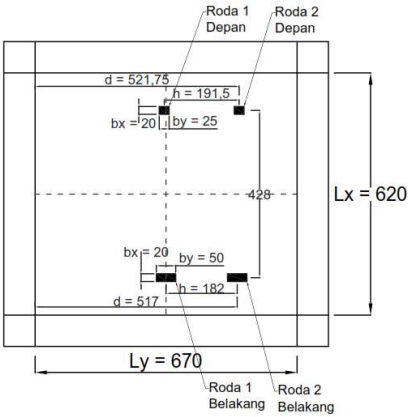
Gambar 6.5 Konfigurasi beban roda truk

a. Kombinasi pembebanan 1

Dalam kombinasi pembebanan ini, salah satu roda truk diletakkan ditengah pelat dan roda lainnya berada di sampingnya. Kombinasi ini dihitung baik pada saat roda dalam posisi melintang ataupun memanjang.

- **Posisi roda truk arah melintang pelat**

  Contoh perhitungan momen dilakukan pada pelat tipe A, sedangkan perhitungan momen pada pelat tipe lainnya dapat dilihat pada Tabel 6.4, Tabel 6.5 dan Tabel 6.6. Masing – masing roda belakang kiri dan kanan membebani pelat sebesar 5 ton. Sedangkan roda depan kiri dan kanan membebani pelat sebesar 2,6 ton (lihat Gambar 6.6).



Gambar 6.6 Posisi roda truk arah melintang pelat dermaga tipe A kombinasi 1

Sehingga besarnya momen akibat beban terpusat roda truk dapat dihitung dengan persamaan sebagai berikut (berdasarkan rumus momen pada buku Konstruksi Beton Indonesia Ir. Sutami):

$$M = \frac{a_1 \times \frac{b_x}{L_x} + a_2 \times \frac{b_y}{L_y} + a_3}{\frac{b_x}{L_x} + \frac{b_y}{L_y} + a_4} \times W$$

keterangan:

M = momen maksimal (kgm)
a = koefisien X (lihat Tabel 6.3)
b_x = lebar beban terpusat sejajar L_x (m)
b_y = panjang beban terpusat sejajar L_y (m)
L_x = bentang efektif terkecil pelat (m)
L_y = bentang efektif terbesar pelat (m)
W = berat beban (kg)

Perhitungan pertama adalah Mlx, Mly, Mtx dan Mty dari roda sebelah kiri. Kemudian dihitung Mlx, Mly, Mtx dan Mty dari roda sebelah kanan. Setelah itu dipilih momen maksimum antara roda kiri dan kanan.

- **Roda 2 (kanan depan)**

Momen lapangan

$$Mlx_1 = \frac{-0{,}062 \times \frac{0{,}2}{6{,}2} + (-0{,}017) \times \frac{0{,}25}{6{,}7} + 0{,}130}{\frac{0{,}2}{6{,}2} + \frac{0{,}25}{6{,}7} + 0{,}390} \times 2600$$

$$Mlx_1 = 720{,}56 \text{ kgm}$$

$$Mly_1 = \frac{-0{,}017 \times \frac{0{,}2}{6{,}2} + (-0{,}062) \times \frac{0{,}25}{6{,}7} + 0{,}130}{\frac{0{,}2}{6{,}2} + \frac{0{,}25}{6{,}7} + 0{,}390} \times 2600$$

$$Mly_1 = 719{,}28 \text{ kgm}$$

Momen tumpuan

$$Mtx_1 = \frac{0{,}062 \times \frac{0{,}2}{6{,}2} + 0{,}136 \times \frac{0{,}25}{6{,}7} - 0{,}355}{\frac{0{,}2}{6{,}2} + \frac{0{,}25}{6{,}7} + 1{,}065} \times 2600$$

$$Mtx_1 = -\ 797{,}31 \text{ kgm}$$

$$Mty_1 = \frac{0{,}136 \times \frac{0{,}2}{6{,}2} + 0{,}062 \times \frac{0{,}25}{6{,}7} - 0{,}355}{\frac{0{,}2}{6{,}2} + \frac{0{,}25}{6{,}7} + 1{,}065} \times 2600$$

$$Mty_1 = -\ 798{,}17 \text{ kgm}$$

- **Roda 2 (kanan belakang)**
  Momen lapangan

$$Mlx_2 = \frac{-0{,}062 \times \frac{0{,}2}{6{,}2} + (-0{,}017) \times \frac{0{,}5}{6{,}7} + 0{,}130}{\frac{0{,}2}{6{,}2} + \frac{0{,}5}{6{,}7} + 0{,}390} \times 5000$$

$$Mlx_2 = 1275{,}26 \text{ kgm}$$

$$Mly_2 = \frac{-0{,}017 \times \frac{0{,}2}{6{,}2} + (-0{,}062) \times \frac{0{,}5}{6{,}7} + 0{,}130}{\frac{0{,}2}{6{,}2} + \frac{0{,}5}{6{,}7} + 0{,}390} \times 5000$$

$$Mly_2 = 1256{,}07 \text{ kgm}$$

Momen tumpuan

$$Mtx_2 = \frac{0{,}062 \times \frac{0{,}2}{6{,}2} + 0{,}136 \times \frac{0{,}5}{6{,}7} - 0{,}355}{\frac{0{,}2}{6{,}2} + \frac{0{,}5}{6{,}7} + 1{,}065} \times 5000$$

$$Mtx_2 = -\ 1462{,}81 \text{ kgm}$$

$$Mty_2 = \frac{0{,}136 \times \frac{0{,}2}{6{,}2} + 0{,}062 \times \frac{0{,}5}{6{,}7} - 0{,}355}{\frac{0{,}2}{6{,}2} + \frac{0{,}5}{6{,}7} + 1{,}065} \times 5000$$

$$Mty_2 = -\ 1476{,}19 \text{ kgm}$$

- **Roda 1 (kiri depan)**
  Pada roda 1 terjadi pengurangan momen tumpuan sebesar $(h/d)^2 \times Mt$. Posisi untuk truk kombinasi 1 roda 1 arah melintang lihat Gambar 6.6.

Momen lapangan

$Mlx_3 = Mlx_1 = 720{,}56$ kgm

$Mly_3 = Mly_1 = 719{,}28$ kgm

Momen tumpuan

$Mtx_3 = Mtx_1 = -\ 797{,}31$ kgm

$Mty_3 = Mty_1 - ((h/d)^2 \times Mty_1)$

$$= Mty_1 \times \left(1 - \left(\frac{h}{d}\right)^2\right)$$

$$= -\ 798{,}17 \times \left(1 - \left(\frac{1{,}915}{5{,}2175}\right)^2\right)$$

$= -\ 690{,}64$ kgm

- **Roda 1 (kiri belakang)**

  Pada roda 1 terjadi pengurangan momen tumpuan sebesar $(h/d)^2 \times Mt$. Posisi untuk truk kombinasi 1 roda 1 arah melintang lihat Gambar 6.6.

  Momen lapangan

  $Mlx_4 = Mlx_2 = 1275{,}26$ kgm

  $Mly_4 = Mly_2 = 1256{,}07$ kgm

  Momen tumpuan

  $Mtx_4 = Mtx_2 = -\ 1462{,}81$ kgm

  $Mty_4 = Mty_2 - ((h/d)^2 \times Mty_2)$

  $$= Mty_2 \times \left(1 - \left(\frac{h}{d}\right)^2\right)$$

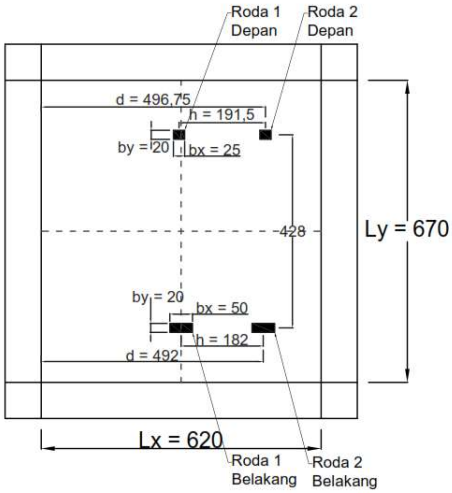
  $$= -\ 1476{,}19 \times \left(1 - \left(\frac{1{,}82}{5{,}17}\right)^2\right)$$

  $= -\ 1293{,}26$ kgm

- **Momen lapangan total arah melintang**
  Momen lapangan total dihitung dari total momen roda 2 (kanan) depan dan belakang serta roda 1 (kiri) depan dan belakang arah melintang.
  $Mlx_{tot} = Mlx_1 + Mlx_2 + Mlx_3 + Mlx_4$
  $= 720,56 + 1275,26 + 720,56 + 1275,26$
  $= 3991,65$ kgm
  Mly tot. $= Mly_1 + Mly_2 + Mly_3 + Mly_4$
  $= 719,28 + 1256,07 + 719,28 + 1256,07$
  $= 3950,70$ kgm

- **Momen tumpuan total arah melintang**
  Momen tumpuan total dihitung dari total momen roda 2 (kanan) depan dan belakang serta roda 1 (kiri) depan dan belakang arah melintang.
  $Mtx_{tot} = Mtx_1 + Mtx_2 + Mtx_3 + Mtx_4$
  $= - 797,31 – 1462,82 - 797,31 – 1462,82$
  $= - 4520,26$ kgm
  $Mty_{tot} = Mty_1 + Mty_2 + Mty_3 + Mty_4$
  $= -798,17 – 1476,19 – 690,64 – 1293,26$
  $= - 4258,26$ kgm

- **Posisi roda truk arah memanjang pelat**
  Contoh perhitungan momen dilakukan pada pelat tipe A, sedangkan perhitungan momen pada pelat tipe lainnya dapat dilihat pada Tabel 6.4, Tabel 6.5 dan Tabel 6.6. Untuk pelat tipe A ini, roda truk yang membebani adalah roda depan dan belakang (lihat Gambar 6.7). Masing – masing roda belakang kiri dan kanan membebani pelat sebesar 5 ton. Sedangkan roda depan kiri dan kanan membebani pelat sebesar 2,6 ton.



Gambar 6.7 Posisi roda truk arah memanjang pelat dermaga tipe A kombinasi 1

- **Roda 2 (kanan depan)**
  Momen lapangan

$$Mlx_1 = \frac{-0{,}062 \times \frac{0{,}25}{6{,}2} + (-0{,}017) \times \frac{0{,}2}{6{,}7} + 0{,}130}{\frac{0{,}25}{6{,}2} + \frac{0{,}2}{6{,}7} + 0{,}390} \times 2600$$

$$Mlx_1 = 717{,}51 \text{ kgm}$$

$$Mly_1 = \frac{-0{,}017 \times \frac{0{,}25}{6{,}2} + (-0{,}062) \times \frac{0{,}2}{6{,}7} + 0{,}130}{\frac{0{,}25}{6{,}2} + \frac{0{,}2}{6{,}7} + 0{,}390} \times 2600$$

$$Mly_1 = 720{,}18 \text{ kgm}$$

Momen tumpuan

$$Mtx_1 = \frac{0{,}062 \times \frac{0{,}25}{6{,}2} + 0{,}136 \times \frac{0{,}2}{6{,}7} - 0{,}355}{\frac{0{,}25}{6{,}2} + \frac{0{,}2}{6{,}7} + 1{,}065} \times 2600$$

Mtx_1 = - 798,07 kgm

$$Mty_1 = \frac{0{,}136 \times \frac{0{,}25}{6{,}2} + 0{,}062 \times \frac{0{,}2}{6{,}7} - 0{,}355}{\frac{0{,}25}{6{,}2} + \frac{0{,}2}{6{,}7} + 1{,}065} \times 2600$$

Mty_1 = - 796,29 kgm

- **Roda 2 (kanan belakang)**

  Momen lapangan

$$Mlx_2 = \frac{-0{,}062 \times \frac{0{,}5}{6{,}2} + (-0{,}017) \times \frac{0{,}2}{6{,}7} + 0{,}130}{\frac{0{,}5}{6{,}2} + \frac{0{,}2}{6{,}7} + 0{,}390} \times 5000$$

Mlx_2 = 1243,69 kgm

$$Mly_2 = \frac{-0{,}017 \times \frac{0{,}5}{6{,}2} + (-0{,}062) \times \frac{0{,}2}{6{,}7} + 0{,}130}{\frac{0{,}5}{6{,}2} + \frac{0{,}2}{6{,}7} + 0{,}390} \times 5000$$

Mly_2 = 1266,53 kgm

Momen tumpuan

$$Mtx_2 = \frac{0{,}062 \times \frac{0{,}5}{6{,}2} + 0{,}136 \times \frac{0{,}2}{6{,}7} - 0{,}355}{\frac{0{,}5}{6{,}2} + \frac{0{,}2}{6{,}7} + 1{,}065} \times 5000$$

Mtx_2 = - 1471,47 kgm

$$Mty_2 = \frac{0{,}136 \times \frac{0{,}5}{6{,}2} + 0{,}062 \times \frac{0{,}2}{6{,}7} - 0{,}355}{\frac{0{,}5}{6{,}2} + \frac{0{,}2}{6{,}7} + 1{,}065} \times 5000$$

Mty_2 = - 1455,48 kgm

- **Roda 1 (kiri depan)**
  Pada roda 1 terjadi pengurangan momen tumpuan sebesar $(h/d)^2 \times Mt$. Posisi untuk truk kombinasi 1 roda 1 arah melintang lihat Gambar 6.7.

  Momen lapangan
  $Mlx_3 = Mlx_1$ = 717,51 kgm
  $Mly_3 = Mly_1$ = 720,18 kgm

  Momen tumpuan
  $Mtx_3 = Mtx_1 - ((h/d)^2 \times Mtx_1)$

  $$= Mtx_1 \times \left(1 - \left(\frac{h}{d}\right)^2\right)$$

  $$= \text{- } 798{,}07 \times \left(1 - \left(\frac{1{,}915}{4{,}9675}\right)^2\right)$$

  = - 679,46 kgm

  $Mty_3 = Mty_1$ = - 796,29 kgm

- **Roda 1 (kiri belakang)**
  Pada roda 1 terjadi pengurangan momen tumpuan sebesar $(h/d)^2 \times Mt$. Posisi untuk truk kombinasi 1 roda 1 arah melintang lihat Gambar 6.7.

  Momen lapangan
  $Mlx_4 = Mlx_2 = 1243{,}69$ kgm
  $Mly_4 = Mly_2 = 1266{,}53$ kgm

  Momen tumpuan
  $Mtx_4 = Mtx_2 - ((h/d)^2 \times Mtx_2)$

  $$= Mtx_2 \times \left(1 - \left(\frac{h}{d}\right)^2\right)$$

  $$= -1471{,}47 \cdot \left(1 - \left(\frac{1{,}82}{4{,}92}\right)^2\right)$$

  $= -1270{,}11$ kgm

  $Mty_4 = Mty_2 = -1455{,}48$ kgm

- **Momen lapangan total arah memanjang**
  Momen lapangan total dihitung dari total momen roda 2 (kanan) depan dan belakang serta roda 1 (kiri) depan dan belakang arah memanjang.
  $Mlx_{tot} = Mlx_1 + Mlx_2 + Mlx_3 + Mlx_4$
  $= 717{,}51 + 1243{,}69 + 717{,}51 + 1243{,}69$
  $= 3922{,}41$ kgm

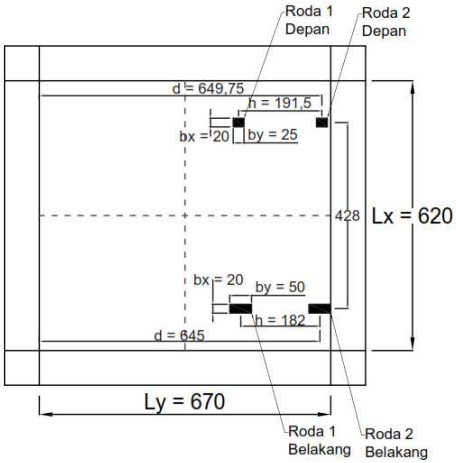
  $Mly_{tot} = Mly_1 + Mly_2 + Mly_3 + Mly_4$
  $= 720{,}18 + 1266{,}53 + 720{,}18 + 1266{,}53$
  $= 3973{,}41$ kgm

- **Momen tumpuan total arah memanjang**
  Momen tumpuan total dihitung dari total momen roda 2 (kanan) depan dan belakang serta roda 1 (kiri) depan dan belakang arah memanjang.
  $Mtx_{tot} = Mtx_1 + Mtx_2 + Mtx_3 + Mtx_4$
  $= - 798,07 - 1471,47 – 679,46 – 1270,11$
  $= - 4219,11$ kgm
  $Mty_{tot} = Mty_1 + Mty_2 + Mty_3 + Mty_4$
  $= - 796,29 – 1455,48 - 796,29 – 1455,48$
  $= - 4503,54$ kgm

b. Kombinasi pembebanan 2

Dalam kombinasi pembebanan ini, salah satu roda truk diletakkan ditepi pelat dan roda lainnya berada di sampingnya. Kombinasi ini dihitung baik pada saat roda dalam posisi melintang ataupun memanjang.

- **Posisi roda truk arah melintang pelat**
  Contoh perhitungan momen dilakukan pada pelat tipe A, sedangkan perhitungan momen pada pelat tipe lainnya dapat dilihat pada Tabel 6.4, Tabel 6.5 dan Tabel 6.6. Untuk pelat tipe A ini, roda truk yang membebani hanya roda belakang (lihat Gambar 6.8). Masing – masing roda belakang kiri dan kanan membebani pelat sebesar 5 ton. Sedangkan roda depan kiri dan kanan membebani pelat sebesar 2,6 ton.



Gambar 6.8 Posisi roda truk arah melintang pelat dermaga tipe A kombinasi 2

- **Roda 2 (kanan depan)**
  Momen lapangan

$$Mlx_1 = \frac{-0{,}062 \times \frac{0{,}2}{6{,}2} + (-0{,}017) \times \frac{0{,}25}{6{,}7} + 0{,}130}{\frac{0{,}2}{6{,}2} + \frac{0{,}25}{6{,}7} + 0{,}390} \times 2600$$

$$Mlx_1 = 720{,}56 \text{ kgm}$$

$$Mly_1 = \frac{-0{,}017 \times \frac{0{,}2}{6{,}2} + (-0{,}062) \times \frac{0{,}25}{6{,}7} + 0{,}130}{\frac{0{,}2}{6{,}2} + \frac{0{,}25}{6{,}7} + 0{,}390} \times 2600$$

$$Mly_1 = 719{,}28 \text{ kgm}$$

Momen tumpuan

$$Mtx_1 = \frac{0{,}062 \times \frac{0{,}2}{6{,}2} + 0{,}136 \times \frac{0{,}25}{6{,}7} - 0{,}355}{\frac{0{,}2}{6{,}2} + \frac{0{,}25}{6{,}7} + 1{,}065} \times 2600$$

Mtx_1 = - 797,31 kgm

$$Mty_1 = \frac{0{,}136 \times \frac{0{,}2}{6{,}2} + 0{,}062 \times \frac{0{,}25}{6{,}7} - 0{,}355}{\frac{0{,}2}{6{,}2} + \frac{0{,}25}{6{,}7} + 1{,}065} \times 2600$$

Mty_1 = - 798,17 kgm

- **Roda 2 (kanan belakang)**

Momen lapangan

$$Mlx_2 = \frac{-0{,}062 \times \frac{0{,}2}{6{,}2} + (-0{,}017) \times \frac{0{,}5}{6{,}7} + 0{,}130}{\frac{0{,}2}{6{,}2} + \frac{0{,}5}{6{,}7} + 0{,}390} \times 5000$$

Mlx_2 = 1275,26 kgm

$$Mly_2 = \frac{-0{,}017 \times \frac{0{,}2}{6{,}2} + (-0{,}062) \times \frac{0{,}5}{6{,}7} + 0{,}130}{\frac{0{,}2}{6{,}2} + \frac{0{,}5}{6{,}7} + 0{,}390} \times 5000$$

Mly_2 = 1256,07 kgm

Momen tumpuan

$$Mtx_2 = \frac{0{,}062 \times \frac{0{,}2}{6{,}2} + 0{,}136 \times \frac{0{,}5}{6{,}7} - 0{,}355}{\frac{0{,}2}{6{,}2} + \frac{0{,}5}{6{,}7} + 1{,}065} \times 5000$$

Mtx_2 = - 1462,81 kgm

$$Mty_2 = \frac{0{,}136 \times \frac{0{,}2}{6{,}2} + 0{,}062 \times \frac{0{,}5}{6{,}7} - 0{,}355}{\frac{0{,}2}{6{,}2} + \frac{0{,}5}{6{,}7} + 1{,}065} \times 5000$$

Mty_2 = - 1476,19 kgm

- **Roda 1 (kiri depan)**
  Pada roda 1 terjadi pengurangan momen tumpuan sebesar $(h/d)^2 \times Mt$. Posisi untuk truk kombinasi 1 roda 1 arah melintang lihat Gambar 6.8.

  Momen lapangan
  $Mlx_3 = Mlx_1$ = 720,56 kgm
  $Mly_3 = Mly_1$ = 719,28 kgm

  Momen tumpuan
  $Mtx_3 = Mtx_1$ = - 797,31 kgm
  $Mty_3 = Mty_1 - ((h/d)^2 \times Mty_1)$

  $$= Mty1 \times \left(1 - \left(\frac{h}{d}\right)^2\right)$$

  $$= -\ 798{,}17 \times \left(1 - \left(\frac{1{,}915}{6{,}4975}\right)^2\right)$$

  = - 728,84 kg m

- **Roda 1 (kiri belakang)**
  Pada roda 1 terjadi pengurangan momen tumpuan sebesar $(h/d)^2 \times$ Mt. Posisi untuk truk kombinasi 1 roda 1 arah melintang lihat Gambar 6.8.

  Momen lapangan
  $Mlx_4 = Mlx_2 = 1275{,}26$ kgm
  $Mly_4 = Mly_2 = 1256{,}07$ kgm

  Momen tumpuan
  $Mtx_4 = Mtx_2 = -1462{,}81$ kgm
  $Mty_4 = Mty_2 - ((h/d)^2 \times Mty_2)$

  $$= Mty_2 \times \left(1 - \left(\frac{h}{d}\right)^2\right)$$

  $$= -1476{,}19 \times \left(1 - \left(\frac{1{,}82}{6{,}45}\right)^2\right)$$

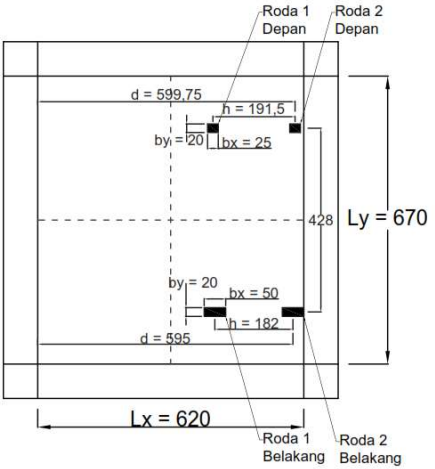
  $= -1358{,}66$ kgm

- **Momen lapangan total arah melintang**
  Momen lapangan total dihitung dari total momen roda 2 (kanan) depan dan belakang serta roda 1 (kiri) depan dan belakang arah melintang.
  $Mlx_{tot} = Mlx_1 + Mlx_2 + Mlx_3 + Mlx_4$
  $= 720{,}56 + 1275{,}26 + 720{,}56 + 1275{,}26$
  $= 3991{,}65$ kgm
  $Mly_{tot} = Mly_1 + Mly_2 + Mly_3 + Mly_4$
  $= 719{,}28 + 1256{,}07 + 719{,}28 + 1256{,}07$
  $= 3950{,}70$ kgm

- **Momen tumpuan total arah melintang**
  Momen tumpuan total dihitung dari total momen roda 2 (kanan) depan dan belakang serta roda 1 (kiri) depan dan belakang arah melintang.

$Mtx_{tot} = Mtx_1 + Mtx_2 + Mtx_3 + Mtx_4$
$= - 797,31 – 1462,82 - 797,31 – 1462,82$
$= - 4520,26$ kgm
$Mty_{tot} = Mty_1 + Mty_2 + Mty_3 + Mty_4$
$= -798,17 – 1476,19 - 728,84 - 1358,66$
$= - 4361,86$ kgm

- **Posisi roda truk arah memanjang pelat**
  Contoh perhitungan momen dilakukan pada pelat tipe A, sedangkan perhitungan momen pada pelat tipe lainnya dapat dilihat pada Tabel 6.4, Tabel 6.5 dan Tabel 6.6. Untuk pelat tipe A ini, roda truk yang membebani adalah roda depan dan belakang (lihat Gambar 6.9). Masing – masing roda belakang kiri dan kanan membebani pelat sebesar 5 ton. Sedangkan roda depan kiri dan kanan membebani pelat sebesar 2,6 ton.



Gambar 6.9 Posisi roda truk arah memanjang pelat dermaga tipe A kombinasi 2

- **Roda 2 (kanan depan)**

Momen lapangan

$$Mlx_1 = \frac{-0{,}062 \times \frac{0{,}25}{6{,}2} + (-0{,}017) \times \frac{0{,}2}{6{,}7} + 0{,}130}{\frac{0{,}25}{6{,}2} + \frac{0{,}2}{6{,}7} + 0{,}390} \times 2600$$

$$Mlx_1 = 717{,}51 \text{ kgm}$$

$$Mly_1 = \frac{-0{,}017 \times \frac{0{,}25}{6{,}2} + (-0{,}062) \times \frac{0{,}2}{6{,}7} + 0{,}130}{\frac{0{,}25}{6{,}2} + \frac{0{,}2}{6{,}7} + 0{,}390} \times 2600$$

$$Mly_1 = 720{,}18 \text{ kgm}$$

Momen tumpuan

$$Mtx_1 = \frac{0{,}062 \times \frac{0{,}25}{6{,}2} + 0{,}136 \times \frac{0{,}2}{6{,}7} - 0{,}355}{\frac{0{,}25}{6{,}2} + \frac{0{,}2}{6{,}7} + 1{,}065} \times 2600$$

$$Mtx_1 = -\ 798{,}07 \text{ kgm}$$

$$Mty_1 = \frac{0{,}136 \times \frac{0{,}25}{6{,}2} + 0{,}062 \times \frac{0{,}2}{6{,}7} - 0{,}355}{\frac{0{,}25}{6{,}2} + \frac{0{,}2}{6{,}7} + 1{,}065} \times 2600$$

$$Mty_1 = -\ 796{,}29 \text{ kgm}$$

- **Roda 2 (kanan belakang)**
  Momen lapangan

$$Mlx_2 = \frac{-0{,}062 \times \frac{0{,}5}{6{,}2} + (-0{,}017) \times \frac{0{,}2}{6{,}7} + 0{,}130}{\frac{0{,}5}{6{,}2} + \frac{0{,}2}{6{,}7} + 0{,}390} \times 5000$$

$$Mlx_2 = 1243{,}69 \text{ kgm}$$

$$Mly_2 = \frac{-0{,}017 \times \frac{0{,}5}{6{,}2} + (-0{,}062) \times \frac{0{,}2}{6{,}7} + 0{,}130}{\frac{0{,}5}{6{,}2} + \frac{0{,}2}{6{,}7} + 0{,}390} \times 5000$$

$$Mly_2 = 1266{,}53 \text{ kgm}$$

Momen tumpuan

$$Mtx_2 = \frac{0{,}062 \times \frac{0{,}5}{6{,}2} + 0{,}136 \times \frac{0{,}2}{6{,}7} - 0{,}355}{\frac{0{,}5}{6{,}2} + \frac{0{,}2}{6{,}7} + 1{,}065} \times 5000$$

$$Mtx_2 = -\ 1471{,}47 \text{ kgm}$$

$$Mty_2 = \frac{0{,}136 \times \frac{0{,}5}{6{,}2} + 0{,}062 \times \frac{0{,}2}{6{,}7} - 0{,}355}{\frac{0{,}5}{6{,}2} + \frac{0{,}2}{6{,}7} + 1{,}065} \times 5000$$

$$Mty_2 = -\ 1455{,}48 \text{ kgm}$$

- **Roda 1 (kiri depan)**
  Pada roda 1 terjadi pengurangan momen tumpuan sebesar $(h/d)^2 \times$ Mt. Posisi untuk truk kombinasi 1 roda 1 arah melintang lihat Gambar 6.9.

Momen lapangan

$Mlx_3 = Mlx_1 = 717{,}51$ kgm

$Mly_3 = Mly_1 = 720{,}18$ kgm

Momen tumpuan

$Mtx_3 = Mtx_1 - ((h/d)^2 \times Mtx_1)$

$= Mtx_1 \times \left(1 - \left(\frac{h}{d}\right)^2\right)$

$= -798{,}07 \times \left(1 - \left(\frac{1{,}915}{5{,}9975}\right)^2\right)$

$= -716{,}70$ kgm

$Mty_3 = Mty_1 = -796{,}29$ kgm

- **Roda 1 (kiri belakang)**

Pada roda 1 terjadi pengurangan momen tumpuan sebesar $(h/d)^2 \times Mt$. Posisi untuk truk kombinasi 1 roda 1 arah melintang lihat Gambar 6.9.

Momen lapangan

$Mlx_4 = Mlx_2 = 1243{,}69$ kgm

$Mly_4 = Mly_2 = 1266{,}53$ kgm

Momen tumpuan

$Mtx_4 = Mtx_2 - ((h/d)^2 \times Mtx_2)$

$= Mtx_2 \times \left(1 - \left(\frac{h}{d}\right)^2\right)$

$= -1471{,}47 \times \left(1 - \left(\frac{1{,}82}{5{,}95}\right)^2\right)$

$= -1333{,}79$ kgm

$Mty_4 = Mty_2 = -1455{,}48$ kgm

- **Momen lapangan total arah memanjang**
  Momen lapangan total dihitung dari total momen roda 2 (kanan) depan dan belakang serta roda 1 (kiri) depan dan belakang arah memanjang.
  $Mlx_{tot} = Mlx_1 + Mlx_2 + Mlx_3 + Mlx_4$
  $= 717,51 + 1243,69 + 717,51 + 1243,69$
  $= 3922,41$ kgm
  $Mly_{tot} = Mly_1 + Mly_2 + Mly_3 + Mly_4$
  $= 720,18 + 1266,53 + 720,18 + 1266,53$
  $= 3973,41$ kgm

- **Momen tumpuan total arah memanjang**
  Momen tumpuan total dihitung dari total momen roda 2 (kanan) depan dan belakang serta roda 1 (kiri) depan dan belakang arah memanjang.
  $Mtx_{tot} = Mtx_1 + Mtx_2 + Mtx_3 + Mtx_4$
  $= - 798,07 - 1471,47 - 716,70 - 1333,79$
  $= - 4320,02$ kgm
  $Mty_{tot} = Mty_1 + Mty_2 + Mty_3 + Mty_4$
  $= - 796,29 – 1455,48 - 796,29 – 1455,48$
  $= - 4503,54$ kgm

- **Momen maksimum kombinasi pembebanan 1 dan 2**
  - **Arah melintang pelat**
    Mlx = 3991,65 kgm
    Mly = 3950,70 kgm
    Mtx = - 4520,26 kgm
    Mty = - 4361,89 kgm
  - **Arah memanjang pelat**
    Mlx = 3922,41 kgm
    Mly = 3973,41 kgm
    Mtx = - 4320,02 kgm
    Mty = - 4503,54 kgm

- **Lebar pembesian arah melintang**

$$Slx_1 = \left(0{,}4-0{,}1+\left(0{,}4\times\frac{0{,}2}{6{,}2}\right)+\left(0{,}2\times\frac{0{,}5}{6{,}7}\right)-\left(0{,}3x\frac{0{,}2\times0{,}5}{6{,}2\times6{,}7}\right)\right)\times6{,}2 = 2{,}03$$

$$Sly_1 = \left(0{,}4-0{,}1+\left(0{,}2\times\frac{0{,}2}{6{,}2}\right)+\left(0{,}4\times\frac{0{,}5}{6{,}7}\right)-\left(0{,}3x\frac{0{,}2\times0{,}5}{6{,}2\times6{,}7}\right)\right)\times6{,}7 = 2{,}25$$

$$Stx_1 = \left(0{,}6-0{,}1+\left(0{,}1\times\frac{0{,}2}{6{,}2}\right)-\left(0{,}1\times\frac{0{,}5}{6{,}7}\right)+\left(0{,}1\times\frac{0{,}2\times0{,}5}{6{,}2\times6{,}7}\right)\right)\times6{,}2 = 3{,}08$$

$$Sty_1 = \left(0{,}6-0{,}1-\left(0{,}1\times\frac{0{,}2}{6{,}2}\right)+\left(0{,}1\times\frac{0{,}5}{6{,}7}\right)+\left(0{,}1\times\frac{0{,}2\times0{,}5}{6{,}2\times6{,}7}\right)\right)\times6{,}7 = 3{,}38$$

- **Momen lapangan maksimum**

$$Mlx_{max} = \frac{Mlx}{Slx} = \frac{3991{,}65}{2{,}03} = 1968{,}21 \text{ kgm}$$

$$Mly_{max} = \frac{Mly}{Sly} = \frac{3950{,}70}{2{,}25} = 1757{,}13 \text{ kgm}$$

- **Momen tumpuan maksimum**

$$Mtx_{max} = \frac{Mtx}{Stx} = \frac{-4520{,}26}{3{,}08} = -1469{,}9 \text{ kgm}$$

$$Mty_{max} = \frac{Mty}{Sty} = \frac{-4361{,}86}{3{,}38} = -1290{,}49 \text{ kgm}$$

- **Lebar pembesian arah memanjang**

$$Slx_2 = \left(0{,}4-0{,}1+\left(0{,}4\times\frac{0{,}5}{6{,}2}\right)+\left(0{,}2\times\frac{0{,}2}{6{,}7}\right)-\left(0{,}3x\frac{0{,}5\times0{,}2}{6{,}2\times6{,}7}\right)\right)\times6{,}2 = 2{,}09$$

$$Sly_2 = \left(0{,}4-0{,}1+\left(0{,}2\times\frac{0{,}5}{6{,}2}\right)+\left(0{,}4\times\frac{0{,}2}{6{,}7}\right)-\left(0{,}3x\frac{0{,}5\times0{,}2}{6{,}2\times6{,}7}\right)\right)\times6{,}7 = 2{,}19$$

$$Stx_2 = \left(0{,}6 - 0{,}1 + \left(0{,}1 \times \frac{0{,}5}{6{,}2}\right) - \left(0{,}1 \times \frac{0{,}2}{6{,}7}\right) + \left(0{,}1 \times \frac{0{,}5 \times 0{,}2}{6{,}2 \times 6{,}7}\right)\right) \times 6{,}2 = 3{,}13$$

$$Sty_2 = \left(0{,}6 - 0{,}1 - \left(0{,}1 \times \frac{0{,}5}{6{,}2}\right) + \left(0{,}1 \times \frac{0{,}2}{6{,}7}\right) + \left(0{,}1 \times \frac{0{,}5 \times 0{,}2}{6{,}2 \times 6{,}7}\right)\right) \times 6{,}7 = 3{,}32$$

- **Momen lapangan maksimum**

  $Mlx_{max} = \frac{Mlx}{Slx} = \frac{3922{,}41}{2{,}09} = 1874{,}48$ kgm

  $Mly_{max} = \frac{Mly}{Sly} = \frac{3973{,}41}{2{,}19} = 1811{,}67$ kgm

- **Momen tumpuan maksimum**

  $Mtx_{max} = \frac{Mtx}{Stx} = \frac{-4320{,}02}{3{,}13} = -1378{,}88$ kgm

  $Mty_{max} = \frac{Mty}{Sty} = \frac{-4503{,}54}{3{,}32} = -1356{,}82$ kgm

Tabel 6.4 Momen akibat beban terpusat roda truk pelat dermaga

Tipe pelat	Momen kombinasi 1 roda 2 (kgm)				Kombinasi I roda 1 (kgm)				PAKAI	
	Melintang		memanjang		Melintang		memanjang		Melintang	Memanjang
	depan	belakang	depan	belakang	depan	belakang	depan	belakang		
A	720,56	1275,26	717,51	1243,69	720,56	1275,26	717,51	1243,69	3991,65	3922,41
	-797,31	-1462,82	-798,07	-1471,47	-797,31	-1462,82	-679,46	-1270,11	-4520,26	-4219,11
	719,28	1256,07	720,18	1266,53	719,28	1256,07	720,18	1266,53	3950,70	3973,41
	-798,17	-1476,19	-796,29	-1455,48	-690,64	-1293,26	-796,29	-1455,48	-4258,26	-4503,54
B	0,00	1062,26	0,00	0,00	0,00	1062,26	575,10	854,42	2124,51	1429,52
	0,00	-1392,20	0,00	0,00	0,00	-1392,20	-753,31	-1321,37	-2784,40	-2074,68
	0,00	1025,50	0,00	0,00	0,00	1025,50	572,79	867,68	2051,00	1440,47
	0,00	-1193,77	0,00	0,00	0,00	-1045,83	-645,31	-1019,69	-2239,59	-1665,00
C	0,00	765,49	0,00	0,00	0,00	765,49	383,14	456,53	1530,98	839,67
	0,00	-1234,19	0,00	0,00	0,00	-1234,19	-648,61	-1013,91	-2468,38	-1662,53
	0,00	759,25	0,00	0,00	0,00	759,25	394,77	502,62	1518,50	897,39
	0,00	-927,21	0,00	0,00	0,00	-812,31	-471,74	-612,04	-1739,52	-1083,77
D	0,00	772,92	0,00	0,00	0,00	772,92	384,58	457,87	1545,84	842,45
	0,00	-1242,92	0,00	0,00	0,00	-1242,92	-650,40	-1016,54	-2485,85	-1666,95
	0,00	769,20	0,00	0,00	0,00	769,20	396,74	504,69	1538,40	901,44
	0,00	-935,34	0,00	0,00	0,00	-935,34	-473,35	-613,81	-1870,69	-1087,16
E	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	544,76	0,00	407,41	544,76	407,41
	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	-931,65	0,00	-913,77	-931,65	-913,77
	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	458,49	0,00	423,92	458,49	423,92
	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	-671,53	0,00	-550,04	-671,53	-550,04
F	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	366,21	0,00	283,93	366,21	283,93
	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	-578,03	0,00	-687,35	-578,03	-687,35
	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	283,93	0,00	366,21	283,93	366,21
	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	-687,35	0,00	-578,03	-687,35	-578,03

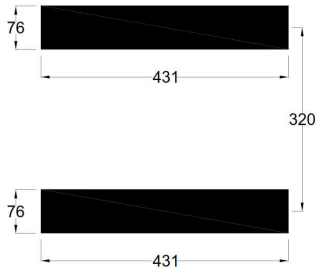
Tabel 6.5 Momen akibat beban terpusat roda truk pelat dermaga (lanjutan)

Tipe pelat	Kombinasi II roda 2 (kgm)				Kombinasi II roda 1 (kgm)				PAKAI	
	Melintang		memanjang		Melintang		memanjang		Melintang	Memanjang
	depan	belakang	depan	belakang	depan	belakang	depan	belakang		
A	720,56	1275,26	717,51	1243,69	720,56	1275,26	717,51	1243,69	3991,65	3922,41
	-797,31	-1462,82	-798,07	-1471,47	-797,31	-1462,82	-716,70	-1333,79	-4520,26	-4320,02
	719,28	1256,07	720,18	1266,53	719,28	1256,07	720,18	1266,53	3950,70	3973,41
	-798,17	-1476,19	-796,29	-1455,48	-728,84	-1358,66	-796,29	-1455,48	-4361,86	-4503,54
B	0,00	1062,26	0,00	0,00	0,00	1062,26	575,10	854,42	2124,51	1429,52
	0,00	-1392,20	0,00	0,00	0,00	-1392,20	-753,31	-1321,37	-2784,40	-2074,68
	0,00	1025,50	0,00	0,00	0,00	1025,50	572,79	867,68	2051,00	1440,47
	0,00	-1193,77	0,00	0,00	0,00	-1098,72	-645,31	-1019,69	-2292,48	-1665,00
C	0,00	765,49	0,00	0,00	0,00	765,49	383,14	456,53	1530,98	839,67
	0,00	-1234,19	0,00	0,00	0,00	-1234,19	-648,61	-1013,91	-2468,38	-1662,53
	0,00	759,25	0,00	0,00	0,00	759,25	394,77	502,62	1518,50	897,39
	0,00	-927,21	0,00	0,00	0,00	-853,39	-471,74	-612,04	-1780,60	-1083,77
D	0,00	772,92	0,00	0,00	0,00	772,92	384,58	457,87	1545,84	842,45
	0,00	-1242,92	0,00	0,00	0,00	-1242,92	-650,40	-1016,54	-2485,85	-1666,95
	0,00	769,20	0,00	0,00	0,00	769,20	396,74	504,69	1538,40	901,44
	0,00	-935,34	0,00	0,00	0,00	-935,34	-473,35	-613,81	-1870,69	-1087,16
E	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	544,76	0,00	407,41	544,76	407,41
	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	-931,65	0,00	-913,77	-931,65	-913,77
	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	458,49	0,00	423,92	458,49	423,92
	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	-671,53	0,00	-550,04	-671,53	-550,04
F	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	366,21	0,00	283,93	366,21	283,93
	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	-578,03	0,00	-687,35	-578,03	-687,35
	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	283,93	0,00	366,21	283,93	366,21
	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	-687,35	0,00	-578,03	-687,35	-578,03

Tabel 6.6 Momen akibat beban terpusat roda truk pelat dermaga (lanjutan)

Tipe pelat	Kombinasi maks		Lebar Jalur (m)		Momen Max (kgm)		Momen Max Akhir (kgm)
	Melintang	Memanjang	Melintang	Memanjang	Melintang	Memanjang	
A	3991,65	3922,41	2,03	2,09	1968,21	1874,48	1968,21
	-4520,26	-4320,02	3,08	3,13	-1469,90	-1378,88	-1469,90
	3950,70	3973,41	2,25	2,19	1757,13	1811,67	1811,67
	-4361,86	-4503,54	3,38	3,32	-1290,49	-1356,82	-1356,82
B	2124,51	1429,52	0,66	0,77	3214,25	1867,47	3214,25
	-2784,40	-2074,68	0,89	0,93	-3133,08	-2239,39	-3133,08
	2051,00	1440,47	2,20	2,31	933,87	623,92	933,87
	-2292,48	-1665,00	3,08	2,99	-744,62	-556,86	-744,62
C	1530,98	839,67	0,29	0,41	5192,60	2052,83	5192,60
	-2468,38	-1662,53	0,35	0,38	-7118,11	-4378,79	-7118,11
	1518,50	897,39	2,42	2,92	626,62	306,97	626,62
	-1780,60	-1083,77	2,96	2,81	-601,55	-386,14	-601,55
D	1545,84	842,45	0,29	0,41	5249,41	2059,25	5249,41
	-2485,85	-1666,95	0,35	0,38	-7163,51	-4390,15	-7163,51
	1538,40	901,44	2,61	3,16	590,18	285,57	590,18
	-1870,69	-1087,16	3,19	3,03	-585,81	-358,60	-585,81
E	544,76	407,41	0,31	0,41	1764,39	1002,85	1764,39
	-931,65	-913,77	0,34	0,38	-2760,43	-2412,59	-2760,43
	458,49	423,92	0,82	0,86	561,41	494,84	561,41
	-671,53	-550,04	0,89	0,82	-751,72	-673,51	-751,72
F	366,21	283,93	0,34	0,40	1077,10	709,82	1077,10
	-578,03	-687,35	0,32	0,38	-1825,35	-1824,82	-1825,35
	283,93	366,21	0,40	0,34	709,82	1077,10	1077,10
	-687,35	-578,03	0,38	0,32	-1824,82	-1825,35	-1825,35

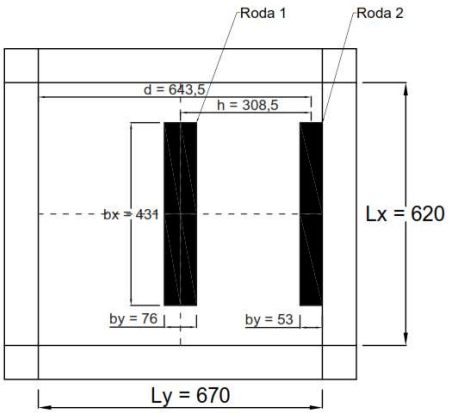
5. Momen akibat beban terpusat *crawler crane*
   Besarnya momen akibat beban terpusat *crawler crane* yang bergerak harus dihitung berdasarkan pada momen maksimum yang terjadi. Area kontak roda tunggal *crawler crane* seluas 0,76 × 4,31 m^2. Konfigurasi beban roda *crawler crane* dapat dilihat pada Gambar 6.10. Untuk perhitungan momen hanya dihitung dengan 2 kombinasi pada tengah - tengah pelat dengan asumsi momen maksimum berada pada tengah pelat bukan tepi pelat.



Gambar 6.10 Konfigurasi beban roda *crawler crane*

a. Kombinasi pembebanan 1
Dalam kombinasi pembebanan ini, salah satu roda *crawler crane* diletakkan ditengah pelat dan roda lainnya berada di sampingnya. Kombinasi ini dihitung baik pada saat roda dalam posisi melintang ataupun memanjang.

- Posisi roda *crawler crane* arah melintang pelat
  Contoh perhitungan momen dilakukan pada pelat tipe A, sedangkan perhitungan momen pada pelat tipe lainnya dapat dilihat padaTabel 6.7, Tabel 6.8 dan Tabel 6.9. Masing – masing roda *crawler crane* meberikan beban 6,25 t/m^2 (lihat Gambar 6.11).



Gambar 6.11 Posisi roda *crawler crane* arah melintang pelat dermaga tipe A kombinasi 1

Sehingga besarnya momen akibat beban terpusat roda *crawler crane* dapat dihitung dengan persamaan momen pada buku Konstruksi Beton Indonesia Ir. Sutami.

- **Roda 2 (kanan)**
  Momen lapangan

$$Mlx_1 = \frac{-0{,}062 \times \frac{4{,}31}{6{,}2} + (-0{,}017) \times \frac{0{,}53}{6{,}7} + 0{,}130}{\frac{4{,}31}{6{,}2} + \frac{0{,}53}{6{,}7} + 0{,}390} \times (6250 \times 4{,}31 \times 0{,}53)$$

$$Mlx_1 = 1049{,}13 \text{ kgm}$$

$$Mly_1 = \frac{-0{,}017\times\frac{4{,}31}{6{,}2}+(-0{,}062)\times\frac{0{,}53}{6{,}7}+0{,}130}{\frac{4{,}31}{6{,}2}+\frac{0{,}53}{6{,}7}+0{,}390}\times(6250\times4{,}31\times0{,}53)$$

$$Mly_1 = 1389{,}08 \text{ kgm}$$

Momen tumpuan

$$Mtx_1 = \frac{0{,}062\times\frac{4{,}31}{6{,}2}+0{,}136\times\frac{0{,}53}{6{,}7}-0{,}355}{\frac{4{,}31}{6{,}2}+\frac{0{,}53}{6{,}7}+1{,}065}\times(6250\times4{,}31\times0{,}53)$$

$$Mtx_1 = -2337{,}54 \text{ kgm}$$

$$Mty_1 = \frac{0{,}136\times\frac{4{,}31}{6{,}2}+0{,}062\times\frac{0{,}53}{6{,}7}-0{,}355}{\frac{4{,}31}{6{,}2}+\frac{0{,}53}{6{,}7}+1{,}065}\times(6250\times4{,}31\times0{,}53)$$

$$Mty_1 = -1983{,}68 \text{ kgm}$$

- **Roda 1 (kiri)**
  Pada roda 1 terjadi pengurangan momen tumpuan sebesar $(h/d)^2 \times$ Mt. Posisi untuk truk kombinasi 1 roda 1 arah melintang lihat Gambar 6.11.

Momen lapangan

$$Mlx_2 = \frac{-0{,}062 \times \frac{4{,}31}{6{,}2} + (-0{,}017) \times \frac{0{,}76}{6{,}7} + 0{,}130}{\frac{4{,}31}{6{,}2} + \frac{0{,}76}{6{,}7} + 0{,}390} \times (6250 \times 4{,}31 \times 0{,}76)$$

$$Mlx_2 = 1451{,}35 \text{ kgm}$$

$$Mly_2 = \frac{-0{,}017 \times \frac{4{,}31}{6{,}2} + (-0{,}062) \times \frac{0{,}76}{6{,}7} + 0{,}130}{\frac{4{,}31}{6{,}2} + \frac{0{,}76}{6{,}7} + 0{,}390} \times (6250 \times 4{,}31 \times 0{,}76)$$

$$Mly_2 = 1898{,}48 \text{ kgm}$$

Momen tumpuan

$$Mtx_2 = \frac{0{,}062 \times \frac{4{,}31}{6{,}2} + 0{,}136 \times \frac{0{,}76}{6{,}7} - 0{,}355}{\frac{4{,}31}{6{,}2} + \frac{0{,}76}{6{,}7} + 1{,}065} \times (6250 \times 4{,}31 \times 0{,}76)$$

$$Mtx_2 = -3239{,}52 \text{kgm}$$

$$Mty_2 = \frac{0{,}136 \times \frac{4{,}31}{6{,}2} + 0{,}062 \times \frac{0{,}76}{6{,}7} - 0{,}355}{\frac{4{,}31}{6{,}2} + \frac{0{,}76}{6{,}7} + 1{,}065} \times (6250 \times 4{,}31 \times 0{,}76)$$

$$Mty_2 = -2769{,}14 \text{ kgm}$$

$$Mty_2 \text{ tot.} = Mty_2 - ((h/d)^2 \times Mty_1)$$

$$= -2769{,}14 - \left(\left(\frac{3{,}085}{6{,}44} \right)^2 \times -1983{,}68 \right)$$

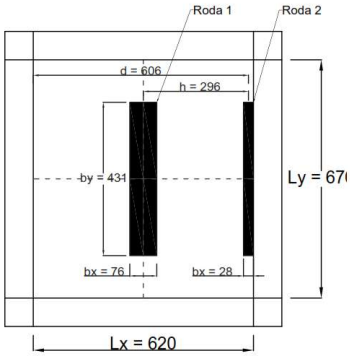
$$= -2313{,}23 \text{ kgm}$$

- **Momen lapangan total arah melintang**
  Momen lapangan total dihitung dari total momen roda 2 (kanan) dan roda 1 (kiri) arah melintang.
  $Mlx_{tot} = Mlx_1 + Mlx_2$
  $= 1049{,}13 + 1451{,}35 = 2500{,}48$ kgm
  $Mly_{tot} = Mly_1 + Mly_2$
  $= 1389{,}08 + 1898{,}48 = 3287{,}55$ kgm

- **Momen tumpuan total arah melintang**
  Momen tumpuan total dihitung dari total momen roda 2 (kanan) dan roda 1 (kiri) arah melintang
  $Mtx_{tot} = Mtx_1 + Mtx_2$
  $= -2337{,}54 - 3239{,}52 = -5577{,}06$ kgm
  $Mty_{tot} = Mty_1 + Mty_2$
  $= -1983{,}68 - 2313{,}23 = -4296{,}90$ kgm

- Posisi roda *crawler crane* arah memanjang pelat
  Contoh perhitungan momen dilakukan pada pelat tipe A, sedangkan perhitungan momen pada pelat

tipe lainnya dapat dilihat pada Tabel 6.7, Tabel 6.8 dan Tabel 6.9. Masing – masing roda membebani pelat sebesar 6,25 t/m^2 (Lihat Gambar 6.12).



Gambar 6.12 Posisi roda *crawler crane* arah memanjang pelat dermaga tipe A kombinasi 1

- **Roda 2 (kanan)**
  Momen lapangan

$$Mlx_1 = \frac{-0,062 \times \frac{0,28}{6,2} + (-0,017) \times \frac{4,31}{6,7} + 0,130}{\frac{0,28}{6,2} + \frac{4,31}{6,7} + 0,390} \times (6250 \times 0,28 \times 4,31)$$

$$Mlx_1 = 813,14 \text{ kgm}$$

$$Mly_1 = \frac{-0,017 \times \frac{0,28}{6,2} + (-0,062) \times \frac{4,31}{6,7} + 0,130}{\frac{0,28}{6,2} + \frac{4,31}{6,7} + 0,390} \times (6250 \times 0,28 \times 4,31)$$

$$Mly_1 = 624,89 \text{ kgm}$$

Momen tumpuan

$$Mtx_1 = \frac{0{,}062 \times \frac{0{,}28}{6{,}2} + 0{,}136 \times \frac{4{,}31}{6{,}7} - 0{,}355}{\frac{0{,}28}{6{,}2} + \frac{4{,}31}{6{,}7} + 1{,}065} \times (6250 \times 0{,}28 \times 4{,}31)$$

Mtx_1 = - 1138,67 kgm

$$Mty_1 = \frac{0{,}136 \times \frac{0{,}28}{6{,}2} + 0{,}062 \times \frac{4{,}31}{6{,}7} - 0{,}355}{\frac{0{,}28}{6{,}2} + \frac{4{,}31}{6{,}7} + 1{,}065} \times (6250 \times 0{,}28 \times 4{,}31)$$

Mty_1 = - 1329,06 kgm

- **Roda 1 (kiri)**
  Pada roda 1 terjadi pengurangan momen tumpuan sebesar $(h/d)^2 \times$ Mt. Posisi untuk truk kombinasi 1 roda 1 arah melintang lihat Gambar 6.12.

Momen lapangan

$$Mlx_2 = \frac{-0{,}062 \times \frac{0{,}76}{6{,}2} + (-0{,}017) \times \frac{4{,}31}{6{,}7} + 0{,}130}{\frac{0{,}76}{6{,}2} + \frac{4{,}31}{6{,}7} + 0{,}390} \times (6250 \times 0{,}76 \times 4{,}31)$$

Mlx_2 = 1974,24 kgm

$$Mly_2 = \frac{-0{,}017 \times \frac{0{,}76}{6{,}2} + (-0{,}062) \times \frac{4{,}31}{6{,}7} + 0{,}130}{\frac{0{,}76}{6{,}2} + \frac{4{,}31}{6{,}7} + 0{,}390} \times (6250 \times 0{,}76 \times 4{,}31))$$

$$Mly_2 = 1559{,}22 \text{ kgm}$$

Momen tumpuan

$$Mtx_2 = \frac{0{,}062 \times \frac{0{,}76}{6{,}2} + 0{,}136 \times \frac{4{,}31}{6{,}7} - 0{,}355}{\frac{0{,}76}{6{,}2} + \frac{4{,}31}{6{,}7} + 1{,}065} \times (6250 \times 0{,}76 \times 4{,}31)$$

$$Mtx_2 = -2906{,}32 \text{ kgm}$$

$$Mty_2 = \frac{0{,}136 \times \frac{0{,}76}{6{,}2} + 0{,}062 \times \frac{4{,}31}{6{,}7} - 0{,}355}{\frac{0{,}76}{6{,}2} + \frac{4{,}31}{6{,}7} + 1{,}065} \times (6250 \times 0{,}76 \times 4{,}31)$$

$$Mty_2 = -3337{,}18 \text{ kgm}$$

$$Mty_2 \text{ tot.} = Mty_2 - ((h/d)^2 \,.\, Mty_1)$$

$$= -3337{,}18 - \left(\left(\frac{2{,}96}{6{,}06} \right)^2 \times -1329{,}06 \right)$$

$$= -3020{,}09 \text{ kgm}$$

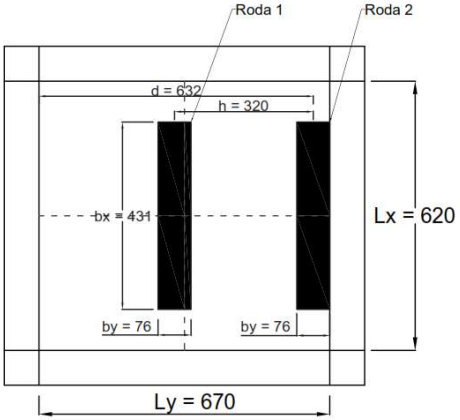
- **Momen lapangan total arah memanjang**
  Momen lapangan total dihitung dari total momen roda 2 (kanan) dan roda 1 (kiri) arah memanjang.
  $Mlx_{tot} = Mlx_1 + Mlx_2$
  $= 813,14 + 1974,24 = 2787,37$ kgm
  $Mly_{tot} = Mly_1 + Mly_2$
  $= 624,89 + 1559,22 = 2184,11$ kgm

- **Momen tumpuan total arah memanjang**
  Momen tumpuan total dihitung dari total momen roda 2 (kanan) dan roda 1 (kiri) arah memanjang.
  $Mtx_{tot} = Mtx_1 + Mtx_2$
  $= - 1138,67 - 2906,32 = - 4044,99$ kgm
  $Mty_{tot} = Mty_1 + Mty_2$
  $= - 1329,06 - 3020,09 = - 4349,15$ kgm

b. Kombinasi pembebanan 2

Dalam kombinasi pembebanan ini, salah satu roda *crawler crane* diletakkan tepi pelat dan roda lainnya berada di sampingnya. Kombinasi ini dihitung baik pada saat roda dalam posisi melintang ataupun memanjang.

- Posisi roda *crawler crane* arah melintang pelat
  Contoh perhitungan momen dilakukan pada pelat tipe A, sedangkan perhitungan momen pada pelat tipe lainnya dapat dilihat pada Tabel 6.7, Tabel 6.8 dan Tabel 6.9. Masing – masing roda *crawler crane* meberikan beban 6,25 t/m^2 (lihat Gambar 6.13).



Gambar 6.13 Posisi roda *crawler crane* arah melintang pelat dermaga tipe A kombinasi 2

- **Roda 2 (kanan)**

Momen lapangan

$$Mlx_1 = \frac{-0{,}062 \times \frac{4{,}31}{6{,}2} + (-0{,}017) \times \frac{0{,}76}{6{,}7} + 0{,}130}{\frac{4{,}31}{6{,}2} + \frac{0{,}76}{6{,}7} + 0{,}390} \times (6250 \times 4{,}31 \times 0{,}76)$$

$$Mlx_1 = 1451{,}35 \text{ kgm}$$

$$Mly_1 = \frac{-0{,}017 \times \frac{4{,}31}{6{,}2} + (-0{,}062) \times \frac{0{,}76}{6{,}7} + 0{,}130}{\frac{4{,}31}{6{,}2} + \frac{0{,}76}{6{,}7} + 0{,}390} \times (6250 \times 4{,}31 \times 0{,}76)$$

$$Mly_1 = 1898{,}48 \text{ kgm}$$

Momen tumpuan

$$Mtx_1 = \frac{0{,}062 \times \frac{4{,}31}{6{,}2} + 0{,}136 \times \frac{0{,}76}{6{,}7} - 0{,}355}{\frac{4{,}31}{6{,}2} + \frac{0{,}76}{6{,}7} + 1{,}065} \times (6250 \times 4{,}31 \times 0{,}76)$$

Mtx_1 = - 3239,52 kgm

$$Mty_1 = \frac{0{,}136 \times \frac{4{,}31}{6{,}2} + 0{,}062 \times \frac{0{,}76}{6{,}7} - 0{,}355}{\frac{4{,}31}{6{,}2} + \frac{0{,}76}{6{,}7} + 1{,}065} \times (6250 \times 4{,}31 \times 0{,}76)$$

Mty_1 = - 2769,14 kgm

- **Roda 1 (kiri)**
  Pada roda 1 terjadi pengurangan momen tumpuan sebesar $(h/d)^2 \times Mt$. Posisi untuk truk kombinasi 1 roda 1 arah melintang lihat Gambar 6.13.

Momen lapangan

$$Mlx_2 = \frac{-0{,}062 \times \frac{4{,}31}{6{,}2} + (-0{,}017) \times \frac{0{,}76}{6{,}7} + 0{,}130}{\frac{4{,}31}{6{,}2} + \frac{0{,}76}{6{,}7} + 0{,}390} \times (6250 \times 4{,}31 \times 0{,}76)$$

Mlx_2 = 1451,34 kgm

$$Mly_2 = \frac{-0{,}017 \times \frac{4{,}31}{6{,}2} + (-0{,}062) \times \frac{0{,}76}{6{,}7} + 0{,}130}{\frac{4{,}31}{6{,}2} + \frac{0{,}76}{6{,}7} + 0{,}390} \times (6250 \times 4{,}31 \times 0{,}76))$$

$Mly_2 = 1898{,}48$ kgm

Momen tumpuan

$$Mtx_2 = \frac{0{,}062 \times \frac{4{,}31}{6{,}2} + 0{,}136 \times \frac{0{,}76}{6{,}7} - 0{,}355}{\frac{4{,}31}{6{,}2} + \frac{0{,}76}{6{,}7} + 1{,}065} \times (6250 \times 4{,}31 \times 0{,}76)$$

$Mtx_2 = -3239{,}52$ kgm

$$Mty_2 = Mty_1 - ((h/d)^2 \times Mty_1)$$

$$= Mty_1 \times \left(1 - \left(\frac{h}{d}\right)^2\right)$$

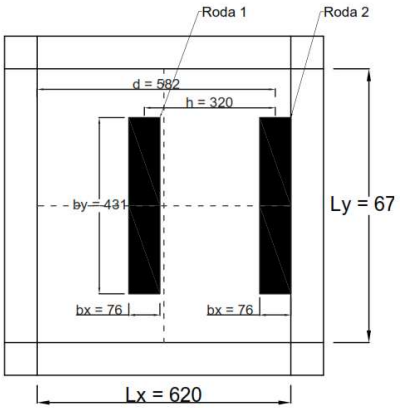
$$= -2769{,}14 \times \left(1 - \left(\frac{3{,}2}{6{,}32}\right)^2\right)$$

$= -2059{,}22$ kgm

- **Momen lapangan total arah melintang**
  Momen lapangan total dihitung dari total momen roda 2 (kanan) dan roda 1 (kiri) arah melintang.
  $Mlx_{tot} = Mlx_1 + Mlx_2$
  $= 1451{,}35 + 1451{,}35 = 2902{,}70$ kgm
  $Mly_{tot} = Mly_1 + Mly_2$
  $= 1898{,}48 + 1898{,}48 = 3796{,}96$ kgm

- **Momen tumpuan total arah melintang**
  Momen tumpuan total dihitung dari total momen roda 2 (kanan) dan roda 1 (kiri) arah melintang
  $Mtx_{tot} = Mtx_1 + Mtx_2$
  $= - 3239,52 - 3239,52 = - 6479,04$ kgm
  $Mty_{tot} = Mty_1 + Mty_2$
  $= - 2769,14 - 2059,22 = - 4828,36$ kgm

- Posisi roda *crawler crane* arah memanjang pelat
  Contoh perhitungan momen dilakukan pada pelat tipe A, sedangkan perhitungan momen pada pelat tipe lainnya dapat dilihat pada Tabel 6.7, Tabel 6.8 dan Tabel 6.9. Masing – masing roda membebani pelat sebesar 6,25 t/m^2 (lihat Gambar 6.14).



Gambar 6.14 Posisi roda *crawler crane* arah memanjang pelat dermaga tipe A kombinasi 2

- **Roda 2 (kanan)**

Momen lapangan

$$Mlx_1 = \frac{-0{,}062 \times \frac{0{,}76}{6{,}2} + (-0{,}017) \times \frac{4{,}31}{6{,}7} + 0{,}130}{\frac{0{,}76}{6{,}2} + \frac{4{,}31}{6{,}7} + 0{,}390} \times (6250 \times 0{,}76 \times 4{,}31)$$

$Mlx_1 = 1974{,}24$ kgm

$$Mly_1 = \frac{-0{,}017 \times \frac{0{,}76}{6{,}2} + (-0{,}062) \times \frac{4{,}31}{6{,}7} + 0{,}130}{\frac{0{,}76}{6{,}2} + \frac{4{,}31}{6{,}7} + 0{,}390} \times (6250 \times 0{,}76 \times 4{,}31))$$

$Mly_1 = 1559{,}22$ kgm

Momen tumpuan

$$Mtx_1 = \frac{0{,}062 \times \frac{0{,}76}{6{,}2} + 0{,}136 \times \frac{4{,}31}{6{,}7} - 0{,}355}{\frac{0{,}76}{6{,}2} + \frac{4{,}31}{6{,}7} + 1{,}065} \times (6250 \times 0{,}76 \times 4{,}31)$$

$Mtx_1 = -2906{,}32$ kgm

$$Mty_1 = \frac{0{,}136 \times \frac{0{,}76}{6{,}2} + 0{,}062 \times \frac{4{,}31}{6{,}7} - 0{,}355}{\frac{0{,}76}{6{,}2} + \frac{4{,}31}{6{,}7} + 1{,}065} \times (6250 \times 0{,}76 \times 4{,}31)$$

$Mty_1 = -3337{,}18$ kgm

- **Roda 1 (kiri)**
  Pada roda 1 terjadi pengurangan momen tumpuan sebesar $(h/d)^2 \times$ Mt. Posisi untuk truk kombinasi 1 roda 1 arah melintang lihat Gambar 6.12.

Momen lapangan

$$Mlx_2 = \frac{-0{,}062 \times \frac{0{,}76}{6{,}2} + (-0{,}017) \times \frac{4{,}31}{6{,}7} + 0{,}130}{\frac{0{,}76}{6{,}2} + \frac{4{,}31}{6{,}7} + 0{,}390} \times (6250 \times 0{,}76 \times 4{,}31)$$

$$Mlx_2 = 1974{,}24 \text{ kgm}$$

$$Mly_2 = \frac{-0{,}017 \times \frac{0{,}76}{6{,}2} + (-0{,}062) \times \frac{4{,}31}{6{,}7} + 0{,}130}{\frac{0{,}76}{6{,}2} + \frac{4{,}31}{6{,}7} + 0{,}390} \times (6250 \times 0{,}76 \times 4{,}31))$$

$$Mly_2 = 1559{,}22 \text{ kgm}$$

Momen tumpuan

$$Mtx_2 = \frac{0{,}062 \times \frac{0{,}76}{6{,}2} + 0{,}136 \times \frac{4{,}31}{6{,}7} - 0{,}355}{\frac{0{,}76}{6{,}2} + \frac{4{,}31}{6{,}7} + 1{,}065} \times (6250 \times 0{,}76 \times 4{,}31)$$

$$Mtx_2 = -2906{,}32 \text{ kgm}$$

$$Mtx_2 = Mtx_1 - ((h/d)^2 \times Mtx_1)$$

$$= Mtx_1 \times \left(1 - \left(\frac{h}{d}\right)^2\right)$$

$$= - 2906{,}32 \times \left(1 - \left(\frac{3{,}2}{5{,}82} \right)^2 \right)$$

$$= - 2027{,}71 \text{ kgm}$$

$$Mty_2 = \frac{0{,}136 \times \frac{0{,}76}{6{,}2} + 0{,}062 \times \frac{4{,}31}{6{,}7} - 0{,}355}{\frac{0{,}76}{6{,}2} + \frac{4{,}31}{6{,}7} + 1{,}065} \times (6250 \times 0{,}76 \times 4{,}31)$$

$$Mty_2 = - 3337{,}18 \text{ kgm}$$

- **Momen lapangan total arah memanjang**
  Momen lapangan total dihitung dari total momen roda 2 (kanan) dan roda 1 (kiri) arah memanjang.
  $Mlx_{tot} = Mlx_1 + Mlx_2$
  $= 1974{,}24 + 1974{,}24 = 3948{,}48$ kgm
  $Mly_{tot} = Mly_1 + Mly_2$
  $= 1559{,}22 + 1559{,}22 = 3118{,}44$ kgm

- **Momen tumpuan total arah memanjang**
  Momen tumpuan total dihitung dari total momen roda 2 (kanan) dan roda 1 (kiri) arah memanjang.
  $Mtx_{tot} = Mtx_1 + Mtx_2$
  $= - 2906{,}32 - 2027{,}71 = - 4934{,}03$ kgm
  $Mty_{tot} = Mty_1 + Mty_2$
  $= - 3337{,}18 - 3337{,}18 = - 6674{,}36$ kgm

- **Momen maksimum kombinasi pembebanan 1 dan 2**
- **Arah melintang pelat**
  Mlx = 2902,70 kgm
  Mly = 3796,96 kgm

Mtx = - 6479,04 kgm
Mty = - 4828,36 kgm

- **Arah memanjang pelat**
  Mlx = 3948,47 kgm
  Mly = 3118,44 kgm
  Mtx = - 4934,03 kgm
  Mty = - 6674,36 kgm

- **Lebar pembesian arah melintang**

$$Slx_1 = \left(0{,}4 - 0{,}1 + \left(0{,}4 \times \frac{4{,}31}{6{,}2}\right) + \left(0{,}2 \times \frac{0{,}76}{6{,}7}\right) - \left(0{,}3x \frac{4{,}31 \times 0{,}76}{6{,}2 \times 6{,}7}\right)\right) \times 6{,}2$$

$$= 3{,}58$$

$$Sly_1 = \left(0{,}4 - 0{,}1 + \left(0{,}2 \times \frac{4{,}31}{6{,}2}\right) + \left(0{,}4 \times \frac{0{,}76}{6{,}7}\right) - \left(0{,}3x \frac{4{,}31 \times 0{,}76}{6{,}2 \times 6{,}7}\right)\right) \times 6{,}7$$

$$= 3{,}09$$

$$Stx_1 = \left(0{,}6 - 0{,}1 + \left(0{,}1 \times \frac{4{,}31}{6{,}2}\right) - \left(0{,}1 \times \frac{0{,}76}{6{,}7}\right) + \left(0{,}1 \times \frac{4{,}31 \times 0{,}76}{6{,}2 \times 6{,}7}\right)\right) \times 6{,}2$$

$$= 3{,}51$$

$$Sty_1 = \left(0{,}6 - 0{,}1 - \left(0{,}1 \times \frac{4{,}31}{6{,}2}\right) + \left(0{,}1 \times \frac{0{,}76}{6{,}7}\right) + \left(0{,}1 \times \frac{4{,}31 \times 0{,}76}{6{,}2 \times 6{,}7}\right)\right) \times 6{,}7$$

$$= 3{,}01$$

- **Momen lapangan maksimum**

$$Mlx_{max} = \frac{Mlx}{Slx} = \frac{2902{,}70}{3{,}58} = 8{,}11 \text{ kgm}$$

$$Mly_{max} = \frac{Mly}{Sly} = \frac{3796{,}96}{3{,}09} = 1229{,}98 \text{ kgm}$$

- **Momen tumpuan maksimum**

$$Mtx_{max} = \frac{Mtx}{Stx} = \frac{-6479,04}{3,51} = -1846,11 \text{ kgm}$$

$$Mty_{max} = \frac{Mty}{Sty} = \frac{-4828,36}{3,01} = -1602,47 \text{ kgm}$$

- **Lebar pembesian arah memanjang**

$$Slx_2 = \left(0,4-0,1+\left(0,4\times\frac{0,76}{4,2}\right)+\left(0,2\times\frac{4,31}{6,2}\right)-\left(0,3x\frac{0,76\times4,31}{4,2\times6,2}\right)\right)\times6,2$$

$$= 2,82$$

$$Sly_2 = \left(0,4-0,1+\left(0,2\times\frac{0,76}{4,2}\right)+\left(0,4\times\frac{4,31}{6,2}\right)-\left(0,3x\frac{0,76\times4,31}{4,2\times6,2}\right)\right)\times6,7$$

$$= 3,74$$

$$Stx_2=\left(0,6-0,1+\left(0,1\times\frac{0,76}{4,2}\right)-\left(0,1\times\frac{4,31}{6,2}\right)+\left(0,1\times\frac{0,76\times4,31}{4,2\times6,2}\right)\right)\times6,2$$

$$=2,83$$

$$Sty_2 =$$

$$\left(0,6-0,1-\left(0,1\times\frac{0,76}{4,2}\right)+\left(0,1\times\frac{4,31}{6,2}\right)+\left(0,1\times\frac{0,76\times4,31}{4,2\times6,2}\right)\right)\times6,7$$

$$=3,79$$

- **Momen lapangan maksimum**

$$Mlx_{max} = \frac{Mlx}{Slx} = \frac{3948,47}{2,82} = 1402,65 \text{ kgm}$$

$$Mly_{max} = \frac{Mly}{Sly} = \frac{3118,44}{3,74} = 833,86 \text{ kgm}$$

- **Momen tumpuan maksimum**

$$Mtx_{max} = \frac{Mtx}{Stx} = \frac{-4934,03}{2,83} = -1745,91 \text{ kgm}$$

$$Mty_{max} = \frac{Mty}{Sty} = \frac{-6674,36}{3,79} = -1762,69 \text{ kgm}$$

Tabel 6.7 Momen akibat beban terpusat *crawler crane* pelat dermaga

Tipe pelat	Momen kombinasi 1 roda 2 (kgm)		Kombinasi I roda 1 (kgm)		PAKAI	
	Melintang	memanjang	Melintang	memanjang	Melintang	memanjang
A	1049.13	813.14	1451.35	1974.24	**2500.48**	**2787.37**
	-2337.54	-1138.67	-3239.52	-2906.32	**-5577.06**	**-4044.99**
	1389.08	624.89	1898.48	1559.22	**3287.55**	**2184.11**
	-1983.68	-1329.06	-2313.23	-3020.09	**-4296.90**	**-4349.15**
B	214.84	0.00	990.05	1188.67	**1204.90**	**1188.67**
	-519.97	0.00	-1298.74	-2122.45	**-1818.71**	**-2122.45**
	242.15	0.00	578.65	669.32	**820.80**	**669.32**
	-295.16	0.00	-662.47	-1472.91	**-957.63**	**-1472.91**
C	80.57	0.00	200.30	601.67	**280.87**	**601.67**
	-194.99	0.00	-487.03	-1340.99	**-682.02**	**-1340.99**
	90.81	0.00	216.99	376.34	**307.80**	**376.34**
	-110.69	0.00	-248.43	-782.78	**-359.11**	**-782.78**
D	146.72	0.00	202.38	637.88	**349.10**	**637.88**
	-355.97	0.00	-491.89	-1449.02	**-847.86**	**-1449.02**
	162.60	0.00	220.32	434.09	**382.93**	**434.09**
	-201.49	0.00	-231.43	-837.10	**-432.92**	**-837.10**
E	0.00	0.00	153.15	153.15	**153.15**	**153.15**
	0.00	0.00	-277.95	-277.95	**-277.95**	**-277.95**
	0.00	0.00	32.47	32.47	**32.47**	**32.47**
	0.00	0.00	-188.07	-188.07	**-188.07**	**-188.07**
F	0.00	0.00	63.66	63.66	**63.66**	**63.66**
	0.00	0.00	-152.21	-152.21	**-152.21**	**-152.21**
	0.00	0.00	63.66	63.66	**63.66**	**63.66**
	0.00	0.00	-152.21	-152.21	**-152.21**	**-152.21**

Tabel 6.8 Momen akibat beban terpusat *crawler crane* pelat dermaga (lanjutan)

Tipe pelat	Kombinasi II roda 2 (kgm)		Kombinasi II roda 1 (kgm)		PAKAI	
	Melintang	memanjang	Melintang	memanjang	Melintang	Memanjang
A	1451.35	1974.24	1451.35	1974.24	**2902.70**	**3948.47**
	-3239.52	-2906.32	-3239.52	-2027.71	**-6479.04**	**-4934.03**
	1898.48	1559.22	1898.48	1559.22	**3796.96**	**3118.44**
	-2769.14	-3337.18	-2059.22	-3337.18	**-4828.36**	**-6674.36**
B	534.14	0.00	534.14	1188.67	**1068.28**	**1188.67**
	-1298.74	0.00	-1298.74	-2122.45	**-2597.49**	**-2122.45**
	578.65	0.00	578.65	669.32	**1157.30**	**669.32**
	-732.89	0.00	-511.33	-1472.91	**-1244.22**	**-1472.91**
C	200.30	0.00	200.30	601.67	**400.60**	**601.67**
	-487.03	0.00	-487.03	-1340.99	**-974.06**	**-1340.99**
	216.99	0.00	216.99	376.34	**433.99**	**376.34**
	-274.83	0.00	-191.75	-782.78	**-466.58**	**-782.78**
D	202.38	0.00	202.38	637.88	**404.75**	**637.88**
	-491.89	0.00	-491.89	-1449.02	**-983.78**	**-1449.02**
	220.32	0.00	220.32	434.09	**440.64**	**434.09**
	-277.74	0.00	-206.54	-837.10	**-484.28**	**-837.10**
E	0.00	0.00	134.45	153.15	**134.45**	**153.15**
	0.00	0.00	-319.21	-277.95	**-319.21**	**-277.95**
	0.00	0.00	112.21	32.47	**112.21**	**32.47**
	0.00	0.00	-182.61	-188.07	**-182.61**	**-188.07**
F	0.00	0.00	63.66	63.66	**63.66**	**63.66**
	0.00	0.00	-152.21	-152.21	**-152.21**	**-152.21**
	0.00	0.00	63.66	63.66	**63.66**	**63.66**
	0.00	0.00	-152.21	-152.21	**-152.21**	**-152.21**

Tabel 6.9 Momen akibat beban terpusat *crawler crane* pelat dermaga (lanjutan)

Tipe pelat	Kombinasi max		Lebar Jalur (m)		Momen Max (kgm)		Momen Max Akhir (kgm)
	Melintang	Memanjang	Melintang	Memanjang	Melintang	Memanjang	
A	**2902,70**	**3948,47**	3,58	2,82	811,27	1402,65	1402,65
	-6479,04	**-4934,03**	3,51	2,83	-1846,11	-1745,91	-1846,11
	3796,96	**3118,44**	3,09	3,74	1229,98	833,86	1229,98
	-4828,36	**-6674,36**	3,01	3,79	-1602,47	-1762,69	-1762,69
B	**1204,90**	**1188,67**	1,18	0,93	1020,77	1280,95	1280,95
	-2597,49	**-2122,45**	1,04	0,90	-2497,58	-2364,57	-2497,58
	1157,30	**669,32**	3,18	3,56	364,39	188,07	364,39
	-1244,22	**-1472,91**	2,63	4,68	-472,73	-314,70	-472,73
C	**400,60**	**601,67**	0,44	0,41	905,02	1473,64	1473,64
	-974,06	**-1340,99**	0,39	0,39	-2497,58	-3438,44	-3438,44
	433,99	**376,34**	3,18	3,53	136,65	106,58	136,65
	-466,58	**-782,78**	2,63	7,36	-177,27	-106,29	-177,27
D	**404,75**	**637,88**	0,44	0,41	913,27	1550,50	1550,50
	-983,78	**-1449,02**	0,39	0,39	-2522,52	-3715,44	-3715,44
	440,64	**434,09**	3,43	3,78	128,62	114,81	128,62
	-484,28	**-837,10**	2,83	7,92	-171,00	-105,64	-171,00
E	**153,15**	**153,15**	0,42	0,39	363,34	392,69	392,69
	-319,21	**-277,95**	0,39	0,39	-818,50	-712,69	-818,50
	112,21	**32,47**	0,96	1,04	117,37	31,22	117,37
	-188,07	**-188,07**	0,87	1,31	-215,67	-143,93	-215,67
F	**63,66**	**63,66**	0,39	0,39	163,24	163,24	163,24
	-152,21	**-152,21**	0,39	0,39	-390,28	-390,28	-390,28
	63,66	**63,66**	0,39	0,39	163,24	163,24	163,24
	-152,21	**-152,21**	0,39	0,39	-390,28	-390,28	-390,28

Tabel 6.10 Momen rencana pelat dermaga

Tipe pelat	Momen	Momen (kg m)				Momen Kombinasi			Momen Rencana (kgm)
		B. Mati	B.Hidup	B.Truck	B. CC	1+2	1+3	1+4	
		1	2	3	4				
A	Mlx	1356,16	6457,92	1968,21	1402,65	7814,08	3324,37	2758,82	7814,08
	Mtx	-1356,16	-6457,92	-1469,90	-1846,11	-7814,08	-2826,06	-3202,27	-7814,08
	Mly	1194,72	5689,12	1811,67	1229,98	6883,84	3006,39	2424,69	6883,84
	Mty	-1194,72	-5689,12	-1356,82	-1762,69	-6883,84	-2551,53	-2957,41	-6883,84
B	Mlx	116,12	552,96	3214,25	1280,95	669,08	3330,37	1397,08	3330,37
	Mtx	-116,12	-552,96	-3133,08	-2497,58	-669,08	-3249,20	-2613,70	-3249,20
	Mly	40,86	194,56	933,87	364,39	235,42	974,72	405,25	974,72
	Mty	-120,42	-573,44	-744,62	-472,73	-693,86	-865,04	-593,15	-865,04
C	Mlx	16,33	77,76	5192,60	1473,64	94,09	5208,93	1489,97	5208,93
	Mtx	-16,33	-77,76	-7118,11	-3438,44	-94,09	-7134,44	-3454,76	-7134,44
	Mly	5,75	27,36	626,62	136,65	33,11	632,36	142,39	632,36
	Mty	-16,93	-80,64	-601,55	-177,27	-97,57	-618,49	-194,21	-618,49
D	Mlx	16,33	77,76	5249,41	1550,50	94,09	5265,74	1566,83	5265,74
	Mtx	-16,33	-77,76	-7163,51	-3715,44	-94,09	-7179,84	-3731,77	-7179,84
	Mly	5,75	27,36	590,18	128,62	33,11	595,92	134,36	595,92
	Mty	-16,93	-80,64	-585,81	-171,00	-97,57	-602,75	-187,94	-602,75
E	Mlx	28,43	135,36	1764,39	392,69	163,79	1792,81	421,12	1792,81
	Mtx	-28,43	-135,36	-2760,43	-818,50	-163,79	-2788,86	-846,92	-2788,86
	Mly	5,75	27,36	561,41	117,37	33,11	567,16	123,12	567,16
	Mty	-16,93	-80,64	-751,72	-215,67	-97,57	-768,65	-232,61	-768,65
F	Mlx	14,52	69,12	1077,10	163,24	83,64	1091,61	177,75	1091,61
	Mtx	-14,52	-69,12	-1825,35	-390,28	-83,64	-1839,87	-404,80	-1839,87
	Mly	14,52	69,12	1077,10	163,24	83,64	1091,61	177,75	1091,61
	Mty	-14,52	-69,12	-1825,35	-390,28	-83,64	-1839,87	-404,80	-1839,87

6.1.2.4 Penulangan pelat

Dalam contoh perhitungan penulangan pelat dua arah ini digunakan pelat tipe A (pelat dua arah**)**. Perhitungan penulangan menggunakan cara PBI 1971.

1. Data perencanaan pelat:

- Mutu Beton

  σ'_{bk} = 350 kg/cm^2 (K-350)
  σ'_b = 115,5 kg/cm^2
  E_b = 1,2 x 10^5 kg/cm^2

- Mutu Baja

  σ_{au} = 320 Mpa = 3.200 kg (U-32)
  Ea = 2,1 x 10^6 kg/cm^2
  σ_a = σ'_a=1.850 kg/cm^2
  σ'_{au} = 2.780 kg/cm^2

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

  $$n_t = \frac{E_a}{E_b} = \frac{2{,}1\times10^6}{1{,}2\times10^5} = 17{,}5$$

  ϕ_0 = Perbandingan antara tegangan baja tarik dan n kali tegangan tekan beton di serat yang paling tertekan pada keadaan seimbang.

  $$\phi_0 = \frac{\sigma'_a}{(n\times\sigma'_b)} = \frac{1850}{(17{,}5\times115{,}5)} = 0{,}92$$

  Diameter tulangan = 16 mm
  Tebal Pelat = 35 cm

2. Tulangan Arah X

- Momen Nominal
  Berikut ini nilai momen untuk pelat tipe A :
  Mlx = 7814,08 kgm (lapangan)
  Mtx = - 7814,08 kgm (tumpuan)

- Tulangan Lapangan
  Momen Positif = Mlx= 7814,08 kg m
  hx = 350 – 70 - 0,5 ϕarah X
  = 350 – 70 - 0,5 × 16
  = 272 mm
  = 27,2 cm

  $$Ca = \frac{hx}{\sqrt{\frac{n \times M}{b \times \sigma'_a}}} = \frac{27,2}{\sqrt{\frac{17,5 \times 7814,08}{1 \times 1850}}} = 3,164$$

  Dengan melihat tabel Perhitungan Lentur Cara “n”, untuk Ca = 3,164 dengan δ = 0 (pelat), didapatkan :
  $\phi = 1,645 > \phi_0 = 0,92$
  100nω = 11,49

  Luas Tulangan tarik yang diperlukan adalah

  $$A = \omega \times b \times h_x = \frac{n\omega}{n_t} \times b \times h_x$$

  $$= \frac{11,49}{100 \times 17,5} \times 100 \times 27,2$$

  = 17,85 cm^2 = 1785,87 mm^2
  Dipasang D16–100 (As = 2009,6 mm^2)

- Tulangan Tumpuan
  Karena momen tumpuan dan lapangan sama besar, maka penulangan tumpuan sama dengan penulangan lapangan.

- Kontrol Retak
  Berdasarkan PBI 1971 pasal 10.7.1b retak yang diizinkan 0,01 cm. Dengan menggunakan Tabel 10.7.1 PBI 1971 maka didapatkan koefisien untuk perhitungan lebar retak untuk bagian – bagian konstruksi yang mengalami tarik aksial.

$$\omega_p = \frac{A}{B_t}\text{ ; } C_3 = 1{,}50 \text{ ; } C_4 = 0{,}16 \text{ dan } C_5 = 30$$

  A = luas tulangan tarik
  B_t = luas penampang beton yang tertarik = 100 × 35 cm

  maka:

$$\omega_p = \frac{2009{,}6}{1000 \times 350} = 0{,}0057$$

  d = 16 mm = 1,6 cm
  σ_a = 1850 kg/cm^2

  Besarnya lebar retak pada pembebanan tetap akibat beban kerja dihitung dengan rumus berikut ini :

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

$$w = 1 \times \left(1{,}50 \times 7{,}0 + 0{,}16 \times \frac{1{,}6}{0{,}0057} \right) \left(1850 - \frac{30}{0{,}0057} \right) 10^{-6} \quad (cm)$$

  w = - 0,19 < 0,01 cm

3. Tulangan Arah Y

- Momen Nominal
  Berikut ini nilai momen untuk pelat tipe A :
  Mly = 6883,84 kgm (lapangan)
  Mty = -6883,84 kgm (tumpuan)

- Tulangan Lapangan
  Momen Positif = Mly = 6883,84 kgm
  hx = 350 – 70 - 0,5 ϕarah Y
  = 350 – 70 - 0,5 × 16
  = 272 mm
  = 27,2 cm

  $$Ca = \frac{hx}{\sqrt{\frac{n \times M}{b \times \sigma'_a}}} = \frac{27,2}{\sqrt{\frac{17,5 \times 6883,84}{1 \times 1850}}} = 3,37$$

  Dengan melihat tabel Perhitungan Lentur Cara "n", untuk Ca = 3,37 dengan δ = 0 (pelat), didapatkan :
  $\phi = 1,68 > \phi_0 = 0,92$
  $100n\omega = 10,05$

  Luas Tulangan tarik yang diperlukan adalah

  $$A = \omega \times b \times h_x = \frac{n\omega}{n_t} \times b \times h_x$$
  $$= \frac{10,05}{100 \times 17,5} \times 100 \times 27,2$$
  $= 15,62 \text{ cm}^2 = 1562,06 \text{ mm}^2$
  Dipasang D16–125 ($As = 1808,64 \text{ mm}^2$)

- Tulangan Tumpuan
  Karena momen tumpuan dan lapangan sama besar, maka penulangan tumpuan sama dengan penulangan lapangan.

- Kontrol Retak

  $$\omega_p = \frac{A}{B_t}$$; $C_3 = 1,50$; $C_4 = 0,16$ dan $C_5 = 30$

  A = luas tulangan tarik
  B_t = luas penampang beton yang tertarik = 100 x 35 cm

maka:

$$\omega_p = \frac{1808{,}64}{1000 \times 350} = 0{,}0052$$

d = 16 mm = 1,6 cm

σ_a = 1850 kg/cm^2

Besarnya lebar retak pada pembebanan tetap akibat beban kerja dihitung dengan rumus berikut ini :

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

$$w = 1 \times \left(1{,}50 \times 7{,}0 + 0{,}16 \times \frac{1{,}6}{0{,}0052} \right) \left(1850 - \frac{30}{0{,}0052} \right) 10^{-6} \quad (cm)$$

w = - 0,23 < 0,01 cm

Kebutuhan tulangan untuk tipe pelat lainnya dapat dilihat pada Tabel 6.11.

Tabel 6.11 Penulangan pelat dermaga

Tipe Pelat	lx	ly	ly/lx		Momen Rencana (kgm)	Ca	Φ	100nw	A perlu (mm2)	N pasang	Jarak Tulangan (mm)	Dipasang				As pasang (mm2)
A	6,20	6,70	1,1	Mlx	7814,08	3,16	1,65	11,49	1785,87	10	109,00	D	16	-	100	2009,6
	6,20	6,70		Mtx	7814,08	3,16	1,65	11,49	1785,87	10	109,00	D	16	-	100	2009,6
	6,20	6,70	two way slab	Mly	6883,84	3,37	1,68	10,05	1562,06	9	126,86	D	16	-	125	1808,6
	6,20	6,70		Mty	6883,84	3,37	1,68	10,05	1562,06	9	126,86	D	16	-	125	1808,6
B	1,60	6,20	3,9	Mlx	3330,37	4,85	2,66	5,13	796,73	5	317,33	D	16	-	250	1004,8
	1,60	6,20	one way slab	Mtx	3249,20	4,91	2,70	4,99	776,05	5	317,33	D	16	-	250	1004,8
C	0,60	6,20	10,3	Mlx	5208,93	3,87	2,02	8,19	1272,65	10	150,67	D	16	-	100	2009,6
	0,60	6,20	one way slab	Mtx	7134,44	3,31	1,65	11,41	1773,44	10	109,00	D	16	-	100	2009,6
D	0,60	6,70	11,2	Mlx	5265,74	3,85	2,01	8,25	1282,29	10	150,67	D	16	-	100	2009,6
	0,60	6,70	one way slab	Mtx	7179,84	3,30	1,65	11,49	1785,87	10	109,00	D	16	-	100	2009,6
E	0,60	1,60	2,7	Mlx	1792,81	6,60	3,85	2,67	415,31	5	484,00	D	16	-	250	1004,8
	0,60	1,60	one way slab	Mtx	2788,86	5,30	2,97	4,25	659,79	5	317,33	D	16	-	250	1004,8
F	0,60	0,60	1,0	Mlx	1091,61	8,46	5,10	1,61	250,08	5	984,00	D	16	-	250	1004,8
	0,60	0,60		Mtx	1839,87	6,52	3,79	2,76	429,14	5	484,00	D	16	-	250	1004,8
	0,60	0,60	two way slab	Mly	1091,61	8,46	5,10	1,61	250,08	5	984,00	D	16	-	250	1004,8
	0,60	0,60		Mty	1839,87	6,52	3,79	2,76	429,14	5	484,00	D	16	-	250	1004,8

6.1.3 Analisis Struktur

6.1.3.1 Beban yang terjadi

Detail mengenai perhitungan pembebanan pada dermaga dapat dilihat pada BAB IV. Berikut adalah ringkasan pembebanan yang digunakan dalam analisis struktur dermaga ini:

1. Beban hidup
   W = 4,0 t/m²
2. Berat *fender*
   W = 1,5 m × 405 kg/m = 607,5 kg
3. Berat panel *fender*
   W = 2,5 m² × 300 kg/m² =750 kg
4. Berat *bollard*
   W = 1000 kg
5. Beban terpusat roda truk
   Truk engkel *double* yang digunakan memiliki konfigurasi roda dua sumbu dengan jarak antar sumbu 4,28 m. Sumbu roda depan memiliki dua roda dan berat 5.130 kg. Sedangkan sumbu roda belakang memiliki empat roda dan berat 9.970 kg. Luas kontak masing roda adalah 20 cm × 40 cm. Jarak antar roda pada masing masing sumbu adalah 2,4 m.
6. Baban terpusat roda *crawler crane*
   Crawler crane yang digunakan memiliki dua roda berjarak 3,2 m dan luas kontak masing – masing roda 0,76 m × 4,31 m. Masing – masing roda memiliki berat 20,49 ton.
7. Beban horizontal *fender*
   Reaksi yang ditimbulkan akibat tumbukan kapal sebesar 365 kN atau 36.500 kg.
8. Beban horizontal *bollard*
   Gaya tarikan kapal yang terjadi pada *bollard* sebesar 50.000 kg.

9. Beban gempa
   Beban gempa yang digunakan untuk menganalisis struktur dermaga ini adalah metode *response spectrum.* Perhitungan beban gempa dapat dilihat pada BAB IV.

6.1.3.2 Kombinasi pembebanan

Kombinasi pembebanan yang digunakan untuk analisis struktur ini adalah sebagai berikut:

1. DL + Ds
2. DL + Ds + LL
3. DL + Ds + LL + Fd
4. DL + Ds + LL + Bl
5. DL + Ds + Truk + CC + Fd
6. DL + Ds + Truk + CC + Bl
7. DL + Ds + LL + Gempa X + 0,3 Gempa Y
8. DL + Ds + LL + Gempa Y + 0,3 Gempa X
9. DL + Ds + Truk + CC + Gempa X + 0,3 Gempa Y
10. DL + Ds + Truk + CC + Gempa Y + 0,3 Gempa X

Keterangan :

DL	= beban mati/berat sendiri struktur
Ds	= berat *bollard*, *fender*, *panel fender*
LL	= beban hidup merata
Fd	= beban tumbukan kapal pada *fender*
Bl	= beban tarikan kapal pada *bollard*
Truk	= beban roda truk
CC	= beban roda *crawler crane*
Gempa X	= beban gempa arah melintang struktur
Gempa Y	= beban gempa arah memanjang struktur

6.1.3.3 Tinggi struktur (titik jepit)

Tinggi struktur merupakan jarak dari titik jepit tanah terhadap tiang pancang (*point of fixity*) ke elevasi dermaga. Perhitungan titik jepit tanah terhadap tiang pancang untuk *normally consolidated clay* dan *granular soil* atau yang mempunyai kenaikan linier harga modulus digunakan persamaan:

$$Zf = 1{,}8 \times T$$

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

keterangan :

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

T = faktor kekakuan tiang pancang

E = Modulus Elastisitas tiang pancang baja
= 2.100.000 kg/cm^2

I = Momen Inersia tiang
= 740 × 10^3 cm^4 (TP baja diameter 1016 mm, t = 19 mm)

Nh = koefisien modulus variasi tanah
= 1,4 MN/m^3 = 0,14 kg/cm3, untuk tanah *loose submerged soil* (Terzaghi dalam "Daya Dukung Tanah Pondasi Dalam", Herman Wahyudi, 2013)

Sehingga faktor kekakuan (T) dapat dihitung sebagai berikut :

$$T = \sqrt[5]{\frac{2.100.000 \times 740.000}{0{,}14}}$$

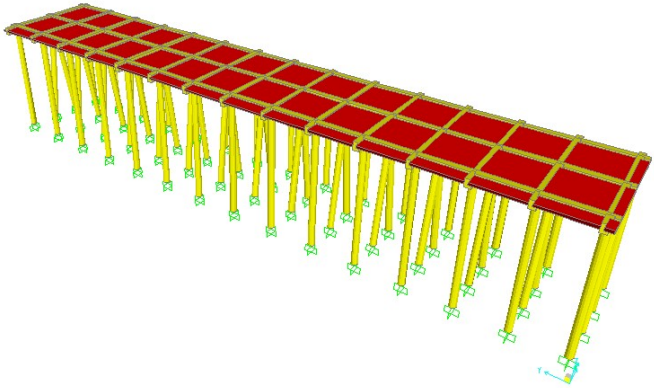
$$T = 406{,}5 \text{ cm}$$

Zf = 1,8 × 406,5 = 728,7 cm ≈ 7,3 m (dari *seabed*)

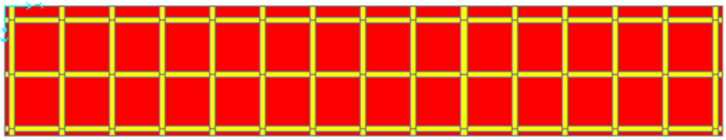
Sehingga kedalaman titik jepit adalah – 15,3 mLWS (8 m + 7,3 m).

6.1.3.4 Permodelan struktur

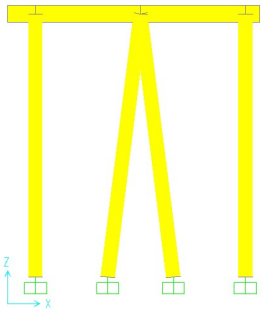
Hasil permodelan struktur dermaga pada program SAP2000 v.14.2.2 dapat dilihat pada Gambar 6.15 - Gambar 6.24.



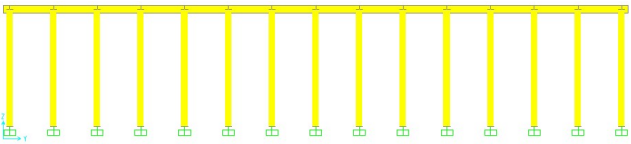
Gambar 6.15 Tampak 3 dimensi struktur dermaga



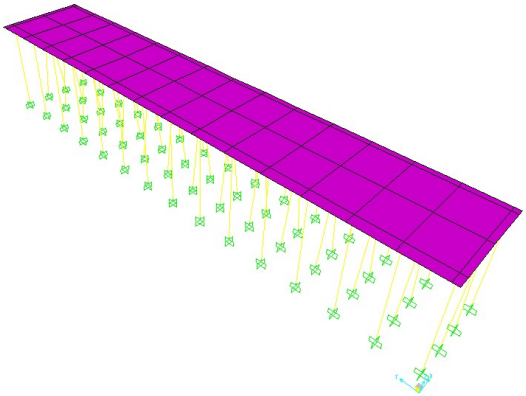
Gambar 6.16 Tampak atas struktur dermaga



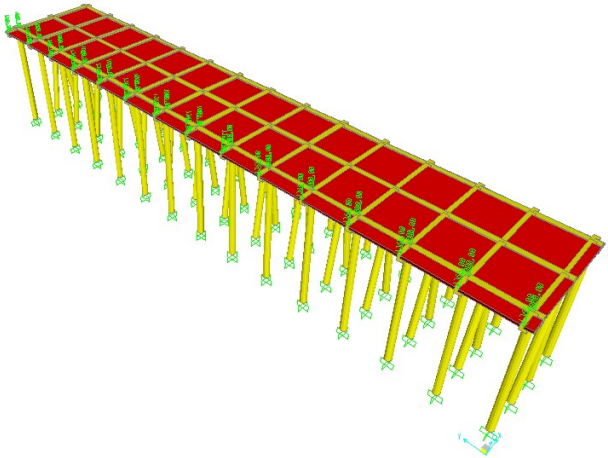
Gambar 6.17 Tampak melintang struktur dermaga



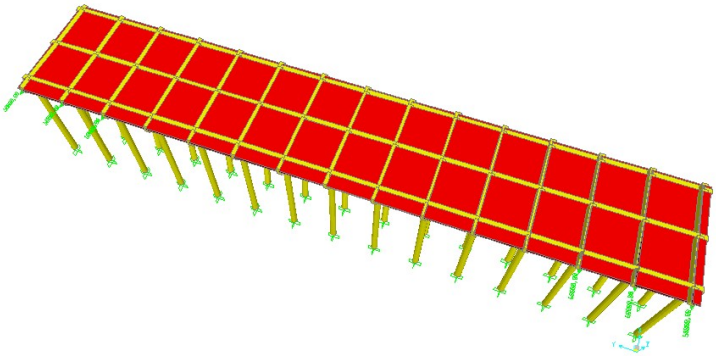
Gambar 6.18 Tampak memanjang struktur dermaga



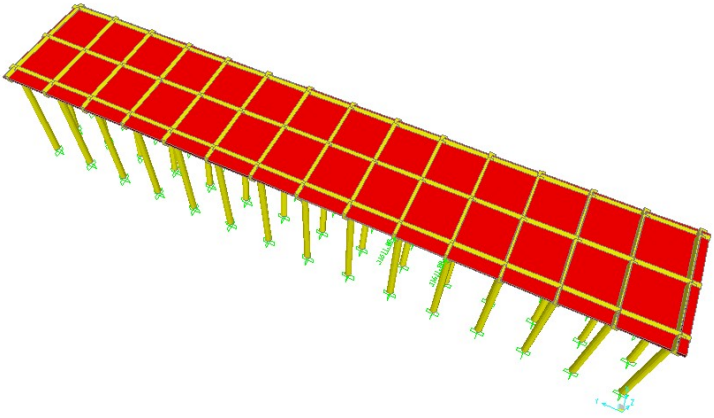
Gambar 6.19 Beban hidup merata struktur dermaga



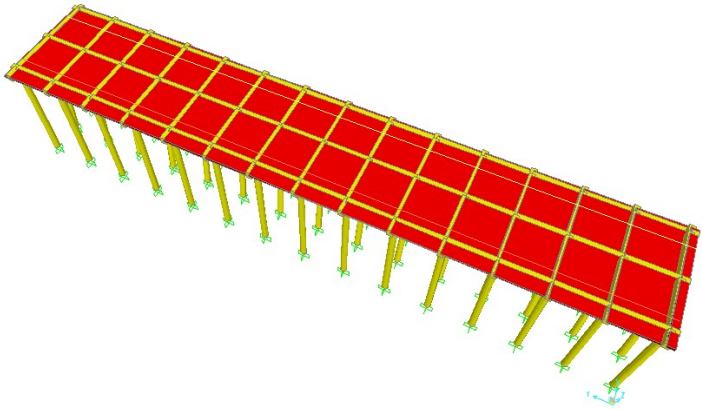
Gambar 6.20 Beban berat sendiri *bollard* dan *fender* dermaga



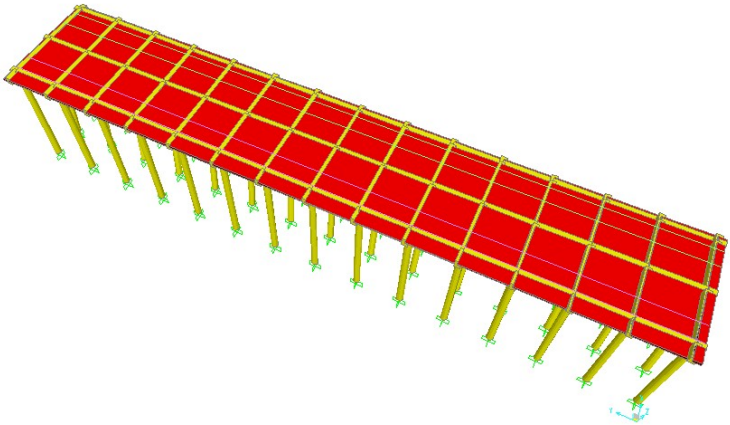
Gambar 6.21 Beban tarikan kapal pada *bollard* dermaga



Gambar 6.22 Beban tumbukan kapal pada *fender* dermaga



Gambar 6.23 Lintasan beban truk dermaga



Gambar 6.24 Lintasan beban *crawler crane* dermaga

Dari hasil perhitungan SAP2000 v.14.2.2 diperoleh gaya – gaya maksimum yang bekerja pada balok melintang, balok memanjang dan kantilever seperti pada Tabel 6.12.

Tabel 6.12 Gaya hasil perhitungan SAP2000 v.14.2.2 struktur dermaga

BALOK	FRAME	POSISI	MOMEN	GESER	TORSI	AKSIAL	KOMBINASI
			kgm	kg	kgm	kg	
B. MEMANJANG	21	TUMPUAN	-89479,95				8
	20	LAPANGAN	66042,65				8
	33	TUMPUAN 1		-64718,02			8
	20	TUMPUAN 2		64718,02			8
	36	TUMPUAN			2334,48		3
	40	-				12581,93	5
B. MELINTANG	56	TUMPUAN	-129992,02				7
	85	LAPANGAN	74697,49				7
	56	TUMPUAN 1		-77315,09			7
	57	TUMPUAN 2		72505,62			3
	108	TUMPUAN			3797,61		4
	67	-				-6509,12	5

6.1.4 Perencanaan Balok

6.1.4.1 Penulangan balok melintang

1. Data perencanaan

   a. Dimensi

   Lebar (b) = 80 cm
   Tinggi (h) = 120 cm
   Tebal selimut beton = 7 cm

   b. Mutu beton

   σ'_{bk} = 350 kg/cm^2 (K-350)
   σ'_b = 115,5 kg/cm^2
   E_b = 1,2 × 10^5 kg/cm^2
   f'c = 296 kg/cm^2

   c. Mutu baja

   σ_{au} = 3200 kg/ cm^2 (U-32)
   Ea = 2,1 × 10^6 kg/cm^2
   $\sigma_a = \sigma'_a$ = 1850 kg/cm^2
   σ^*_{au} = 2780 kg/cm^2

   d. Diameter tulangan

   Tualangan lentur = 29 mm
   Tulangan geser = 19 mm

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

$$\phi_0 = \frac{\sigma'_a}{(n \times \sigma'_b)} = \frac{1850}{(17{,}5 \times 115{,}5)} = 0{,}92$$

   e. Momen balok

   Dalam perhitungan ini penulangan balok melintang diambil berdasarkan gaya maksimum yang bekerja dari hasil SAP2000 v.14.2.2.

Mu = -129992,02 kg m (tumpuan)
Mu = 74697,49 kg m (lapangan)

2. Perhitungan tulangan lapangan
   a. Luas tulangan
      Dari analisis struktur didapatkan momen lapangan
      Mu = 74697,49 kg m
      h = ht – selimut beton – Ø geser – 0,5 Ø lentur
      (ht = Tinggi balok)
      h = 1200 – 70 – 19 – 0,5 × 29
      = 1096,5 mm = 109,65 cm

$$Ca = \frac{h}{\sqrt{\frac{n \times M}{b \times \sigma'_a}}} = \frac{109{,}35}{\sqrt{\frac{17{,}5 \times 74697{,}49}{0{,}8 \times 1850}}}$$

      = 3,69

      Dengan melihat tabel Perhitungan Lentur Cara "n", untuk Ca = 3,69 dengan δ = 0,4 didapatkan:

$\phi = 2{,}175 > \phi_0 = 0{,}92$

      100nω = 8,283

      Luas Tulangan yang diperlukan :
      Tulangan Tarik
      A = ω × b × h

$$= \frac{8{,}283}{100 \times 17{,}5} \times 80 \times 109{,}65$$

      = 41,51 cm^2 = 4151,92 mm^2
      Dipasang 7D29 (As = 4623,64 mm^2)
      Tulangan Samping (bagi)
      A = 10 % × A_{tarik} (PBI '71 Pasal.9.3(5))
      = 10 % × 4623,64
      = 462,364 mm^2
      Dipasang 2D19 (As = 567,06 mm^2)

Tulangan Tekan

Tulangan Tekan

A' $= \delta \times A$

$= 0{,}4 \times 4623{,}64$

$= 1849{,}46\ mm^2$

Dipasang 3D29 ($As = 1981{,}56\ mm^2$)

As tot = 4623,64 + 567,06 + 1981,56 = 7172,25 mm^2

b. Cek jarak tulangan tarik

Tulangan direncanakan hanya terdiri dari 1 baris yang berisi 7 tulangan, sehingga jarak tulangan sebesar :

$$s = \frac{80 - 2\times7 - 2\times1{,}9 - 7\times2{,}9}{7-1} = 6{,}9\ cm > 4{,}2\ cm$$

c. Cek jarak tulangan tekan

Tulangan direncanakan hanya terdiri dari 1 baris yang berisi 3 tulangan, sehingga jarak tulangan sebesar :

$$s = \frac{80 - 2\times7 - 2\times1{,}9 - 3\times2{,}9}{3-1} = 26{,}8\ cm > 4{,}2 cm$$

d. Kontrol retak

$\omega_p = \frac{A}{Bt}$; $C_3 = 1{,}50$; $C_4 = 0{,}16$ dan $C_5 = 30$

Bt = luas penampang beton yang tertarik = $80 \times 109{,}65\ cm^2$

Maka:

$$\omega_p = \frac{7172{,}25}{800 \times 1096{,}5} = 0{,}008$$

Besarnya lebar retak pada pembebanan tetap akibat beban kerja dihitung dengan rumus berikut ini:

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

$$w = 1 \left(1{,}50 \times 8 + 0{,}16 \times \frac{2{,}9}{0{,}009} 8 \right) \left(1850 - \frac{30}{0{,}008} \right) 10^{-6} (cm)$$

w = -0,12 < 0,01 cm

3. Perhitungan tulangan tumpuan
   a. Luas tulangan
      Dari analisis struktur didapatkan momen tumpuan didapatkan :
      Mu = 129992,02 kgm (tumpuan)
      h = ht – selimut beton – Ø geser – 0,5 Ø lentur
      (ht = Tinggi balok)
      h = 1200 – 70 – 19 – 0,5 × 29
      = 1096,5 mm = 109,65 cm

$$\text{Ca} = \frac{h}{\sqrt{\frac{n \times M}{b \times \sigma'_a}}} = \frac{109{,}65}{\sqrt{\frac{17{,}5 \times 129992{,}02}{0{,}8 \times 1850}}}$$

      = 2,79
      Dengan melihat tabel Perhitungan Lentur Cara "n", untuk Ca = 2,84 dengan δ = 0,4, didapatkan :
      $\phi = 1{,}632 > \phi_0 = 0{,}92$
      100nω = 14,21

      Tulangan Tarik
      A = ω × b × h

$$= \frac{14{,}21}{100 \times 17{,}5} \times 80 \times 109{,}65$$

      = 71,22 cm^2 = 7122,864 mm^2

Dipasang 11D29 (As = 7265,71 mm^2)

Tulangan Samping (bagi)

A = 10 % × A_{tarik} (PBI '71 Pasal.9.3(5))
= 10 % × 7265,71
= 726,5 mm^2

Dipasang 4D19 (As = 1134,1 mm^2)

Tulangan Tekan

A' = δ × A
= 0,4 × 7265,71
= 2906,29 mm^2

Dipasang 5D29 (As = 3302,59 mm^2)

As tot = 7265,71 + 1134,1 + 3302,59 = 11702,43 mm^2

b. Cek jarak tulangan tarik
Tulangan direncanakan hanya terdiri dari 1 baris yang berisi 9 tulangan, sehingga jarak tulangan sebesar :

$$s = \frac{80-2\times7-2\times1{,}9-9\times2{,}9}{9-1} = 4{,}5 \text{ cm} > 4{,}2 \text{ cm}$$

c. Cek jarak tulangan tekan
Tulangan direncanakan hanya terdiri dari 1 baris yang berisi 4 tulangan, sehingga jarak tulangan sebesar :

$$s = \frac{80-2\times7-2\times1{,}9-5\times2{,}9}{5-1} = 11{,}9 \text{ cm} > 4{,}2 \text{cm}$$

d. Kontrol retak

$\omega_p = \frac{A}{Bt}$; C_3 = 1,50 ; C_4 = 0,16 dan C_5 = 30

Bt = luas penampang beton yang tertarik = 80 × 109,65 cm^2

Maka:

$$\omega_p = \frac{11702{,}43}{800 \times 1096{,}5} = 0{,}013$$

Besarnya lebar retak pada pembebanan tetap akibat beban kerja dihitung dengan rumus berikut ini :

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

$$w = 1 \left(1{,}50 \times 8 + 0{,}16 \times \frac{2{,}9}{0{,}013} \right) \left(1850 - \frac{30}{0{,}013} \right) 10^{-6} (cm)$$

w = -0,108 < 0,01 cm

4. Perhitungan tulangan geser (sengkang)
   a. Gaya geser

      V = 77315,09 kg

$$\tau_b = \frac{V}{b \times \frac{7}{8} h} \qquad \text{(PBI '71 Pasal.11.7(1))}$$

$$= \frac{77315{,}09}{80 \times \frac{7}{8} \times 109{,}65}$$

$$= 10{,}07 \text{ kg/cm}^2$$

Tegangan beton yang diizinkan berdasarkan PBI '71 tabel 10.4.2 akibat geser oleh lentur dengan puntir, dengan tulangan geser :

Untuk pembebanan tetap :

$$\tau'_{bm-t} = 1{,}35 \sqrt{\sigma'_{bk}}$$

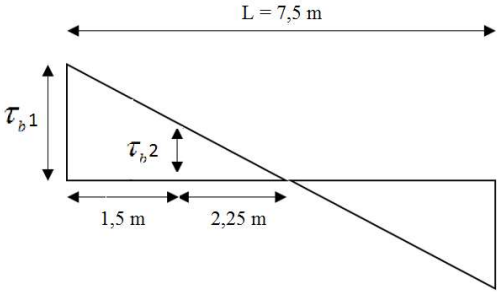
$$= 1{,}35 \, x \sqrt{350} = 25{,}26 \text{ kg/cm}^2$$

Untuk pembebanan sementara:

$\tau'_{bm-s} = 2{,}12\sqrt{\sigma'_{bk}}$

$= 2{,}12\, x\, \sqrt{350} = 39{,}66$ kg/cm^2

Pembagian tegangan geser pada balok dapat dilihat pada Gambar 6.25.



Gambar 6.25 Pembagian tegangan geser balok dermaga

b. Sengkang jarak < 1,5 m dari tumpuan

$\tau_b 1 = 10{,}07$ kg/cm^2

$\left.\begin{array}{l} \tau_b < \tau'_{bm-t} \\ \tau_b < \tau'_{bm-s} \end{array}\right\}$ diperlukan sengkang

Direncanakan sengkang

Diameter = 19 mm

As = 5,67 cm^2 (sengkang dua kaki)

Jarak sengkang =

$$as < \frac{As \times \bar{\sigma}_a}{\tau_s \times b} = \frac{5{,}67 \times 1850}{10{,}07 \times 80} = 13{,}01 \text{ cm} = 130{,}1 \text{ mm}$$

Maka digunakan tulangan sengkang D19-125 (sepanjang 1,5 m dari tumpuan)

c. Sengkang di daerah > 1,5 m dari tumpuan

$$\tau_b 2 = \frac{2{,}25}{3{,}75} \times 10{,}07 = 6{,}04 \text{ kg/cm}^2$$

Direncanakan sengkang
Diameter = 19 mm
As = 5,67 cm^2 (sengkang dua kaki)
Jarak sengkang =

$$\text{as} < \frac{As \times \overline{\sigma}_a}{\tau_s \times b} = \frac{5{,}67 \times 1850}{6{,}04 \times 80} = 21{,}7 \text{ cm} = 217 \text{ mm}$$

Maka digunakan tulangan sengkang D19-200 (diluar 1,5 m dari tumpuan).

5. Panjang penyaluran tulangan
Untuk tulangan tarik, berdasarkan PBI'71 pasal 8.6.2 diambil nilai terbesar dari persamaan berikut :

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

As tulangan D29 = 6,60 cm^2

$$L_d = 0{,}07 \times \frac{6{,}60 \times 2780}{\sqrt{350}} \quad \geq \quad 0{,}0065 \times 2{,}9cm \times 2780$$

L_d = 68,7 cm $\geq$ 52,403 cm
Jadi L_d yang dipakai $\approx$ 70 cm

Untuk tulangan tekan, berdasarkan PBI'71 pasal 8.7.2 diambil nilai terbesar dari persamaan berikut :

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

$$L_d = 0{,}09 \times \frac{2{,}9 \times 2780}{\sqrt{350}} \geq 0{,}005 \times 2{,}9 \times 2780$$

$L_d = 38{,}78$ cm $\leq$ 40,31 cm

Jadi L_d yang dipakai $\approx$ 45 cm

6. Kontrol dimensi balok

V = 77315,09 kg

T = 379761 kgcm

$$\tau_b = \frac{V}{b \times \frac{7}{8} \times h} = \frac{77315{,}09}{80 \times \frac{7}{8} \times 109{,}65} = 10{,}1 \text{ kg/cm}^2$$

Untuk ht > b

$$\psi = 3 + \frac{2{,}6}{0{,}45 + \frac{h}{b}} = 3 + \frac{2{,}6}{0{,}45 + \frac{109{,}65}{80}} = 4{,}33$$

Tegangan geser puntir beton pada penampang balok persegi di tengah-tengah tepi penampang yang vertikal *(PBI '71 Pasal 11.8.1)* :

$$\tau'_b = \frac{\psi \times T}{b^2 \times ht} = \frac{4{,}33 \times 379761}{80^2 \times 109{,}65} = 2{,}35 \text{ kg/cm}^2$$

$$\tau_b + \tau'_b = 10{,}1 + 2{,}35 = 12{,}45 \text{ kg/cm}^2$$

$$\tau_{bm} = 1{,}499\sqrt{350} = 28{,}04 \text{ kg/cm}^2$$

$$\tau_b + \tau'_b < \tau_{bmijin}$$

Ukuran balok 80/120 sudah memenuhi syarat.

6.1.4.2 Penulangan *plank fender*

Struktur balok *Fender* terletak di depan (*face line*) dermaga, struktur ini direncanakan sebagai plat kantilever yang menerima gaya horisontal terpusat akibat beban tumbukan kapal pada fender.

1. Data perencanaan
   a. Dimensi
      Lebar (b) = 250 cm
      Tebal (h) = 50 cm
      Tebal selimut beton = 7 cm
   b. Mutu beton
      σ'_{bk} = 350 kg/cm^2 (K-350)
      σ'_b = 115,5 kg/cm^2
      E_b = 1,2 x 10^5 kg/cm^2
   c. Mutu baja
      σ_{au} = 320 Mpa = 3200 kg(U-32)
      Ea = 2,1 x 10^6 kg/cm^2
      $\sigma_a = \sigma'_a$ =1850 kg/cm^2
      σ^*_{au} = 2780 kg/cm^2
   d. Diameter tulangan
      Tulangan utama = 29 mm
      Tulangan geser = 19 mm

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

$$= \frac{E_a}{E_b} = \frac{2{,}1 \; x \; 10^6}{1{,}2 \; x \; 10^5} = 17{,}5$$

ϕ_0 = Perbandingan antara tegangan baja tarik dan n kali tegangan tekan beton di serat yang paling tertekan pada keadaan seimbang.

$$= \frac{\sigma'_a}{(n \; x \; \sigma'_b)} = \frac{1850}{(17{,}5 \; x \; 115{,}5)} = 0{,}915$$

e. Momen *plank fender*
Penulangan plank fender dianalisis berdasarkan gaya fender 31,611 Ton yang bekerja sejarak 1,0 m dari ujung plank fender yang bertumpu pada struktur dermaga. Sehingga momen maksimum pada plank fender sebesar
M = P_{Fender} x e
= 31611 kg x 1 m
= 31611 kgm

2. Perhitungan tulangan tumpuan
a. Luas tulangan
Dari analisis struktur didapatkan momen Tumpuan
Mu = 31611 kg m
h = ht – selimut beton – Ø geser – 0,5 Ø lentur
(ht = Tinggi balok)
h = 500 – 70 – 19 – 0,5 x 29
= 396,5 mm = 39,65 cm

$$Ca = \frac{h}{\sqrt{\frac{n\,x\,M}{b\,x\,\sigma'_a}}} = \frac{39,65}{\sqrt{\frac{17,5\,x\,31611}{2,5\,x\,1850}}}$$

= 3,63
Dengan melihat tabel Perhitungan Lentur Cara "n", untuk Ca = 3,63 dengan δ = 1 (direncanakan tulangan simetris), didapatkan :
ϕ = 2,39 > ϕ_0 = 0,915
100nω = 8,532

Luas Tulangan yang diperlukan :
Tulangan Tarik
A = ω x b x h

$$= \frac{8,532}{100\ x\ 17,5}\ x\ 250\ x\ 39,65$$

= 48,328 cm^2 = 4832,8 mm^2
Dipasang 8D29 (As = 5284,2 mm^2)

Tulangan Samping
A =10 % x A_{tarik} (PBI '71 Pasal.9.3(5))
=10 % x 5284,2
= 528,42 mm^2
Dipasang 2D19 (As = 567,06 mm^2)

Tulangan Tekan
Tulangan tekan direncanakan simetris (**δ = 1)** sehingga,
A' = δx A
= 1 x 5284,2
= 5284,2 mm^2
Dipasang 8D29 (As = 5284,2 mm^2)

Jadi dipasang 8D29 (As = 5284,2 mm^2) sepanjang lebar balok fender (250 cm).

As tot = 5284,2 + 5284,2 + 567,06 = 11135,38 mm^2

b. Cek jarak tulangan tarik
Jarak tulangan sebesar :
$$s = \frac{250 - 2\times 7 - 2\times 1{,}9 - 8\times 2{,}9}{8-1}$$
= 29,85 cm > 4,2 cm

c. Cek jarak tulangan tekan
Tulangan direncanakan hanya terdiri dari 1 baris yang berisi 4 tulangan, sehingga jarak tulangan sebesar :
$$s = \frac{250 - 2\times 7 - 2\times 1{,}9 - 8\times 2{,}9}{8-1}$$
= 29,85 cm > 4,2 cm

d. Kontrol retak

Koefisien untuk perhitungan lebar retak

$\omega_p = \frac{A}{Bt}$; $C_3 = 1{,}50$; $C_4 = 0{,}16$ dan $C_5 = 30$

Bt = luas penampang beton yang tertarik
= 39,65 x 250 cm^2

Maka

$$\omega_p = \frac{11135{,}38}{2500\ x\ 396{,}5} = 0{,}011$$

Besarnya lebar retak pada pembebanan tetap akibat beban kerja dihitung dengan rumus berikut ini :

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

$$w = 1 \times \left(1{,}50 \times 13 + 0{,}16 \times \frac{2{,}9}{0{,}011} \right) \left(1850 - \frac{30}{0{,}011} \right) 10^{-6} \quad (cm)$$

w = -0,04 < 0,01 cm

3. Perhitungan tulangan geser (sengkang)
   a. Gaya geser
      Gaya geser maksimum pada tumpuan
      Vu = 31611 kg
      Tegangan beton yang diizinkan berdasarkan PBI '71 tabel 10.4.2 akibat geser oleh lentur dengan puntir, dengan tulangan geser :
      Untuk pembebanan tetap :

$$\tau'_{bm-t} = 1{,}35\sqrt{\sigma'_{bk}}$$

$$= 1{,}35\,x\,\sqrt{350} = 25{,}26 \text{ kg/cm}^2$$

      Untuk pembebanan sementara :

$$\tau'_{bm-s} = 2{,}12\sqrt{\sigma'_{bk}}$$

$$= 2{,}12\,x\,\sqrt{350} = 39{,}66 \text{ kg/cm}^2$$

b. Sengkang di tumpuan balok

$$\tau_b = \frac{D}{b \times \frac{7}{8} h} \quad \text{..... (PBI '71 Pasal.11.7(1))}$$

$$= \frac{31611}{250 \times \frac{7}{8} \times 39{,}65} = 3{,}64 \text{ kg/cm}^2$$

$\tau_b < \tau'_{bm-t}$ .....OK !
$\tau_b < \tau'_{bm-s}$ .....OK ! } diperlukan sengkang

Direncanakan sengkang (2 kaki)
Diameter = 19 mm
As = 5,67 cm^2

Disyaratkan dalam PBI '71 Pasal 11.8.(4)

$\tau_s = \tau_b + \tau''_b$
= 3,64 kg/cm^2 + 0 kg/cm^2
τ_s = 3,64 kg/cm^2

$$\text{as} < \frac{As \; x \; \bar{\sigma}_a}{\tau_s \; x \; b} = \frac{5{,}67 \;\; x \; 1850}{3{,}64 \;\; x \;\; 250} = 11{,}51 \text{ cm}^2$$

Jadi, dipasang sengkang D19 – 100 mm.

6.1.5 Perencanaan *Pile Cap*

Struktur *pile cap* berfungsi sebagai penyambung antara ujung atas tiang pancang dengan balok memanjang maupun melintang.

1. Data perencanaan
   a. Dimensi *pile cap* tunggal
      Lebar (b) = 180 cm
      Tinggi (h) = 100 cm
      Panjang = 180 cm
      Tebal selimut beton = 7 cm

   b. Dimensi *pile cap* ganda
      Lebar (b) = 180 cm
      Tinggi (h) = 100 cm
      Panjang = 360 cm
      Tebal selimut beton = 7 cm

   c. Mutu beton
      σ'_{bk} = 350 kg/cm^2 (K-350)
      σ'_b = 115,5 kg/cm^2
      E_b = 1,2 × 10^5 kg/cm^2

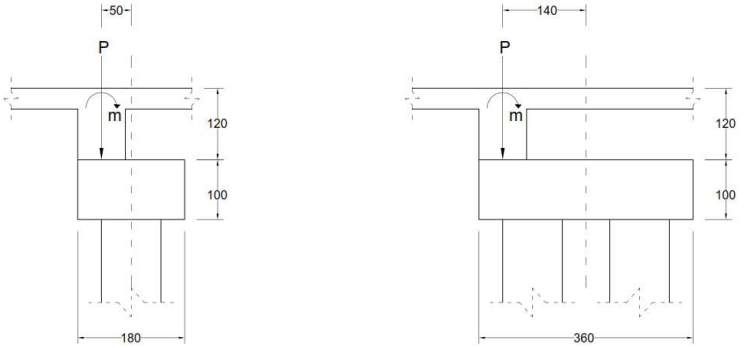
   d. Mutu baja
      σ_{au} = 320 Mpa = 3200 kg(U-32)
      Ea = 2,1 × 10^6 kg/cm^2
      $\sigma_a = \sigma'_a$ = 1850 kg/cm^2
      σ^*_{au} = 2780 kg/cm^2

   e. Diameter tulangan
      Tulangan utama = 29 mm
      Tulangan geser = 19 mm

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

$$\phi_0 = \frac{\sigma'_a}{(n \times \sigma'_b)} = \frac{1850}{(17{,}5 \times 115{,}5)} = 0{,}915$$

f. Momen balok
Dari perhitungan program SAP2000 didapat gaya-gaya yang bekerja pada *pile cap*. Dengan asumsi pelaksanaan yang sulit maka direncanakan eksentrisitas pada *pile cap* tunggal dan ganda seperti yang terlihat pada Gambar 6.26**.**



Gambar 6.26 Beban yang terjadi pada *pile cap* tunggal dan ganda dermaga

Dari perhitungan SAP2000 diperoleh :

- *Pile cap* tunggal :
  P_{max} = 226685,69 kg
  M_{max} = 10620,18 kgm
  e_x = 0,50 m
  M = $P_{max} \times e_y + M_{max}$
  = (226685,69 × 0,50) – 10620,18
  = 102722,67 kgm

- *Pile cap* ganda :
  P_{max} = 175802,47 kg
  M_{max} = 20311,79 kgm
  e_x = 1,4 m
  M = $P_{max} \times e_y + M_{max}$
  = (175802,47 × 1,4) – 20311,79
  = 225811,67 kgm

2. Perhitungan tulangan tumpuan dan lapangan *pile cap* tunggal
   a. Luas tulangan
      Mu = 102722,67 kgm
      h = ht – Sel.Beton – Ø geser – 0,5 Ølentur
      (ht = Tinggi balok)
      h = 1000 – 70 – 19 – 0,5 × 29 = 897 mm
      = 89,7 cm

$$Ca = \frac{h}{\sqrt{\frac{n \times M}{b \times \sigma'_a}}} = \frac{89,7}{\sqrt{\frac{17,5 \times 102722,67}{1,8 \times 1850}}}$$

      = 3,85

      Dengan melihat tabel Perhitungan Lentur Cara "n", untuk Ca = 3,41 dengan δ = 1 (tulangan simetris), didapatkan :

$\phi = 2,571 > \phi_0 = 0,915$

      100nω = 7,259

      Tulangan Tarik

$$A = \omega \times b \times h = \frac{7,259}{100 \times 17,5} \times 180 \times 89,7$$

      = 66,93 cm^2 = 6693,63 mm^2
      Dipasang 11 D29 (As = 7265,72 mm^2)

Tulangan Samping

A = 10 % × A_{tarik} (PBI '71 Pasal.9.3(5))
= 10 % × 7265,72
= 726,5 mm^2

Dipasang 4 D19 (As = 1134,11 mm^2)

Tulangan Tekan

Tulangan tekan direncanakan simetris (δ = 1) sehingga

A' = δ × A
= 1 × 7265,72
= 7265,72 mm^2

Dipasang 11 D29 (As = 7265,72 mm^2)

As tot = 7265,72 + 7265,72 + 1134,11 = 15665,55 mm^2

b. Cek jarak tulangan tarik

Tulangan direncanakan dipasang 1 lapis, dengan jumlah tulangan tiap lapis sebanyak 10 buah, sehingga jarak tulangan sebesar :

$$s = \frac{180 - 2\times 7 - 2\times 1{,}9 - 11\times 2{,}9}{11-1} = 13{,}03 \text{ cm} > 4{,}2 \text{ cm}$$

c. Cek jarak tulangan tekan

Tulangan direncanakan dipasang 1 lapis, dengan jumlah tulangan tiap lapis sebanyak 10 buah, sehingga jarak tulangan sebesar :

$$s = \frac{180 - 2\times 7 - 2\times 1{,}9 - 11\times 2{,}9}{11-1} = 13{,}03 \text{ cm} > 4{,}2 \text{ cm}$$

d. Kontrol retak

$\omega_p = \frac{A}{Bt}$; C_3 = 1,50 ; C_4 = 0,16 dan C_5 = 30

Bt =luas penampang beton yang tertarik = 180 × 89,7 cm^2

Maka:

$$\omega_p = \frac{15665,55}{1800 \times 897} = 0,009$$

Besarnya lebar retak pada pembebanan tetap akibat beban kerja dihitung dengan rumus berikut:

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

$$w = 1 \left(1,50 \times 14 + 0,16 \times \frac{2,9}{0,009} \right) \left(1850 - \frac{30}{0,009} \right) 10^{-6} (cm)$$

w = -0,08 < 0,01 cm

e. Kontrol kemampuan tulangan menahan gaya geser

$$Ah = \frac{P}{\sigma a \times \mu} < As \qquad \text{(PBI '71 (11.10))}$$

Ah = luas efektif tulangan horisontal yg diperlukan

μ = 1,4

$$Ah = \frac{226685,69 kg}{1850 kg / cm^2 \times 1,4} = 87,52\ cm^2 = 8752,34\ mm^2$$

Tulangan yang dipakai 22 D29 (tekan dan tarik)

n As = 22 x 0,25 × 3,14 x 29^2 = 14531,44 mm^2

Ah = 8752,34 mm^2 < n As = 14531,44 mm^2

Ah < As

Jadi, tulangan yang terpasang (22 D29) pada *pile cap* tunggal mampu menahan tegangan geser.

f. Kontrol geser *pons*
Tegangan geser *pons* ditentukan oleh rumus:

$$\tau_{bp} = \frac{P}{\pi \times (c + ht) \times ht} \leq \tau_{bm} \qquad \text{(PBI 71 11.9.(2))}$$

Keterangan:
P = gaya aksial$_{max}$ yang bekerja pada tiang pancang
= 226685,69 kg
c = diameter tiang pancang
ht = tinggi total *pile cap*
τ_{bm} = tegangan izin beton ($0{,}65 \times \sqrt{\sigma}$'bk)
τ_{bp} = tegangan aktual yang terjadi pada beton

Sehingga:

$$\tau_{bp} = \frac{226685{,}69}{\pi \times (101{,}6 + 100) \times 100} \leq 0{,}65 \times \sqrt{350}$$

$$\tau_{bp} = 3{,}58 kg/cm^2 \leq 12{,}16 kg/cm^2$$

Karena geser *pons* yang terjadi lebih kecil dari tegangan izin beton, maka *pile cap* dikatakan aman dari gaya *pons* atau keruntuhan akibat geser *pons*.

g. Kontrol kekuatan tulangan terhadap gaya tarik pada sambungan antara *pile cap* dan balok

Steel Pipe Pile harus dicek kemampuanya dalam menahan gaya aksial (P) tarik terbesar yang terjadi pada tiang tegak. Bebarapa hal yang harus dicek antara lain :

- Kekuatan tarik dari tulangan yang berada didalam *steel pile* (14D29, fy =320Mpa, As = 9247,28 mm^2)

P_{nt} (kekuatan tarik tulangan)
$P_{nt} = As \times fy \times Ø = 9247,28 \times 320 \times 0,8$
$= 2367303,16$ N $= 236730,316$ kg
$P_{nt} > P_{tension} = 236730,316$ kg $> 226685,69$ kg

- Panjang penyaluran tulangan *steel pile* ke dalam *pile cap* (14D29, L = 500mm) yang diperlukan (L) :

$$L = \frac{P_{tension}}{n \times \pi \times d \times fr} = \frac{226685,69}{14 \times 3.14 \times 29 \times 3,77} = 471,06 \text{ mm}$$

Keterangan $fr = 0,7\sqrt{fc'}$ (SNI 2847 2002, 11.5.2)
$= 0,7\sqrt{29} = 3,77$ Mpa

$$L = \frac{P_{tension}}{n \times \pi \times d \times fr} < L_{pasang} = 500 \text{ mm}$$

- Kuat tarik tulangan angkur pada *pile cap* ke balok (14D29, fy=320Mpa) :

P_{nt} (kekuatan tarik tulangan = As × n × fy × Ø)
Keterangan Ø = 0.8 (SNI 2847 2002, 11.3.2 , Ø untuk axial tension atau P_{tarik})

As 14D29 $= 9247,28$ mm^2
$P_{nt} = 9247,28 \times 320 \times 0,8 = 2367303,16$ N $= 236730,31$ kg

$P_{nt} > P_{tension} = 236730,31$ kg $> 226685,69$ kg

- Kebutuhan panjang penyaluran tulangan angkur (L) (14D29, L=500mm)
$P_{tension} = 226685,69$ kg

$$L = \frac{\mathbf{P_{tension}}}{\mathbf{n \times \pi \times d \times fr}} = \frac{\mathbf{226685,69}}{\mathbf{14 \times 3,14 \times 29 \times 3,77}} = 471 \text{ mm} < 500 \text{ mm}$$

Keterangan fr = $\mathbf{0,7\sqrt{fc'}}$ (SNI 2847 2002, 11.5.2)
= $\mathbf{0.7\sqrt{29}}$ = 3,77Mpa

$$L = \frac{\mathbf{P_{tension}}}{\mathbf{n \times \pi \times d \times fr}} < L_{pasang} = 500 \text{ mm}$$

h. Kontrol kemampuan beton pada pile menerima tarik
Sambungan antara *steel pile* ASTM A 252 *grade* 2 dan *pile cap* menggunakan beton mutu K350. Jadi, mutu beton yang digunakan harus dicek terhadap gaya tarik (*tension*) aktual yang terjadi (226685,69 kg). Tegangan beton yang diizinkan untuk menerima tarik pada pembebanan tetap beton K350 adalah :

$\sigma_b = \mathbf{0,48\sqrt{\sigma_{bk}}} = \mathbf{0,48\sqrt{350}}$ = 8,9 kg/cm^2

Tegangan tarik izin diatas yang akan digunakan untuk mengontrol gaya tarik aksial pada beton.
Allowable tension force $\sigma_{bi} = \sigma_b \times As$
keterangan :
As = Luas selimut bagian dalam beton penutup *pile*
h = panjang pile yang dicor = 200 cm
$As = \pi \times D \times h$
$= 3,14 \times 101,6 \text{ cm} \times 200 \text{ cm} = 63837,16 \text{ cm}^2$
$\sigma_{bi} = \sigma_b \times As$
$= 8,9 \text{ kg/cm}^2 \times 63837,16 \text{ cm}^2$
$= 573256,3$ kg

σ_{bi} > *Actual Tension Force*
573256,3 kg > 226685,69 kg

Rekapitulasi hasil perhitungan penulangan balok dan *pile cap* dermaga dapat dilihat pada Tabel 6.13.

Tabel 6.13 Rekapitulasi perhitungan penulangan balok dan *pile cap* dermaga

Struktur	Posisi	**Tulangan Lentur**							**Tulangan Geser**		**Tulangan Penyaluran**	
		Ca	**δ**	**ϕ**	**100nω**	**Tulangan**			**< 1,5 m**	**> 1,5 m**	Tarik (mm)	Tekan (mm)
						Tarik	**Samping**	**Tekan**				
Balok Memanjang	Tumpuan	3,371	0,4	1,985	9,827	8D29	2D19	4D29	D19-150	D19-250	700	450
	Lapangan	3,924	0,4	2,333	7,258	6D29	2D19	3D29				
Balok Melintang	Tumpuan	2,797	0,4	1,632	14,210	11D29	4D19	5D29	D19-125	D19-200	700	450
	Lapangan	3,689	0,4	2,175	8,283	7D29	2D19	3D29				
Pile Cap Tunggal		3,859	1	2,571	7,259	11D29	4D19	11D29				
Pile Cap Ganda		3,680	1	2,448	8,086	23D29	6D19	23D29				

6.1.6 Perencanaan Pondasi

6.1.6.1 Spesifikasi tiang pancang

Adapun spesifikasi dari tiang pancang baja ini adalah sebagai berikut:

1. Dimensi tiang:
   Diameter = 1016 mm
   Tebal = 19 mm
   Luas penampang = 595,1 cm^2
   Berat = 467,13 kg/m
   Modulus Inersia = 740×10^3 cm^4
   Section Modulus = 146×10^2 cm^3
   Jari-jari girasi = 35,3 cm

2. Mutu tiang pancang baja ASTM A 252 *grade* 2
   Digunakan baja dengan mutu sebagai berikut :
   fy = 1688 kg/cm^2
   fu = 4221 kg/cm^2

6.1.6.2 Daya dukung tanah akibat beban vertikal

Dari hasil perhitungan analisis struktur menggunakan SAP2000 didapatkan beban yang terjadi pada tiang pancang tegak dan miring. Nilai beban rencana tersebut dapat dilihat pada Tabel 6.14. Penentuan kedalaman tiang pancang disesuaikan dengan kebutuhan beban rencana.

Tabel 6.14 Hasil perhitungan gaya yang terjadi pada tiang pancang dermaga

Tipe Tiang	Tipe Beban	Beban Rencana		Frame	Kombinasi	Station	
Tegak	P (tekan)	-235468,36	kg	18	8	18,800	m
	P (tarik)	0,00	kg				
	V2	418,54	kg	147	7	18,800	m
		-1416,58	kg	141	3	18,800	m
	V3	-2064,63	kg	1	8	18,800	m
		2064,63	kg	123	8	18,800	m
	M2	-22496,93	kg.m	1	8	0,000	m
		22496,93	kg.m	123	8	0,000	m
	M3	-16126,88	kg.m	141	3	0,000	m
		10504,90	kg.m	141	7	18,800	m
Miring	P (tekan)	-184585,13	kg	156	3	18,946	m
	P (tarik)	0,00	kg				
	V2	1140,06	kg	166	7	18,946	m
		-1082,64	kg	154	5	0,000	m
	V3	1871,73	kg	155	8	18,946	m
		-1871,73	kg	183	8	18,946	m
	M2	-20311,79	kg.m	183	8	0,000	m
		20311,79	kg.m	155	8	0,000	m
	M3	3490,28	kg.m	166	3	0,000	m
		-7312,50	kg.m	155	7	18,946	m
Defleksi	U1	2,3	mm	40	5		
	U2	4,0	mm	4	8		

Perhitungan nilai daya dukung tanah maksimum pada tiang pancang akibat beban vertikal menggunakan metode *Luciano Decourt* (1982), dalam *Daya Dukung Pondasi Dalam oleh Prof. Dr. Ir. Herman Wahyudi, 2013.*

Kapasitas daya dukung ultimate sebuah tiang pancang dihitung dengan persamaan :

$$Q_L = Qp + Qs = \alpha\left(qp \times Ap\right) + \beta\ \left(qs \times As\right)$$
$$= \alpha\left(\tilde{N}p \times K \times Ap\right) + \beta\left(\left(Ns/3 + 1\right) \times As\right)$$

Keterangan :

α = *Base coefficient* = 1 (*Driven Pile*)

$\widetilde{N}p$ = Harga rata-rata SPT disekitar 4B diatas hingga 4B di bawah dasar tiang pondasi (B= diameter pondasi)

$= \sum_{i=1}^{n} Ni / n$

K = Koefisien karakteristik tanah
= 12 t/m^2 = 117 kPa, tanah lempung
= 20 t/m^2 = 196 kPa, tanah lempung berlanau
= 25 t/m^2 = 245 kPa, tanah pasir berlanau
= 40 t/m^2 = 392 kPa, tanah pasir

Ap = Luas penampang dasar tiang

β = *Shaft Coefficient* = 1 (*Driven Pile*)

$\widetilde{N}s$ = Harga rata-rata sepanjang tiang yang tertanam, dengan batasan : $3 \leq N \leq 50$

As = Keliling × panjang tiang yang terbenam (luas selimut tiang)

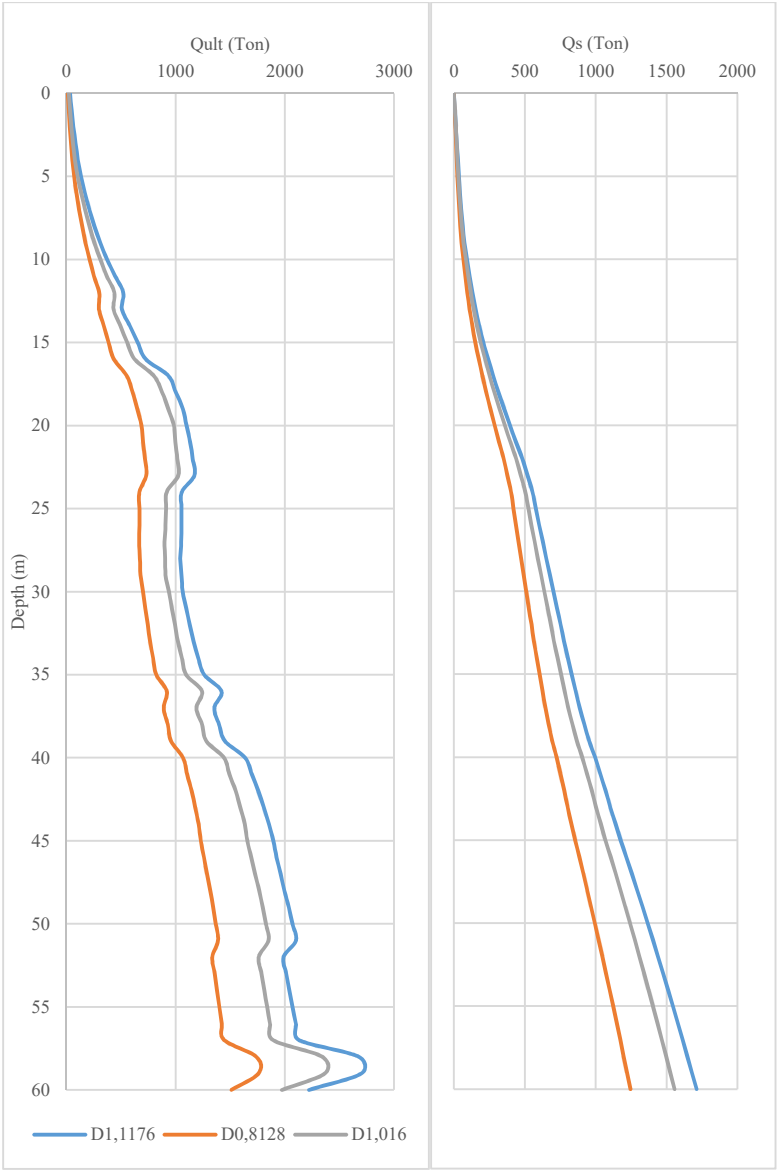
Sedangkan, harga N dibawah muka air tanah harus dikoreksi menjadi N' berdasarkan perumusan sebagai berikut (*Terzaghi & Peck*) :

$N' = 15 + 0{,}5\,(N - 15)$, dengan

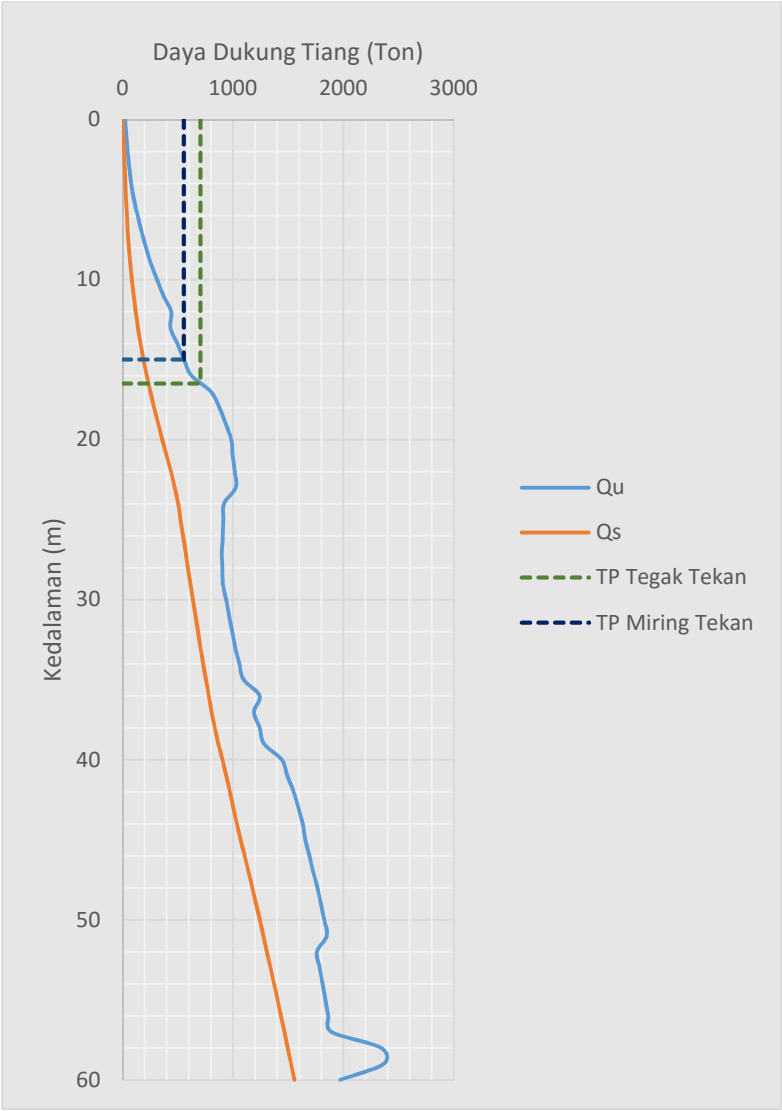
N = jumlah pukulan kenyataan di lapangan untuk di bawah muka air tanah.

Dari Tabel 6.14, diketahui bahwa tiang pancang mengalami gaya aksial tekan. Dalam menghitung kedalaman yang dibutuhkan oleh gaya tekan digunakan daya dukung tanah pada ujung tiang (QU) dengan faktor keamanan (SF) 3.

Perhitungan daya dukung dilakukan pada titik *bore hole* dermaga, yaitu titik B3. Grafik perhitungan daya dukung tanah dapat dilihat pada Gambar 6.27. Sedangkan grafik hubungan antara daya dukung pondasi dengan kedalaman dapat dilihat pada Gambar 6.28**.**



Gambar 6.27 Grafik perhitungan daya dukung tanah



Gambar 6.28 Grafik daya dukung tanah terhadap kedalaman tiang pancang dermaga

Dari grafik diatas didapatkan kedalaman minimum tiang pancang tegak dan miring adalah sebagai berikut :

Tiang pancang tegak tekan = -16,50 m (dari *seabed*)
Tiang pancang miring tekan = -15,00 m (dari *seabed*)

Jadi, kebutuhan panjang tiang pancang yang digunakan adalah:

L_{tegak} = 16,5 + 8 + 3,5 = 28 m
L_{miring} = 15 + 8 + 3,5 = 26,5 m

6.1.6.3 Kontrol momen

Momen yang terjadi, yaitu momen yang didapat dari analisis SAP2000 harus lebih kecil dari momen bahan tiang pancang (Mu).

$$My \leq Mu = Fy \times S_{x \text{ atau } y}$$
$$My \leq Mu = Fy \times 1{,}5 \times Z_{x \text{ atau } y}$$

Keterangan :

My = Kuat rencana ultimate (momen hasil SAP)
Fy = Tegangan leleh rencana = 1688,4 kg/cm^2
$S_{xatau\ y}$ = Modulus Penampang Plastis

$$= D^2t - 2Dt^2 + \frac{4}{3}t^3$$

$$= 1{,}016^2 \times 0{,}019 - 2 \times 1{,}016 \times 0{,}019^2 + \frac{4}{3}0{,}019^3$$

$$= 0{,}0189 \text{ m}^3$$

$Z_{x \text{ atau } y}$ = Modulus Penampang Elastis

$$= \frac{\pi}{32D}\left(D^4 - (D - 2t)^4\right)$$

$$= \frac{\pi}{32 \times 1{,}016}\left(1{,}016^4 - (1{,}016 - 2 \times 0{,}019)^4\right)$$

$$= 0{,}0146 \text{ m}^3$$

Mu s = $Fy \times S_{x \text{ atau } y}$
= 1688,4 ×x 0,0189
= 318,9 tm

Mu z = $Fy \times 1,5 \times Z_{x \text{ atau } y}$
= $1688,4 \times 1,5 \times 0,0146$
= 368,77 tm

Maka, momen yang terjadi sebagai berikut :
Momen tiang tegak :
M2 = 22,5 tm < Mu
M3 = 16,1 tm < Mu
Momen tiang miring :
M2 = 20,3 tm < Mu
M3 = 7,3 tm < Mu

6.1.6.4 Daya dukung tanah akibat beban horizontal

Beban yang dipikul oleh tiang pancang tidak hanya beban vertikal tetapi juga beban horizontal. Oleh karena itu perlu dilakukan pengecekan ketahanan tiang pancang terhadap beban horizontal. Gaya horizontal yang terjadi (hasil SAP2000) harus lebih kecil dari gaya horizontal yang mampu dipikul bahan (Hu).

Perhitungan daya dukung tiang terhadap beban lateral menggunakan cara Tomlinson dalam "*Daya Dukung Pondasi Dalam oleh Dr. Ir. Herman Wahyudi, 2013"*:

Fixed-headed pile : Hu = 2×Mu/(e+Zf)

Keterangan:
Hu = *ultimate lateral resistance*
Mu = Momen ultimate bahan = 318,9 tm (diambil terkecil)
e = jarak antara lateral load (H) yang bekerja dengan muka tanah.

Dengan mengambil kedalaman seabed -8 mLWS, elevasi dermaga +3,5 mLWS dan beban lateral bekerja pada sumbu balok maka:

e = 11,5 m
Zf = titik jepit = 7,3 m
Hu $= \frac{2\ Mu}{e+Zf}$
$= \frac{2 \times 318,9}{11,5+7,3}$
= 33,93 ton

H yang terjadi
Tiang Tegak :
V2 = 1,4 ton < Hu
V3 = 2,1 ton < Hu
Tiang Miring
V2 = 1,1 ton < Hu
V3 = 1,8 ton < Hu

6.1.6.5 Kontrol kekuatan bahan

Tegangan yang terjadi akibat beban aksial (P) dan momen (M) pada tiang yang didapat dari analisis SAP2000 harus lebih kecil dari tegangan izin tiang pancang (fy). Tegangan pada tiang pancang dapat dihitung dengan rumus sebagai berikut :

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

y = 0,5 D
= 0,508 m

Maka, tegangan tiang sebagai berikut :

Tiang tegak : $\sigma = \frac{235468,36}{0,05951} + \frac{22496,93 \times 0,508}{0,0146}$
= 4739477 kg/m^2
= 473,94 kg/cm^2 < 1688,4 kg/cm^2

Tiang miring : $\sigma = \frac{184585,13}{0,05951} + \frac{20311,79 \times 0,508}{0,0146}$
= 3808427 kg/m^2
= 380,84 kg/cm^2 < 1688,4 kg/cm^2

6.1.6.6 Kemampuan tiang pancang berdiri sendiri

Tiang pancang pada saat pelaksanaan harus dikontrol terhadap frekuensi gelombang. Sehingga tiang akan stabil walaupun pada saat berdiri sendiri. ω gelombang diambil sebesar 6s. Adapun cara menghitung ω tiang adalah dengan perumusan berikut :

$$\omega_t = 1{,}73 \sqrt{\frac{EI}{\left(\frac{wi^3}{g}\right)}} \geq \omega$$

keterangan:

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

I = 740000 cm^4

w = berat tiang (kg)

- untuk tiang tegak = 5,372 ton
- untuk tiang miring = 5,419 ton

i = tinggi tiang di atas tanah (m)

= 11,5 m (tiang tegak)

= 11,6 m (tiang miring dengan z=8:1)

g = 9,81 m/s^2

ω tiang pancang tegak

$$\omega_t = 1{,}73 \sqrt{\frac{2{,}1 \times 10^6 \times 740000}{\left(\frac{5{,}372 \times 1150^3}{1000}\right)}}$$

$$= 23{,}63 \text{ s} > \omega_{\text{gelombang}} \text{ (6s)}$$

ω tiang pancang miring

$$\omega_t = 1{,}73 \sqrt{\frac{2{,}1 \times 10^6 \times 740000}{\left(\frac{5419 \times 1160^3}{1000}\right)}}$$

$$= 23{,}23 \text{ s} > \omega_{\text{gelombang}} \text{ (6s)}$$

6.1.6.7 Kontrol tekuk (tiang pancang tegak)

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

$$P_{cr} = \frac{\pi^2 \times 2100000 \times 740000}{\left(730 + 1150\right)^2} = 4339454\,\text{kg}$$

$$= 4339{,}454\,\text{ton}$$

Pcr > Pu (235 ton)

6.1.6.8 Kalendering

Perumusan kalendering yang dipakai adalah *Alfred Hiley Formula(1930)*.

$$Q_u = \frac{\propto \times W \times H}{S + 0.5 \times C} \times \frac{W + n^2 \times W_p}{W + W_p}$$

Karena perhitungan dilakukan sebelum pemancangan, maka yang dihitung adalah nilai S atau penetrasi/*blow*, yaitu pengamatan yang dilakukan rata-rata di tiga set terakhir, dengan 10 pukulan tiap setnya. Dan disyaratkan apabila untuk kedalaman yang sama S > S', maka pemancangan dihentikan.

Keterangan :

S = nilai penetrasi/*blow* rencana dari perhitungan

S' = nilai penetrasi/*blow* saat pemancangan

1. Kalendering tiang pancang tegak
   Data dan asumsi awal perhitungan kalendering adalah:
   H_{hammer} = 2 m, tinggi jatuh *hammer* untuk kondisi normal
   $Ø_{tiang}$ = 101,6 cm
   T = 1,9 cm
   P = 235,47 ton
   SF = 3
   Qu = kapasitas daya dukung batas
   = 3 × 235,47 ton = 706,4 ton
   W = 10 ton *(hydraulic hammer)*
   α = 1,732 *(hydraulic hammer)*

   Panjang tiang pancang tegak yang dibutuhkan :
   L = 27,5 m
   Wp = berat tiang pancang (ton)
   = L × 0,457
   = 27,5 x 0,467
   = 12,85 ton
   n = 0,55 *(hammer on steel pile without cushion*)
   S = set/pile penetration for last blow *(cm or mm/blow)*
   C_1 = Kompresi sementara dari *cushion* (*pile head & cap*)
   = 0 (*without cushion*)
   C_2 = 14 mm *(untuk steel pile; od 1000 mm)*
   C_3 = 1 mm *(hard ground SPT)*
   C =$C_1 + C_2 + C_3$
   = 0+ 14 + 1
   = 15 mm = 0.015 m

$$Q_u = \frac{\propto \times W \times H}{S + 0.5 \times C} \times \frac{W + n^2 \times W_p}{W + W_p}$$

$$706{,}4 = \frac{1{,}732 \times 10 \times 2}{S + 0{,}5 \times 0{,}015} \cdot \frac{10 + 0{,}55^2 \times 12{,}85}{10 + 12{,}85}$$

$$S = 0{,}022 \text{ m} = 22 \text{ mm}$$

Jadi, setting kalendering yang digunakan untuk tiang pancang tegak adalah 22 mm.

2. Kalendering tiang pancang miring

Data dan asumsi awal perhitungan kalendering adalah:

H'_{hammer} = 1,98 m
$Ø_{tiang}$ = 101,6 cm
t = 1,9 cm
P = 184,59 ton
SF = 3
Qu = 3 × 184,59 ton = 553,76 ton
W = 10 ton *(hydraulic hammer)*
α = 1,732 *(hydraulic hammer)*

Panjang tiang pancang miring yang dibutuhkan :

$$L = \sqrt{27{,}5^2 + \left(\frac{27{,}5}{8}\right)^2} = 27{,}7 \text{ m}$$

Wp = L × 0,467
= 27,7 x 0,467
= 12,95 ton

n = 0,55 *(*hammer on steel pile without cushion)

S = set/pile penetration for last blow *(cm or mm/blow)*

C_1 = kompresi sementara dari *cushion* (*pile head & cap*)
= 0 (without cushion)

C_2 = 14 mm *(untuk steel pile; od 1000 mm)*

C_3 = 1 mm *(hard ground SPT)*

C = $C_1 + C_2 + C_3$
= 0+ 14 + 1 = 15 mm = 0.015 m

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

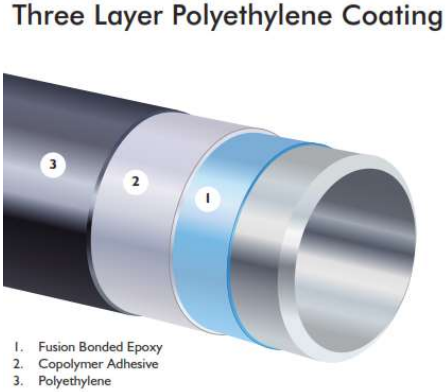
$$553{,}8 = \frac{1{,}732 \times 10 \times 1{,}98}{S + 0{,}5 \times 0{,}015} \cdot \frac{10 + 0{,}55^2 \times 12{,}95}{10 + 12{,}95}$$

$$S = 0{,}030 \text{ m} = 30 \text{ mm}$$

Jadi setting kalendering yang digunakan untuk tiang pancang miring adalah 30 mm.

6.1.6.9 Perlindungan Tiang Pancang Terhadap Korosi

Korosi tiang diasumsikan terjadi sampai tiang ditumbuhi karang yaitu selama 10 tahun. Sesuai dengan aturan OCDI kecepatan korosi adalah 0,3 mm/tahun. Untuk perlindungan tiang pancang yang berada di *splash zone* terhadap korosi digunakan sistem pelapisan *Three Layer Polyethylene Coating* (3LPE). 3LPE merupakan sistem pelapisan tiang pancang baja yang terdiri dari lapisan dalam berupa *bonded epoxy*, lapisan perekat *copolymer adhesive* dan lapisan luar *polyethylene*. Lapisan dalam berfungsi memberikan perlindungan korosi dan fleksibilitas sedangkan lapisan luar memberikan perlindungan abrasi. Antara kedua lapisan tersebut dilekatkan dengan bahan adesif. Contoh pelapisan 3LPE dapat dilihat pada Gambar 6.29.



Gambar 6.29 Contoh pelapisan *three layer polyethylene coating (sumber : www.brederoshaw.com)*

Sistem pelapisan terhadap karat :

- *Base layer* : *fusion bonded expoxy powder* (setara tipe *jotun corro-coat* EP 971197, tebal 150 micron)
- *Middle layer* : *copolymer adhesive* (setara tipe *borealis* MEI 420, tebal 150 micron)
- *Top layer* : *HDPE* (setara tipe *borealis* HDPE HE340)
- Tebal total pelaisan minimum : 2,5 mm

6.2 Perencanaan *Trestle*

6.2.1 Umum

Tipe konstruksi *trestle* dalam perencanaan ini adalah tipe *open pier.* Struktur *trestle* ini terdiri dari beberapa komponen utama, antara lain tiang pancang, *pile cap*, balok dan pelat. Untuk komponen pelat, balok dan *pile cap* dicor dengan metode *cast in-situ*. Berikut desain dimensi struktur *trestle* ini:

1. Panjang *trestle* = 75 m
2. Lebar *trestle* = 8 m
3. Balok memanjang = 60 cm × 80 cm
4. Balok melintang = 60 cm × 80 cm
5. Balok *gangway* = 40 cm × 60 cm
6. Tebal pelat lantai = 30 cm
7. Pile cap tunggal = 180 × 180 × 100 cm

6.2.2 Perencanaan Pelat

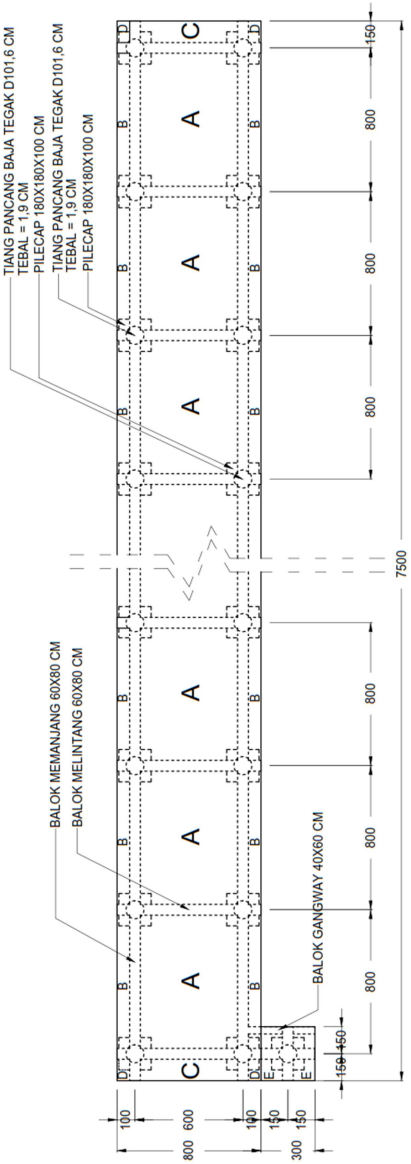
6.2.2.1 Penentuan tipe pelat

Penentuan tipe pelat ini berdasarkan pada lebar dan panjang pelat. Penentuan tipe pelat dapat dilihat pada Gambar 6.30.

6.2.2.2 Pembebanan pelat

Beban yang diterima pelat adalah sebagai berikut:

1. Berat sendiri (qd) = 0,72 t/m^2
2. Beban hidup merata (ql) = 2,0 t/m^2
3. Beban bergerak
   - Truk (lihat sub Bab 4.4.1)
   - *Crawler crane* (Lihat sub Bab 4.4.1)

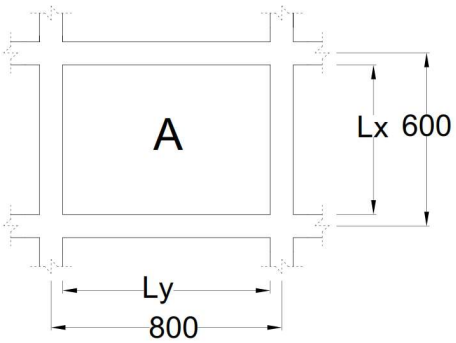


Gambar 6.30 Pembagian Tipe Pelat *Trestle*

6.2.2.3 Perhitungan momen pelat

Pada kondisi perencanaan ini, pelat diasumsikan terkondisi jepit elastis sama seperti pelat pada dermaga.

1. Koefisien momen ly/lx beban mati dan hidup pelat
   Perhitungan koefisien momen pelat ini berdasarkan PBI 1971 Tabel 13.3.1. Sebagai contoh perhitungan koefisien momen dilakukan pada pelat Tipe A (lihat Gambar 6.31). Sedangkan koefisien momen pelat tipe lain dapat dilihat pada Tabel 6.1. Perhitungan koefisien momen pelat Tipe A adalah sebagai berikut:
   Ly = 800 – 60 = 740 cm = 7,4 m
   Lx = 600 – 60 = 540 cm = 5,4 m
   Ly/Lx = 1,4



Gambar 6.31 Pelat tipe A *trestle*

Tabel 6.15 Nilai koefisien X masing – masing pelat *trestle*

Tipe Pelat	lx	ly	ly/lx	Koefisien x	
A	5,40	7,40	1,4	Mlx	53
	5,40	7,40		Mtx	53
	5,40	7,40	two way slab	Mly	38
	5,40	7,40		Mty	38
B	0,70	7,40	10,6	Mlx	54
	0,70	7,40		Mtx	54
	0,70	7,40	one way slab	Mly	19
	0,70	7,40		Mty	56
C	1,20	5,40	4,5	Mlx	54
	1,20	5,40		Mtx	54
	1,20	5,40	one way slab	Mly	19
	1,20	5,40		Mty	56
D	0,70	1,20	1,7	Mlx	82
	0,70	1,20		Mtx	82
	0,70	1,20	two way slab	Mly	50
	0,70	1,20		Mty	50
E	1,20	1,20	1,0	Mlx	48
	1,20	1,20		Mtx	48
	1,20	1,20	two way slab	Mly	48
	1,20	1,20		Mty	48

2. Momen akibat beban mati dan hidup
   Sebagai contoh perhitungan momen akibat beban mati dan hidup dilakukan pada pelat Tipe A dermaga. Sedangkan momen akibat beban mati dan hidup pelat tipe lain dapat dilihat pada Tabel 6.16.

Tabel 6.16 Momen akibat beban mati dan hidup pelat *trestle*

Tipe Pelat	lx	ly	ly/lx	Koefisien X		Momen Akibat Beban (kgm)		
						Mati	Hidup	Total
A	5,4	7,4	1,4	Mlx	53	1112,7	3091,0	4203,7
	5,4	7,4		Mtx	53	-1112,7	-3091,0	-4203,7
	5,4	7,4	two way slab	Mly	38	797,8	2216,2	3014,0
	5,4	7,4		Mty	38	-797,8	-2216,2	-3014,0
B	0,7	7,4	10,6	Mlx	54	19,1	52,9	72,0
	0,7	7,4		Mtx	54	-19,1	-52,9	-72,0
	0,7	7,4	one way slab	Mly	19	6,7	18,6	25,3
	0,7	7,4		Mty	56	-19,8	-54,9	-74,6
C	1,2	5,4	4,5	Mlx	54	56,0	155,5	211,5
	1,2	5,4		Mtx	54	-56,0	-155,5	-211,5
	1,2	5,4	one way slab	Mly	19	19,7	54,7	74,4
	1,2	5,4		Mty	56	-58,1	-161,3	-219,3
D	0,7	1,2	1,7	Mlx	82	28,9	80,4	109,3
	0,7	1,2		Mtx	82	-28,9	-80,4	-109,3
	0,7	1,2	two way slab	Mly	50	17,6	49,0	66,6
	0,7	1,2		Mty	50	-17,6	-49,0	-66,6
E	1,2	1,2	1,0	Mlx	48	49,8	138,2	188,0
	1,2	1,2		Mtx	48	-49,8	-138,2	-188,0
	1,2	1,2	two way slab	Mly	48	49,8	138,2	188,0
	1,2	1,2		Mty	48	-49,8	-138,2	-188,0

3. Koefisien momen akibat beban terpusat
   Untuk menghitung momen akibat beban terpusat truk dan *crawler crane* dibutuhkan koefisien momen (lihat Tabel 6.17). Penentuan koefisien momen ini berdasarkan Tabel VI "Konstruksi Beton Indonesia" tahun 1971 oleh Ir. Sutami.

Tabel 6.17 Koefisien momen akibat beban terpusat pelat *trestle*

Tipe pelat	ly/lx	Koefisien Momen		Koefisien X				c1	c2
				a1	a2	a3	a4		
A	1,4	Mlx	53	-0,550	-0,030	0,143	0,429	0,10	0,10
		Mtx	53	0,039	0,166	-0,367	0,828	0,10	0,10
	two way slab	Mly	38	-0,009	-0,085	0,125	0,375	0,10	0,10
		Mty	38	0,080	0,081	-0,276	0,823	0,10	0,10
B	10,6	Mlx	54	-0,026	-0,052	0,141	0,423	0,10	0,05
		Mtx	54	0,026	0,334	-0,531	1,593	0,10	0,05
	one way slab	Mly	19	-0,005	-0,118	0,136	0,408	0,10	0,05
		Mty	56	0,033	0,100	-0,216	0,648	0,10	0,05
C	4,5	Mlx	54	-0,026	-0,052	0,141	0,423	0,10	0,05
		Mtx	54	0,026	0,334	-0,531	1,593	0,10	0,05
	one way slab	Mly	19	-0,005	-0,118	0,136	0,408	0,10	0,05
		Mty	56	0,033	0,100	-0,216	0,648	0,10	0,05
D	1,7	Mlx	82	-0,042	-0,040	0,160	0,480	0,05	0,05
		Mtx	82	0,011	0,226	-0,464	1,392	0,05	0,05
	two way slab	Mly	50	-0,005	-0,105	0,141	0,423	0,05	0,05
		Mty	50	0,055	0,068	-0,249	0,747	0,05	0,05

4. Momen akibat beban terpusat truk

   Besarnya momen akibat beban terpusat truk yang bergerak harus dihitung berdasarkan pada momen maksimum yang terjadi. Area kontak roda tunggal truk seluas 0,20 x 0,25 m^2. Untuk perhitungan momen hanya dihitung dengan 2 kombinasi pada tengah - tengah pelat dengan asumsi momen maksimum berada pada tengah pelat bukan tepi pelat.

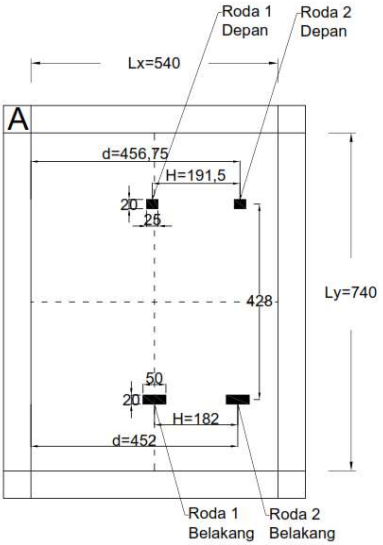
   a. **Kombinasi pembebanan 1**

      Dalam kombinasi pembebanan ini, salah satu roda truk diletakkan ditengah pelat dan roda lainnya berada di sampingnya.

      - **Posisi roda truk arah memanjang pelat**

        Contoh perhitungan momen dilakukan pada pelat tipe A, sedangkan perhitungan momen pada pelat tipe lainnya dapat dilihat pada Tabel 6.18 dan Tabel 6.19. Untuk pelat tipe A ini, roda truk yang

membebani adalah roda depan dan belakang (lihat Gambar 6.32) Masing – masing roda belakang kiri dan kanan membebani pelat sebesar 5 ton. Sedangkan roda depan kiri dan kanan membebani pelat sebesar 2,6 ton.



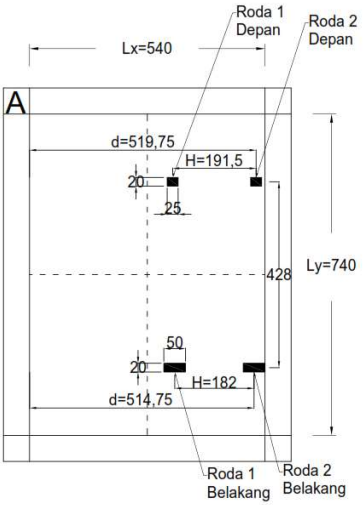
Gambar 6.32 Posisi roda truk arah memanjang pelat tipe A kombinasi 1

- **Momen lapangan total arah memanjang**
  Momen lapangan total dihitung dari total momen roda 2 (kanan) depan dan belakang serta roda 1 (kiri) depan dan belakang arah memanjang.
  $Mlx_{tot} = Mlx_1 + Mlx_2 + Mlx_3 + Mlx_4$
  $= 604,17 + 831,75 + 604,17 + 831,75$
  $= 2871,85$ kgm
  $Mly_{tot} = Mly_1 + Mly_2 + Mly_3 + Mly_4$
  $= 709,18 + 1231,95 + 709,18 + 1231,95$
  $= 3882,27$ kgm

- **Momen tumpuan total arah memanjang**
  Momen tumpuan total dihitung dari total momen roda 2 (kanan) depan dan belakang serta roda 1 (kiri) depan dan belakang arah memanjang.
  $Mtx_{tot} = Mtx_1 + Mtx_2 + Mtx_3 + Mtx_4$
  $= - 1040,52 – 1893,71 – 857,61 – 1586,68$
  $= - 5378,51$ kgm
  $Mty_{tot} = Mty_1 + Mty_2 + Mty_3 + Mty_4$
  $= - 783,51 – 1431,10 - 783,51 – 1431,10$
  $= - 4393,22$ kgm

b. Kombinasi pembebanan 2
Dalam kombinasi pembebanan ini, salah satu roda truk diletakkan ditepi pelat dan roda lainnya berada di sampingnya.

- **Posisi roda truk arah memanjang pelat**
  Contoh perhitungan momen dilakukan pada pelat tipe A, sedangkan perhitungan momen pada pelat tipe lainnya dapat dilihat pada Tabel 6.18 dan Tabel 6.19. Masing – masing roda belakang kiri dan kanan membebani pelat sebesar 5 ton. Sedangkan roda depan kiri dan kanan membebani pelat sebesar 2,6 ton (lihat Gambar 6.33).



Gambar 6.33 Posisi roda truk arah memanjang pelat tipe A kombinasi 2

- **Momen lapangan total arah memanjang**
  Momen lapangan total dihitung dari total momen roda 2 (kanan) depan dan belakang serta roda 1 (kiri) depan dan belakang arah memanjang.
  $Mlx_{tot} = Mlx_1 + Mlx_2 + Mlx_3 + Mlx_4$
  $= 604,17 + 831,75 + 604,17 + 831,75$
  $= 2871,85$ kgm
  $Mly_{tot} = Mly_1 + Mly_2 + Mly_3 + Mly_4$
  $= 709,18 + 1231,95 + 709,18 + 1231,95$
  $= 3882,27$ kgm
- **Momen tumpuan total arah memanjang**
  Momen tumpuan total dihitung dari total momen roda 2 (kanan) depan dan belakang serta roda 1 (kiri) depan dan belakang arah memanjang.
  $Mtx_{tot} = Mtx_1 + Mtx_2 + Mtx_3 + Mtx_4$
  $= - 1040,52 – 1893,71 – 899,26 – 1656,97$
  $= - 5490,45$ kgm

$Mty_{tot} = Mty_1 + Mty_2 + Mty_3 + Mty_4$
$= - 783,51 – 1431,10 - 783,51 – 1431,10$
$= - 4393,22$ kgm

- **Momen maksimum kombinasi pembebanan 1 dan 2**

- **Arah memanjang pelat**

Mlx = 2871,85 kgm
Mly = 3882,27 kgm
Mtx = - 5490,45 kgm
Mty = - 4393,22 kgm

- **Lebar pembesian arah memanjang**

$$Slx_1 = \left(0,4-0,1+\left(0,4\times\frac{0,5}{5,4}\right)+\left(0,2\times\frac{0,2}{7,4}\right)-\left(0,3x\frac{0,5\times0,2}{5,4\times7,4}\right)\right)\times5,4 = 1,85$$

$$Sly_1 = \left(0,4-0,1+\left(0,2\times\frac{0,5}{5,4}\right)+\left(0,4\times\frac{0,2}{7,4}\right)-\left(0,3x\frac{0,5\times0,2}{5,4\times7,4}\right)\right)\times7,4 = 2,43$$

$$Stx_1 = \left(0,6-0,1+\left(0,1\times\frac{0,5}{5,4}\right)-\left(0,1\times\frac{0,2}{7,4}\right)+\left(0,1\times\frac{0,5\times0,2}{5,4\times7,4}\right)\right)\times5,4 = 2,74$$

$$Sty_1 = \left(0,6-0,1-\left(0,1\times\frac{0,5}{5,4}\right)+\left(0,1\times\frac{0,2}{7,4}\right)+\left(0,1\times\frac{0,5\times0,2}{5,4\times7,4}\right)\right)\times7,4 = 3,66$$

- **Momen lapangan maksimum**

$$Mlx_{max} = \frac{Mlx}{Slx} = \frac{2871,85}{1,85} = 1556,44 \text{ kgm}$$

$$Mly_{max} = \frac{Mly}{Sly} = \frac{3882,27}{2,43} = 1596,67 \text{ kgm}$$

- **Momen tumpuan maksimum**

$$Mtx_{max} = \frac{Mtx}{Stx} = \frac{-5490,45}{2,74} = -2006,19 \text{ kgm}$$

$$Mty_{max} = \frac{Mty}{Sty} = \frac{-4393,22}{3,66} = -1200,09 \text{ kgm}$$

Tabel 6.18 Momen akibat beban terpusat roda truk pelat *trestle*

Tipe pelat	Kombinasi I roda 2 (kgm)		Kombinasi I roda 1 (kgm)		PAKAI (kgm)	Kombinasi II roda 2 (kgm)		Kombinasi II roda 1 (kgm)		PAKAI (kgm)
	memanjang		memanjang		Memanjang	memanjang		memanjang		Memanjang
	depan	belakang	depan	belakang		depan	belakang	depan	belakang	
A	604,17	831,75	604,17	831,75	2871,85	604,17	831,75	604,17	831,75	2871,85
	-1040,52	-1893,71	-857,61	-1586,68	-5378,51	-1040,52	-1893,71	-899,26	-1656,97	-5490,45
	709,18	1231,95	709,18	1231,95	3882,27	709,18	1231,95	709,18	1231,95	3882,27
	-783,51	-1413,10	-783,51	-1413,10	-4393,22	-783,51	-1413,10	-783,51	-1413,10	-4393,22
B	0,00	0,00	419,74	519,72	939,46	0,00	0,00	419,74	519,72	939,46
	0,00	0,00	-674,19	-1078,26	-1752,45	0,00	0,00	-674,19	-1078,26	-1752,45
	0,00	0,00	430,04	562,25	992,29	0,00	0,00	430,04	562,25	992,29
	0,00	0,00	-507,60	-682,80	-1190,41	0,00	0,00	-507,60	-682,80	-1190,41
C	0,00	731,38	0,00	731,38	1462,76	0,00	731,38	0,00	731,38	1462,76
	0,00	-1240,52	0,00	-1240,52	-2481,04	0,00	-1240,52	0,00	-1240,52	-2481,04
	0,00	751,69	0,00	751,69	1503,37	0,00	751,69	0,00	751,69	1503,37
	0,00	-901,09	0,00	-901,09	-1802,18	0,00	-901,09	0,00	-901,09	-1802,18
D	0,00	453,11	0,00	0,00	453,11	0,00	453,11	0,00	0,00	453,11
	0,00	-920,56	0,00	0,00	-920,56	0,00	-920,56	0,00	0,00	-920,56
	0,00	459,87	0,00	0,00	459,87	0,00	459,87	0,00	0,00	459,87
	0,00	-609,30	0,00	0,00	-609,30	0,00	-609,30	0,00	0,00	-609,30

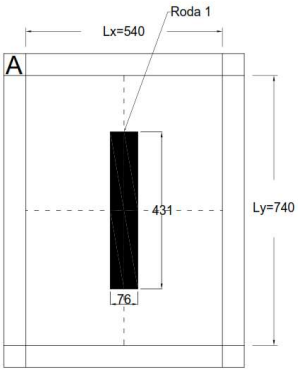
Tabel 6.19 Momen akibat beban terpusat roda truk pelat *trestle* (lanjutan)

Tipe pelat	Kombinasi Max (kgm)	Lebar Jalur (m)	Momen Max (kgm)
	Memanjang	Memanjang	Memanjang
A	2871,85	1,85	1556,44
	-5490,45	2,74	-2006,19
	3882,27	2,43	1596,67
	-4393,22	3,66	-1200,09
B	939,46	0,44	2112,43
	-1752,45	0,43	-4033,64
	992,29	3,31	299,40
	-1190,41	3,40	-350,41
C	1462,76	0,62	2346,67
	-2481,04	0,71	-3507,24
	1503,37	2,13	707,47
	-1802,18	2,57	-700,33
D	453,11	0,44	1022,06
	-920,56	0,43	-2132,56
	459,87	0,63	731,60
	-609,30	0,62	-978,23

5. Momen akibat beban terpusat *crawler crane*
   Besarnya momen akibat beban terpusat *crawler crane* yang bergerak harus dihitung berdasarkan pada momen maksimum yang terjadi. Area kontak roda tunggal *crawler crane* seluas 0,76 x 4,31 m^2. Untuk perhitungan momen hanya dihitung dengan 2 kombinasi pada tengah - tengah pelat dengan asumsi momen maksimum berada pada tengah pelat bukan tepi pelat.

   a. Kombinasi pembebanan 1
   Dalam kombinasi pembebanan ini, salah satu roda *crawler crane* diletakkan ditengah pelat dan roda lainnya berada di sampingnya. Kombinasi ini dihitung baik pada saat roda dalam posisi melintang ataupun memanjang.

   - **Posisi roda truk arah memanjang pelat**
     Contoh perhitungan momen dilakukan pada pelat tipe A, sedangkan perhitungan momen pada pelat tipe lainnya dapat dilihat pada Tabel 6.20 dan Tabel 6.21. Masing – masing roda *crawler crane* meberikan beban 6,25 t/m^2 (lihat Gambar 6.34).



Gambar 6.34 Posisi roda *crawler crane* arah memanjang pelat tipe A kombinasi 1

- **Momen lapangan total arah memanjang**
  Momen lapangan total dihitung dari total momen roda 2 (kanan) dan roda 1 (kiri) arah memanjang.
  $Mlx_{tot} = Mlx_1 + Mlx_2$
  $= 0 + 855,02 = 855,02$ kgm
  $Mly_{tot} = Mly_1 + Mly_2$
  $= 0 + 1383,76 = 1383,76$ kgm

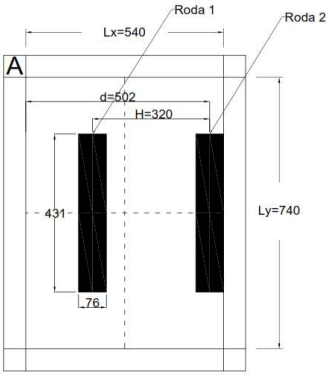
- **Momen tumpuan total arah memanjang**
  Momen tumpuan total dihitung dari total momen roda 2 (kanan) dan roda 1 (kiri) arah memanjang.
  $Mtx_{tot} = Mtx_1 + Mtx_2$
  $= - 0 – 3495,21 = - 3495,21$ kgm
  $Mty_{tot} = Mty_1 + Mty_2$
  $= - 0 – 2880,71 = - 2880,71$ kgm

b. Kombinasi pembebanan 2

Dalam kombinasi pembebanan ini, salah satu roda *crawler crane* diletakkan tepi pelat dan roda lainnya berada di sampingnya.

- **Posisi roda truk arah memanjang pelat**

  Contoh perhitungan momen dilakukan pada pelat tipe A, sedangkan perhitungan momen pada pelat tipe lainnya dapat dilihat pada Tabel 6.20 dan Tabel 6.21. Masing – masing roda *crawler crane* meberikan beban 6,25 t/m^2 (lihat Gambar 6.35).



Gambar 6.35 Posisi roda *crawler crane* arah memanjang pelat tipe A kombinasi 2

- **Momen lapangan total arah memanjang**

  Momen lapangan total dihitung dari total momen roda 2 (kanan) dan roda 1 (kiri) arah memanjang.

  $Mlx_{tot} = Mlx_1 + Mlx_2$

  $= 855,02 + 855,02 = 1710,04$ kgm

  $Mly_{tot} = Mly_1 + Mly_2$

  $= 1383,76 + 1383,76 = 2767,17$ kgm

- **Momen tumpuan total arah memanjang**
  Momen tumpuan total dihitung dari total momen roda 2 (kanan) dan roda 1 (kiri) arah memanjang.
  $Mtx_{tot} = Mtx_1 + Mtx_2$
  $= - 3495,21 – 2074,96 = - 5570,17$ kgm
  $Mty_{tot} = Mty_1 + Mty_2$
  $= - 2880,71 - 2880,71 = - 5761,42$ kgm

- **Momen maksimum kombinasi pembebanan 1 dan 2**
- **Arah memanjang pelat**
  Mlx = 1710,04 kgm
  Mly = 2767,51 kgm
  Mtx = - 5570,17 kgm
  Mty = - 5761,42 kgm

- **Lebar pembesian arah memanjang**

$$Slx_1 = \left(0,4 - 0,1 + \left(0,4 \times \frac{0,76}{5,4}\right) + \left(0,2 \times \frac{4,31}{7,4}\right) - \left(0,3x \frac{0,76 \times 4,31}{5,4 \times 7,4}\right)\right) \times 4,2$$

$$= 2,42$$

$$Sly_1 = \left(0,4 - 0,1 + \left(0,2 \times \frac{0,76}{5,4}\right) + \left(0,4 \times \frac{4,31}{7,4}\right) - \left(0,3x \frac{0,76 \times 4,31}{5,4 \times 7,4}\right)\right) \times 7,4$$

$$= 3,97$$

$$Stx_1 = \left(0,6 - 0,1 + \left(0,1 \times \frac{0,76}{5,4}\right) - \left(0,1 \times \frac{4,31}{7,4}\right) + \left(0,1 \times \frac{0,76 \times 4,31}{5,4 \times 7,4}\right)\right) \times 4,2$$

$$= 2,51$$

$$Sty_1 =$$

$$\left(0,6 - 0,1 - \left(0,1 \times \frac{0,76}{5,4}\right) + \left(0,1 \times \frac{4,31}{7,4}\right) + \left(0,1 \times \frac{0,76 \times 4,31}{5,4 \times 7,4}\right)\right) \times 7,4$$

$$= 4,25$$

- **Momen lapangan maksimum**

$$Mlx_{max} = \frac{Mlx}{Slx} = \frac{1710,04}{2,42} = 706,56 \text{ kgm}$$

$$Mly_{max} = \frac{Mly}{Sly} = \frac{2767,51}{3,97} = 697,05 \text{ kgm}$$

- **Momen tumpuan maksimum**

$$Mtx_{max} = \frac{Mtx}{Stx} = \frac{-5570,17}{2,51} = -2222,95 \text{ kgm}$$

$$Mty_{max} = \frac{Mty}{Sty} = \frac{-5761,42}{4,25} = -1356,54 \text{ kgm}$$

Tabel 6.20 Momen akibat beban terpusat *crawler crane* pelat *trestle*

Tipe pelat	Kombinasi 1 roda 2 (kgm)	Kombinasi I roda 1 (kgm)	Pakai (kgm)	Kombinasi II roda 2 (kgm)	Kombinasi II roda 1 (kgm)	Pakai (kgm)
	memanjang	memanjang	memanjang	memanjang	memanjang	Memanjang
A	0,00	855,02	855,02	855,02	855,02	1710,04
	0,00	-3495,21	-3495,21	-3495,21	-2074,96	-5570,17
	0,00	1383,76	1383,76	1383,76	1383,76	2767,51
	0,00	-2880,71	-2880,71	-2880,71	-2880,71	-5761,42
B	0,00	807,53	807,53	0,00	807,53	807,53
	0,00	-1935,03	-1935,03	0,00	-1935,03	-1935,03
	0,00	609,84	609,84	0,00	609,84	609,84
	0,00	-1077,73	-1077,73	0,00	-1077,73	-1077,73
C	0,00	392,51	392,51	392,51	392,51	785,02
	0,00	-954,94	-954,94	-954,94	-954,94	-1909,88
	0,00	421,01	421,01	421,01	421,01	842,02
	0,00	-538,30	-538,30	-538,30	-538,30	-1076,60
D	0,00	163,95	163,95	0,00	163,95	163,95
	0,00	-334,42	-334,42	0,00	-334,42	-334,42
	0,00	65,01	65,01	0,00	65,01	65,01
	0,00	-236,74	-236,74	0,00	-236,74	-236,74

Tabel 6.21 Momen akibat beban terpusat *crawler crane* pelat *trestle* (lanjutan)

Tipe pelat	Kombinasi max (kgm)	Lebar Jalur (m)	Momen Max (kgm)
	Memanjang	**Memanjang**	**Memanjang**
A	1710,04	2,42	706,56
	-5570,17	2,51	-2222,95
	2767,51	3,97	697,05
	-5761,42	4,25	-1356,54
B	807,53	0,50	1622,38
	-1935,03	0,46	-4165,89
	609,84	4,15	147,05
	-1077,73	7,92	-136,06
C	785,02	0,88	888,93
	-1909,88	0,78	-2448,56
	842,02	2,78	303,32
	-1076,60	2,58	-417,61
D	163,95	0,45	364,32
	-334,42	0,45	-751,50
	65,01	0,73	89,22
	-236,74	0,81	-293,82

Tabel 6.22 Momen rencana pelat trestle

Tipe pelat	Momen	Momen (kg m)				Momen Kombinasi			Momen Rencana (kgm)
		B. Mati	B.Hidup	B.Truck	B. CC	1+2	1+3	1+4	
		1	2	3	4				
A	Mlx	1112,75	3090,96	1556,44	706,56	4203,71	2669,19	1819,30	4203,71
	Mtx	-1112,75	-3090,96	-2006,19	-2222,95	-4203,71	-3118,94	-3335,70	-4203,71
	Mly	797,82	2216,16	1596,67	697,05	3013,98	2394,49	1494,87	3013,98
	Mty	-797,82	-2216,16	-1200,09	-1356,54	-3013,98	-1997,91	-2154,36	-3013,98
B	Mlx	19,05	52,92	2112,43	1622,38	71,97	2131,48	1641,43	2131,48
	Mtx	-19,05	-52,92	-4033,64	-4165,89	-71,97	-4052,69	-4184,94	-4184,94
	Mly	6,70	18,62	299,40	147,05	25,32	306,10	153,76	306,10
	Mty	-19,76	-54,88	-350,41	-136,06	-74,64	-370,17	-155,82	-370,17
C	Mlx	55,99	155,52	2346,67	888,93	211,51	2402,66	944,91	2402,66
	Mtx	-55,99	-155,52	-3507,24	-2448,56	-211,51	-3563,22	-2504,55	-3563,22
	Mly	19,70	54,72	707,47	303,32	74,42	727,17	323,02	727,17
	Mty	-58,06	-161,28	-700,33	-417,61	-219,34	-758,39	-475,67	-758,39
D	Mlx	28,93	80,36	1022,06	364,32	109,29	1050,99	393,25	1050,99
	Mtx	-28,93	-80,36	-2132,56	-751,50	-109,29	-2161,49	-780,43	-2161,49
	Mly	17,64	49,00	731,60	89,22	66,64	749,24	106,86	749,24
	Mty	-17,64	-49,00	-978,23	-293,82	-66,64	-995,87	-311,46	-995,87
E	Mlx	49,77	138,24	0,00	0,00	188,01	49,77	49,77	188,01
	Mtx	-49,77	-138,24	0,00	0,00	-188,01	-49,77	-49,77	-188,01
	Mly	49,77	138,24	0,00	0,00	188,01	49,77	49,77	188,01
	Mty	-49,77	-138,24	0,00	0,00	-188,01	-49,77	-49,77	-188,01

6.2.2.4 Penulangan pelat

Dalam contoh perhitungan penulangan pelat dua arah ini digunakan pelat tipe A (pelat dua arah**)**. Perhitungan penulangan menggunakan cara PBI 1971.

1. Data perencanaan pelat

- Mutu Beton

  σ'_{bk} = 350 kg/cm^2 (K-350)
  σ'_b = 115,5 kg/cm^2
  E_b = 1,2×10^5 kg/cm^2

- Mutu Baja

  σ_{au} = 320 Mpa = 3.200 kg (U-32)
  Ea = 2,1×10^6 kg/cm^2
  σ_a = σ'_a = 1.850 kg/cm^2
  σ'_{au} = 2.780 kg/cm^2

  $n_t = \frac{E_a}{E_b} = \frac{2{,}1\times10^6}{1{,}2\times10^5} = 17{,}5$

  $\phi_0 = \frac{\sigma'_a}{(n\times\sigma'_b)} = \frac{1850}{(17{,}5\times115{,}5)} = 0{,}92$

  Diameter tulangan = 13 mm
  Tebal Pelat = 30 cm

2. Penulangan arah X

- Momen nominal

  Berikut ini nilai momen untuk pelat tipe A :
  Mlx = 4203,71 kgm (lapangan)
  Mtx = - 4203,71 kgm (tumpuan)

- Tulangan lapangan
  Momen Positif = Mlx = 4203,71 kgm
  hx = 300 – 70 - 0,5 ϕarah X
  = 300 – 70 - 0,5 x 13
  = 223,5 mm
  = 22,35 cm

  $$Ca = \frac{hx}{\sqrt{\frac{n \times M}{b \times \sigma'_a}}} = \frac{22,35}{\sqrt{\frac{17,5 \times 4203,71}{1 \times 1850}}} = 3,54$$

  Dengan melihat tabel Perhitungan Lentur Cara "n", untuk Ca = 3,54 dengan δ = 0 (pelat), didapatkan :
  $\phi = 1,898 > \phi_0 = 0,92$
  100nω = 9,086

  Luas Tulangan tarik yang diperlukan adalah
  $A = \omega \times b \times h_x = \frac{n\omega}{n_t} \times b \times h_x$
  $= \frac{9,086}{100 \times 17,5} \times 100 \times 22,35$
  = 11,6 cm^2 = 1160,41 mm^2
  Dipasang D13–100 (As = 1326,65 mm^2)

- Tulangan tumpuan
  Karena momen tumpuan dan lapangan sama besar, maka penulangan tumpuan sama dengan penulangan lapangan.

- Kontrol retak
  $\omega_p = \frac{A}{B_t}$; C_3 = 1,50 ; C_4 = 0,16 dan C_5 = 30
  A = luas tulangan tarik

B_t = luas penampang beton yang tertarik = 100 × 30 cm

maka: $\omega_p = \dfrac{1326,65}{1000 \times 300} = 0,0044$

Besarnya lebar retak pada pembebanan tetap akibat beban kerja dihitung dengan rumus berikut ini :

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

$$w = 1 \left(1,50 \times 7,0 + 0,16 \times \frac{1,3}{0,0044} \right) \left(1850 - \frac{30}{0,0044} \right) 10^{-6} (cm)$$

w = - 0,32 < 0,01 cm

3. Penulangan arah Y

- Momen nominal

  Berikut ini nilai momen untuk pelat tipe A :

  Mly = 3013,98 kgm (lapangan)

  Mty = -3013,98 kgm (tumpuan)

- Tulangan lapangan

  Momen Positif = Mly = 3013,98 kgm

  hx = 300 – 70 - 0,5 ϕarah Y

  = 300 – 70 - 0,5 × 13

  = 223,5 mm

  = 22,35 cm

  $$\text{Ca} = \frac{hx}{\sqrt{\dfrac{n \times M}{b \times \sigma'_a}}} = \frac{22,35}{\sqrt{\dfrac{17,5 \times 3013,98}{1 \times 1850}}} = 4,186$$

  Dengan melihat tabel Perhitungan Lentur Cara “n”, untuk Ca = 4,186 dengan δ = 0 (pelat), didapatkan

  $\phi = 2,333 > \phi_0 = 0,92$

$100n\omega = 6{,}429$

Luas Tulangan tarik yang diperlukan adalah

$$A = \omega \times b \times h_x = \frac{n\omega}{n_t} \times b \times h_x$$

$$= \frac{6{,}429}{100 \times 17{,}5} \times 100 \times 22{,}35$$

$= 8{,}2108\ cm^2 = 821{,}08\ mm^2$

Dipasang D13–100 ($As = 1326{,}65\ mm^2$)

- Tulangan tumpuan
  Karena momen tumpuan dan lapangan sama besar, maka penulangan tumpuan sama dengan penulangan lapangan.

- Kontrol retak
  Karena jmlah luas tulangan yang dipakai arah x lapangan dan arah y lapangan sama maka hasil kontrol retak juga sama yaitu tidak retak.

Kebutuhan tulangan untuk tipe pelat lainnya dapat dilihat pada Tabel 6.23.

Tabel 6.23 Penulangan pelat pada *trestle*

Tipe Pelat	lx	ly	ly/lx		Momen Rencana (kgm)	Ca	Φ	100nw	A perlu (mm2)	N pasang	Jarak Tulangan (mm)	Dipasang				As pasang (mm2)
A	5,40	7,40	1,4	Mlx	4203,71	3,54	1,90	9,09	1160,41	10	112,00	D	13	-	100	1326,7
	5,40	7,40		Mtx	4203,71	3,54	1,90	9,09	1160,41	10	112,00	D	13	-	100	1326,7
	5,40	7,40	two way slab	Mly	3013,98	4,19	2,33	6,43	821,08	10	153,67	D	13	-	100	1326,7
	5,40	7,40		Mty	3013,98	4,19	2,33	6,43	821,08	10	153,67	D	13	-	100	1326,7
B	0,70	7,40	10,6	Mlx	2131,48	4,98	2,88	4,49	572,80	6	237,00	D	13	-	200	796,0
	0,70	7,40	one way slab	Mtx	4184,94	3,55	1,90	9,09	1160,41	10	112,00	D	13	-	100	1326,7
C	1,20	5,40	4,5	Mlx	2402,66	4,69	2,68	5,08	648,92	6	237,00	D	13	-	200	796,0
	1,20	5,40	one way slab	Mtx	3563,22	3,85	2,10	7,71	984,04	10	129,86	D	13	-	100	1326,7
D	0,70	1,20	1,7	Mlx	1050,99	7,09	4,35	2,15	274,71	5	487,00	D	13	-	250	663,3
	0,70	1,20	0,0	Mtx	2161,49	4,94	2,85	4,57	583,40	6	237,00	D	13	-	200	796,0
	0,70	1,20	two way slab	Mly	749,24	8,40	5,25	1,52	194,64	5	987,00	D	13	-	250	663,3
	0,70	1,20	0,0	Mty	995,87	7,28	4,46	2,05	261,81	5	987,00	D	13	-	250	663,3
E	1,20	1,20	1,0	Mlx	188,01	16,76	8,01	0,69	88,51	5	987,00	D	13	-	250	663,3
	1,20	1,20	0,0	Mtx	188,01	16,76	8,01	0,69	88,51	5	987,00	D	13	-	250	663,3
	1,20	1,20	two way slab	Mly	188,01	16,76	8,01	0,69	88,51	5	987,00	D	13	-	250	663,3
	1,20	1,20	0,0	Mty	188,01	16,76	8,01	0,69	88,51	5	987,00	D	13	-	250	663,3

6.2.3 Analisis Struktur

6.2.3.1 Beban yang terjadi

Detail mengenai perhitungan pembebanan pada *trestle* dapat dilihat pada BAB IV. Berikut adalah ringkasan pembebanan yang digunakan dalam analisis struktur *trestle* ini:

1. Beban hidup
   W = 2,0 t/m²
2. Beban terpusat *gangway*
   Direncanakan *gangway* dengan berat total 3 ton ((1,2 m × 8 m × 250 kg/m²)+600kg).
   Sehinga beban yang diterima balok *gangway* 1,5 ton.
3. Beban terpusat roda truk
   Lihat sub BAB 6.1.3.1
4. Beban terpusat roda *crawler crane*
   Lihat sub BAB 6.1.3.1
5. Beban gempa
   Lihat sub BAB 6.1.3.1

6.2.3.2 Kombinasi pembebanan

Kombinasi pembebanan yang digunakan untuk analisis struktur ini adalah sebagai berikut:

1. DL
2. DL + LL
3. DL + TRUK + CC
4. DL + LL + QX + 0,3QY
5. DL + LL + 0,3QX + QY
6. DL + TRUK + CC + QX + 0,3QY
7. DL + TRUK + CC + 0,3QX + QY
8. ENVELOPE

Keterangan :

DL =beban mati/berat sendiri struktur ditambah beban *gangway*
LL = beban hidup merata
Truk = beban roda truk

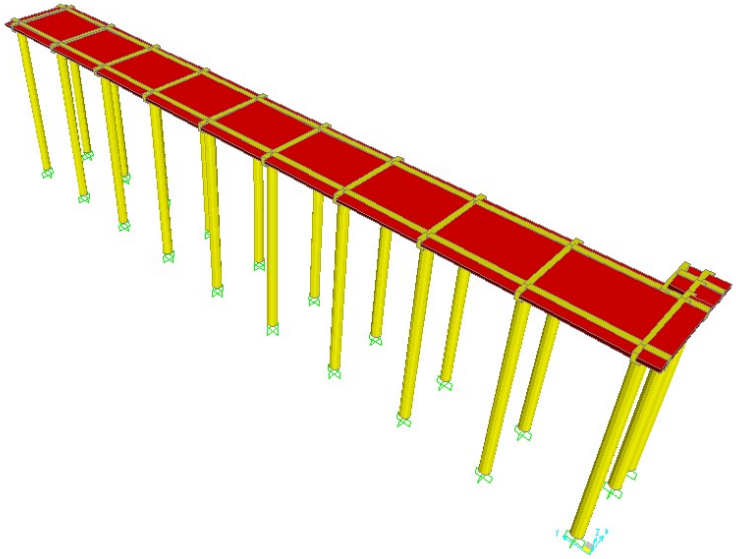
CC = beban roda *crawler crane*
QX = beban gempa arah melintang struktur
QY = beban gempa arah memanjang struktur

6.2.3.3 Tinggi struktur (titik jepit)

Elevasi dan dimensi tiang pancang pada *trestle* sama dengan kedalaman dan tiang pancang pada dermaga. Sehingga tinggi struktur adalah 18,8 m (Lihat sub BAB 6.1.3.3).

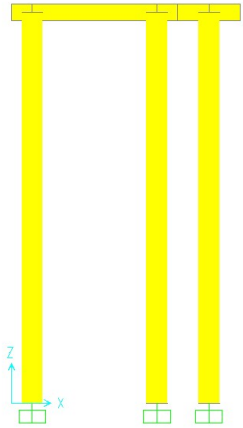
6.2.3.4 Permodelan struktur

Hasil permodelan struktur *trestle* pada program SAP2000 v.14.2.2 dapat dilihat pada Gambar 6.36 - Gambar 6.43.

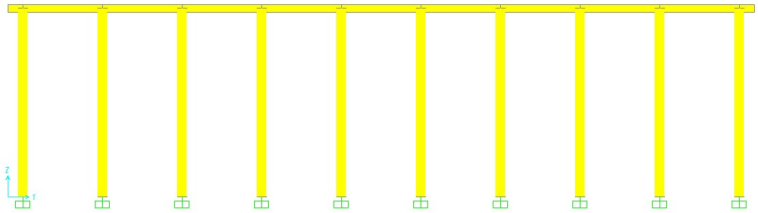


Gambar 6.36 Tampak 3 dimensi struktur *trestle*

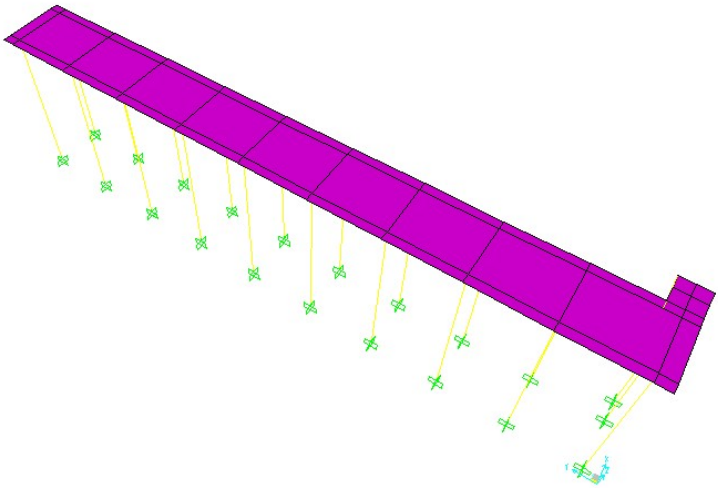
Gambar 6.37 Tampak atas struktur *trestle*



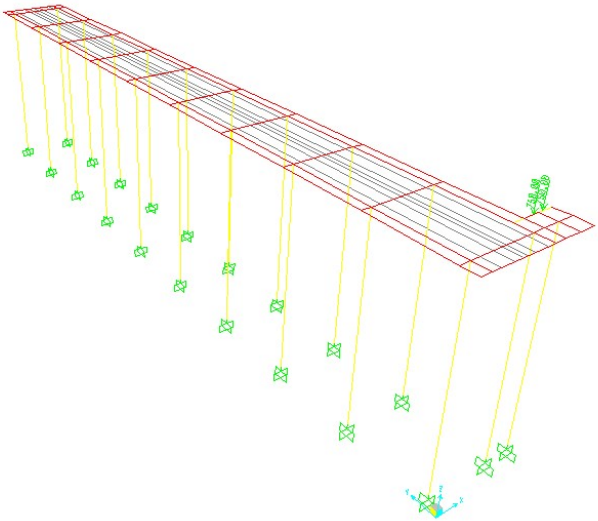
Gambar 6.38 Tampak melintang struktur *trestle*



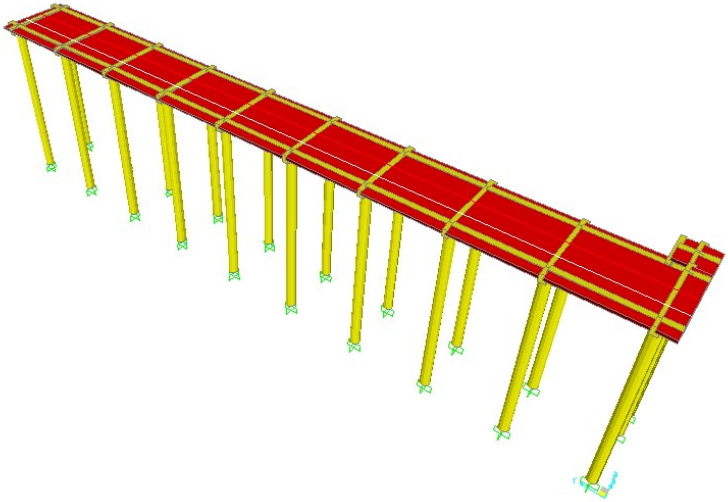
Gambar 6.39 Tampak memanjang struktur *trestle*



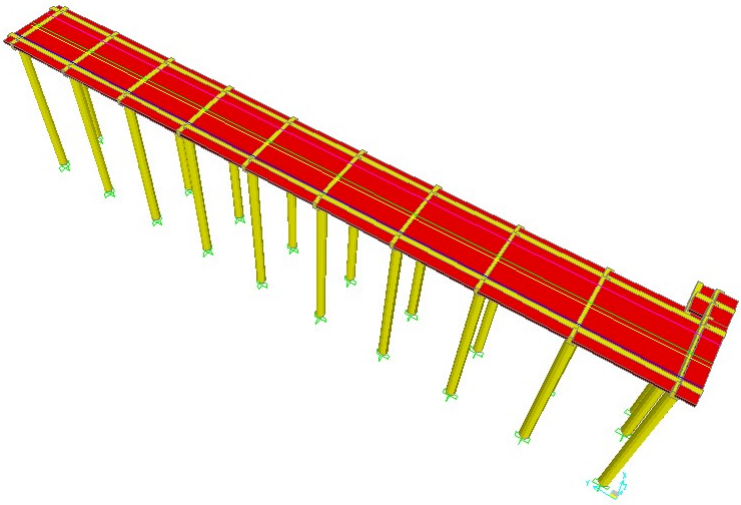
Gambar 6.40 Beban hidup merata struktur *trestle*



Gambar 6.41 Beban *gangway*



Gambar 6.42 Lintasan beban truk *trestle*



Gambar 6.43 Lintasan beban *crawler crane trestle*

Dari hasil perhitungan SAP2000 v.14.2.2 diperoleh gaya – gaya maksimum yang bekerja pada balok melintang, balok memanjang dan kantilever seperti pada Tabel 6.24.

Tabel 6.24 Gaya hasil perhitungan SAP2000 v.14.2.2 *trestle*

BALOK	FRAME	POSISI	MOMEN	GESER	TORSI	AKSIAL	KOMBINASI
			kgm	kg	kgm	kg	
B. MEMANJANG	96	TUMPUAN	-41816,38				5
	96	LAPANGAN	24799,48				5
	112	TUMPUAN 1		-25699,18			5
	96	TUMPUAN 2		26145,5			5
	94	TUMPUAN			-2212,45		5
	103	-				-915,43	4
B. MELINTANG	86	TUMPUAN	-26210,45				4
	65	LAPANGAN	19767,86				5
	86	TUMPUAN 1		-22976,33			4
	62	TUMPUAN 2		22986,65			4
	62	TUMPUAN			-2070,62		7
	62	-				-474,44	4
B. GANGWAY	22	TUMPUAN	-1783,23				
	22	LAPANGAN	4433,82				
	22	TUMPUAN 1		-3257,54			
	22	TUMPUAN 2		4929,96			
	22	TUMPUAN			-312,76		
	22	-				985,59	

6.2.4 Perencanaan Balok (Contoh pada balok melintang)

1. Data perencanaan
   a. Dimensi
      Lebar (b) = 60 cm
      Tinggi (h) = 80 cm
      Tebal selimut beton= 7 cm
   b. Mutu beton
      σ'_{bk} = 350 kg/cm^2 (K-350)
      f'c = 296 kg/cm^2
      σ'_b = 115,5 kg/cm^2
      E_b = 1,2 × 10^5 kg/cm^2
   c. Mutu baja
      σ_{au} = 3200 kg/ cm^2 (U-32)
      Ea = 2,1 × 10^6 kg/cm^2
      $\sigma_a = \sigma'_a$ = 1850 kg/cm^2
      σ^*_{au} = 2780 kg/cm^2

d. Diameter tulangan
Tualangan lentur = 29 mm
Tulangan geser = 16 mm

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

$$\phi_0 = \frac{\sigma'_a}{(n \times \sigma'_b)} = \frac{1850}{(17{,}5 \times 115{,}5)} = 0{,}92$$

e. Momen balok
Dalam perhitungan ini penulangan balok melintang diambil berdasarkan gaya maksimum yang bekerja dari hasil SAP2000 v.14.2.2.
Mu = -26210,45 kgm (tumpuan)
Mu = 19767,86 kgm (lapangan)

2. Perhitungan tulangan lapangan
a. Luas tulangan
Dari analisis struktur didapatkan momen lapangan
Mu = 19767,86 kgm
h = ht – selimut beton – Ø geser – 0,5 Ø lentur
(ht = Tinggi balok)
h = 80 – 70 – 16 – 0,5 × 29
= 696,5 mm = 69,95 cm

$$Ca = \frac{h}{\sqrt{\frac{n \times M}{b \times \sigma'_a}}} = \frac{69{,}95}{\sqrt{\frac{17{,}5 \times 19767{,}86}{60 \times 1850}}}$$

= 3,96

Dengan melihat tabel Perhitungan Lentur Cara “n”, untuk Ca = 3,96 dengan δ = 0,4 didapatkan:

$\phi = 2{,}33 > \phi_0 = 0{,}92$

100nω = 7,258

Luas Tulangan yang diperlukan :

Tulangan Tarik

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

$= \frac{7,258}{100 \times 17,5} \times 60 \times 69,95$

$= 17,40 \text{ cm}^2 = 1740,68 \text{ mm}^2$

Dipasang 3D29 ($As = 1981,56 \text{ mm}^2$)

Tulangan Samping (bagi)

$A = 10\ \% \times A_{tarik}$ (PBI '71 Pasal.9.3(5))

$= 10\ \% \times 1981,56$

$= 198,156 \text{ mm}^2$

Dipasang 2D16 ($As = 402,12 \text{ mm}^2$)

Tulangan Tekan

$A' = \delta \times A$

$= 0,4 \times 1981,56$

$= 792,62 \text{ mm}^2$

Dipasang 2D29 ($As = 1321,03 \text{ mm}^2$)

$As\ tot = 1981,56 + 402,12 + 1321,03 = 3704,72 \text{ mm}^2$

b. Cek jarak tulangan tarik

Tulangan direncanakan hanya terdiri dari 1 baris yang berisi 3 tulangan, sehingga jarak tulangan sebesar :

$s = \frac{60 - 2 \times 7 - 2 \times 1,6 - 3 \times 2,9}{3 - 1} = 17,05 \text{ cm} > 4,2 \text{ cm}$

c. Cek jarak tulangan tekan

Tulangan direncanakan hanya terdiri dari 1 baris yang berisi 6 tulangan, sehingga jarak tulangan sebesar :

$s = \frac{60 - 2 \times 7 - 2 \times 1,6 - 6 \times 2,9}{6 - 1} = 37 \text{ cm} > 4,2 \text{cm}$

d. Kontrol retak

$\omega_p = \frac{A}{Bt}$; $C_3 = 1{,}50$; $C_4 = 0{,}16$ dan $C_5 = 30$

Bt = luas penampang beton yang tertarik = 60 × 69,95 cm^2

Maka:

$$\omega_p = \frac{3704{,}72}{600 \times 699{,}5} = 0{,}009$$

Besarnya lebar retak pada pembebanan tetap akibat beban kerja dihitung dengan rumus berikut ini :

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

$$w = 1 \left(1{,}50 \times 8 + 0{,}16 \times \frac{2{,}9}{0{,}009} \right) \left(1850 - \frac{30}{0{,}009} \right) 10^{-6} (cm)$$

w = -0,09 < 0,01 cm

3. Perhitungan tulangan tumpuan

a. Luas tulangan

Dari analisis struktur didapatkan momen tumpuan didapatkan :

Mu = 26210,45 kg m (tumpuan)

$$\text{Ca} = \frac{h}{\sqrt{\frac{n \times M}{b \times \sigma'_a}}} = \frac{69{,}95}{\sqrt{\frac{17{,}5 \times 26210{,}45}{0{,}6 \times 1850}}}$$

= 3,44

Dengan melihat tabel Perhitungan Lentur Cara “n”, untuk Ca = 3,44 dengan δ = 0,4, didapatkan :

$\phi = 2{,}03 > \phi_0 = 0{,}92$

100nω = 9,42

Luas Tulangan yang diperlukan :

Tulangan Tarik

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

$= \frac{9,42}{100 \times 17,5} \times 60 \times 69,95$

$= 22,59 \text{ cm}^2 = 2259,19 \text{ mm}^2$

Dipasang 4D29 (As = 2642,08 mm^2)

Tulangan Samping (bagi)

$A = 10\ \% \times A_{tarik}$ (PBI '71 Pasal.9.3(5))

$= 10\ \% \times 2642,08$

$= 264,208 \text{ mm}^2$

Dipasang 2D16 (As = 402,12 mm^2)

Tulangan Tekan

$A' = \delta \times A$

$= 0,4 \times 2642,08$

$= 1056,83 \text{ mm}^2$

Dipasang 2D29 (As = 1321,04 mm^2)

As tot = 2642,08+402,12+1321,04 = 4365,24 mm^2

b. Cek jarak tulangan tarik

Tulangan direncanakan hanya terdiri dari 1 baris yang berisi 4 tulangan, sehingga jarak tulangan sebesar :

$s = \frac{60 - 2 \times 7 - 2 \times 1,6 - 4 \times 2,9}{4 - 1} = 10,4 \text{ cm} > 4,2 \text{ cm}$

c. Cek jarak tulangan tekan

Tulangan direncanakan hanya terdiri dari 1 baris yang berisi 2 tulangan, sehingga jarak tulangan sebesar :

$s = \frac{60 - 2 \times 7 - 2 \times 1,6 - 2 \times 2,9}{2 - 1} = 37 \text{ cm} > 4,2 \text{cm}$

d. Kontrol retak

$\omega_p = \frac{A}{Bt}$; $C_3 = 1{,}50$; $C_4 = 0{,}16$ dan $C_5 = 30$

Bt = luas penampang beton yang tertarik
= 60 x 69,95 cm^2,

Maka:

$$\omega_p = \frac{4365{,}24}{600 \times 699{,}5} = 0{,}0105$$

Besarnya lebar retak pada pembebanan tetap akibat beban kerja dihitung dengan rumus berikut ini :

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

$$w = 1 \left(1{,}50 \times 8 + 0{,}16 \times \frac{2{,}9}{0{,}0105} \right) \left(1850 - \frac{30}{0{,}0105} \right) 10^{-6} (cm)$$

w = -0,15 < 0,01 cm

4. Perhitungan tulangan geser (sengkang)

a. Gaya geser

V = 22986,65 kg

$$\tau_b = \frac{V}{b \times \frac{7}{8} h} \qquad \text{(PBI '71 Pasal.11.7(1))}$$

$$= \frac{22986{,}65}{60 \times \frac{7}{8} \times 69{,}95} = 6{,}26 \text{ kg/cm}^2$$

Tegangan beton yang diizinkan berdasarkan PBI '71 tabel 10.4.2 akibat geser oleh lentur dengan puntir, dengan tulangan geser.

Untuk pembebanan tetap :

τ'_{bm-t} $= 1{,}35\sqrt{\sigma'_{bk}}$

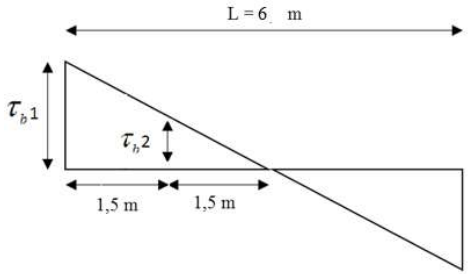
$= 1{,}35 \times \sqrt{350} = 25{,}26$ kg/cm^2

Untuk pembebanan sementara:

τ'_{bm-s} $= 2{,}12 \times \sqrt{\sigma'_{bk}}$

$= 2{,}12 \times \sqrt{350} = 39{,}66$ kg/cm^2

Pembagian tegangan geser pada balok dapat dilihat pada Gambar 6.44.



Gambar 6.44 Pembagian tegangan geser balok *trestle*

b. Sengkang jarak < 1,5 m dari tumpuan

$\tau_b 1 = 6{,}26$ kg/cm^2

$\left.\begin{array}{l} \tau_b < \tau'_{bm-t} \\ \tau_b < \tau'_{bm-s} \end{array}\right\}$ diperlukan sengkang

Direncanakan sengkang

Diameter = 16 mm

As = 4,02 cm^2 (sengkang dua kaki)

Jarak sengkang =

$$as < \frac{As \times \overline{\sigma}_a}{\tau_s \times b} = \frac{4{,}02 \times 1850}{6{,}26 \times 60} = 19{,}81 \text{ cm} = 198{,}1 \text{ mm}$$

Maka digunakan tulangan sengkang D16-150 (sepanjang 1,5 m dari tumpuan)

c. Sengkang di daerah > 1,5 m dari tumpuan

$$\tau_b 2 = \frac{1{,}5}{3{,}0} \times 6{,}26 = 3{,}13 \text{ kg/cm}^2$$

$$\left.\begin{array}{l} \tau_b < \tau'_{bm-t} \\ \tau_b < \tau'_{bm-s} \end{array}\right\} \text{ diperlukan sengkang}$$

Direncanakan sengkang
Diameter = 16 mm
As = 4,02 cm^2 (sengkang dua kaki)
Jarak sengkang =

$$as < \frac{As \times \overline{\sigma}_a}{\tau_s \times b} = \frac{4{,}02 \times 1850}{3{,}13 \times 60} = 39{,}62 \text{ cm} = 396{,}2 \text{ mm}$$

Maka digunakan tulangan sengkang D19-300 (diluar 1,5 m dari tumpuan).

5. Panjang penyaluran tulangan
Untuk tulangan tarik, berdasarkan PBI'71 pasal 8.6.2 diambil nilai terbesar dari persamaan berikut :

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

As tulangan D29 = 6,60 cm^2

$$L_d = 0{,}07 \times \frac{6{,}60 \times 2780}{\sqrt{350}} \quad \geq \quad 0{,}0065 \times 2{,}9cm \times 2780$$

L_d = 68,7 cm $\geq$ 52,403 cm
Jadi L_d yang dipakai $\approx$ 70 cm

Untuk tulangan tekan, berdasarkan PBI'71 pasal 8.7.2 diambil nilai terbesar dari persamaan berikut :

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

$$L_d = 0{,}09 \times \frac{2{,}9 \times 2780}{\sqrt{350}} \quad \geq \quad 0{,}005 \times 2{,}9 \times 2780$$

L_d = 38,78 cm $\leq$ 40,31 cm
Jadi L_d yang dipakai $\approx$ 45 cm

6. Kontrol dimensi balok
   V = 22986,65 kg
   T = 207062 kg.cm

$$\tau_b = \frac{V}{b \times \frac{7}{8} \times h} = \frac{22986{,}65}{60 \times \frac{7}{8} \times 69{,}95} = 6{,}26 \text{ kg/cm}^2$$

Untuk ht > b

$$\psi = 3 + \frac{2{,}6}{0{,}45 + \frac{h}{b}} = 3 + \frac{2{,}6}{0{,}45 + \frac{69{,}95}{60}} = 4{,}46$$

Tegangan geser puntir beton pada penampang balok persegi di tengah-tengah tepi penampang yang vertikal *(PBI '71 Pasal 11.8.1)* :

$$\tau'_b = \frac{\psi \times T}{b^2 \times ht} = \frac{4{,}46 \times 207062}{60^2 \times 69{,}95} = 3{,}67 \text{ kg/cm}^2$$

$$\tau_b + \tau'_b = 6{,}26 + 3{,}67 = 9{,}92 \text{ kg/cm}^2$$

$$\tau_{bm} = 1{,}499\sqrt{350} = 28{,}04 \text{ kg/cm}^2$$

$$\tau_b + \tau'_b < \tau_{bm\,ijin}$$

Ukuran balok 60/80 sudah memenuhi syarat.

6.2.5 Perencanaan *Pile Cap*

Struktur *pile cap* berfungsi sebagai penyambung antara ujung atas tiang pancang dengan balok memanjang maupun melintang.

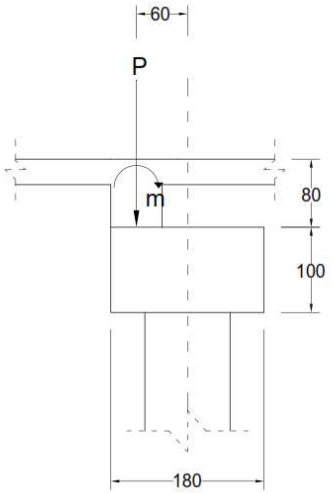
1. Data perencanaan
   a. Dimensi *pile cap* tunggal
      Lebar (b) = 180 cm
      Tinggi (h) = 100 cm
      Panjang = 180 cm
      Tebal selimut beton = 7 cm
   b. Mutu beton
      σ'_{bk} = 350 kg/cm^2 (K-350)
      σ'_b = 115,5 kg/cm^2
      E_b = 1,2×10^5 kg/cm^2
   c. Mutu baja
      σ_{au} = 3200 kg/ cm^2 (U-32)
      Ea = 2,1×10^6 kg/cm^2
      $\sigma_a = \sigma'_a$ = 1850 kg/cm^2
      σ^*_{au} = 2780 kg/cm^2
   d. Diameter tulangan
      Tulangan utama = 29 mm
      Tulangan geser = 16 mm

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

      $$\phi_0 = \frac{\sigma'_a}{(n \times \sigma'_b)} = \frac{1850}{(17{,}5 \times 115{,}5)} = 0{,}92$$

   e. Momen balok
      Dari perhitungan program SAP2000 didapat gaya-gaya yang bekerja pada *pile cap*. Dengan asumsi pelaksanaan yang sulit maka direncanakan

eksentrisitas pada *pile cap* tunggal seperti yang terlihat pada Gambar 6.45.



Gambar 6.45 Beban yang terjadi pada *pile cap* tunggal *trestle*

Dari perhitungan SAP2000 diperoleh :
Pile cap tunggal :

P_{max} = 105575,4 kg
M_{max} = -14782,19 kgm
e_x = 0,60 m
M = $P_{max} \times e_y + M_{max}$
= (105575,4 × 0,60) – 14782,19
= 48563,05 kgm

2. Perhitungan tulangan tumpuan dan lapangan *pile cap* tunggal
   a. Luas tulangan
      Dari analisis struktur didapatkan momen Tumpuan
      Mu = 48563,05 kg.m
      h = ht – Sel.Beton – Ø geser – 0,5 Ølentur

(ht = Tinggi balok)

h = 1000 – 70 – 16 – 0,5 × 29 = 897 mm

= 90 cm

$$Ca = \frac{h}{\sqrt{\frac{n \times M}{b \times \sigma'_a}}} = \frac{90}{\sqrt{\frac{17{,}5 \times 48563{,}05}{1{,}8 \times 1850}}}$$

= 5,63

Dengan melihat tabel Perhitungan Lentur Cara "n", untuk Ca = 5,63 dengan δ = 1 (tulangan simetris), didapatkan :

$\phi = 3{,}651 > \phi_0 = 0{,}92$

100nω = 3,45

Luas Tulangan yang diperlukan adalah

Tulangan Tarik

A = ω × b × h

$$= \frac{3{,}45}{100 \times 17{,}5} \times 180 \times 90$$

= 31,91 cm^2 = 3191,94 mm^2

Dipasang 5D29 (As = 3302,59 mm^2)

Tulangan Samping

A = 10 % × A_{tarik} (PBI '71 Pasal.9.3(5))

= 10 % × 3302,59

= 330,259 mm^2

Dipasang 2D16 (As = 402,12 mm^2)

Tulangan Tekan

A' = δ × A

= 1 × 3302,59

= 3302,59 mm^2

Dipasang 5 D29 (As = 3302,59 mm^2)

As tot = 3302,59 + 3302,59 + 402,12 = 7007,32 mm^2

b. Cek jarak tulangan tarik
Tulangan direncanakan dipasang 1 lapis, dengan jumlah tulangan tiap lapis sebanyak 5 buah, sehingga jarak tulangan sebesar :

$$s = \frac{180 - 2\times7 - 2\times1{,}6 - 5\times2{,}9}{5-1} = 37{,}08 \text{ cm} > 4{,}2 \text{ cm}$$

c. Cek jarak tulangan tekan
Tulangan direncanakan dipasang 1 lapis, dengan jumlah tulangan tiap lapis sebanyak 5 buah, sehingga jarak tulangan sebesar :

$$s = \frac{180 - 2\times7 - 2\times1{,}9 - 5\times2{,}9}{5-1} = 37{,}08 \text{ cm} > 4{,}2 \text{ cm}$$

d. Kontrol retak

$\omega_p = \frac{A}{Bt}$; $C_3 = 1{,}50$; $C_4 = 0{,}16$ dan $C_5 = 30$

Bt =luas penampang beton yang tertarik = 180 × 90 cm^2

Maka :

$$\omega_p = \frac{48563{,}05}{1800\times900} = 0{,}004$$

Besarnya lebar retak pada pembebanan tetap akibat beban kerja dihitung dengan rumus berikut:

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

$$w = 1\left(1{,}50 \times 14 + 0{,}16 \times \frac{2{,}9}{0{,}004}\right)\left(1850 - \frac{30}{0{,}004}\right)10^{-6}(cm)$$

w = -0,58 < 0,01 cm

e. Kontrol kemampuan tulangan menahan gaya geser

$$Ah = \frac{P}{\sigma a \times \mu} < As \qquad \text{(PBI '71 (11.10))}$$

Ah = luas efektif tulangan horisontal yg diperlukan
μ = 1,4

$$Ah = \frac{105575\ ,4 kg}{1850\ kg\ /\ cm^2 \times 1{,}4} = 40{,}76\ cm^2 = 4076\ ,27\ mm^2$$

Tulangan yang dipakai 10 D29 (tekan dan tarik)
n As = 10 × 0,25 × 3,14 × 29^2 = 6605,19 mm^2
Ah = 4076,27 mm^2 < n×As = 6605,19 mm^2
Ah < As

Jadi, tulangan yang terpasang (10D29) pada *pile* tunggal mampu menahan tegangan geser.

f. Kontrol geser *pons*
Tegangan geser *pons* ditentukan oleh rumus:

$$\tau_{bp} = \frac{P}{\pi \times (c + ht) \times ht} \le \tau_{bm} \qquad \text{(PBI 71 11.9.(2))}$$

Sehingga:

$$\tau_{bp} = \frac{105575{,}4}{\pi \times (101{,}6 + 100) \times 100} \le 0{,}65\sqrt{350}$$

$$\tau_{bp} = 1{,}67\ kg\ /\ cm^2 \le 12\ ,16\ kg\ /\ cm^2$$

Karena geser *pons* yang terjadi lebih kecil dari tegangan izin beton, maka *pile cap* dikatakan aman dari gaya pons atau keruntuhan akibat geser *pons*.

g. Kontrol kekuatan tulangan terhadap gaya tarik pada sambungan antara *pile cap* dan balok
Steel pile harus dicek kemampuanya dalam menahan gaya aksial (P) tarik terbesar yang terjadi pada tiang tegak. Bebarapa hal yang harus dicek antara lain :

- Kekuatan tarik dari tulangan yang berada didalam *steel pile* (14D22, fy =320Mpa, As = 5321,86 mm^2)
  P_{nt} (kekuatan tarik tulangan)
  P_{nt} = As × n × fy × Ø = 5321,86 × 320 × 0,8
  = 1362395,64 N = 136239,564 kg
  $P_{nt} > P_{tension}$ = 136239,56 kg > 105575,4 kg

- Panjang penyaluran tulangan *steel pile* ke dalam *pile cap* (14D22, L = 500mm) yang diperlukan (L) :
  $L = \frac{\mathbf{P_{tension}}}{\mathbf{n \times \pi \times d \times fr}} = \frac{\mathbf{105575{,}4}}{\mathbf{14 \times 3{,}14 \times 22 \times 3{,}77}}$ = 289,19 mm
  Keterangan fr = $\mathbf{0'7\sqrt{fc'}}$ (SNI 2847 2002, 11.5.2)
  = $\mathbf{0,7\sqrt{29}}$ = 3,77 Mpa

  $L = \frac{\mathbf{P_{tension}}}{\mathbf{n \times \pi \times d \times fr}} < L_{pasang}$ = 500 mm

- Kuat tarik tulangan angker pada *pile cap* ke balok (14D22, fy=320Mpa) :
  P_{nt} (kekuatan tarik tulangan = As × n × fy × Ø)
  Keterangan Ø = 0,8 (SNI 2847 2002, 11.3.2 , Ø untuk axial tension atau P_{tarik})
  As 14D22 = 5321,86 mm^2
  P_{nt} = 5321,86 × 320 × 0,8 = 136239,56 kg
  $P_{nt} > P_{tension}$ = 136239,56 kg > 105575,4 kg

- Kebutuhan panjang penyaluran tulangan angkur (L) (14D22, L=500mm)
  $L = \frac{P_{tension}}{n \times \pi \times d \times fr} = \frac{105575{,}4}{14 \times 3{,}14 \times 22 \times 3{,}77} = 289{,}19$ mm
  Keterangan fr = $0{,}7\sqrt{fc'}$ (SNI 2847 2002, 11.5.2)
  = $0{,}7\sqrt{29}$ = 3,77 Mpa

  $L = \frac{P_{tension}}{n \times \pi \times d \times fr} < L_{pasang} = 500$ mm

h. Kontrol kemampuan beton pada *pile* menerima tarik
Sambungan antara *steel pile* ASTM 252 *grade* 2 dan *pile cap* menggunakan beton mutu K350. Jadi, mutu beton yang digunakan harus dicek terhadap gaya tarik (*tension*) aktual yang terjadi (105575 kg). Tegangan beton yang diizinkan untuk menerima tarik pada pembebanan tetap beton K350 adalah :
$\sigma_b = 0{,}48\sqrt{\sigma_{bk}} = 0{,}48\sqrt{350}$ = 8,9 kg/cm^2

Tegangan tarik izin diatas yang akan digunakan untuk mengontrol gaya tarik aksial pada beton.
Allowable tension force $\sigma_{bi} = \sigma_b \times As$
keterangan :
As = Luas selimut bagian dalam beton penutup *pile*
h = panjang *pile* yang dicor = 200 cm
$As = \pi \times D \times h$
$= 3{,}14 \times 101{,}6 \text{ cm} \times 200 \text{ cm} = 63837{,}16 \text{ cm}^2$
$\sigma_{bi} = \sigma_b \times As$
$= 8{,}9 \text{ kg/cm}^2 \times 63837{,}16 \text{ cm}^2$
$= 573256{,}3$ kg
σ_{bi} > *Actual Tension Force*
573256,3 kg > 105575,4 kg

Rekapitulasi hasil perhitungan penulangan balok dan *pile cap trestle* dapat dilihat pada Tabel 6.25.

Tabel 6.25 Rekapitulasi perhitungan penulangan balok *pile cap trestle*

Struktur	Posisi	Tulangan Lentur							Tulangan Geser		Tulangan Penyaluran	
		Ca	δ	ϕ	100nω	Tulangan			< 1,5 m	> 1,5 m	Tarik (mm)	Tekan (mm)
						Tarik	Samping	Tekan				
Balok Memanjang	Tumpuan	2,724	0,4	1,564	15,390	6D29	2D16	3D29	D16 - 150	D16 - 300	700	450
	Lapangan	3,538	0,4	2,077	9,028	4D29	2D16	2D29				
Balok Melintang	Tumpuan	3,441	0,4	2,030	9,420	4D29	2D16	2D29	D16 - 150	D16 - 300	700	450
	Lapangan	3,962	0,4	2,330	7,258	3D29	2D16	2D29				
Pile Cap Tunggal		5,631	1,0	3,651	3,450	5D29	2D16	5D29				

6.2.6 Perencanaan Pondasi

6.2.6.1 Spesifikasi tiang pancang

Adapun spesifikasi dari tiang pancang baja ini adalah sebagai berikut:

1. Dimensi tiang:
   Diameter = 1016 mm
   Tebal = 19 mm
   Luas penampang = 595,1 cm^2
   Berat = 467,13 kg/m
   Modulus inersia = 740×10^3 cm^4
   Section modulus = 146×10^2 cm^3
   Jari-jari girasi = 35,3 cm

2. Mutu tiang pancang baja ASTM A 252 *grade* 2
   Digunakan baja dengan mutu sebagai berikut :
   fy = 1688 kg/cm^2
   fu = 4221 kg/cm^2

6.2.6.2 Daya dukung tanah akibat beban vertikal

Dari hasil perhitungan analisis struktur menggunakan SAP2000 didapatkan beban yang terjadi pada tiang pancang tegak. Nilai beban rencana tersebut dapat dilihat pada Tabel 6.26. Penentuan kedalaman tiang pancang disesuaikan dengan kebutuhan beban rencana.

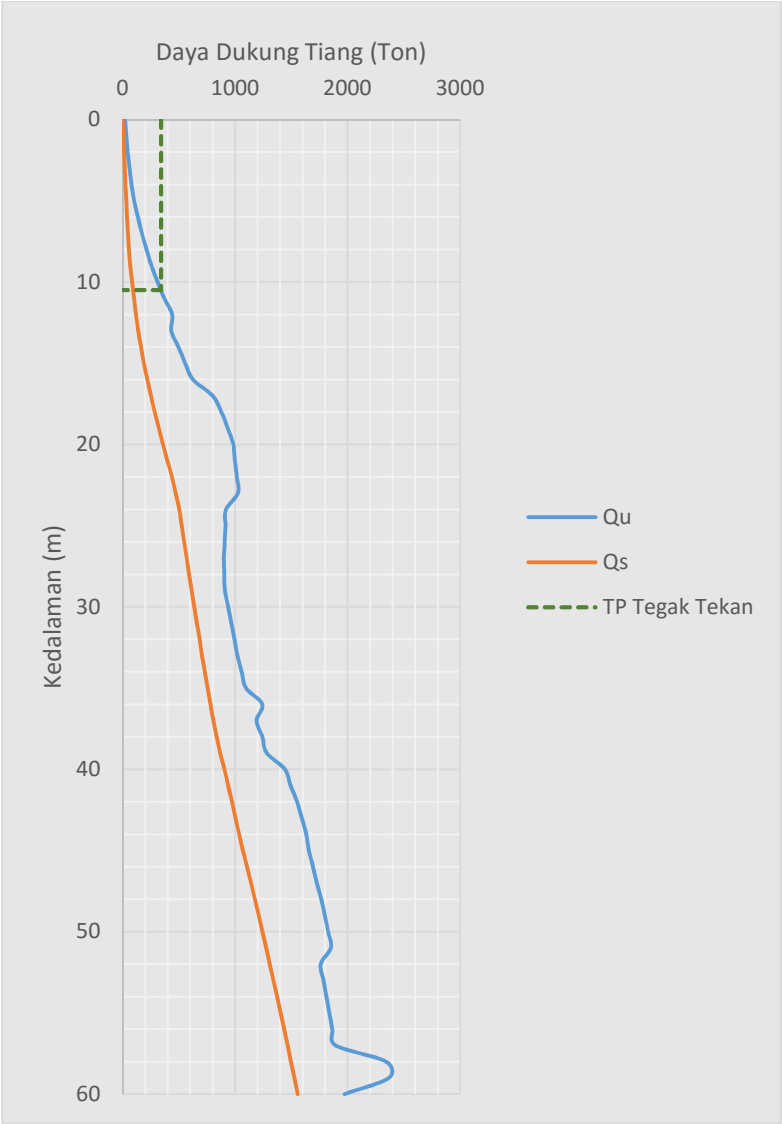
Tabel 6.26 Hasil perhitungan gaya yang terjadi pada tiang pancang *trestle*

Tipe Tiang	Tipe Beban	Beban Rencana		Frame	Kombinasi	Station	
Tegak	P (tekan)	-114358,06	kg	16	4	18,800	m
	P (tarik)		kg				m
	V2	-1576,35	kg	26	4	0,000	m
		1470,01	kg	17	4	9,400	m
	V3	-1618,38	kg	1	5	0,000	m
		1702,94	kg	19	5	18,800	m
	M2	-17207,89	kg.m	1	5	0,000	m
		17928,49	kg.m	19	5	0,000	m
	M3	-14596,06	kg.m	14	4	0,000	m
		14728,36	kg.m	17	4	0,000	m
Defleksi	U1	-4	mm	77	6		
	U2	-4	mm	41	7		

Perhitungan nilai daya dukung tanah maksimum pada tiang pancang akibat beban vertikal menggunakan metode *Luciano Decourt* (1982), dalam *Daya Dukung Pondasi Dalam oleh Prof. Dr. Ir. Herman Wahyudi, 2013.* Contoh perhitungan pada sub Bab 6.1.6.2.

Dari Tabel 6.26, diketahui bahwa tiang pancang mengalami gaya aksial tekan. Dalam menghitung kedalaman yang dibutuhkan oleh gaya tekan digunakan daya dukung tanah pada ujung tiang (Qu) dengan faktor keamanan (SF) 3.

Perhitungan daya dukung dilakukan pada titik *bore hole* dermaga, yaitu titik B3. Grafik hubungan antara daya dukung pondasi dengan kedalaman dapat dilihat pada Gambar 6.46**.**



Gambar 6.46 Grafik daya dukung tanah terhadap kedalaman (*trestle*)

Dari grafik dalam tersebut didapatkan kedalaman minimum tiang pancang tegak adalah sebagai berikut :

Tiang pancang tegak tekan = -10,5 m (dari *seabed*)

Jadi, kebutuhan panjang tiang pancang yang digunakan adalah:

L_{tegak} = 10,5 + 8 + 3,5 = 22 m

6.2.6.3 Kontrol momen

Momen yang terjadi, yaitu momen yang didapat dari analisis SAP2000 harus lebih kecil dari momen bahan tiang pancang (Mu).

$$My \leq Mu = Fy \times S_{xatau\ y}$$
$$My \leq Mu = Fy \times 1{,}5 \times Z_{x\ atau\ y}$$

Keterangan :

My = Kuat rencana ultimate (momen hasil SAP)

Fy = Tegangan leleh rencana = 1688,4 kg/cm^2 (ASTM A 252 *grade* 2)

$S_{xatau\ y}$ =Modulus Penampang Plastis

$$= D^2 t - 2Dt^2 + \frac{4}{3} t^3$$

$$= 1{,}016^2 \times 0{,}019 - 2 \times 1{,}016 \times 0{,}019^2 + \frac{4}{3} 0{,}019^3$$

$$= 0{,}0189 \text{ m}^3$$

$Z_{x\ atau\ y}$ = Modulus Penampang Elastis

$$= \frac{\pi}{32D}\left(D^4 - (D - 2t)^4\right)$$

$$= \frac{\pi}{32 \times 1{,}016}\left(1{,}016^4 - (1{,}016 - 2 \times 0{,}019)^4\right)$$

$$= 0{,}0146 \text{ m}^3$$

Mu s = $Fy \times S_{xatau\ y}$

$$= 1688{,}4 \times 0{,}0189$$

$$= 318{,}9 \text{ tm}$$

Mu z = Fy × 1,5 × $Z_{xatau\ y}$
= 1688,4 × 1,5 × 0,0146
= 368,77 tm

Maka , momen yang terjadi sebagai berikut :
Momen tiang tegak :
M2 = 17,93 tm < Mu
M3 = 14,73 tm < Mu

6.2.6.4 Daya dukung tanah akibat beban horizontal

Beban yang dipikul oleh tiang pancang tidak hanya beban vertikal tetapi juga beban horizontal. Oleh karena itu perlu dilakukan pengecekan ketahanan tiang pancang terhadap beban horizontal. Gaya horizontal yang terjadi (hasil SAP2000) harus lebih kecil dari gaya horizontal yang mampu dipikul bahan (Hu).

Perhitungan daya dukung tiang terhadap beban lateral menggunakan cara Tomlinson dalam "*Daya Dukung Pondasi Dalam oleh Dr. Ir. Herman Wahyudi, 2013"*:

Fixed-headed pile : Hu = 2×Mu/(e+Zf)

Keterangan:
Hu = *ultimate lateral resistance*
Mu = Momen ultimate bahan = 318,9 tm (diambil terkecil)
e = jarak antara lateral load (H) yang bekerja dengan muka tanah.

Dengan mengambil kedalaman *seabed* -8 mLWS, elevasi dermaga +3,5 mLWS dan beban lateral bekerja pada sumbu balok maka:

e = 11,5 m
Zf = titik jepit = 7,3 m
Hu = $\frac{2\ Mu}{e+Zf}$

$$= \frac{2 \times 318,9}{11,5+7,3}$$
$$= 33,93 \text{ ton}$$

H yang terjadi
Tiang Tegak :
V2 = 1,6 ton < Hu
V3 = 1,7 ton < Hu

6.2.6.5 Kontrol kekuatan bahan

Tegangan yang terjadi akibat beban aksial (P) dan momen (M) pada tiang yang didapat dari analisis SAP2000 harus lebih kecil dari tegangan izin tiang pancang (fy). Tegangan pada tiang pancang dapat dihitung dengan rumus sebagai berikut :

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

y = 0,5 D
= 0,508 m

Maka, tegangan tiang sebagai berikut :

Tiang tegak : $\sigma = \frac{114358,06}{0,05951} + \frac{17928,49 \times 0,508}{0,0146}$

$= 2545436 \text{ kg/m}^2$

$= 254.54 \text{ kg/cm}^2 < 1688,4 \text{ kg/cm}^2$

6.2.6.6 Kemampuan tiang pancang berdiri sendiri

Tiang pancang pada saat pelaksanaan harus dikontrol terhadap frekuensi gelombang. Sehingga tiang akan stabil walaupun pada saat berdiri sendiri. ω gelombang diambil sebesar 6s. Adapun cara menghitung ω tiang adalah dengan perumusan berikut :

$$\omega_t = 1,73 \sqrt{\frac{E \times I}{\left(\frac{wi^3}{g}\right)}} \geq \omega$$

keterangan:
E = $2{,}1\times10^6$ kg/cm^2
I = 740000 cm^4
w = berat tiang (kg)
- untuk tiang tegak = 5,371 ton
i = tinggi tiang di atas tanah (m)
= 11,5 m (tiang tegak)
g = 9,81 m/s^2

ω tiang pancang tegak

$$\omega_t = 1{,}73\sqrt{\frac{2{,}1\times10^6\times 740000}{\left(\frac{5{,}371\times 1450^3}{1000}\right)}}$$

$$= 23{,}63\ \text{s} > \omega_{\text{gelombang}}\ (6\text{s})$$

6.2.6.7 Kontrol tekuk

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

$$P_{cr} = \frac{\pi^2 \times 2100000 \times 740000}{\left(730+1150\right)^2} = 4339454\ \text{kg}$$

$$= 4339{,}454\ \text{ton}$$

Pcr > Pu (114 ton)

6.2.6.8 Kalendering

Perumusan kalendering yang dipakai adalah *Alfred Hiley Formula (1930)*.

$$Q_u = \frac{\propto\times W\times H}{S+0.5\times C}\times\frac{W+n^2\times W_p}{W+W_p}$$

Karena perhitungan dilakukan sebelum pemancangan, maka yang dihitung adalah nilai S atau penetrasi/*blow*, yaitu pengamatan yang dilakukan rata-rata di tiga set terakhir, dengan 10

pukulan tiap setnya. Dan disyaratkan apabila untuk kedalaman yang sama S > S', maka pemancangan dihentikan.

Keterangan :
S = nilai penetrasi/*blow* rencana dari perhitungan
S' = nilai penetrasi/*blow* saat pemancangan

Kalendering tiang pancang tegak
Data dan asumsi awal perhitungan kalendering adalah:
H_{hammer} = 2 m, tinggi jatuh *hammer* untuk kondisi normal
$Ø_{tiang}$ = 101,6 cm
T = 1,9 cm
P = 114,36 ton
SF = 3
Qu = kapasitas daya dukung batas
= 3 x 114,36 ton = 343,1 ton
W = 5 ton *(hydraulic hammer)*
α = 1,732*(hydraulic hammer)*

Panjang tiang pancang tegak yang dibutuhkan :
L = 22 m
Wp = berat tiang pancang (ton)
= L × 0,467
= 22 × 0,467
= 10,28 ton
n = 0,55 *(hammer on steel pile without cushion)*
S = *set/pile penetration for last blow (cm or mm/blow)*
C_1 = Kompresi sementara dari *cushion* (*pile head & cap*)
= 0 (without cushion)
C_2 = 14 mm *(untuk steel pile; od 1000 mm)*
C_3 = 1 mm *(soft ground SPT)*
C $=C_1 + C_2 + C_3$
= 0+ 14 + 1

= 15 mm = 0,015 m

$$Q_u = \frac{\propto \times W \times H}{S + 0.5 \times C} \times \frac{W + n^2 \times W_p}{W + W_p}$$

$$343{,}1 = \frac{1{,}732 \times 5 \times 2}{S + 0{,}5 \times 0{,}015} \times \frac{5 + 0{,}55^2 \times 9{,}58}{5 + 9{,}58}$$

$$S = 19{,}85 \text{ mm}$$

Jadi, setting kalendering yang digunakan untuk tiang pancang tegak adalah 20 mm.

6.2.6.9 Perlindungan Tiang Pancang Terhadap Korosi

Perlindungan korosi pada tiang pancang *trestle* ini sama dengan yang digunakan pada tiang pancang dermaga (lihat sub Bab 6.1.6.9).

6.3 Perencanaan *Floating Pontoon*

6.3.1 Umum

Bahan utama yang digunakan untuk pembuatan *floating pontoon* ini adalah kotak apung HDPE dengan dimensi tiap kotak adalah 50 x 50 x 40 cm. Terdapat juga gangway sebagai jembatan penghubung antara *floating pontoon* dengan *trestle*. Berikut desain dimensi struktur foating pontoon ini :

1. Lebar pontoon = 2 m
2. Panjang pontoon = 18 m
3. Tinggi pontoon = 0,8 m (dua lapis *box pontoon*)
4. Gangway = 1,2 x 8 m
5. Tiang pancang = tiang pancang baja D 609,6 mm tebal 16 mm

6.3.2 Perencanaan *Box Pontoon*

6.3.2.1 Pembebanan

Beban vertikal yang diterima oleh *floating pontoon* tiap satuan luas 1 m^2 adalah sebagai berikut :

1. Berat rangka baja (*hollow steel galvanized* 100 x 50 x 3 mm); berat = 7,5 kg/m
   = 12 m × 7,5 kg/m = 90 kg
2. Papan lantai (200 x 2400 mm = 0,48 m^2); berat = 14,5 kg
   = 1 m^2 / 0,48 kg/m^2 × 14,5 kg = 30,21 kg
3. Box pontoon (50 × 50 × 40 cm); berat = 6 kg
   = 8 × 6 kg = 48 kg
4. Beban hidup merata (200 kg/m^2)
   = 1 m^2 × 200 kg/m^2 = 200 kg

6.3.2.2 Perhitungan *draft pontoon*

Perhitungan *draft floating pontoon* tiap satuan luas 1 m^2 adalah sebagai berikut :

$$F_B > F_G$$
$$\rho \times g \times V = \rho \times g \times h \times A > m \times g$$

keterangan:

F_B = gaya apung yang bekerja pada *pontoon* (N)
F_G = gaya tekan kebawah *pontoon* (N)
ρ = berat jenis air (997 kg/m^3)
g = percepatan gravitasi (9,8 m/s^2)
V = volume air yang dipindahkan (m^3)
h = tinggi *pontoon* yang tenggelam (m)
A = luas permukaan dasar *pontoon* (m^2)
m = berat *pontoon* dan beban diatasnya (kg)

maka:

$$\rho \times h \times A = m$$
$$997\ kg/m^3 \times h \times 1\ m^2 = (90 + 30{,}21 + 48 + 200)\ kg$$
$$997\ kg/m \times h = 368{,}21\ kg$$
$$h = 0{,}34\ m$$

Berdasarkan perhitungan tersebut diketahui bahwa tinggi *draf (*bagian *pontoon* yang terendam air) sebesar 0,34 m, sehingga tinggi *freeboard* (bagian pontoon yang tidak terendam air) adalah 0,46 m.

6.3.3 Perencanaan *Gangway*

Dalam perancanaan gangway ini hanya direncanakan dimensi panjang dan lebar *gangway* serta kapasitas beban yang dapat diterima *gangway*. Untuk detail struktur *gangway* dilakukan oleh pabrik produksi *gangway*. Gangway yang digunakan dalam perencanaan ini berukuran 1,2 x 8 m dengan struktur baja RHS (*Rectangular Hollow Section*)

6.3.4 Perencanaan Pondasi

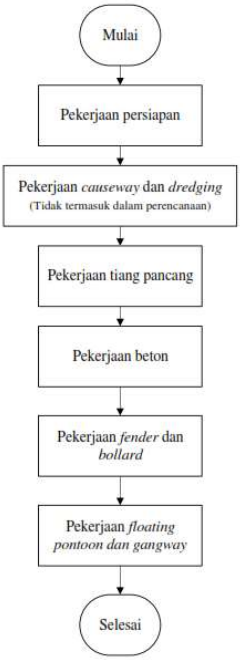
Sebagai sistim tambat *pontoon* digunakan pondasi tiang pancang baja. Direncanakan tiang pancang baja D609,6 mm dengan panjang tiang diatas *seabed* adalah 14 meter. Sedangkan panjang tiang yang tertanam di bawah *seabed* direncanakan sebesar 21 m (1,5 x 14 m). Sehingga total panjang tiang pancang yang dibutuhkan adalah 35 m.

"Halaman ini sengaja dikosongkan"

BAB VII
METODE PELAKSANAAN KONSTRUKSI

7.1 Umum

Dalam bab ini akan direncanakan metode pelaksanaan konstruksi secara umum dari hasil perencanaan pada bab – bab sebelumnya yang mana pada proses pekerjaan konstruksi tidak boleh mengganggu proses berjalannya kegiatan di sekitar lokasi pembangunan (PT. BADAK NGL). Diharapkan juga dengan adanya pembahasan mengenai metode pelaksanaan konstruksi ini, seluruh fasilitas pelabuhan yang dibangun dapat terwujud sesuai dengan kriteria – kriteria perencanaan sebelumnya. Adapun diagram alir metode pelaksanaan konstruksi fasilitas pelabuhan secara umum dapat dilihat pada Gambar 7.1 berikut.



Gambar 7.1 Diagram alir pekerjaan umum pelabuhan

Sesuai peraturan yang berlaku maka pembangunan fasilitas dalam lingkungan pelabuhan di Industri Minyak dan Gas, harus mengacu pada:

a. Peraturan Pemerintah No. 61 tahun 2009 tentang Kepelabuhanan
b. Peraturan Pemerintah No. 5 tahun 2010 tentang Kenavigasian
c. Peraturan Menteri Perhubungan No. PM 51 tahun 2011 tentang Terminal Khusus dan Terminal Untuk Kepentingan Sendiri
d. Peraturan Menteri Perhubungan No. PM 52 tahun 2011 tentang Pengerukan dan Reklamasi

7.2 Pekerjaan Persiapan

Dalam pekerjaan proyek ini perlu diadakan pekerjaan persiapan. Pekerjaan – pekerjaan persiapan meliputi:

a. Penyiapan perizinan
b. Pengukuran lokasi proyek dan pemasangan patok.
c. Pembersihan lahan
   Membersihkan lahan proyek dan lahan di sekitar proyek yang telah di bebaskan dari hal-hal yang akan mengganggu jalannya pelaksanaan proyek.
d. Penyiapan jalan sementara
   Akses mobilisasi peralatan dan material serta personil dilakukan dari darat sehingga pada tahap awal harus dibuat jalan sementara / *temporary road*. Akses jalan sementara atau *temporary road* dilakukan dengan memanfaat jalan eksisting yang sudah tersedia di PT. BADAK NGL.
e. Penyiapan fasilitas sementara (*base camp*, direksi *keet*, gudang dan lain – lain)
   Lahan yang digunakan untuk fasilitas sementara ini digunakan sebagai lahan kerja, *workshop*, direksi keet dan lain-lain dengan meratakan lahan yang tersedia.

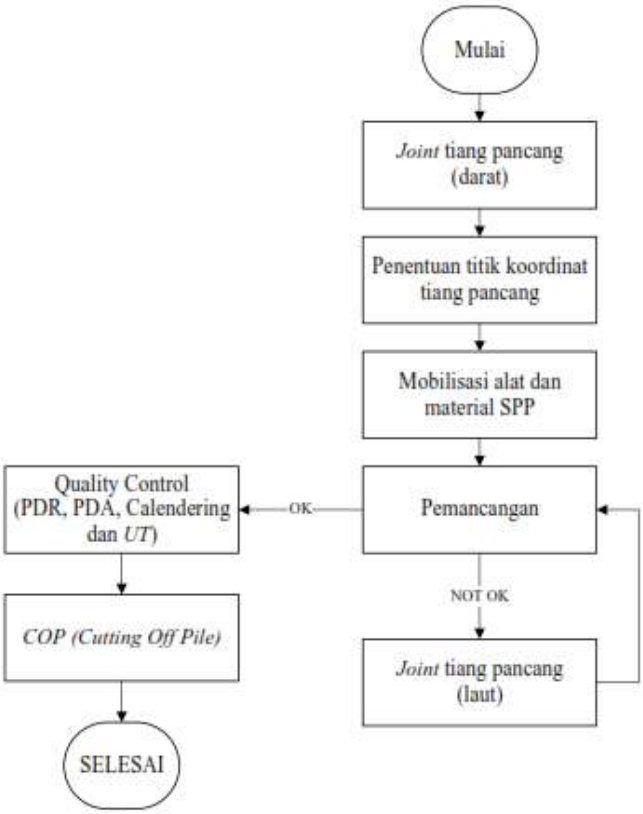
f. Mobilisasi peralatan kerja dan personil
   Peralatan di mobilisasi dam demobilisasi dari arah darat ke area kerja. Untuk pekerjaan di area *offshore* dilakukan dari darat dan selanjutnya mobilisasi peralatan dilakukan menggunakan tongkang dan material di *unloading* dengan *crane* kapal atau bila memungkinkan dengan sistem *Roll on Roll off* (RoRo). Kemudian lewat darat menuju lokasi proyek. Mobilisasi juga dapat dilakukan dari laut secara langsung.
g. Penyiapan K3 dan APD
   Penerapan K3 (Keselamatan dan Kesehatan Kerja) atau dalam Proyek ini disebut *Health, Safety, and Environment* (HSE) dilakukan guna mengurangi kejadian kecelakaan kerja. Faktor HSE juga berpengaruh terhadap produktivitas pekerja dalam melaksanakan pekerjaan. Karena pada dasarnya tujuan HSE adalah melindungi tenaga kerjanya atas keselamatan dalam melakukan pekerjaan dan menciptakan tenaga kerja yang sehat dan produktif.

7.3 Pekerjaan *Trestle*

Pekerjaan pembangunan *trestle* meliputi pekerjaan tiang pancang dan pekerjaan beton.

7.3.1 Pekerjaan Tiang Pancang *Trestle*

Diagram alir metode pekerjaan tiang pancang secara umum dapat dilihat pada Gambar 7.2 berikut.



Gambar 7.2 Diagram alir pekerjaan tiang pancang

1. Spesifikasi Pemancangan
   a. Pondasi

      Pondasi yang digunakan adalah tiang pancang pipa baja dengan ujung terbuka (*open ended pile pile*). Tiang pancang tegak yang digunakan memiliki diameter 1016 mm dan tebal 19 mm.

      Ada dua tipe tiang pancang, yaitu tiang pancang yang tidak dilapisi PE (*polyethylene*) dengan panjang 12 m dan tiang pancang yang dilapisi PE dengan panjang 12 m. *Polyethylene* ini berfungsi melapisi tiang pancang dari korosi. Sehingga penempatan tiang pancang non-PE berada di bagian bawah *splash zone* atau *seabed* agar tertanam pada tanah agar tidak terjadi korosi. Contoh tiang pancang PE dan non-PE dapat dilihat pada Gambar 7.3.

(a) (b)

Gambar 7.3 (a) Tiang pancang dengan lapisan lapisan PE; (b) Tiang pancang tanpa lapisan lapisan PE

Pada ujung pile baja yang akan disambung dibuat permukaan miring (*bevel*) untuk pengelasan dengan sudut 35^{o} (lihat Gambar 7.4).

Gambar 7.4 *Bevel* pada ujung tiang pancang yang disambung

Sambungan tiang pancang dan *pile cap* berupa stek tiang baja tulangan, agar tiang pancang dengan *pile cap* dapat menyatu maka tiang pancang diisi dengan beton bertulang setinggi 2 m sedemikian rupa sehingga beban-beban struktur atas dapat ditransfer oleh beton pengisi ke tiang pancang. Pada bagian luar tiang pancang juga perlu dilapisi dengan selimut beton setebal 15 cm untuk membantu menyambungkan tiang pancang ke *pile cap.*

Untuk penahan pada saat dimasukkan ke dalam tiang pancang maka dibuat besi penahan arah horizontal yang dipasang dengan *stopper* (lihat Gambar 7.5).

(a) (b)

Gambar 7.5 (a) Tulangan pengisi tiang pancang; (b) *Stopper* penahan tulangan

b. Alat Pancang
Untuk Pemancangan di proyek ini dibutuhkan *barge* dan *crane* (lihat Gambar 7.6) yang mampu mengakomodir panjang tiang pancang di atas di atas elevasi *seabed* minimal 25 m dengan diameter sekitar 1 m. Digunakan juga *pile driver* dengan sistem *hydraulic hammer* yang dipasang di ujung atas pile *ladder*. Spesifikasi *hydraulic hammer* yang digunakan memiliki *strike energy* minimal 120 kNm, dan *ram weight* minimal 10 ton (lihat Gambar 7.7 dan Gambar 7.8).

Gambar 7.6 Contoh *barge* dengan *crane* dan *pile ladder* *(sumber: swijetty)*

(a) (b)

Gambar 7.7 (a) Contoh *power pack* untuk *hammer* ; (b) Contoh *hammer* yang digunakan (*sumber: starke.com*)

	Model	Unit	HHP4	HHP5	HHP8	HHP10	HHP12	HHP14	HHP16
Hydraulic hammer	Max. Strike Energy	kN.m	48	60	120	150	180	210	240
	Max. Stroke of hammer	mm	1200	1200	1500	1500	1500	1500	1500
	Strike frequency (max./min)	bpm	90/36	90/36	90/36	90/36	90/36	90/36	90/30
	Ram Weight	kg	4000	5000	8000	10000	12000	14000	16000
	Lifting Hydraulic Cylinder		Single Lifting Hydraulic Cylinder						
	Height of hammer -A (w/o Pile cap)	mm	4820	5130	6595	7320	7460	7460	7520
	Hammer weight (w/o pile cap)	kg	7000	8250	12900	16420	18100	21000	23650
	Trip gear weight	kg	390	390	595	630	630	630	690

	Hydraulic Hammer Model		HHP4	HHP5	HHP8		HHP10/ HHP12	HHP10	HHP12	HHP14	HHP16	
Power pack	Power Pack Model		P325			EP200	EP250	P400			P600	
	Power of diesel engine	kw	182	194	239	—	—	269	298	336	392	403
	Power of electric motor	kw	—	—	—	75x2	90x2	—	—	—		
	Rated pressure	mpa	24	25	24	24	24	24	25	24	24	24
	Max. flow	L/min	260	280	380	377	493	380	520	520	760	760
	Power pack weight	kg	5000	5100	5250	4200	4500	6100	6100	6200	6500	6500

Gambar 7.8 Spesifikasi *hydraulic hammer* dan *power pack* (*sumber: starke.com*)

2. *Joint* Tiang Pancang di Darat
   a. Alat dan bahan
      - *Crane* : digunakan *crane* dengan kapasitas 30 ton (lihat Gambar 7.9(b))
      - *Welder generator* (lihat Gambar 7.9(a))
      - Perlengkapan *safety* : helem las, helm proyek, sarung tangan, sepatu *safety*, penutup kepala (lihat Gambar 7.10)
      - Tiang pancang ukuran : 12 m + 12 m. Maksimal *joint* tiang pancang adalah 25 m.
      - Kawat las (*welding electrodes*) : RD 360 E7016 (diameter 4 mm), RD 360 E7016 (diameter 3.2 mm) (lihat Gambar 7.9(c))
      - Besi penahan (*stopper*) D13 panjang 10 cm (lihat Gambar 7.9(d))

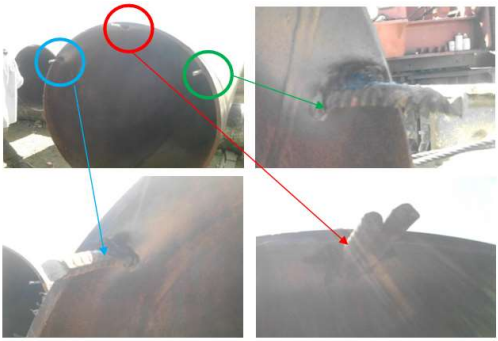
(a) (b) (c) (d)

Gambar 7.9 (a) *Welder generator*; (b) *Crane*; (c) Kawat las; (d) *Stopper* D13

(a) (b) (c) (d)

Gambar 7.10 Perlengkapan APD

b. Pemasangan besi penahan (*stopper*)
Besi penahan (*stopper*) dipasang pada tiga titik kritis di bagian dalam permukaan atas *pile* sisi tengah, kiri, dan kanan (lihat Gambar 7.11). Sedangkan di bagian bawah sudah ditopang oleh perletakan yang diletakkan di tepi kiri, tengah, dan kanan *pile*. *Stopper* menggunakan besi D13 dengan panjang 10 cm. *Stopper* dipasang agar tidak terjadi geser pada *pile* saat pengelasan.



Gambar 7.11 Titik pemasangan *stopper*

c. Penyambungan tiang pancang
Mengingat area kerja yang berada di dekat area kilang PT BADAK NGL maka pekerjaan penyambungan harus memperhatikan aspek keselamatan kerja. Radius izin adanya pengelasan dan kerja panas lainnya (*hot work*) mengacu pada peraturan internal PT Pertamina dan PT BADAK NGL. Jarak ini merupakan radius kritis dengan menghindari adanya pekerjaan pengelasan maupun pemotongan baja yang memungkinkan timbulnya percikan api. Jika tidak memungkinkan penyambungan tiang pancang di area kerja maka disambung sebagian di darat hingga maksimum sepanjang 25 m.

Proses penyambungan dimulai dengan melilitkan tali *crane* pada badan *pile* PE, kemudian secara perlahan disambungkan ke *pile* non-PE. Penyambungan dilakukan pada bagian yang berbentuk miring (*bevel*). Hal ini untuk membentuk sudut las yang diinginkan, serta berpengaruh dalam kekuatan las (lihat Gambar 7.12).

Gambar 7.12 Proses penggabungan tiang pancang

Proses pengelasan tiang pancang terdapat 3 lapisan las yaitu lapisan *route*, lapisan *filler*, dan lapisan *capping*. Untuk lapisan *route* digunakan kawat las RD 360 E7016 (diameter 3.2 mm), sedangkan untuk lapisan *filler* dan lapisan *capping* digunakan kawat las RD 360 E7016, diameter 4 mm lihat (Gambar 7.13).

Gambar 7.13 Proses pengelasan tiang pancang di darat

Setelah pengelasan selesai dilakukan dengan baik maka dilakuan pelapisan bahan cat anti karat pada permukaan tiang pancang yang di las (lihat Gambar 7.14).

Gambar 7.14 Pelapisan bahan anti karat pada permukaan las

3. Mobilisasi material tiang pancang
   Mobilisasi tiang pancang yang dilakukan dari *stock yard* menuju titik pemancangan dilakukan dengan mengapungkan tiang tersebut di laut. Untuk dapat mengapung, perlu dipastikan bahwa tiang pancang tersebut tidak terdapat rongga yang dapat dimasuki oleh air. Cara yang dilakukan adalah dengan menutup kedua ujung tiang pancang menggunakan karet atau ban bekas. Setelah tiang pancang dapat mengapung, tiang pancang tersebut ditarik menggunakan perahu kecil. Mobilisasi tiang pancang baja dapat dilakukan seperti seperti Gambar 7.15.

Gambar 7.15 Contoh mobilisasi tiang pancang ke titik pemancangan

4. Pemancangan
   a. Alat dan bahan
      - *Barge* dan *crane*
      - *Hydraulic hammer*
      - TS (*total station*) untuk menentukan koordinat titik tiang pancang lihat Gambar 7.16
      - Tiang pancang yang sudah di sambung di darat

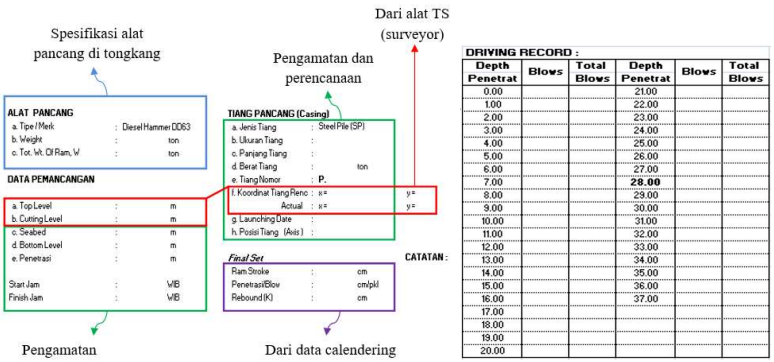
Gambar 7.16 *Total Station*

   b. Penempatan tiang pancang
      Penempatan tiang pancang di titik pemancangan dibantu dengan TS (*Total Station*). Jika *pile* belum berada di koordinat yang tepat maka *pile* digerakkan dengan menggunakan *pile driver*. Jika sudah tepat maka *pile* akan pegang oleh *pile driver* yang kemudian dilakukan proses pemancangan.

   c. Pemancangan
      Proses pemancangan menggunakan *barge* dan *crane* yang mampu mengakomodir panjang tiang pancang diatas permukaan air minimal 25 m. Sedangkan untuk *hammer* yang digunakan adalah tipe *hydraulic hammer* dengan berat 10 ton

Pemancangan berhenti ketika sudah mencapai *final set*. *Final set* sebesar 20 mm/10 pukulan untuk *pile* tegak diameter 1016 mm.

5. *Quality Control*
   a. PDR (*Pile Driving Record*)
   Pile Driving Record (PDR) merupakan pencatatan pada saat dilakukan pemancangan. Pencatatan meliputi spesifikasi alat pancang, data pemancangan, spesifikasi tiang pancang dan jumlah pukulan *hammer* tiap meternya (lihat Gambar 7.17). Pencatatan ini menunjukkan bahwasanya di hari tersebut telah dilakukan pemancangan.



Gambar 7.17 Contoh pencatatan *Pile Driving Record*

   b. PDA (*Pile Dynamic Analyzer*)
   Pile Dynamic Analyzer Test merupakan sebuah test untuk mengukur kapasitas tiang tekan secara dinamik pada fondasi dalam baik itu tiang pancang atau tiang bor, integritas tiang, dan energi dari *hammer*. Alat PDA Test sendiri berupa komputer khusus yang telah dibuat untuk mampu mengukur variabel yang dibutuhkan dalam perhitungan dinamik tersebut dengan menggunakan prinsip *wave mechanics* (lihat

Gambar 7.18). Kriteria pengetesan ini diatur dalam standard ASTM D-4945-89. PDA mengukur regangan dan akselerasi menggunakan strain transducer dan accelerometer yang dibaut di dekat bagian atas tiang (lihat Gambar 7.19).

Gambar 7.18 Contoh komputer PDA

Gambar 7.19 Contoh pemasangan *strain transducer* dan *accelerometer*

Yang terukur langsung dari alat PDA adalah sebagai berikut :

- Tegangan tekan maksimum pada posisi sensor
- *Displacement* maksimum

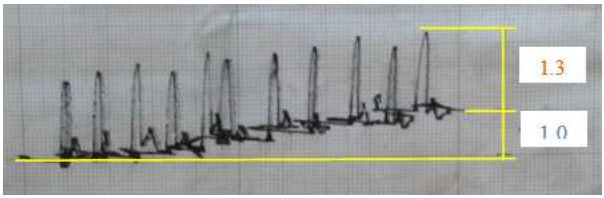
Yang bisa dihitung dari alat PDA diantaranya adalah sebagai berikut :

- Kapasitas tiang termobilisasi
- Tegangan tarik maksimum sepanjang tiang
- Energi maksimum yang ditransfer ke tiang selama tumbukan

c. *Calendering*
   - Alat dan bahan
     Alat yang digunakan untuk pencatatan calendering ini adalah *milimeter block* dan *marker* (spidol).
   - Cara kerja
     - Dilakukan di sepuluh terakhir pukulan dengan persetujuan konsultan. Sepuluh pukulan terakhir dapat dilihat melalui *Total Station*.
     - Kertas *milimeter block* ditempel pada tiang pancang.
     - *Marker* dipegang dalam keadaan konstan. Kertas *milimeter block* akan bergerak naik dan turun sesuai dengan gerakan tiang pancang yang akan menghasilkan sebuah grafik (lihat Gambar 7.20).

Gambar 7.20 Contoh proses pencatatan data *calendering*

   - Hasil *calendering* (lihat Gambar 7.21)
     - *Rebound* (cm) :
       Pemantulan kembali tiang pancang saat di pancang
     - Penetrasi per 10 pukulan :
       Kedalaman tiang pancang yang tertanam di dalam tanah per 10 pukulan



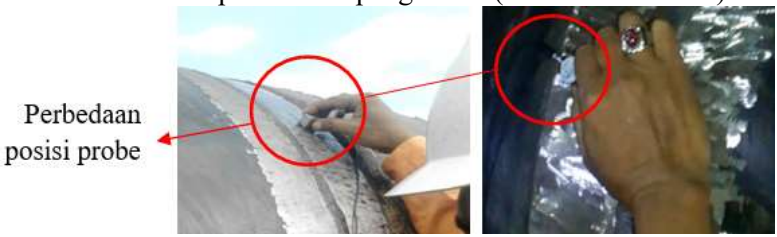
Gambar 7.21 Contoh hasil pencatatan *calendering*

d. *Ultrasonic Test* (UT)
Ultarasonic Testing (UT) merupakan pengecekan cacat las tanpa harus merusak benda uji hingga ke bagian dalam. Dengan pengujian ini kita dapat mengetahui kedalaman, letak, dan besarnya cacat pada las. Dalam hal ini benda uji nya adalah pengelasan pada sambungan tiang pancang. Prinsip kerja UT adalah memanfaatkan pantulan dari gelombang *ultrasonic* apabila ditransmisikan pada sampel uji.
- Alat dan bahan
  - Alat UT (lihat Gambar 7.22) yang terdiri dari layar hasil UT dan *probe*. *Probe* merupakan sumber getaran untuk mendeteksi cacat. Serta *couplant* (*liquid* untuk pelapis antara probe dengan benda uji) berupa cairan *carboxymethylcellulose* (CMC).
  - Kuas digunakan untuk mengolesi benda uji dengan cairan CMC.
  - Benda uji berupa sambungan (las) tiang pancang yang di sambung di darat. Dimana permukaan baja di areal pengelasan sudah dibersihkan.

Gambar 7.22 Contoh alat UT dan cairan CMC

- Pengolesan cairan CMC pada daerah sambungan
  Pengolesan cairan CMC sebagai lapisan perantara antara *probe* dan benda uji dilakukan secara bergantian kanan dan kiri.

- Pemindaian
  Proses pemindaian dilakukan secara menyeluruh di permukaan pengelasan (lihat Gambar 7.23).



Gambar 7.23 Proses pemindaian permukaan pengelasan

6. COP (*Cutting of Pile*)

a. Alat dan bahan

- *Crane* untuk menyanggah *pile* agar saat dipotong tidak bergerak serta untuk mengangkat dudukan orang yang memotong.
- Alat level untuk mengukur di elevasi dimana tiang pancang harus dipotong sesuai dengan perencanaan (lihat Gambar 7.24(a)).
- *Blender/cutting torch* merupakan tempat pencampuran gas *asetilen* dan oksigen yang

kemudian dikeluarkan melalui *nosel* tembaga (lihat Gambar 7.24(b)).

- Tabung *asetilen* sebagai bahan bakar api yang bakar oleh gas oksigen. Sehingga dapat diatur panasnya api yang ingin dikeluarkan dengan mengatur komposisi *asetilen* dan oksigen (lihat Gambar 7.24(d)).
- Tiang pancang yang akan dipotong.

(a)

(b)

(c)

(d)

Gambar 7.24 (a) Alat ukur level; (b) *Blender* / *cutting torch*; (c) Tabung oksigen; (d) Tabung *asetilen*

b. Penentuan titik potong
Penentuan titik potong pada tiang pancang dengan menggunakan alat level.

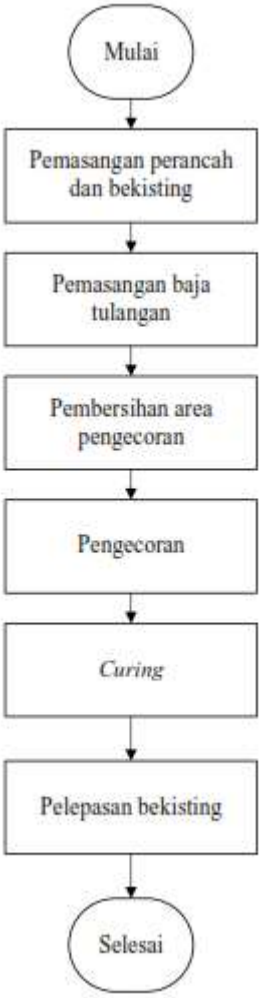
c. Pemotongan *pile*
Pemotongan *pile* dengan menggunakan *cutting torch*. Api yang dihasilkan oleh *cutting torch* ini berasal dari gas *asetilen* yang merupakan bahan bakar dan

oksigen. Selama proses pemotongan, tiang pancang dipegang oleh *crane* (lihat Gambar 7.25).

Gambar 7.25 Contoh proses pemotongan tiang pancang

7.3.2 Pekerjaan Beton (Pengecoran) *Trestle*

Diagram alir metode pekerjaan beton secara umum dapat dilihat pada Gambar 7.26 berikut.



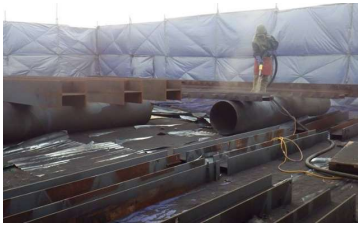
Gambar 7.26 Diagram alir pekerjaan beton

1. Alat dan Bahan
   a. Air
      Kegunaan air dalam proses pembetonan adalah pada proses pembuatan *curing* dan membasahi lapisan pipa tiang pancang.

   b. Beton *Readymix*
      Beton yang diproduksi di *batching plant* yang diaduk dalam suatu mesin pengaduk *stasioner* atau dalam truk *mixer*. Beton yang digunakan dalam keadaan segar menggunakan truk *mixer* dengan kualitas dan spesifikasi tertentu (K350).

   c. Tulangan
      Tulangan yang dipakai memiliki mutu dengan diameter sesuai dengan perhitungan pada BAB VI.

   d. Perancah
      Perancah (*form work*) yang digunakan dalam pembangunan dermaga ini adalah baja profil I (*web flange*) lihat Gambar 7.1.



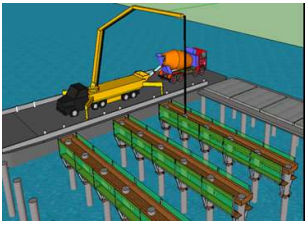
Gambar 7.27 Pembersihan form work baja profil I

   e. Bekisting
      Bekisting ini berupa papan kayu yang berfungsi sebagai stop cor. Dipasang secara konvensional dan diikat menggunakan kawat serta balok kayu (lihat Gambar 7.28).

Gambar 7.28 Perakitan bekisting

f. *Concrete pump*

Alat *concrete pump* ini digunakan sebagai pompa beton yang disalurkan melalui pipa - pipa. Alat ini dibutuhkan hanya jika item yang dikerjakan berada jauh dari truk *mixer* (lihat Gambar 7.29).



Gambar 7.29 Contoh pengecoran dengan *concrete pump*

g. *Vibrator*

Vibrator adalah alat yang berfungsi untuk meratakan dan memadatkan material beton sehingga celah - celah antar tulangan terisi agregat beton (lihat Gambar 7.30).

Gambar 7.30 Proses pemadatan beton menggunakan *vibrator*

h. Carane

Crane sebagai alat pengangkat dan pemindah material. Saat digunakan untuk pekerjaan dari sisi laut, c*rane* harus diangkut menggunakan *barge* (lihat Gambar 7.31).

Gambar 7.31 Contoh *mobile crane* di darat

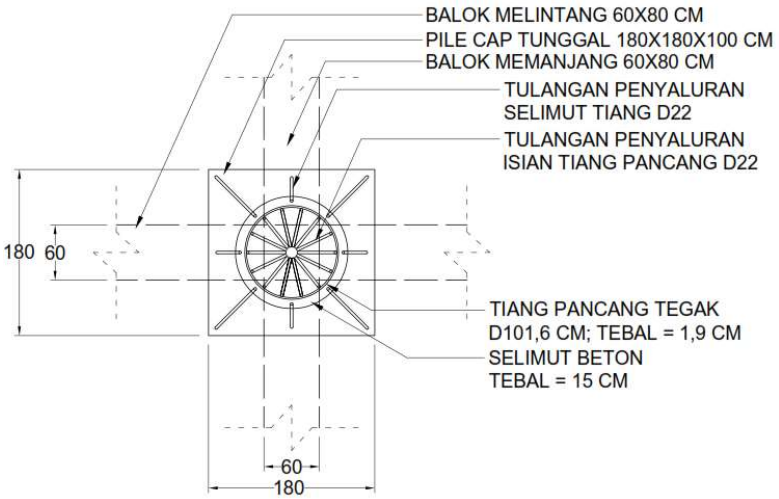
i. Barge

Barge digunakan sebagai pengangkut *crane*, *concrete pump* maupun *concrete mixer* saaat pengerjaan dilakukan dari sisi laut (lihat Gambar 7.32).

Gambar 7.32 Contoh pengangkutan crane menggunakan barge

2. Pekerjaan Beton Isian Tiang Pancang
   a. Penulangan

      Perencanaan penulangan pada isian tiang pancang trestle berupa baja 14D22 sebagai tulangan lentur, spiral D16-200 sebagai tulangan geser dan baja 8D22 untuk tulangan selimut beton. Perencanaan tulangan isian tiang pancang seperti Gambar 7.33 berikut.

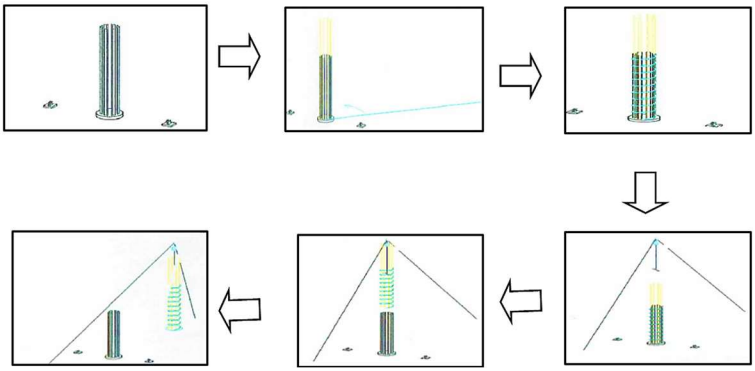


Gambar 7.33 Penulangan isian tiang pancang *trestle*

Tahapan produksi tulangan tiang pancang sebagai berikut (lihat Gambar 7.34) :

- Persiapan cetakan pembesian. Dipakai cetakan tulangan ini agar setiap tulangan yang dibuat sama sesuai dengan perencanaan.
- Besi D22 sebanyak 14 buah dimasukkan diantara cetakan tulangan. Sedangkan besi D19 dibentuk spiral dengan menarik besi mengelilingi cetakan dan disusun dengan jarak 200 mm.

- Proses pengikatan tulangan D22 dengan spiral menggunakan las.
- Persiapan alat angkat tulangan berupa tali dan besi.
- Alat bantu angkat dipasang di tulangan spiral dan tulangan D22 seperti gambar yang selanjutnya diangkat keluar dari cetakan pembesian.
- Tulangan isian diletakkan di *stockyard* untuk dilas dengan pelat besi yang berbentuk bulat pada pangkal pembesian tulangan isian serta pengelasan besi penyambung.



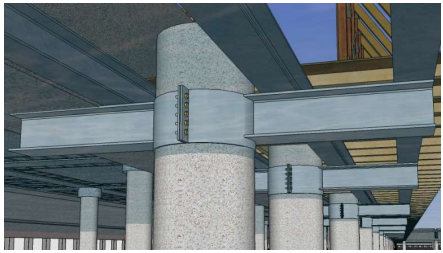
Gambar 7.34 Proses produksi tulangan tiang pancang

b. Pemasangan bekisting
Selain pengecoran untuk isian tiang pancang, dibutuhkan juga beton untuk selimut tiang pancang. Bekisting yang digunakan untuk pengecoran selimut tiang pancang dibentuk silinder sedemikian rupa sehingga dapat digunakan untuk pengecoran selimut tiang pancang setebal 15 cm.

c. Pengecoran
Pengecoran pada tiang pancang dilakukan dua tahap pengecoran insitu. Tahap pertama yaitu pengecoran pada dua meter dibawah COP (*Cutting Of Pile*) sampai

dengan elevasi *pile cap*, pengecoran ini dilaksanakan bersamaan dengan pengecoran pile cap *bottom*. Sedangkan tahap kedua dilaksanakan bersamaan dengan *joint* antar balok. Seluruh pekerjaan pengecoran pada *trestle* maupun dermaga dilakukan saat muka air laut surut.

3. Pekerjaan Beton *Pile Cap*
   a. Pemasangan perancah
      Pekerjaan pertama pada item *pile cap* adalah pemasangan perancah profil baja I (lihat Gambar 7.35). Perancah ini digunakan untuk menopang bekisting *pile cap* dan perancah lain pada struktur yang lebih tinggi.



Gambar 7.35 Pemasangan perancah untuk *pile cap*

   b. Pemasangan bekisting
      Pemasangan bekisting *pile cap* sesuai dengan ukurannya di atas perancah yang telah dipasang (lihat Gambar 7.36). Bekisting *pile cap* yang digunakan papan kayu sehingga pada proses pemasangannya harus baik dan benar agar pada saat pengecoran beton tidak merembes keluar.

Gambar 7.36 Pemasangan bekisting *pile cap*

c. Penulangan
Tulangan untuk *pile cap* dirangkai di atas beksting yang telah dipasang, kemudian bekisting untuk sisi *pile cap* dipasang setelah tulangan untuk *pile cap* telah terangkai (lihat Gambar 7.37).

Gambar 7.37 Pemasangan tulangan pada *pile cap*

d. Pengecoran
Cor insitu *pile cap* dimulai dari pengecoran *bottom* dan selanjutnya pengecoran *upper*. Pengecoran *bottom pile cap* dilaksanakan bersamaan dengan pengecoran isian tiang pancang. Proses pekerjaan pengecoran *pile cap* dilanjutkan dengan pengecoran kedua yang disebut *joint* balok yang dilakukan setelah bekisting balok dan pelat terpasang. Pengecoran ke dua ini sampai setinggi balok. Metode ini dimaksudkan agar antara *pile cap*, balok dan pelat memiliki kesinambungan struktur. Pengecoran dilakukan saat muka air laut surut.

Antara pengecoran pertama dan kedua memiliki pebedaan waktu pengecoran maka dari itu digunakan perekat beton untuk menyambung beton lama dengan beton baru.

Material yang digunakan adalah beton *readymix* dengan *slump* 12 ± 2 cm dan digunakan alat *concrete pump* dan *vibrator*. *Concrete pump* berfungsi memompa beton menuju jarak *pile cap* yang jauh dari truk *mixer*, sedangkan untuk *pile cap* yang dekat dengan truk *mixer* menggunakan *buket* yang diangkat oleh *crane*.

4. Pekerjaan Beton Balok dan Pelat
   a. Pemasangan perancah

      Sama seperti pada *pile cap*, perancah yang digunakan pada balok dan pelat ini adalah baja profil I. Perancah ini dipasang sedemikian rupa sehingga dapat dengan kuat menopang bekisting balok dan pelat.

   b. Pemasangan bekisting

      Memasang bekisting balok memanjang dan melintang sesuai dengan ukuran rencana dan ditopang dengan landasan yang diletakkan pada *pile cap* yang telah selasai pekerjaannya (lihat Gambar 7.38). Pemasangan bekisting ini harus diperhatikan dengan baik agar beton yang dicor tidak merembes.

Gambar 7.38 Contoh pemasangan bekisting pada balok dan pelat

c. Penulangan
Tulangan untuk balok dirangkai di atas bekisting yang telah dipasang, pada saat pemasangan tulangan harus diperhatikan jaraknya agar selimut beton mendapatkan jarak minimum yaitu 7 cm, untuk mendapatkan tebal selimut ini dapat menggunakan beton *decking* agar besi tulangan tidak melendut (lihat Gambar 7.39). Bekisting untuk sisi balok dipasang setelah tulangan untuk balok telah terangkai denan baik.

Gambar 7.39 Contoh penulangan pada balok dan pelat

d. Pengecoran
Cor insitu balok dan pelat dimulai dari pengecoran balok terlebih dahulu. Setelah pengecoran balok selesai dilaksanakan dilanjutkan proses pengecoran pelat (lihat Gambar 7.40). Antara pengecoran balok dan pelat memiliki pebedaan waktu pengecoran maka dari itu digunakan perekat beton untuk menyambung beton lama dengan beton baru.
Material yang digunakan adalah beton *readymix* dengan *slump* 12 ± 2 cm dan digunakan alat *concrete pump* dan *vibrator*. *Concrete pump* berfungsi memompa beton menuju jarak beton maupun pelat yang jauh dari truk *mixer*, sedangkan untuk beton maupun pelat yang dekat dengan truk *mixer* menggunakan *buket* yang diangkat oleh *crane*.

Gambar 7.40 Contoh proses pengecoran balok dan pelat

e. Perawatan (*curing*)
   Selama waktu pengerasan, beton harus dilindungi dengan dibasahi air bersih atau di tutupi dengan karung basah secara berkala selama kurang lebih 10 hari agar tidak terjadi pengerasan yang terlalu cepat sehingga menimbulkan keretakan pada beton (lihat Gambar 7.41).

Gambar 7.41 Perlindungan beton dari suhu tinggi

f. Pembongkaran bekisting dan perancah
   Menurut PBI 1971 pembongkaran bekisting tidak boleh dilakukan sebelum waktu pengerasan dipenuhi dan pembongkarannya harus dilaksanakan secara hati – hati agar tidak merusak beton yang telah mengeras.

7.4 Pekerjaan Dermaga

Pekerjaan dermaga ini meliputi pekerjaan tiang pancang, pekerjaan beton serta pekerjaan *fender* dan *bollard*.

7.4.1 Pekerjaan Tiang Pancang Dermaga

1. Spesifikasi Pemancangan
   a. Pondasi
      Pondasi yang digunakan adalah tiang pancang pipa baja dengan ujung terbuka (*open ended pile pile*). Tiang pancang tegak dan miring yang digunakan memiliki diameter 1016 mm dan tebal 19 mm.
      Ada dua tipe tiang pancang, yaitu tiang pancang yang tidak dilapisi PE (*polyethylene*) dengan panjang 12 m dan 6 m dan tiang pancang yang dilapisi PE dengan panjang 12 m. Kriteria lain dari tiang pancang untuk dermaga ini sama dengan kriteria tiang pancang untuk *trestle*.
   b. Alat Pancang
      Alat pancang yang digunakan untuk pemancangan tiang pancang dermaga sama dengan alat pancang yang digunakan pada *trestle.*

2. *Joint* Tiang Pancang di Darat
   Proses *joint* tiang pancang dermaga di darat sama dengan tiang pancang *trestle* di darat. Penyambungan didarat dilakukan pada tiang pancang non-PE 12 m dan tiang pancang non-PE 6 m.

3. Mobilisasi material tiang pancang
   Mobilisasi tiang pancang yang dilakukan dari *stock yard* menuju titik pemancangan dilakukan dengan mengapungkan tiang tersebut di laut.

4. Pemancangan
   Proses pemancangan tiang pancang dermaga kurang lebih sama dengan pemancangan pada *trestle*. Pada pemancangan dermaga ini *hammer* yang digunakan adalah tipe *hydraulic hammer* dengan berat 10 ton. Pile bagian bawah (hasil *joint* di darat 12 m + 6 m) dipancang terlebih dahulu lalu dilakukan penyambungan tiang pancang PE sepanjang 12 m ditempat (di laut), kemudian proses pemancangan dilanjutkan.
   Pemancangan berhenti ketika sudah mencapai *final set*. *Final set* sebesar 22 mm/10 pukulan untuk *pile* tegak diameter 1016 mm dan 30 mm/10 pukulan untuk *pile* miring diameter 1016 mm.

5. *Joint* Tiang Pancang di Laut
   a. Alat dan bahan
      - *Crane* : digunakan *crane* dengan kapasitas 30 ton (lihat Gambar 7.9(b))
      - *Welder generator* (lihat Gambar 7.9(a))
      - Perlengkapan *safety* : helm las, helm proyek, sarung tangan, sepatu *safety*, penutup kepala (lihat Gambar 7.10)
      - Tiang pancang yang sudah dilapisi PE panjang 10 m.
      - Kawat las (*welding electrodes*) : RD 360 E7016 (diameter 4 mm), RD 360 E7016 (diameter 3.2 mm) (lihat Gambar 7.9(c))

   b. Pemasangan alat penahan
      Dipasang empat plat penahan (*stopper*) pada permukaan *pile* diameter 1016 mm (lihat Gambar 7.42). *Stopper* diletakkan di luar *pile*. Pemasangannya dilakukan seperti arah mata angin utara, timur, selatan, dan barat. Penempatan stopper berfungsi

untuk menopang *pile* yang akan di *joint* (sambung) agar tidak terjadi geser pada saat pengelasan.

Gambar 7.42 Pemasangan *stoper* pada tiang pancang

c. Penyambungan tiang pancang
Tali *crane* dililitkan pada badan *pile, k*emudian secara perlahan *pile* diangkat dan disambung dengan *pile* yang sebelumnya sudah dipasang secara vertikal (lihat Gambar 7.43). Penyambungan dilakukan pada bagian yang berbentuk miring (*bevel*).

Gambar 7.43 Proses penyambungan tiang pancang di laut

d. Pengelasan tiang pancang
Terdapat 3 lapisan las yaitu lapisan *route*, lapisan *filler*, dan lapisan *capping*. Digunakan kawat las RD 360 E7016 (diameter 4 mm). *Stopper* yang digunakan pada diameter *pile* 1016 mm di lepas bersamaan dengan pengelasan agar bagian yang terhalang *stopper* tetap dapat dilas (lihat Gambar 7.44).

Gambar 7.44 Proses pengelasan tiang pancang

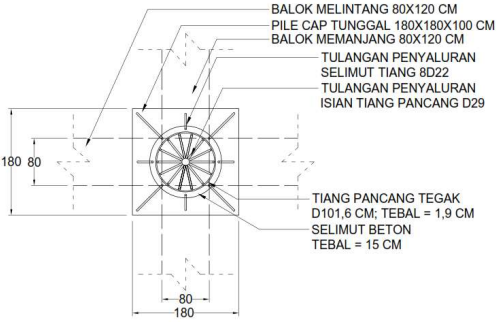
6. *Quality Control*
   Proses *quality control* yang dilakukan pada pemancangan dermaga sama dengan yang dilakukan pada *trestle*.

7. COP (*Cutting of Pile*)
   Proses *cutting of pile* yang dilakukan pada pemancangan dermaga sama dengan yang dilakukan pada *trestle*.

7.4.2 Pekerjaan Beton (Pengecoran) Dermaga

1. Alat dan bahan
   Alat dan bahan yang digunakan pada pekerjaan beton dermaga sama dengan alat dan bahan pada pekerjaan beton *trestle*.

2. Pekerjaan beton isian tiang pancang
   a. Penulangan
      Perencanaan penulangan pada isian tiang pancang dermaga berupa baja 14D29 sebagai tulangan lentur, spiral D19-200 sebagai tulangan geser dan baja 8D22 untuk tulangan selimut beton. Perencanaan tulangan isian tiang pancang seperti Gambar 7.45 berikut.



Gambar 7.45 Penulangan isian tiang pancang dermaga

   b. Pemasangan bekisting
      Proses pemasangan bekisting beton isian tiang pancang pada pekerjaan beton dermaga sama dengan pemasangan bekisting beton isian tiang pancang pada pekerjaan beton *trestle*.

   c. Pengecoran
      Proses pengecoran isian tiang pancang pada pekerjaan beton dermaga sama dengan pengecoran isian tiang pancang pada pekerjaan beton *trestle*.

3. Pekerjaan beton *pile cap*
   Proses pekerjaan beton *pile cap* pada pekerjaan beton dermaga sama dengan proses pekerjaan beton *pile cap* pada pekerjaan beton *trestle*.

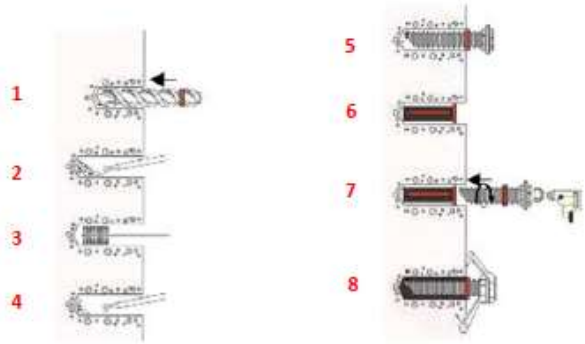
4. Pekerjaan beton *plank fender*, balok dan pelat
   Proses pekerjaan beton *plank fender,* balok dan pelat pada pekerjaan beton dermaga sama dengan proses pekerjaan beton *plank fender,* balok dan pelat pada pekerjaan beton *trestle*.

7.4.3 Pekerjaan *Fender* dan *Bollard* Dermaga

1. Pemasangan *Fender*
   Setelah beton *plank fender* mengeras, *fender* dipasang pada angkur yang telah tertanam pada *plank fender* tersebut dibantu dengan menggunakan alat bantu *crane. Crane* digunakan untuk mempermudah dalam mengangkat *fender* dan mengarahkan *fender* ke lokasi yang ditentukan. *Fender* yang digunakan adalah *fender* karet tipe *Unit Element* 900. Selain itu juga dipasang panel *fender* berukuran 250 x 100 cm menggunakan *crane* (lihat Gambar 7.1).

Gambar 7.46 Contoh pemasangan fender *unit element*

Apabila terjadi ketidaktepatan pemasangan angkur, dilakukan pengeboran pada beton *plank fender* kemudian dimasukkan resin *hardener* didorong dan diputar sampai hancur dengan ujung baut angker kemudian ditunggu sampai mengeras (lihat Gambar 7.47).



Gambar 7.47 Pemasangan baut angker fender dengan resin

2. Pemasangan *Bollard*
   Untuk pemasangan *bollard* sama seperti pada pemasangan *fender*. Setelah beton mengeras sempurna, *bollard* dipasang dengan menggunakan alat bantu *crane* pada angkur yang tertanam pada saat pengecoran atau dapat menggunakan bantuan resin *hardener* untuk mencegah ketidak tepatan pemasangan *bollard*. *Bollard* yang digunakan adalah T *bollard* kapasitas 50 Ton.

7.5 Pekerjaan Floating Pontoon

Pekerjaan *floating pontoon* ini meliputi pekerjaan tiang pancang, pekerjaan *floating pontoon* dan pekerjaan *gangway*.

7.5.1 Pekerjaan Tiang Pancang *Floating Pontoon*

1. Spesifikasi Pemancangan
   a. Pondasi
      Pondasi yang digunakan adalah tiang pancang pipa baja dengan ujung terbuka (*open ended pile pile*). Tiang pancang tegak yang digunakan memiliki diameter 609,6 mm dan tebal 16 mm.
      Ada dua tipe tiang pancang, yaitu tiang pancang yang tidak dilapisi PE (*polyethylene*) dengan panjang 12 m dan 12 m dan tiang pancang yang dilapisi PE dengan panjang 12 m. Kriteria lain dari tiang pancang untuk dermaga ini sama dengan kriteria tiang pancang untuk *trestle*.
   b. Alat Pancang
      Alat pancang yang digunakan untuk pemancangan tiang pancang dermaga apung sama dengan alat pancang yang digunakan pada *trestle.*

2. *Joint* Tiang Pancang di Darat
   Proses *joint* tiang pancang dermaga apung di darat sama dengan tiang pancang *trestle* di darat. Penyambungan didarat dilakukan pada tiang pancang non-PE 12 m dan tiang pancang non-PE 12 m.

3. Mobilisasi material tiang pancang
   Mobilisasi tiang pancang yang dilakukan dari *stock yard* menuju titik pemancangan dilakukan dengan mengapungkan tiang tersebut di laut.

4. Pemancangan
   Proses pemancangan tiang pancang dermaga apung kurang lebih sama dengan pemancangan pada *trestle*. Pada pemancangan dermaga ini *hammer* yang digunakan adalah tipe *hydraulic hammer* dengan berat 5 ton. Pile bagian bawah (hasil *joint* di darat 12 m + 12 m) dipancang terlebih dahulu lalu dilakukan penyambungan tiang pancang PE sepanjang 12 m ditempat (di laut), kemudian proses pemancangan dilanjutkan.

5. *Joint* Tiang Pancang di Laut
   Proses *joint* tiang pancang dermaga apung di laut kurang lebih sama dengan proses joint tiang pancang dermaga di laut.

6. *Quality Control*
   Proses *quality control* yang dilakukan pada pemancangan dermaga apung sama dengan yang dilakukan pada *trestle*.

7. COP (*Cutting of Pile*)
   Proses *cutting of pile* yang dilakukan pada pemancangan dermaga apung sama dengan yang dilakukan pada *trestle*.

7.5.2 Pekerjaan *Floating Box* dan Kelengkapannya

Proses perakitan *floating box* dan kelengkapannya dilakukan di laut menggunakan bantuan *tugboat*. *Floating pontoon* yang sudah dirakit kemudian di pasang rangka *hollow galvanized steel* sebagai pengaku (lihat Gambar 7.48). Kemudian diatas rangka *hollo galvanized steel* dipasang papan lantai kayu. Selanjutnya *floating pontoon* dikaitkan pada tiang pancang dengan sistem *roll* sehingga naik turunnya dapat diatur sesuai dengan elevasi permukaan saat pasang maupun surut.

Gambar 7.48 Proses pemasangan rangka pada *floating pontoon*

7.5.3 Pekerjaan *Gangway* dan Kelengkapannya

Proses pekerjaan *gangway* hanya dilakukan pemasangannya saja pada *trestle* dan *floating pontoon*. Hal ini dikarenakan *gangway* dibeli dalam keadaan sudah terakit. Proses pemasangan *gangway* pada *trestle* dan *floating pontoon* menggunakan bantuan *crane*.

"Halaman ini sengaja dikosongkan"

BAB VII
RENCANA ANGGARAN BIAYA

8.1 Umum

Rencana anggaran biaya merupakan salah satu komponen penting dalam perencanaan sebuah proyek konstruksi. Pada Bab Rencana Anggaran Biaya ini dijelaskan mengenai tata cara dalam analisis biaya keseluruhan pembangunan dermaga untuk kapal MPSV/PSV 3.500 DWT dan *floating pontoon* di Bontang. Adapun prosedur perencanaannya adalah sebagai berikut:

1. Penentuan harga upah, bahan dan material serta alat
2. Analisis harga satuan tiap tiap *item* pekerjaan
3. Perhitungan volume pekerjaan dan rencana anggaran biaya

8.2 Harga Satuan Upah, Bahan dan Alat

Harga material dan upah yang digunakan berasal dari "Peraturan Menteri Perhubungan PM 78 Tahun 2014". Untuk Kalimantan Timur harga yang telah ditetapkan dikalikan dengan nilai koefisien kemahalan standar biaya tahun 2016 yaitu sebesar 1,176. Untuk rincian daftar harga upah, bahan dan material serta alat telah disajikan pada Tabel 8.1.

Tabel 8.1 Daftar harga upah, bahan dan material serta alat

No.	Uraian	Sat.	Harga Satuan	
A	**Upah Pekerja**			
1	Mandor	OH	Rp	145.810,35
2	Kepala Tukang	OH	Rp	128.885,94
3	Tukang	OH	Rp	111.946,44
4	Pembantu tukang / pekerja	OH	Rp	95.038,39
5	Surveyor	OH	Rp	201.960,36
6	Pembantu surveyor	OH	Rp	134.640,24
7	Operator/Driver	OH	Rp	111.946,44

8	Pembantu operator/asisten surveyor	OH	Rp	67.320,12
9	Penyelam	OH	Rp	266.251,08
10	Penjaga/satpam	OH	Rp	67.320,12
B	**Bahan dan Material**			
	Bahan Semen			
1	Semen Portland	kg	Rp	1.509,98
2	Beton Ready Mix K350	m^3	Rp	893.407,20
	Material Alam			
1	Pasir Cor	m^3	Rp	269.971,07
2	Sirtu	m^3	Rp	244.500,05
3	Batu Pecah	m^3	Rp	317.860,40
5	Papan Kayu Bekisting	m^3	Rp	4.404.120,00
	Bahan Baja			
1	SPP Ø 1016 mm; t = 19 mm	m	Rp	11.474.878,80
2	SPP Ø 609,6 mm; t = 16 mm	m	Rp	6.871.184,91
3	Pofil C 75 x 45 x 2.3	kg	Rp	18.250,11
4	Pelat cincin baja	kg	Rp	18.250,11
5	Baja profil I	kg	Rp	18.250,11
6	Besi Tulangan	kg	Rp	18.898,21
7	Kawat ikat beton	kg	Rp	24.810,84
8	Paku	kg	Rp	24.004,51
	Bahan Aksesoris Dermaga			
1	Fender UE 500	set	Rp	115.000.000,00
2	Frontal Pad 250 x 100 cm	set	Rp	45.500.000,00
3	T Bollard 50 Ton	set	Rp	35.000.000,00
	Bahan Lain - lain			
1	Oli	liter	Rp	35.000,00
2	Solar	liter	Rp	5.500,00
3	Cat anti karat	liter	Rp	260.000,00

4	Alat Pile Dynamic Analyzer	unit	Rp	11.000.000,00
5	Tes Beton di Laboratorium	Ls	Rp	30.000.000,00
6	Kawat Las	kg	Rp	31.458,00
7	Lapisan 3LPE tiang pancang	m2	Rp	2.600.000,00
8	Direksi keet 1 unit	bulan	Rp	20.000.000,00
9	Sewa mess 1 unit	bulan	Rp	15.000.000,00
10	Workshop	bulan	Rp	7.500.000,00
11	Biaya operasional (listrik, air, kebersihan dll)	bulan	Rp	14.700.000,00
12	Safety helmet	bh	Rp	120.000,00
13	Safety shoes	bh	Rp	1.000.000,00
14	Safety glasses	bh	Rp	120.000,00
15	Life jacket	bh	Rp	250.000,00
16	Peralatan P3k	set	Rp	5.000.000,00
17	Biaya ATK	bulan	Rp	2.500.000,00
18	Biaya komputer dan printer	bulan	Rp	1.800.000,00
19	Biaya komunikasi	bulan	Rp	2.300.000,00
	Bahan Floating pontoon dan gangway			
1	Floating box HDPE	pcs	Rp	621.562,50
2	Baut panjang 80 cm HDPE	pcs	Rp	136.743,75
3	Mur HDPE	pcs	Rp	29.835,00
4	Sepatu mur	pcs	Rp	39.780,00
5	Stainless steel bollard	pcs	Rp	1.740.375,00
6	Rubber Fender	pcs	Rp	87.018,75
7	Railing dia 3" x 90	pcs	Rp	621.562,50
8	Rope	m	Rp	24.862,00
9	Roller slider pilar	pcs	Rp	4.972.500,00
10	Papan lantai kalsideck 20	m2	Rp	532.350,00

11	Rangka hollow steel galvanis	m2	Rp	1.863.225,00
12	Gangway 1,2 x 8 m	set	Rp	85.000.000,00
C	**Peralatan**			
1	Alat bantu	ls	Rp	5.159,11
2	Kuas	bh	Rp	8.500,00
3	Total Station	hari	Rp	260.000,00
4	Waterpass	hari	Rp	177.000,00
5	Crane	hari	Rp	7.309.251,00
6	Barge	hari	Rp	6.650.050,00
7	Hydraulic hammer	hari	Rp	3.394.018,00
8	Alat bantu pemotong baja	hari	Rp	350.000,00
9	Concrete Vibrator	hari	Rp	271.674,00
10	Concrete Pump	hari	Rp	1.040.605,00
11	Generator set	hari	Rp	1.541.602,00
12	Mesin welder	hari	Rp	139.771,00
13	Excavator	hari	Rp	4.404.120,00
14	Dump truck 5 ton	jam	Rp	2.359.350,00
15	Tugboat	hari	Rp	4.983.426,00
16	Perahu motor	hari	Rp	205.547,00

8.3 Analisis Harga Satuan Pekerjaan

Dalam analisis harga satuan pekerjaan, ditentukan harga satuan yang dihabiskan dalam pemenuhan setiap bagian pekerjaan perencanaan konstruksi. Analisis harga satuan pekerjaan dapat dilihat pada Tabel 8.2.

Tabel 8.2 Analisis harga satuan pekerjaan

No.	Uraian	Volume	Satuan	Harga Satuan		Jumlah	
I	**Pekerjaan Persiapan**						
1	**(1 ls/hari) Pembersihan lokasi pekerjaan dengan alat berat**						
	Alat:						
	Dump truck	0,625	hari	Rp	2.359.350,00	Rp	1.474.593,75
	Excavator	0,625	hari	Rp	4.404.120,00	Rp	2.752.575,00
	Oli	1,2	liter	Rp	35.000,00	Rp	42.000,00
	Solar	200	liter	Rp	5.500,00	Rp	1.100.000,00
	Upah:						
	Operator	1	org/hari	Rp	111.946,44	Rp	111.946,44
	Pembantu operator	1	org/hari	Rp	67.320,12	Rp	67.320,12
	Mandor	1	org/hari	Rp	145.810,35	Rp	145.810,35
	Tukang	4	org/hari	Rp	111.946,44	Rp	447.785,76
					Total	**Rp**	**6.142.031,41**
2	**(1 ls) Mobilisasi dan demobilisasi**						
	Alat Utama:						
	barge	2	unit	Rp	20.000.000,00	Rp	40.000.000,00
	crane	2	unit	Rp	20.000.000,00	Rp	40.000.000,00
	Alat Pendukung						
	Minor equipment	1	ls	Rp	50.000.000,00	Rp	50.000.000,00
					Total	**Rp**	**130.000.000,00**
3	**(1 ls/hari) Stakeout dan positioning**						
	Alat:						
	Total Station	0,625	hari	Rp	260.000,00	Rp	162.500,00
	Waterpass	0,5	hari	Rp	177.000,00	Rp	88.500,00
	Upah:						
	Surveyor	1	org/hari	Rp	201.960,36	Rp	201.960,36
	Pembantu surveyor	2	org/hari	Rp	134.640,24	Rp	269.280,48
					Total	**Rp**	**722.240,84**
4	**(1 ls) Fasilitas sementara**						
	Bahan:						
	Sewa direksi keet 1 unit	12	bulan	Rp	20.000.000,00	Rp	240.000.000,00
	Sewa mess 1 unit	12	bulan	Rp	15.000.000,00	Rp	180.000.000,00
	Workshop	12	bulan	Rp	7.500.000,00	Rp	90.000.000,00
	Biaya operasional (listrik, air, kebersihan dll)	12	bulan	Rp	14.700.000,00	Rp	176.400.000,00
					Total	**Rp**	**686.400.000,00**

5	**(1 ls) Perlengkapan keamanan dan keselamatan kerja**						
	Bahan:						
	Safety helmet	50	bh	Rp	120.000,00	Rp	6.000.000,00
	Safety shoes	50	bh	Rp	1.000.000,00	Rp	50.000.000,00
	Safety glasses	50	bh	Rp	120.000,00	Rp	6.000.000,00
	Life jacket	50	bh	Rp	250.000,00	Rp	12.500.000,00
	Peralatan P3k	5	set	Rp	5.000.000,00	Rp	25.000.000,00
					Total	**Rp**	**99.500.000,00**
6	**(1 ls) Administrasi, Dokumentasi dan Komunikasi**						
	Bahan:						
	Biaya ATK	12	bulan	Rp	2.500.000,00	Rp	30.000.000,00
	Biaya komputer dan printer	12	bulan	Rp	1.800.000,00	Rp	21.600.000,00
	Biaya komunikasi	12	bulan	Rp	2.300.000,00	Rp	27.600.000,00
					Total	**Rp**	**79.200.000,00**
II	**Pekerjaan Tiang Pancang**						
1	**Pengadaan tiang pancang SPP Ø 1016 mm; t = 19 mm (1 m)**						
	Bahan:						
	Steel Pipe Pile SPP Ø 1016 mm; t = 19 mm	1	m	Rp	11.474.878,80	Rp	11.474.878,80
					Total	**Rp**	**11.474.878,80**
2	**Pengadaan tiang pancang SPP Ø 1016 mm; t = 19 mm dengan PE (1 m)**						
	Bahan:						
	Steel Pipe Pile SPP Ø 1016 mm; t = 19 mm	1	m	Rp	11.474.878,80	Rp	11.474.878,80
	Lapisan 3LPE	3,192	m2	Rp	2.600.000,00	Rp	8.298.831,15
					Total	**Rp**	**19.773.709,95**
3	**Pengadaan tiang pancang SPP Ø 609,6 mm; t = 16 mm (1 m)**						
	Bahan:						
	Steel Pipe Pile SPP Ø 609,6 mm; t = 16 mm	1	m	Rp	6.871.184,91	Rp	6.871.184,91
					Total	**Rp**	**6.871.184,91**
4	**Pengadaan tiang pancang SPP Ø 1609,6 mm; t = 16 mm dengan PE (1 m)**						
	Bahan:						
	Steel Pipe Pile SPP Ø 609,6 mm; t = 16 mm	1	m	Rp	6.871.184,91	Rp	6.871.184,91
	Lapisan 3LPE	1,92	m2	Rp	2.600.000,00	Rp	4.992.000,00
					Total	**Rp**	**11.863.184,91**
5	**Pengangkutan tiang pancang ke titik pancang (1 m)**						
	Alat:						
	Crane	1	hari	Rp	7.309.251,00	Rp	7.309.251,00
	Tug boat	1	hari	Rp	4.983.426,00	Rp	4.983.426,00
	Upah:						
	Mandor	0,25	org/hari	Rp	145.810,35	Rp	36.452,59
	Operator	4	org/hari	Rp	111.946,44	Rp	447.785,76
	Tukang	2	org/hari	Rp	111.946,44	Rp	223.892,88
	Jumlah pengangkatan dalam 1						24
	Biaya pengangkatan tiang				**Total**	**Rp**	**541.700,34**

6	**Pemancangan Tiang (1 m)**						
	Alat:						
	Crane	1	hari	Rp	7.309.251,00	Rp	7.309.251,00
	Barge	1	hari	Rp	6.650.050,00	Rp	6.650.050,00
	Tugboat	1	hari	Rp	4.983.426,00	Rp	4.983.426,00
	Perahu Motor	0,5	hari	Rp	205.547,00	Rp	102.773,50
	Hydraulic Hammer	1	hari	Rp	3.394.018,00	Rp	3.394.018,00
	Upah:						
	Mandor	0,25	org/hari	Rp	145.810,35	Rp	36.452,59
	Operator	6	org/hari	Rp	111.946,44	Rp	671.678,63
	Tukang	2	org/hari	Rp	111.946,44	Rp	223.892,88
	Juru ukur	2	org/hari	Rp	201.960,36	Rp	403.920,72
	Penyelam	2	org/hari	Rp	266.251,08	Rp	532.502,16
	Biaya pemancangan per hari					**Rp**	**24.307.965,48**
	Panjang pemancangan per hari						
	Tiang tegak	30	m				
	Tiang miring	28	m				
	Biaya pemancangan per meter						
	Tiang tegak	1	m			**Rp**	**810.265,52**
	Tiang miring	1	m			**Rp**	**868.141,62**
7	**Penyambungan Tiang Pancang Baja (1 titik)**						
	Alat:						
	Mesin welder	0,75	hari	Rp	139.771,00	Rp	104.828,25
	Generator set	0,75	hari	Rp	1.541.602,00	Rp	1.156.201,50
	Kawat las	2	kg	Rp	31.458,00	Rp	62.916,00
	Upah:						
	Mandor	0,25	org/hari	Rp	145.810,35	Rp	36.452,59
	Tukang las	1	org/hari	Rp	111.946,44	Rp	111.946,44
	Pekerja	2	org/hari	Rp	95.038,39	Rp	190.076,79
					Total	**Rp**	**1.662.421,56**
8	**Pemotongan Tiang Pancang Baja (1 titik)**						
	Alat:						
	Generator set	0,5	hari	Rp	139.771,96	Rp	69.885,98
	Mesin las	0,5	hari	Rp	1.541.602,50	Rp	770.801,25
	Alat bantu pemotongan tiang	1	hari	Rp	350.000,00	Rp	350.000,00
	Upah:						
	Mandor	0,25	org/hari	Rp	145.810,35	Rp	36.452,59
	Tukang las	1	org/hari	Rp	111.946,44	Rp	111.946,44
	Pekerja	2	org/hari	Rp	95.038,39	Rp	190.076,79
					Total	**Rp**	**1.529.163,04**
9	**Pengecatan anti korosi pada las (1 m2)**						
	Bahan:						
	Cat anti karat	1,1	ltr	Rp	260.000,00	Rp	286.000,00
	Kuas	0,5	buah	Rp	8.500,00	Rp	4.250,00
	Upah:						
	Pekerja	1	org/hari	Rp	95.038,39	Rp	95.038,39
					Total	**Rp**	**385.288,39**
10	**Tes Pile Dynamic Analyzer (1 unit)**						
	Bahan:						
	Alat Pile Dynamic Analyzer	1	set	Rp	11.000.000,00	Rp	11.000.000,00
	Upah:						
	Pekerja	1	org/hari	Rp	95.038,39	Rp	95.038,39
					Total	**Rp**	**11.095.038,39**

III	Pekerjaan Beton						
1	**(1 m^2) Pemasangan perancah**						
	Bahan:						
	Profil baja I	5,92	kg	Rp	18.250,11	Rp	108.040,64
	Pelat cincin baja	39,92	kg	Rp	18.250,11	Rp	728.544,34
	Kawat las	0,25	kg	Rp	31.458,00	Rp	7.864,50
	Alat:						
	Mesin las	1	hari	Rp	139.771,00	Rp	139.771,00
	Generator set	1	hari	Rp	1.541.602,00	Rp	1.541.602,00
	Upah:						
	Mandor	0,25	org/hari	Rp	145.810,35	Rp	36.452,59
	Kepala Tukang	0,5	org/hari	Rp	128.885,94	Rp	64.442,97
	Tukang	1	org/hari	Rp	111.946,44	Rp	111.946,44
					Total	**Rp**	**2.738.664,48**
2	**(1 kg) Pembesian tulangan ulir**						
	Bahan:						
	Besi Tulangan	1,1	kg	Rp	18.898,21	Rp	20.788,04
	Kawat Beton	0,1	kg	Rp	24.810,84	Rp	2.481,08
	Alat:						
	Alat bantu	1	ls	Rp	5.159,11	Rp	5.159,11
	Upah:						
	Kepala Tukang	0,005	org/hari	Rp	128.885,94	Rp	644,43
	Tukang	0,005	org/hari	Rp	111.946,44	Rp	559,73
	Pekerja	0,015	org/hari	Rp	95.038,39	Rp	1.425,58
					Total	**Rp**	**31.057,97**
3	**10 m^2 Pemasangan Bekisting**						
	Bahan:						
	Kayu Bekisting	0,4	m^3	Rp	4.404.120,00	Rp	1.761.648,00
	Paku	4	kg	Rp	24.004,51	Rp	96.018,03
	Upah:						
	Mandor	0,1	org/hari	Rp	145.810,35	Rp	14.581,03
	Kepala Tukang	0,5	org/hari	Rp	128.885,94	Rp	64.442,97
	Tukang	5	org/hari	Rp	111.946,44	Rp	559.732,19
	Pembantu Tukang	2	org/hari	Rp	95.038,39	Rp	190.076,79
	Biaya 10 m^2 Bekisting				**Total**	**Rp**	**2.686.499,02**
	Biaya 1 m^2 Bekisting				**Total**	**Rp**	**268.649,90**
4	**(1 m^3) Pengecoran Beton Readymix K - 350**						
	Bahan:						
	Beton Ready Mix K - 350	1	m^3	Rp	893.407,20	Rp	893.407,20
	Alat:						
	Concrete Pump	0,5	hari	Rp	1.040.605,00	Rp	520.302,50
	Vibrator	0,5	hari	Rp	271.674,00	Rp	135.837,00
	Upah:						
	Mandor	0,13	org/hari	Rp	145.810,35	Rp	18.955,35
	Kepala Tukang	0,5	org/hari	Rp	128.885,94	Rp	64.442,97
	Tukang	1	org/hari	Rp	111.946,44	Rp	111.946,44
	Pembantu Tukang	1,5	org/hari	Rp	95.038,39	Rp	142.557,59
					Total	**Rp**	**1.887.449,04**
5	**(1 ls) Tes kekuatan beton di laboratorium**						
	Tes kekuatan beton di	1	ls	Rp	30.000.000,00	Rp	30.000.000,00
					Total	**Rp**	**30.000.000,00**

IV	Pekerjaan Lain - Lain						
1	**(1 set) Pengadaan dan pemasangan bollard**						
	Bahan:						
	Bollard 50 T	1	set	Rp	35.000.000,00	Rp	35.000.000,00
	Alat:						
	Crane	0,5	hari	Rp	7.309.251,32	Rp	3.654.625,66
	Upah:						
	Mandor	0,1	org/hari	Rp	145.810,35	Rp	14.581,03
	Operator	0,5	org/hari	Rp	111.946,44	Rp	55.973,22
	Pekerja	2	org/hari	Rp	95.038,39	Rp	190.076,79
					Total	**Rp**	**38.915.256,70**
2	**(1 set) Pengadaan dan pemasangan fender dan front pad**						
	Bahan:						
	Fender UE 500	1	set	Rp	115.000.000,00	Rp	115.000.000,00
	Front pad 250 x 100 cm	1	set	Rp	45.500.000,00	Rp	45.500.000,00
	Alat:						
	Crane	1	hari	Rp	7.309.251,32	Rp	7.309.251,32
	Upah:						
	Mandor	0,1	org/hari	Rp	145.810,35	Rp	14.581,03
	Operator	1	org/hari	Rp	111.946,44	Rp	111.946,44
	Pekerja	4	org/hari	Rp	95.038,39	Rp	380.153,57
					Total	**Rp**	**168.315.932,37**
3	**(4 m2 atau 1 modul) Pengadaan dan pemasangan floating pontoon dan aksesoris**						
	Bahan:						
	Floating box HDPE	32	pcs	Rp	621.562,50	Rp	19.890.000,00
	Baut panjang 80 cm HDPE	25	pcs	Rp	136.743,75	Rp	3.418.593,75
	Mur HDPE	75	pcs	Rp	29.835,00	Rp	2.237.625,00
	Sepatu mur	25	pcs	Rp	39.780,00	Rp	994.500,00
	Stainless steel bollard	1	pcs	Rp	1.740.375,00	Rp	1.740.375,00
	Rubber Fender	1	pcs	Rp	87.018,75	Rp	87.018,75
	Railing dia 3" x 90	2	pcs	Rp	621.562,50	Rp	1.243.125,00
	Rope	5	m	Rp	24.862,00	Rp	124.310,00
	Roller slider pilar	2	pcs	Rp	4.972.500,00	Rp	9.945.000,00
	Papan lantai kalsideck 20	4	m2	Rp	532.350,00	Rp	2.129.400,00
	Rangka hollow steel galvanis	4	m2	Rp	1.863.225,00	Rp	7.452.900,00
	Alat:						
	Tugboat	0,5	hari	Rp	4.983.426,00	Rp	2.491.713,00
	Upah:						
	Mandor	0,1	org/hari	Rp	145.810,35	Rp	14.581,03
	Operator	0,5	org/hari	Rp	111.946,44	Rp	55.973,22
	Tukang	2	org/hari	Rp	111.946,44	Rp	223.892,88
					Total	**Rp**	**52.049.007,63**
4	**(1 set) Pengadaan dan pemasangan gangway**						
	Bahan:						
	Gangway 1,2 x 8 m	1	set	Rp	85.000.000,00	Rp	85.000.000,00
	Alat:						
	Crane	1	hari	Rp	7.309.251,00	Rp	7.309.251,00
	Upah:						
	Mandor	0,1	org/hari	Rp	145.810,35	Rp	14.581,03
	Operator	0,5	org/hari	Rp	111.946,44	Rp	55.973,22
	Tukang	4	org/hari	Rp	111.946,44	Rp	447.785,76
					Total	**Rp**	**92.309.251,00**

8.4 Rencana Anggaran Biaya

Dalam rencana anggaran biaya ini, tahapan tiap pekerjaan yang direncanakan meliputi:

1. Pekerjaan persiapan
2. Pekerjaan dermaga
3. Pekerjaan *trestle*
4. Pekerjaan *floating pontoon*

Berikut ini adalah rincian kebutuhan biaya dari masing – masing pekerjaan pada pembangunan dermaga ini (lihat pada Tabel 8.3).

Tabel 8.3 Rencana Anggaran Biaya

No.	Uraian Pekerjaan	Jumlah	Sat.	Harga Satuan	Jumlah Harga
I	**Pekerjaan Persiapan**				
A	Pembersihan lokasi pekerjaan dengan alat berat	10,00	hari	Rp 6.142.031,41	Rp 61.420.314,11
B	Mobilisasi dan demobilisasi	1,00	ls	Rp 130.000.000,00	Rp 130.000.000,00
C	Stakeout dan positioning	150,00	hari	Rp 722.240,84	Rp 108.336.126,00
D	Fasilitas sementara	1,00	ls	Rp 686.400.000,00	Rp 686.400.000,00
E	Perlengkapan keamanan dan keselamatan kerja	1,00	ls	Rp 99.500.000,00	Rp 99.500.000,00
F	Administrasi, Dokumentasi dan Komunikasi	1,00	ls	Rp 79.200.000,00	Rp 79.200.000,00
				Sub Total (I)	**Rp 1.164.856.440,11**
II	**Pekerjaan *Trestle***				
A	Pekerjaan tiang pancang tegak				
1	Pengadaan SPP Ø 1016 mm; t = 19 mm	252,00	m'	Rp 11.474.878,80	Rp 2.891.669.457,60
2	Pengadaan SPP Ø 1016 mm; t = 19 mm dengan PE	252,00	m'	Rp 19.773.709,95	Rp 4.982.974.908,34
3	Pengangkutan tiang pancang ke titik pancang	504,00	m'	Rp 541.700,34	Rp 273.016.972,61
4	Pemancangan tiang tegak	504,00	m'	Rp 810.265,52	Rp 408.373.820,03
5	Penyambungan tiang pancang	21,00	titik	Rp 2.047.709,95	Rp 43.001.909,04
6	Pemotongan tiang pancang	21,00	titik	Rp 1.529.163,04	Rp 32.112.423,87
7	Tes PDA	2,00	buah	Rp 11.095.038,39	Rp 22.190.076,79
B	Pekerjaan beton				
1	Beton isian dan selimut tiang pancang				
	a. Pemasangan bekisting	3,40	m2	Rp 268.649,90	Rp 913.541,66
	b. Penulangan	4205,71	kg	Rp 31.057,97	Rp 130.620.790,23
	c. Pengecoran beton readymix K350	34,05	m3	Rp 1.887.449,04	Rp 64.269.041,58
2	Poer tunggal				
	a. Pemasangan perancah	68,04	m2	Rp 2.738.664,48	Rp 186.338.731,50
	b. Pemasangan bekisting	219,24	m2	Rp 268.649,90	Rp 58.898.804,53
	c. Penulangan	2936,61	kg	Rp 31.057,97	Rp 91.205.029,83
	d. Pengecoran beton readymix K350	68,04	m3	Rp 1.887.449,04	Rp 128.422.033,00
3	Balok melintang				
	a. Pemasangan perancah	48,00	m2	Rp 2.738.664,48	Rp 131.455.895,24
	b. Pemasangan bekisting	144,00	m2	Rp 268.649,90	Rp 38.685.585,90
	c. Penulangan	2858,75	kg	Rp 31.057,97	Rp 88.787.117,27
	d. Pengecoran beton readymix K350	24,00	m3	Rp 1.887.449,04	Rp 45.298.777,07

	4	Balok memanjang						
		a. Pemasangan perancah	96,00	m2	Rp	2.738.664,48	Rp	262.911.790,48
		b. Pemasangan bekisting	288,00	m2	Rp	268.649,90	Rp	77.371.171,79
		c. Penulangan	7273,01	kg	Rp	31.057,97	Rp	225.884.904,95
		d. Pengecoran beton readymix K350	48,00	m3	Rp	1.887.449,04	Rp	90.597.554,14
	5	Pelat lantai						
		a. Pemasangan perancah	465,00	m2	Rp	2.738.664,48	Rp	1.273.478.985,14
		b. Pemasangan bekisting	514,80	m2	Rp	268.649,90	Rp	138.300.969,58
		c. Penulangan	26419,33	kg	Rp	31.057,97	Rp	820.530.834,49
		d. Pengecoran beton readymix K350	182,70	m3	Rp	1.887.449,04	Rp	344.836.940,45
	6	Tes kekuatan beton di laboratorium	1,00	Ls	Rp	30.000.000,00	Rp	30.000.000,00
						Sub Total (II)	**Rp**	**12.882.148.067,10**
III		**Pekerjaan Dermaga**						
A		Pekerjaan tiang pancang tegak						
	1	Pengadaan SPP Ø 1016 mm; t = 19 mm	540,00	m'	Rp	11.474.878,80	Rp	6.196.434.552,00
	2	Pengadaan SPP Ø 1016 mm; t = 19 mm dengan PE	360,00	m'	Rp	19.773.709,95	Rp	7.118.535.583,34
	3	Pengangkutan tiang pancang ke titik pancang	900,00	m'	Rp	541.700,34	Rp	487.530.308,23
	4	Pemancangan tiang tegak	900,00	m'	Rp	810.265,52	Rp	729.238.964,34
	5	Penyambungan tiang pancang	60,00	titik	Rp	2.047.709,95	Rp	122.862.597,26
	6	Pemotongan tiang pancang	30,00	titik	Rp	1.529.163,04	Rp	45.874.891,24
	7	Tes PDA	3,00	buah	Rp	11.095.038,39	Rp	33.285.115,18
B		Pekerjaan tiang pancang miring						
	1	Pengadaan SPP Ø 1016 mm; t = 19 mm	540,00	m'	Rp	11.474.878,80	Rp	6.196.434.552,00
	2	Pengadaan SPP Ø 1016 mm; t = 19 mm dengan PE	360,00	m'	Rp	19.773.709,95	Rp	7.118.535.583,34
	3	Pengangkutan tiang pancang ke titik pancang	900,00	m'	Rp	541.700,34	Rp	487.530.308,23
	4	Pemancangan tiang miring	900,00	m'	Rp	868.141,62	Rp	781.327.461,79
	5	Penyambungan tiang pancang	60,00	titik	Rp	2.047.709,95	Rp	122.862.597,26
	6	Pemotongan tiang pancang	30,00	titik	Rp	1.529.163,04	Rp	45.874.891,24
	7	Tes PDA	3,00	buah	Rp	11.095.038,39	Rp	33.285.115,18
C		Pekerjaan beton						
	1	Beton isian dan selimut tiang pancang						
		a. Pemasangan bekisting	3,40	m2	Rp	268.649,90	Rp	913.541,66
		b. Penulangan	12016,31	kg	Rp	31.057,97	Rp	373.202.257,80
		c. Pengecoran beton readymix K350	97,29	m3	Rp	1.887.449,04	Rp	183.625.833,09

	2	Poer tunggal						
		a. Pemasangan perancah	97,20	m2	Rp	2.738.664,48	Rp	266.198.187,86
		b. Pemasangan bekisting	313,20	m2	Rp	268.649,90	Rp	84.141.149,32
		c. Penulangan	13128,80	kg	Rp	31.057,97	Rp	407.753.984,48
		d. Pengecoran beton readymix K350	97,20	m3	Rp	1.887.449,04	Rp	183.460.047,14
	3	Poer ganda						
		a. Pemasangan perancah	97,20	m2	Rp	2.738.664,48	Rp	266.198.187,86
		b. Pemasangan bekisting	259,20	m2	Rp	268.649,90	Rp	69.634.054,61
		c. Penulangan	13448,59	kg	Rp	31.057,97	Rp	417.685.950,20
		d. Pengecoran beton readymix K350	97,20	m3	Rp	1.887.449,04	Rp	183.460.047,14
	4	Plank fender						
		a. Pemasangan perancah	230,00	m2	Rp	2.738.664,48	Rp	629.892.831,36
		b. Pemasangan bekisting	530,00	m2	Rp	268.649,90	Rp	142.384.448,09
		c. Penulangan	42900,00	kg	Rp	31.057,97	Rp	1.332.386.859,79
		d. Pengecoran beton readymix K350	286,00	m3	Rp	1.887.449,04	Rp	539.810.426,76
	5	Balok melintang						
		a. Pemasangan perancah	225,00	m2	Rp	2.738.664,48	Rp	616.199.508,94
		b. Pemasangan bekisting	675,00	m2	Rp	268.649,90	Rp	181.338.683,89
		c. Penulangan	32734,94	kg	Rp	31.057,97	Rp	1.016.680.777,25
		d. Pengecoran beton readymix K350	202,50	m3	Rp	1.887.449,04	Rp	382.208.431,54
	6	Balok memanjang						
		a. Pemasangan perancah	235,20	m2	Rp	2.738.664,48	Rp	644.133.886,68
		b. Pemasangan bekisting	705,60	m2	Rp	268.649,90	Rp	189.559.370,89
		c. Penulangan	26996,04	kg	Rp	31.057,97	Rp	838.442.235,38
		d. Pengecoran beton readymix K350	211,68	m3	Rp	1.887.449,04	Rp	399.535.213,77
	7	Pelat lantai						
		a. Pemasangan perancah	1339,80	m2	Rp	2.738.664,48	Rp	3.669.262.675,89
		b. Pemasangan bekisting	1422,40	m2	Rp	268.649,90	Rp	382.127.620,69
		c. Penulangan	114246,72	kg	Rp	31.057,97	Rp	3.548.271.060,65
		d. Pengecoran beton readymix K350	630,00	m3	Rp	1.887.449,04	Rp	1.189.092.898,11
D		Pekerjaan bollard	15,00	set	Rp	38.915.256,70	Rp	583.728.850,50
E		Pekerjaan fender dan front pad	15,00	set	Rp	168.315.932,37	Rp	2.524.738.985,48
						Sub Total (III)	**Rp**	**50.765.680.527,44**

IV		**Pekerjaan *Floating Pontoon***						
A		Pekerjaan tiang pancang						
	1	Pengadaan SPP Ø 609,6 mm; t = 16 mm	360,00	m'	Rp	6.871.184,91	Rp	2.473.626.567,66
	2	Pengadaan SPP Ø 609,6 mm; t = 16 mm dengan PE	180,00	m'	Rp	11.863.184,91	Rp	2.135.373.283,83
	3	Pengangkutan tiang pancang ke titik pancang	540,00	m'	Rp	541.700,34	Rp	292.518.184,94
	4	Pemancangan tiang tegak	540,00	m'	Rp	810.265,52	Rp	437.543.378,60
	5	Penyambungan tiang pancang	30,00	titik	Rp	2.047.709,95	Rp	61.431.298,63
	6	Pemotongan tiang pancang	15,00	titik	Rp	1.529.163,04	Rp	22.937.445,62
	7	Tes PDA	1,00	buah	Rp	11.095.038,39	Rp	11.095.038,39
B		Pekerjaan floating pontoon dan aksesoris	112,00	m2	Rp	13.012.251,91	Rp	1.457.372.213,69
C		Pekerjaan gangway	1,00	set	Rp	92.309.251,00	Rp	92.309.251,00
						Sub Total (IV)	**Rp**	**6.984.206.662,37**
						TOTAL (I+II+III+IV)	**Rp**	**71.796.891.697,02**

8.5 Rekapitulasi Rencana Anggaran Biaya

Rekapitulasi Rencana Anggaran Biaya harga adalah hasil penjumlahan dari setiap pekerjaan dan ditambahkan keuntungan bagi kontraktor sebesar 10% dan Pajak Pertambahan Nilai sebesar 10%. Berikut adalah rekapitulasi pembangunan dermaga untuk kapal MPSV/PSV 3.500 DWT dan *floating pontoon* di Bontang (lihat Tabel 8.4).

Tabel 8.4 Rekapitulasi Rencana Anggaran Biaya

No.	Jenis Pekerjaan	Harga Pekerjaan	
1	Pekerjaan Persiapan	Rp	1.164.856.440,11
2	Pekerjaan Trestle	Rp	12.882.148.067,10
3	Pekerjaan Dermaga	Rp	50.765.680.527,44
4	Pekerjaan Floating Pontoon	Rp	6.984.206.662,37
	Jumlah	**Rp**	**71.796.891.697,02**
	Keuntungan kontraktor (10%)	Rp	7.179.689.169,70
	PPN (10% dari Jumlah + keuntungan)	Rp	7.897.658.086,67
	Total (Jumlah + Keuntungan + PPN)	Rp	86.874.238.953,39
	Total (Dibulatkan)	**Rp**	**86.874.239.000,00**
Terbilang : "Delapan puluh enam milyar delapan ratus tujuh puluh empat juta dua ratus tiga puluh sembilan ribu rupiah"			

"Halaman ini sengaja dikosongkan"

BAB IX
KESIMPULAN

Berdasarkan pada bab–bab sebelumnya diperoleh kesimpulan sebagai berikut:

1. Struktur yang direncanakan terdiri dari dermaga, *trestle* dan *floating pontoon.*

2. Hasil dari evaluasi *layout* perairan maupun daratan dapat dilihat pada Tabel 9.1, Tabel 9.2 dan Tabel 9.3.

Tabel 9.1 Hasil evaluasi *layout* perairan dermaga *open pier*

No.	Kebutuhan	Dimensi	Keterangan
1	Area penjangkaran	-	Tidak dibutuhkan
2	Alur masuk		
	Tipe	*One way traffic*	-
	Panjang	548,0 m	Baru
	Lebar	116,0 m	Baru
	Kedalaman	- 8,0 mLWS	Tanpa pengerukan
3	Kolam putar		
	Diameter	235,0 m	Baru
	Kedalaman	- 8,0 mLWS	Perlu pengerukan sebagian
4	Kolam dermaga		
	Panjang	100,0 m	Diperpanjang
	Lebar	68,0 m	Diperlebar
	Kedalaman	- 8,0 mLWS	Perlu pengerukan

Tabel 9.2 Hasil evaluasi *layout* perairan dermaga apung

No.	Kebutuhan	Dimensi	Keterangan
1	Alur masuk		
	Tipe	*One way traffic*	-
	Panjang	105,0 m	Baru
	Lebar	26,0 m	Baru
	Kedalaman	- 2,0 mLWS	Perlu pengerukan
2	Kolam putar		
	Diameter	26,0 m	Baru
	Kedalaman	- 2,0 mLWS	Perlu pengerukan
3	Kolam dermaga		
	Panjang	23 m	Diperpanjang
	Lebar	16 m	Diperlebar
	Kedalaman	- 2,0 mLWS	Butuh pengerukan

Tabel 9.3 Hasil evaluasi *layout* daratan

No.	Kebutuhan	Dimensi	Keterangan
1	Dermaga *open pier*		
	Panjang	100,0 m	Diperpanjang
	Lebar	18,0 m	Diperlebar
	Elevasi permukaan	+ 3,5 mLWS	-
2	*Floating pontoon*		
	Panjang	18 m	-
	Lebar	16 m	-
3	*Gangway*		
	Panjang	8 m	-
	Lebar	1,2 m	-
	Kemiringan (max & min)	$2^{O} – 20^{O}$	-

4	*Trestle*		
	Panjang	75,0 m	Diperpanjang
	Lebar	8,0 m	Diperlebar
	Elevasi permukaan	+ 3,5 mLWS	-

3. Struktur dermaga menggunakan tipe *open pier* dengan struktur beton bertulang. Spesifikasi struktur dermaga adalah sebagai berikut:
   a. Dimensi struktur = 100 x 18 m
   b. Elevasi permukaan = + 3,5 mLWS
   c. Selimut beton = 7 cm
   d. Tebal pelat lantai = 35 cm
   e. Dimensi balok melintang = 80 x 120 cm
   f. Dimensi balok memanjang = 80 x 120 cm
   g. *Pile cap* tunggal = 180 x 180 x 100 cm
   h. *Pile cap* ganda = 180 x 360 x 100 cm
   i. *Plank fender* = 250 x 200 x 100 cm
   j. Mutu beton = K 350
   k. Mutu baja = U 32
   l. Tulangan pelat = D 16
   m. Tulangan lentur = D 20
   n. Tulangan geser = D 19
   o. Tiang pancang baja = D1016 mm
      tebal = 19 mm
   p. Kemiringan tiang = 8 : 1
   q. Kedalaman tiang tegak = - 24,5 mLWS
   r. Kedalaman tiang miring = - 23,0 mLWS
   s. *Fender* = *Unit element* 500
   t. *Bollard* = T *bollard* 50 Ton

4. Struktur *trestle* menggunakan tipe *open pier* dengan struktur beton bertulang. Spesifikasi struktur *trestle* adalah sebagai berikut:
   a. Dimensi struktur = 75 x 8 m

b. Elevasi permukaan = + 3,5 mLWS
c. Selimut beton = 7 cm
d. Tebal pelat lantai = 30 cm
e. Dimensi balok melintang = 60 x 80 cm
f. Dimensi balok memanjang = 60 x 80 cm
g. *Pile cap* tunggal = 180 x 180 x 100 cm
h. Mutu beton = K 350
i. Mutu baja = U 32
j. Tulangan pelat = D 13
k. Tulangan lentur = D 29
l. Tulangan geser = D 19
m. Tiang pancang baja = Ø1016 mm
tebal = 19 mm
n. Kedalaman tiang tegak = -18,5 mLWS

5. Struktur utama *floating pontoon* menggunakan *box pontoon* yang terbuat dari HDPE dengan pengaku *stainless steel galvanised*. Selain itu terdapat pula struktur *gangway* dengan bahan *stainless steel galvanised* Spesifikasi struktur *floating pontoon* dan *gangway* adalah sebagai berikut:
a. Luas = 112 m^2
b. Tiang pancang = 609,6 mm
tebal = 16 mm
c. *Freeboard* = 46 cm

6. Dalam proses metode pelaksanaan dermaga ini harus benar – benar diperhatikan tentang keamanan pekerjaan. Hal ini penting karena area di sekitar lokasi pekerjaan merupakan area yang rawan akan bahaya kebakaran. Sistem keamanan dan keselamatan yang digunakan adalah sistem yang telah diterapkan oleh PT Badak dan PT Pertamina sendiri sehingga telah berstandar ISO serta tenaga yang digunakan dalam pekerjaan proyek ini sudah bersertifikat resmi. Dari metode pelaksanaan pekerjaan yang baik diharapkan dapat

menekan angka kecelakaan dalam pekerjaan proyek pembangunan dermaga untuk kapal MPSV/PSV 3.500 DWT dan *floating pontoon* di Terminal Khusus PT. Badak NGL, Bontang, Kalimantan Timur.

7. Rencana anggaran biaya yang diperlukan untuk pembangunan dermaga untuk kapal MPSV/PSV 3.500 DWT dan *floating pontoon* ini adalah sebesar **Rp 86.874.239.000,00 (**Delapan puluh enam milyar delapan ratus tujuh puluh empat juta dua ratus tiga puluh sembilan ribu rupiah).

"Halaman ini sengaja dikosongkan"

DAFTAR PUSTAKA

Panitia Pembaharuan Peraturan Beton Bertulang Indonesia. 1971. **Peraturan Beton Bertulang Indonesia**. Bandung: Departemen Pekerjaan Umum dan Tenaga Listrik

Standar Nasional Indonesia. 2012. **SNI-03-1726-2012-Standar Perencanaan Ketahanan Gempa Untuk Struktur Bangunan Gedung.** Bandung

Wangsadinata, Wiratman. 1971. **Perhitungan Lentur dengan Cara "n" Disesuaikan kepada Peraturan Beton Bertulang Indonesia 1971.** Bandung: Departemen Pekerjaan Umum dan Tenaga Listrik

Sutami. 1971. **Konstruksi Beton Indonesia.** Jakarta: Badan Penerbit Pekerdjaan Umum

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

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

Thoresen, Carl A. 2003. **Port Designer's Handbook: Recommendations and Guidelines**. London: Thomas Telford

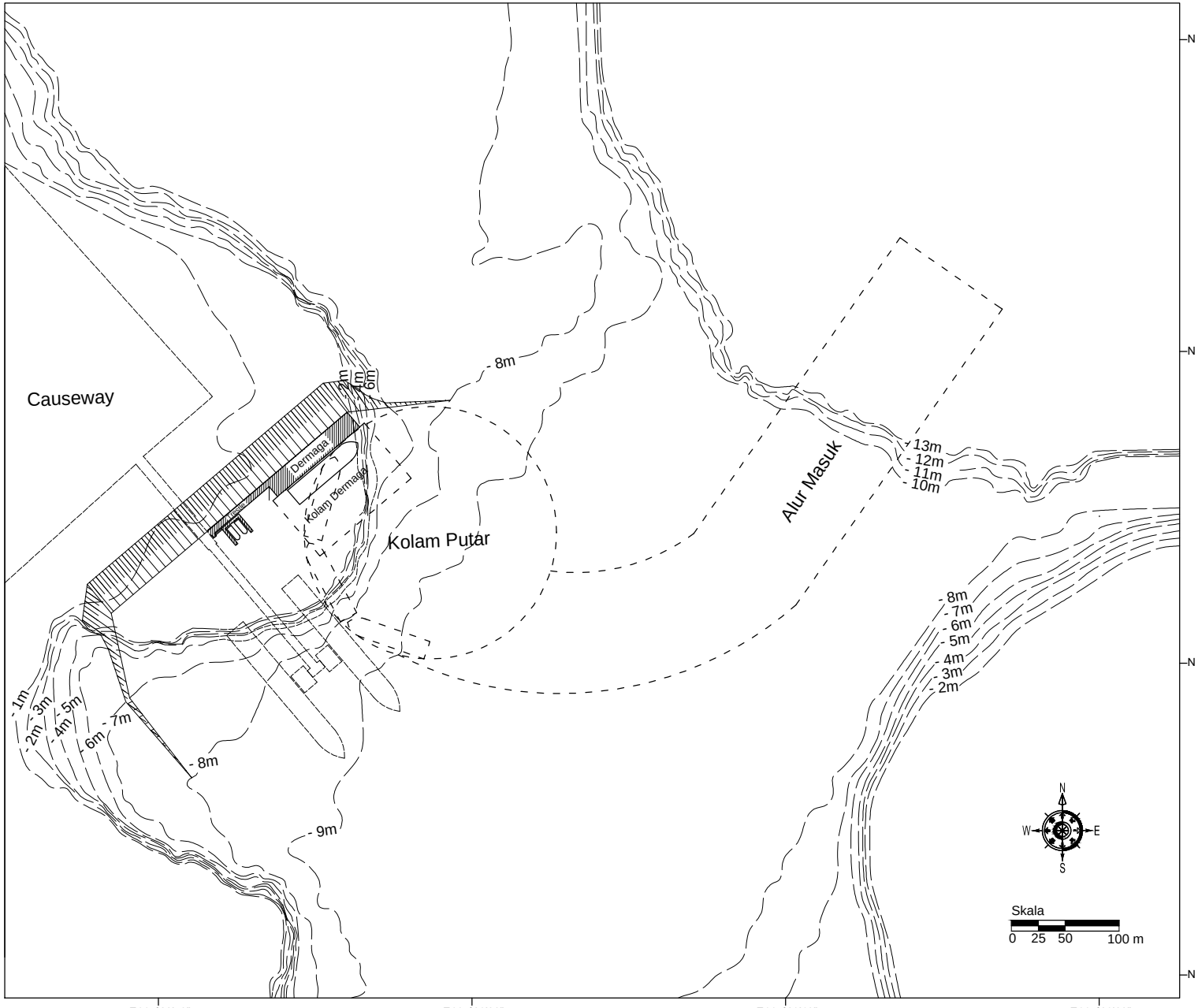
PIANC. 2002. **Guidelines for Design of Fender Systems**. Belgium: PIANC General Secretariat

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

Wahyudi, Herman. 2013. **Daya Dukung Pondasi Dalam**. Surabaya: ITS Press

Widyastuti, Dyah Iriani. 2000. **Diktat Pelabuhan**. Surabaya: Jurusan Teknik Sipil Fakultas Teknik Sipil dan Perencanaan ITS.

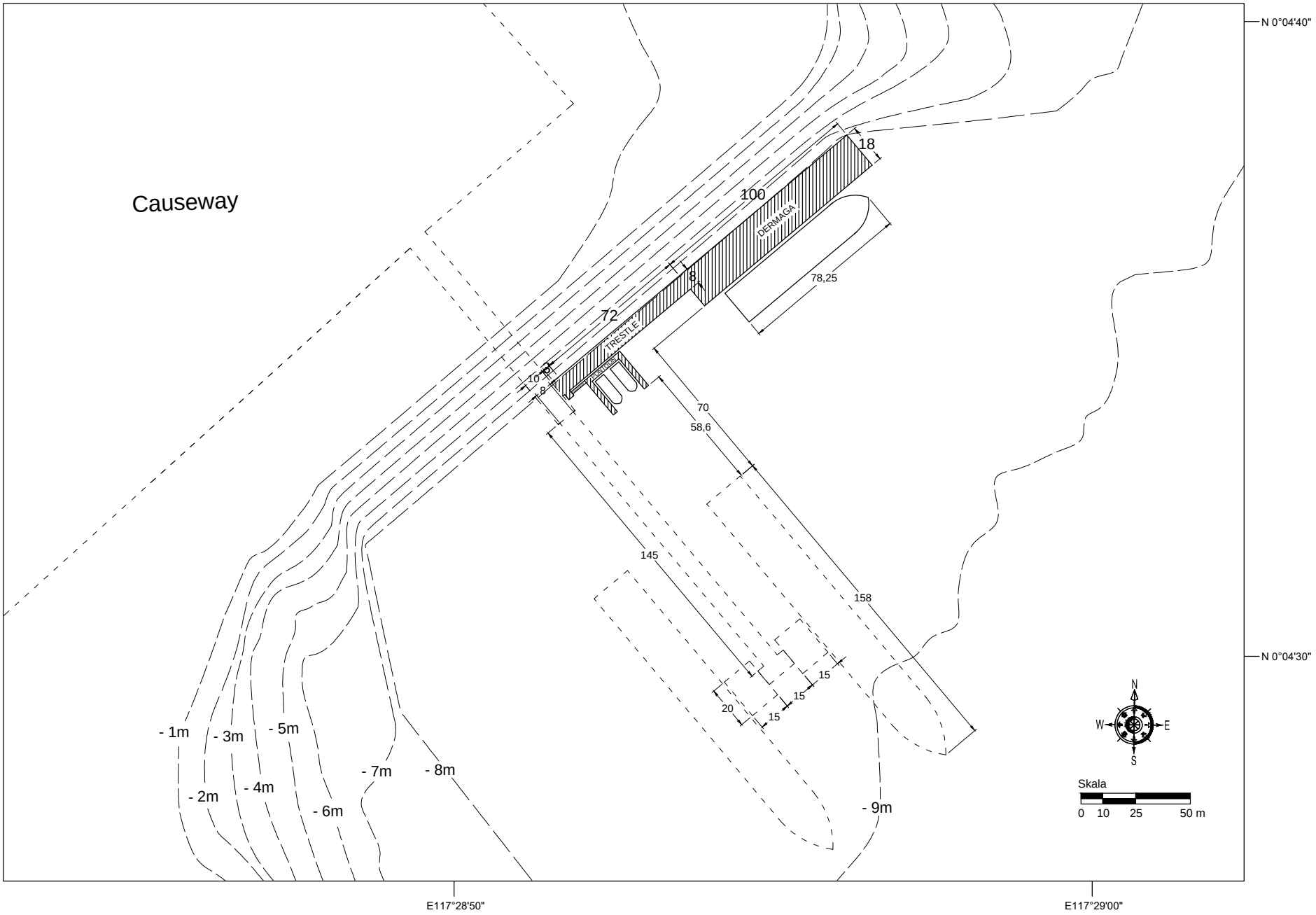
SAP2000. 2009. **Structural Analysis Program**, version 14, Barkeley : Computer and Structures, Inc



Keterangan :
1. Dimensi Alur masuk
   Panjang = 584 m
   Lebar = 116 m
2. Dimensi Kolam Putar
   Diameter = 235 m
3. Dimensi Kolam Dermaga
   Panjang = 120 m
   Lebar = 68 m

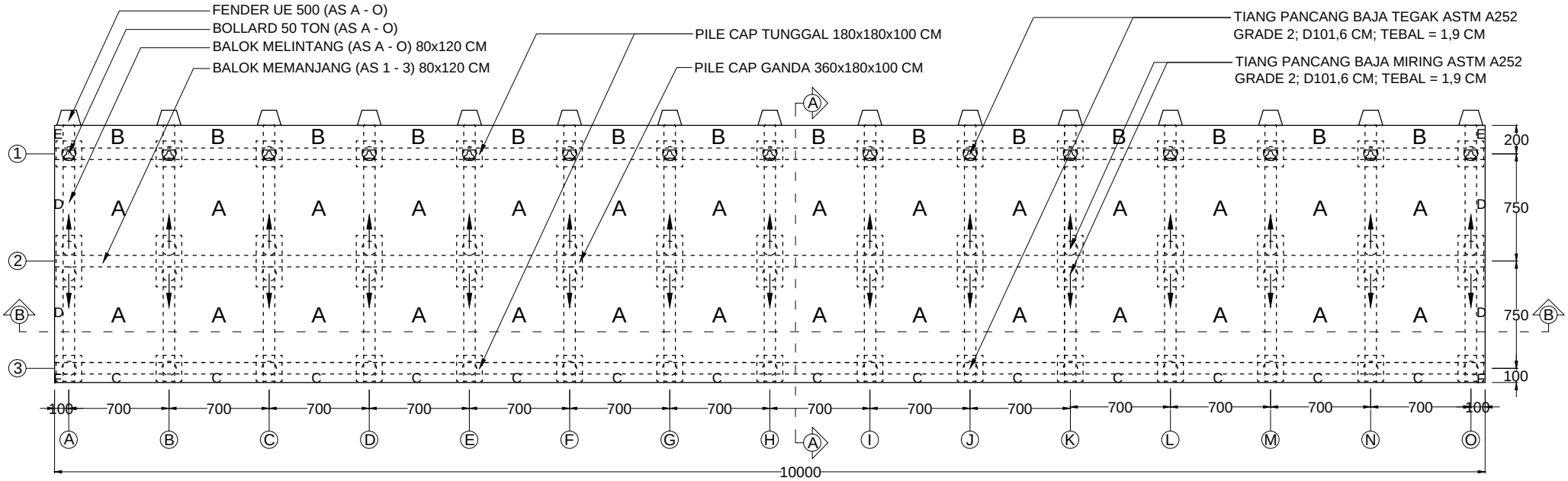
JURUSAN TEKNIK SIPIL FAKULTAS TEKNIK SIPIL DAN PERENCANAAN INSTITUT TEKNOLOGI SEPULUH NOPEMBER	TUGAS AKHIR - RC14-1501	DOSEN PEMBIMBING	MAHASISWA	JUDUL GAMBAR	GAMBAR KE-	DARI
	PERENCANAAN DERMAGA UNTUK KAPAL *MPSV/PSV* 3.500 *DWT* DAN *FLOATING PONTOON* DI TERMINAL KHUSUS PT. BADAK NGL, BONTANG	Ir. DYAH IRIANI W, M.Sc Ir. FUDDOLY, M.Sc	BAYU ARGO NUSANTORO 3112100097	*LAYOUT* PERAIRAN	1	20
					SATUAN = METER	
					SKALA = SKALA GARIS	

"Halaman ini sengaja dikosongkan"



JURUSAN TEKNIK SIPIL FAKULTAS TEKNIK SIPIL DAN PERENCANAAN INSTITUT TEKNOLOGI SEPULUH NOPEMBER	TUGAS AKHIR - RC14-1501	DOSEN PEMBIMBING	MAHASISWA	JUDUL GAMBAR	GAMBAR KE-	DARI
	PERENCANAAN DERMAGA UNTUK KAPAL *MPSV/PSV* 3.500 *DWT* DAN *FLOATING PONTOON* DI TERMINAL KHUSUS PT. BADAK NGL, BONTANG	Ir. DYAH IRIANI W, M.Sc Ir. FUDDOLY, M.Sc	BAYU ARGO NUSANTORO 3112100097	*LAYOUT* DARATAN	2	20
					SATUAN = METER	
					SKALA = SKALA GARIS	

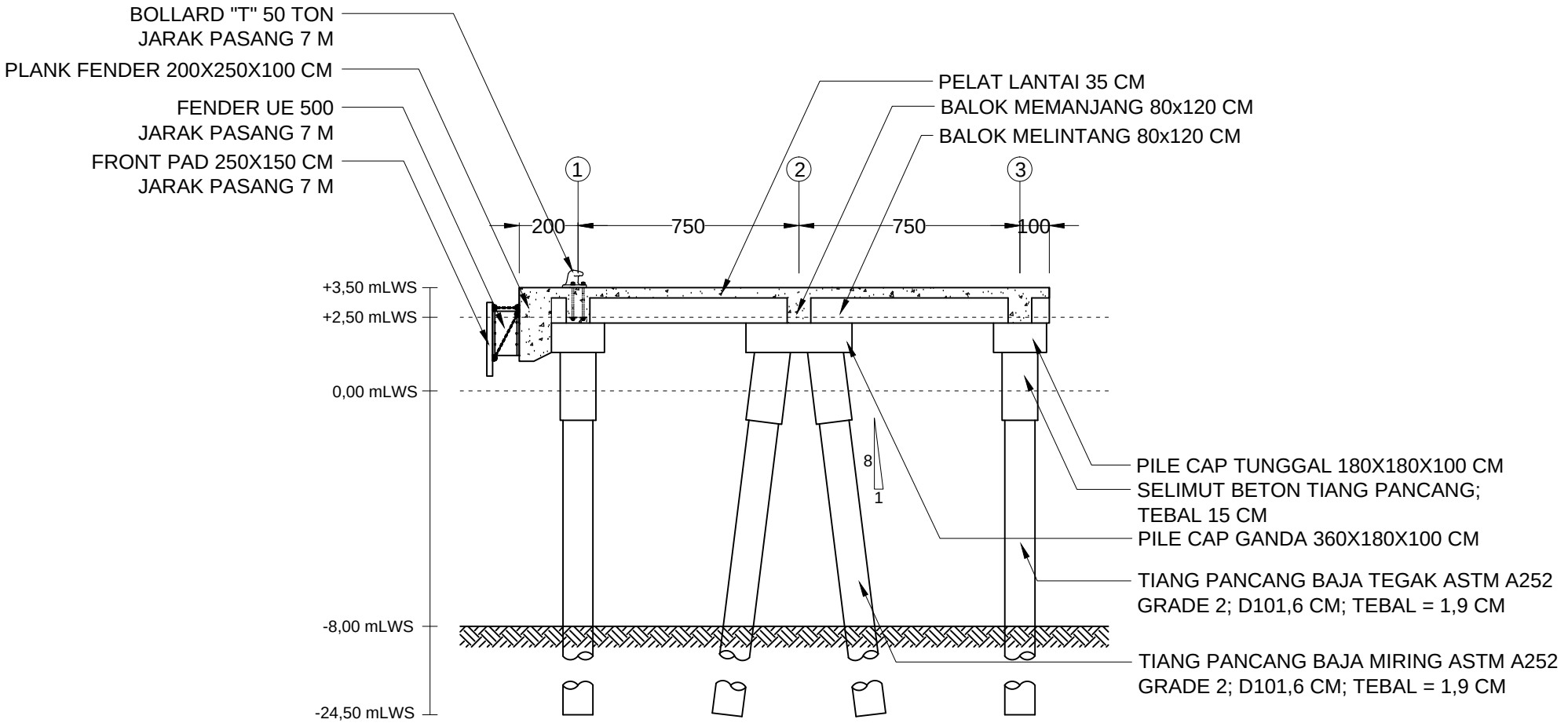
"Halaman ini sengaja dikosongkan"



Denah Pembalokan dan Tiang Pancang Dermaga
SKALA 1:400

JURUSAN TEKNIK SIPIL FAKULTAS TEKNIK SIPIL DAN PERENCANAAN INSTITUT TEKNOLOGI SEPULUH NOPEMBER	TUGAS AKHIR - RC14-1501	DOSEN PEMBIMBING	MAHASISWA	JUDUL GAMBAR	GAMBAR KE-	DARI
	PERENCANAAN DERMAGA UNTUK KAPAL *MPSV/PSV* 3.500 *DWT* DAN *FLOATING PONTOON* DI TERMINAL KHUSUS PT. BADAK NGL, BONTANG	Ir. DYAH IRIANI W, M.Sc Ir. FUDDOLY, M.Sc	BAYU ARGO NUSANTORO 3112100097	DENAH PEMBALOKAN DAN TIANG PANCANG DERMAGA	3	20
					SATUAN = SENTIMETER	
					SKALA = 1 : 400	

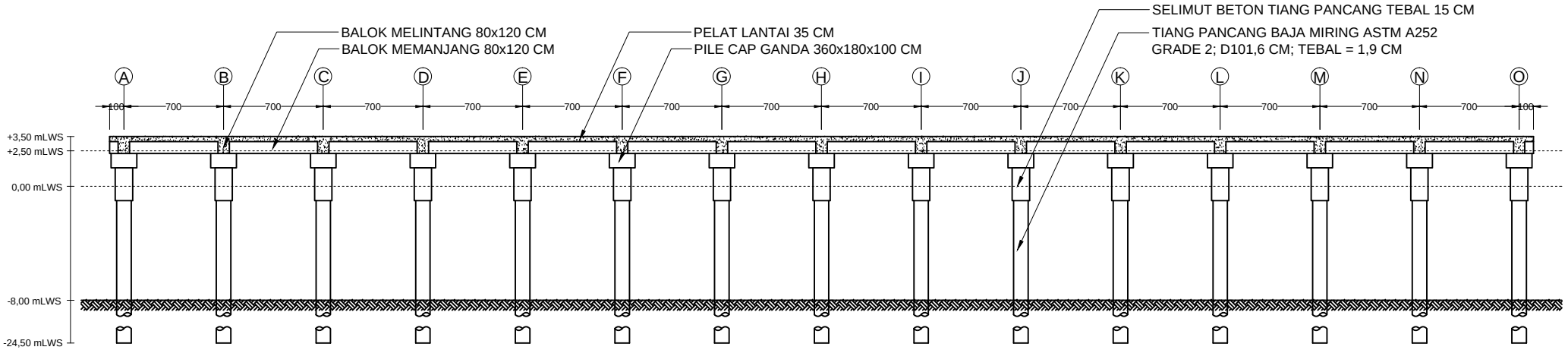
"Halaman ini sengaja dikosongkan"



Potongan A - A Dermaga
SKALA 1:200

JURUSAN TEKNIK SIPIL FAKULTAS TEKNIK SIPIL DAN PERENCANAAN INSTITUT TEKNOLOGI SEPULUH NOPEMBER	TUGAS AKHIR - RC14-1501	DOSEN PEMBIMBING	MAHASISWA	JUDUL GAMBAR	GAMBAR KE-	DARI
	PERENCANAAN DERMAGA UNTUK KAPAL *MPSV/PSV* 3.500 *DWT* DAN *FLOATING PONTOON* DI TERMINAL KHUSUS PT. BADAK NGL, BONTANG	Ir. DYAH IRIANI W, M.Sc Ir. FUDDOLY, M.Sc	BAYU ARGO NUSANTORO 3112100097	POTONGAN A - A DERMAGA	4	20
					SATUAN = SENTIMETER	
					SKALA = 1 : 200	

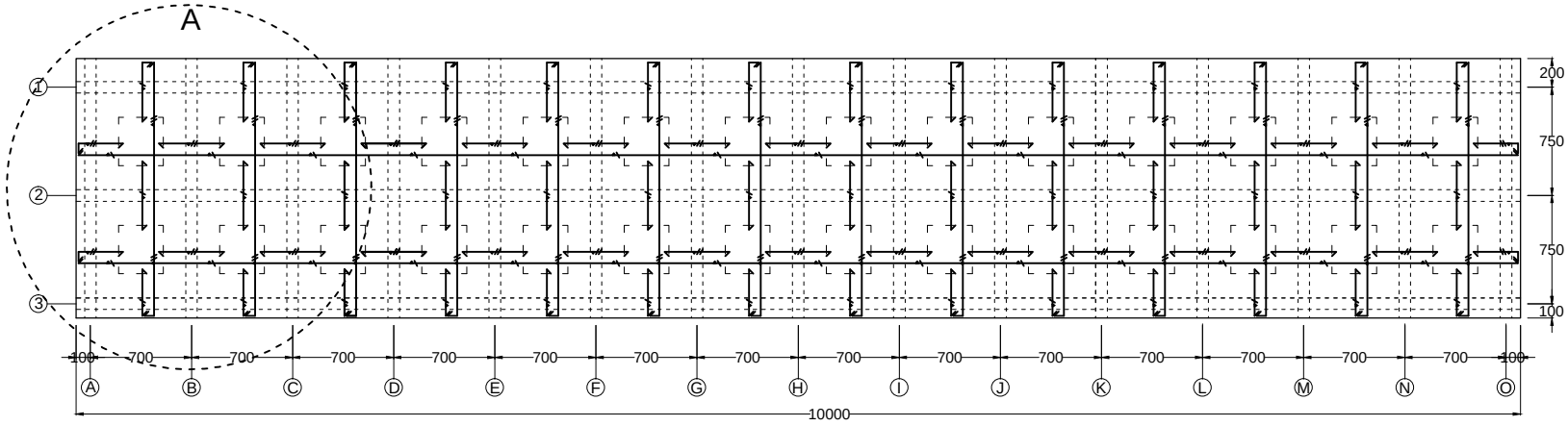
"Halaman ini sengaja dikosongkan"



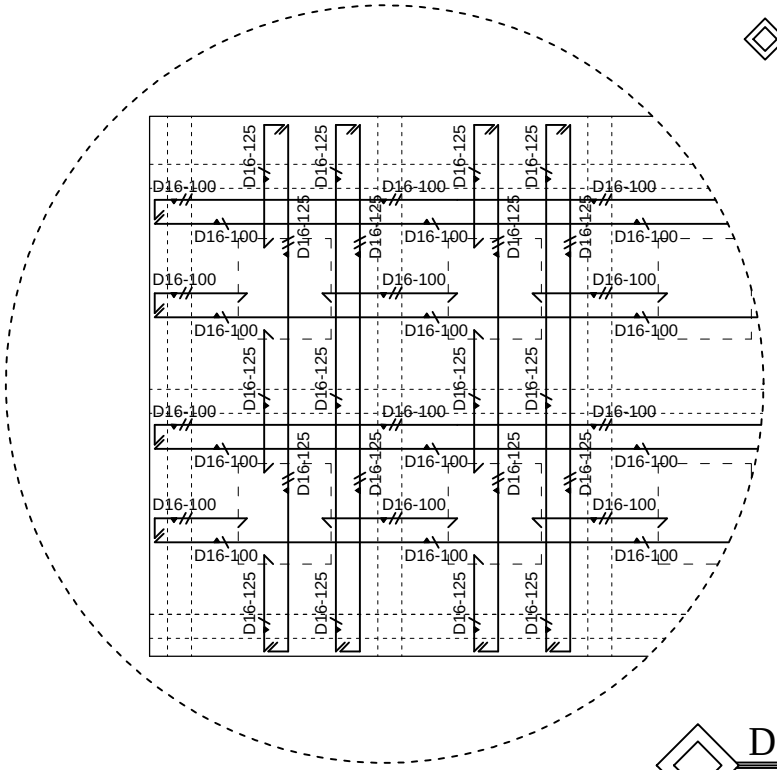
Potongan B - B Dermaga
SKALA 1:400

JURUSAN TEKNIK SIPIL FAKULTAS TEKNIK SIPIL DAN PERENCANAAN INSTITUT TEKNOLOGI SEPULUH NOPEMBER	TUGAS AKHIR - RC14-1501	DOSEN PEMBIMBING	MAHASISWA	JUDUL GAMBAR	GAMBAR KE-	DARI
	PERENCANAAN DERMAGA UNTUK KAPAL *MPSV/PSV* 3.500 *DWT* DAN *FLOATING PONTOON* DI TERMINAL KHUSUS PT. BADAK NGL, BONTANG	Ir. DYAH IRIANI W, M.Sc Ir. FUDDOLY, M.Sc	BAYU ARGO NUSANTORO 3112100097	POTONGAN B - B DERMAGA	5	20
					SATUAN = SENTIMETER	
					SKALA = 1 : 400	

"Halaman ini sengaja dikosongkan"



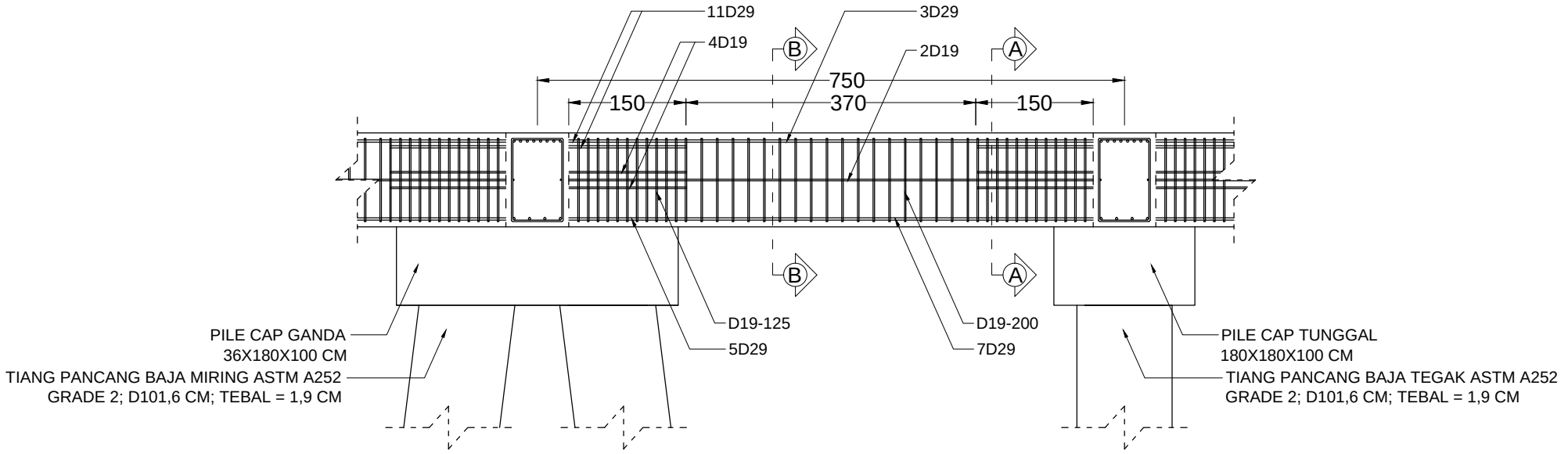
Penulangan Pelat Dermaga
SKALA 1:500



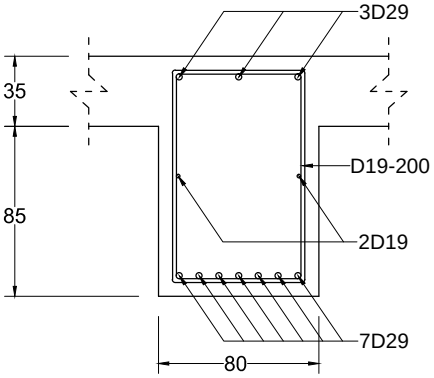
Detail A
SKALA 1:250

JURUSAN TEKNIK SIPIL FAKULTAS TEKNIK SIPIL DAN PERENCANAAN INSTITUT TEKNOLOGI SEPULUH NOPEMBER	TUGAS AKHIR - RC14-1501	DOSEN PEMBIMBING	MAHASISWA	JUDUL GAMBAR	GAMBAR KE-	DARI
	PERENCANAAN DERMAGA UNTUK KAPAL *MPSV/PSV* 3.500 *DWT* DAN *FLOATING PONTOON* DI TERMINAL KHUSUS PT. BADAK NGL, BONTANG	Ir. DYAH IRIANI W, M.Sc Ir. FUDDOLY, M.Sc	BAYU ARGO NUSANTORO 3112100097	PENULANGAN PELAT DERMAGA	6	20
					SATUAN = SENTIMETER	
					SKALA = 1 : 500	

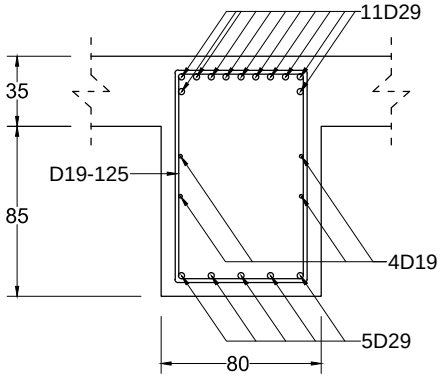
"Halaman ini sengaja dikosongkan"



Penulangan Balok Melintang Dermaga
SKALA 1:75



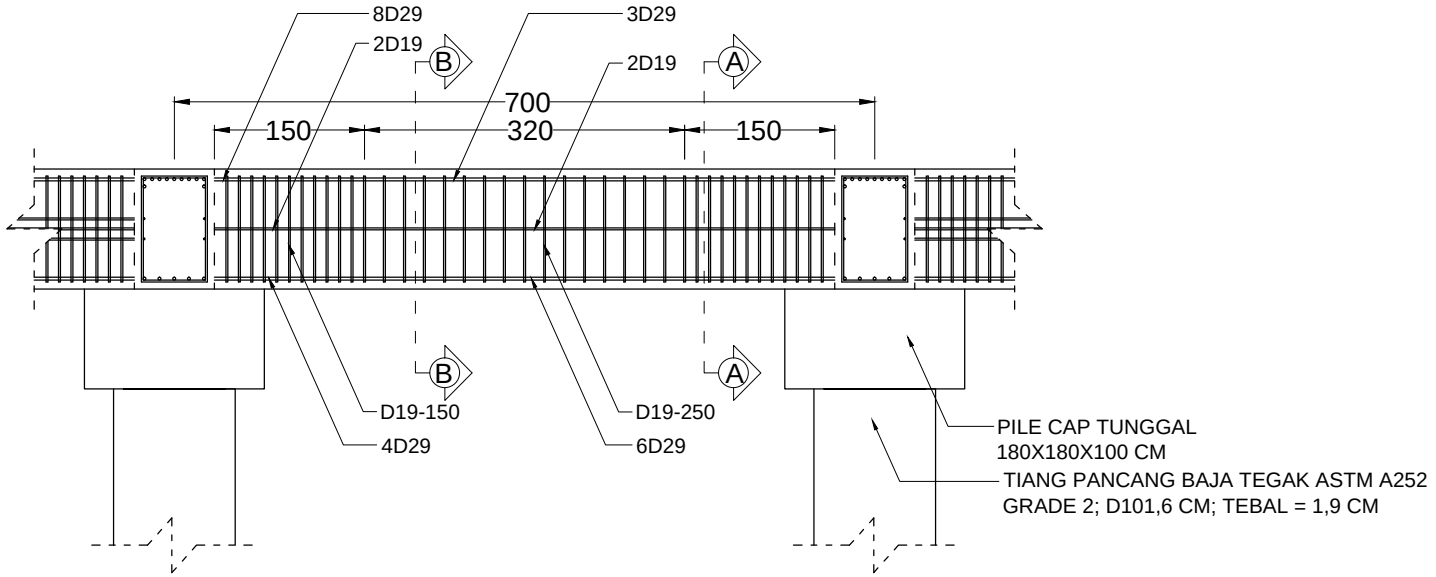
Potongan B - B
SKALA 1:37,5



Potongan A - A
SKALA 1:37,5

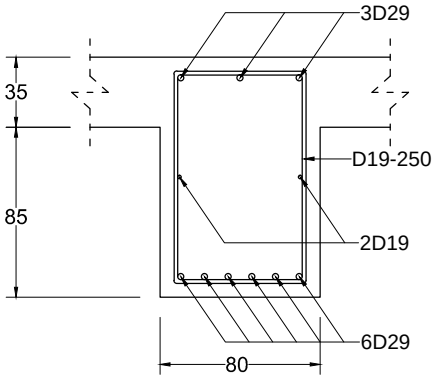
JURUSAN TEKNIK SIPIL FAKULTAS TEKNIK SIPIL DAN PERENCANAAN INSTITUT TEKNOLOGI SEPULUH NOPEMBER	TUGAS AKHIR - RC14-1501	DOSEN PEMBIMBING	MAHASISWA	JUDUL GAMBAR	GAMBAR KE-	DARI
	PERENCANAAN DERMAGA UNTUK KAPAL *MPSV/PSV* 3.500 *DWT* DAN *FLOATING PONTOON* DI TERMINAL KHUSUS PT. BADAK NGL, BONTANG	Ir. DYAH IRIANI W, M.Sc Ir. FUDDOLY, M.Sc	BAYU ARGO NUSANTORO 3112100097	PENULANGAN BALOK MELINTANG DERMAGA	7	20
					SATUAN = SENTIMETER	
					SKALA = 1 : 75	

"Halaman ini sengaja dikosongkan"



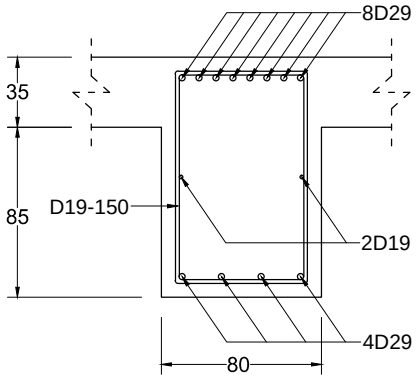
Penulangan Balok Memanjang Dermaga

SKALA 1:75



Potongan B - B

SKALA 1:37,5

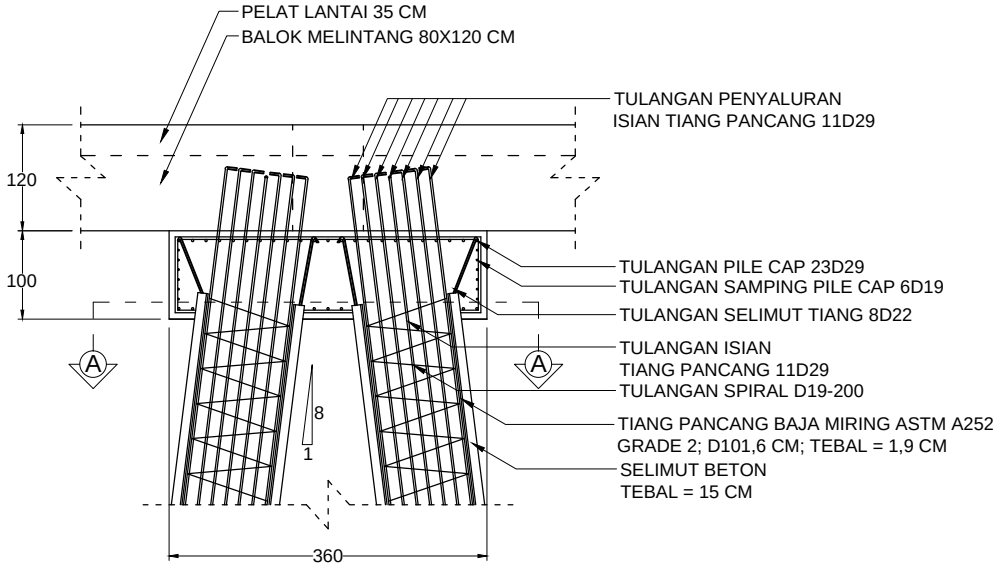


Potongan A - A

SKALA 1:37,5

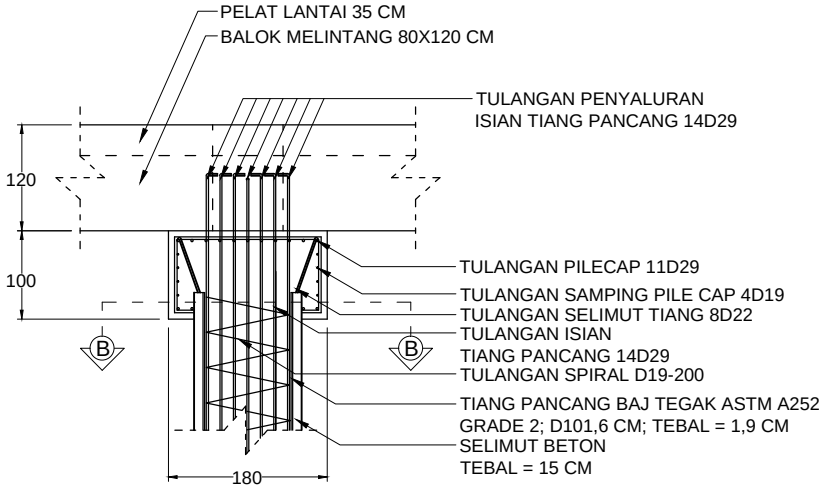
JURUSAN TEKNIK SIPIL FAKULTAS TEKNIK SIPIL DAN PERENCANAAN INSTITUT TEKNOLOGI SEPULUH NOPEMBER	TUGAS AKHIR - RC14-1501	DOSEN PEMBIMBING	MAHASISWA	JUDUL GAMBAR	GAMBAR KE-	DARI
	PERENCANAAN DERMAGA UNTUK KAPAL *MPSV/PSV* 3.500 *DWT* DAN *FLOATING PONTOON* DI TERMINAL KHUSUS PT. BADAK NGL, BONTANG	Ir. DYAH IRIANI W, M.Sc Ir. FUDDOLY, M.Sc	BAYU ARGO NUSANTORO 3112100097	PENULANGAN BALOK MEMANJANG DERMAGA	8	20
					SATUAN = SENTIMETER	
					SKALA = 1 : 75	

"Halaman ini sengaja dikosongkan"



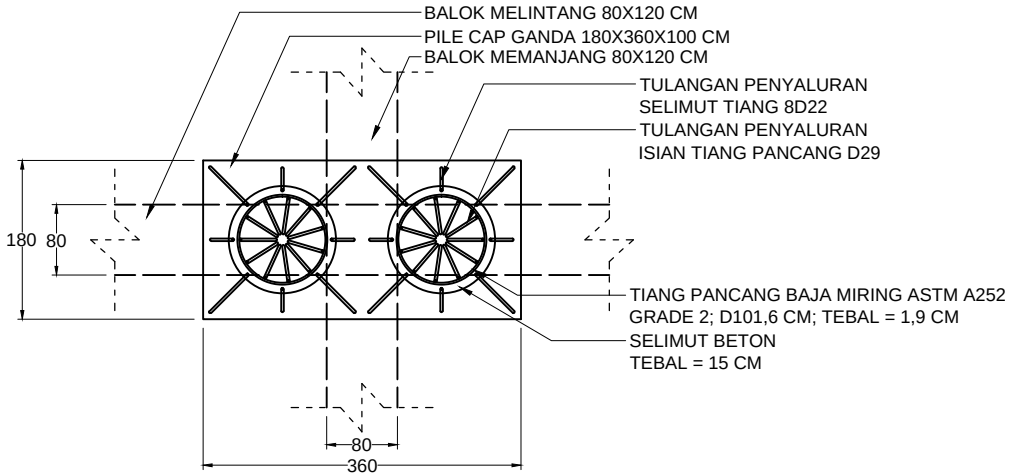
Penulangan Pile Cap Ganda Dermaga

SKALA 1:85



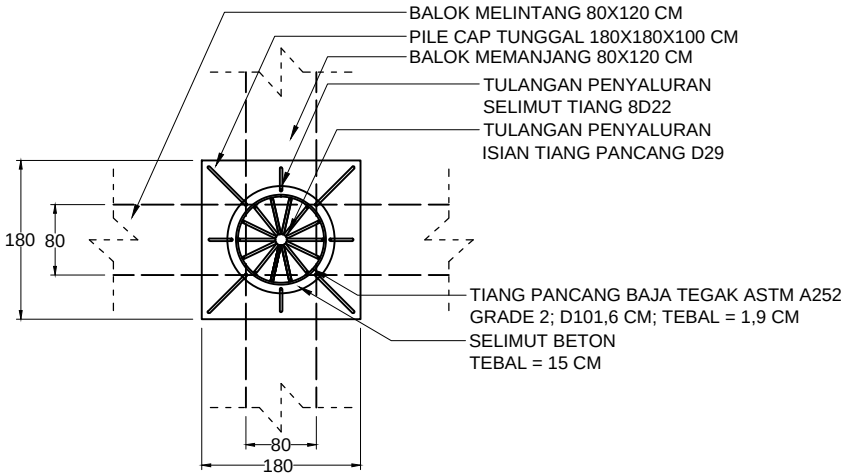
Penulangan Pile Cap Tunggal Dermaga

SKALA 1:85



Potongan A - A

SKALA 1:85

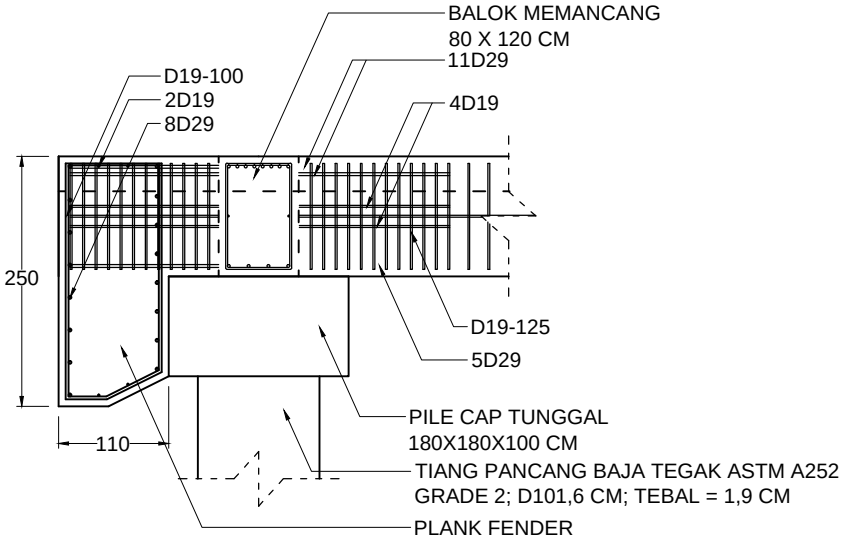


Potongan B - B

SKALA 1:85

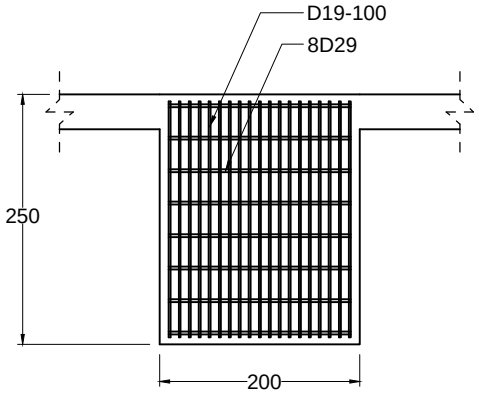
JURUSAN TEKNIK SIPIL FAKULTAS TEKNIK SIPIL DAN PERENCANAAN INSTITUT TEKNOLOGI SEPULUH NOPEMBER	TUGAS AKHIR - RC14-1501	DOSEN PEMBIMBING	MAHASISWA	JUDUL GAMBAR	GAMBAR KE-	DARI
	PERENCANAAN DERMAGA UNTUK KAPAL *MPSV/PSV* 3.500 *DWT* DAN *FLOATING PONTOON* DI TERMINAL KHUSUS PT. BADAK NGL, BONTANG	Ir. DYAH IRIANI W, M.Sc Ir. FUDDOLY, M.Sc	BAYU ARGO NUSANTORO 3112100097	PENULANGAN *PILE CAP* GANDA DAN TUNGGAL DERMAGA	9	20
					SATUAN = SENTIMETER	
					SKALA = 1 : 85	

"Halaman ini sengaja dikosongkan"



Penulangan Plank Fender Dermaga

SKALA 1:75

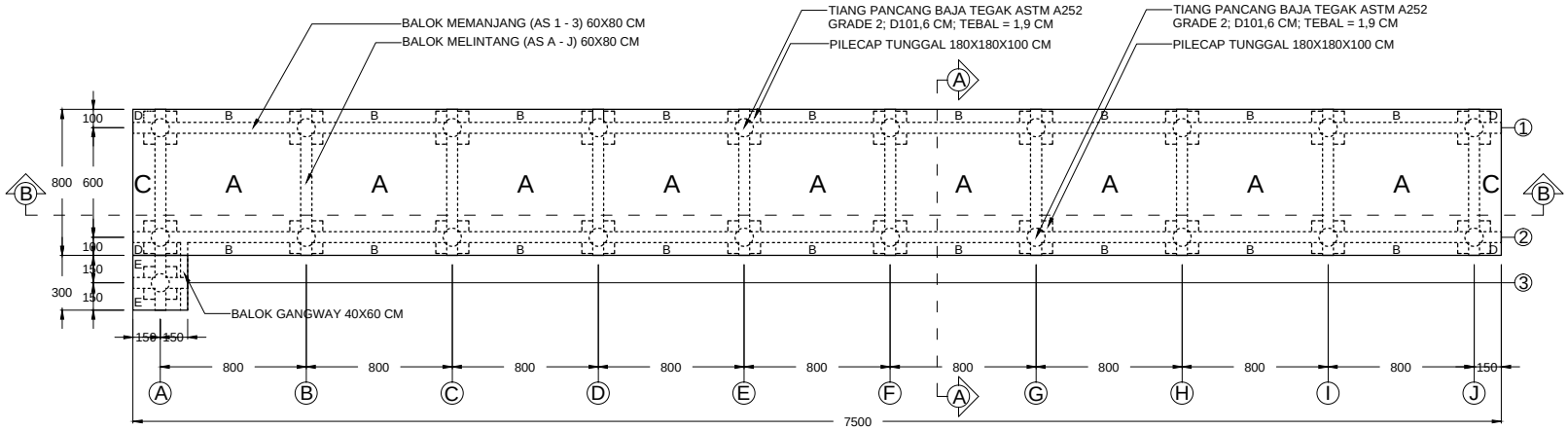


Tampak Depan Penulangan Plank Fender

SKALA 1:75

JURUSAN TEKNIK SIPIL FAKULTAS TEKNIK SIPIL DAN PERENCANAAN INSTITUT TEKNOLOGI SEPULUH NOPEMBER	TUGAS AKHIR - RC14-1501	DOSEN PEMBIMBING	MAHASISWA	JUDUL GAMBAR	GAMBAR KE-	DARI
	PERENCANAAN DERMAGA UNTUK KAPAL *MPSV/PSV* 3.500 *DWT* DAN *FLOATING PONTOON* DI TERMINAL KHUSUS PT. BADAK NGL, BONTANG	Ir. DYAH IRIANI W, M.Sc Ir. FUDDOLY, M.Sc	BAYU ARGO NUSANTORO 3112100097	PENULANGAN *PLANK FENDER*	10	20
					SATUAN = SENTIMETER	
					SKALA = 1 : 75	

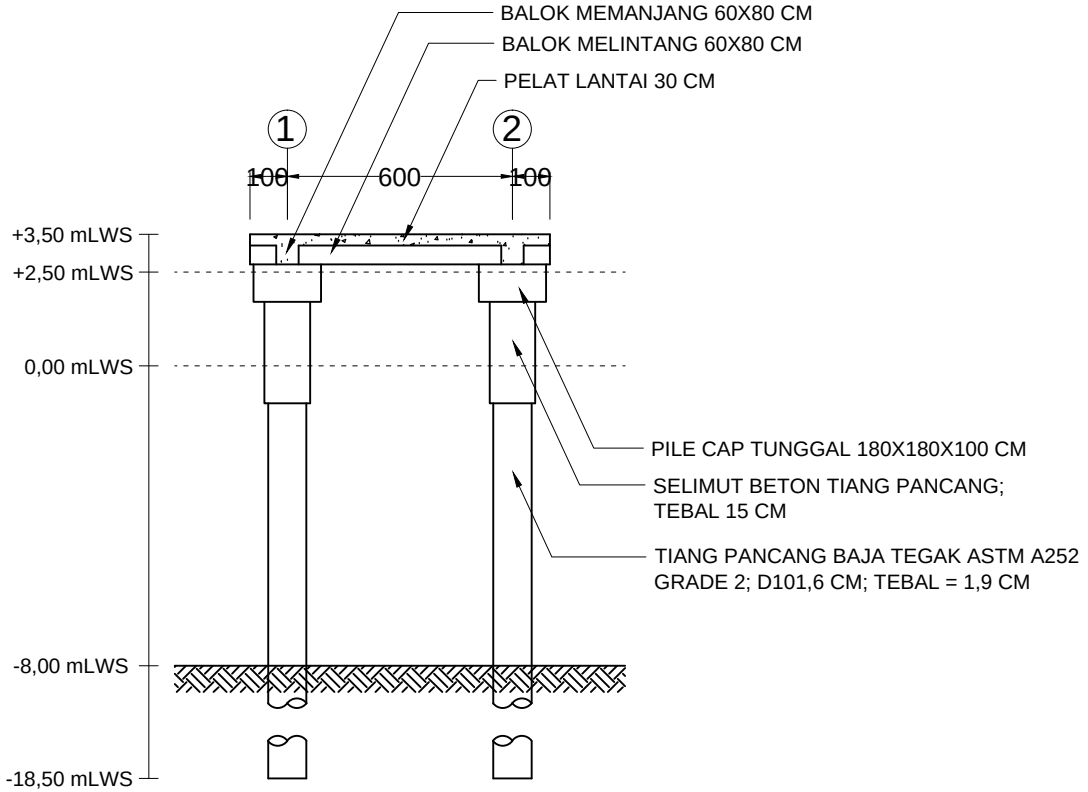
"Halaman ini sengaja dikosongkan"



Denah Pembalokan dan Tiang Pancang Trestle
SKALA 1:400

JURUSAN TEKNIK SIPIL FAKULTAS TEKNIK SIPIL DAN PERENCANAAN INSTITUT TEKNOLOGI SEPULUH NOPEMBER	TUGAS AKHIR - RC14-1501	DOSEN PEMBIMBING	MAHASISWA	JUDUL GAMBAR	GAMBAR KE-	DARI
	PERENCANAAN DERMAGA UNTUK KAPAL *MPSV/PSV* 3.500 *DWT* DAN *FLOATING PONTOON* DI TERMINAL KHUSUS PT. BADAK NGL, BONTANG	Ir. DYAH IRIANI W, M.Sc Ir. FUDDOLY, M.Sc	BAYU ARGO NUSANTORO 3112100097	DENAH PEMBALOKAN DAN TIANG PANCANG *TRESTLE*	11	20
					SATUAN = SENTIMETER	
					SKALA = 1 : 400	

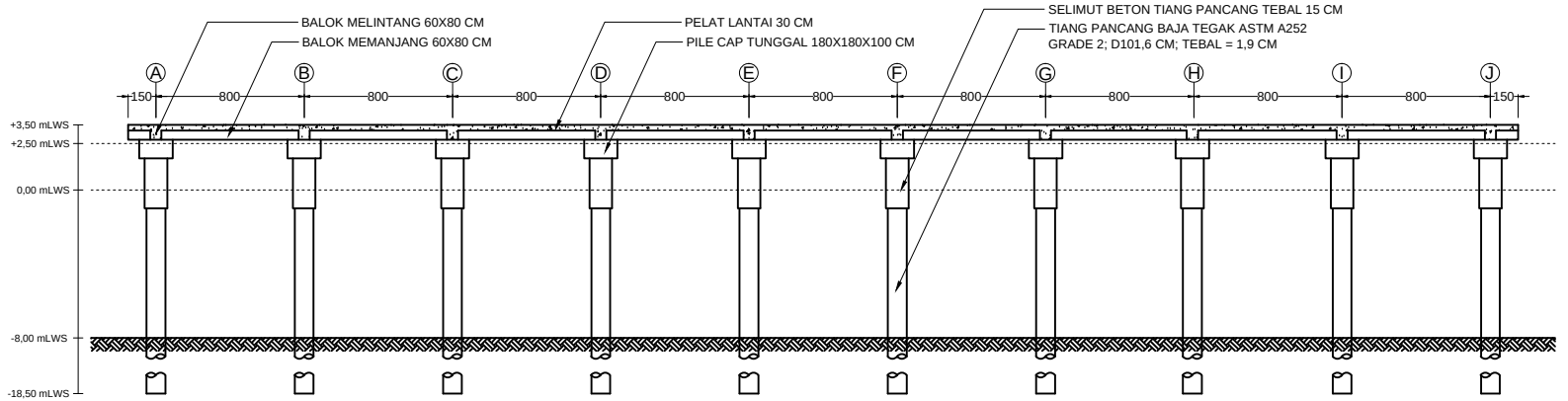
"Halaman ini sengaja dikosongkan"



Potongan A - A Trestle
SKALA 1:200

JURUSAN TEKNIK SIPIL FAKULTAS TEKNIK SIPIL DAN PERENCANAAN INSTITUT TEKNOLOGI SEPULUH NOPEMBER	TUGAS AKHIR - RC14-1501	DOSEN PEMBIMBING	MAHASISWA	JUDUL GAMBAR	GAMBAR KE-	DARI
	PERENCANAAN DERMAGA UNTUK KAPAL *MPSV/PSV* 3.500 *DWT* DAN *FLOATING PONTOON* DI TERMINAL KHUSUS PT. BADAK NGL, BONTANG	Ir. DYAH IRIANI W, M.Sc Ir. FUDDOLY, M.Sc	BAYU ARGO NUSANTORO 3112100097	POTONGAN A - A *TRESTLE*	12	20
					SATUAN = SENTIMETER	
					SKALA = 1 : 200	

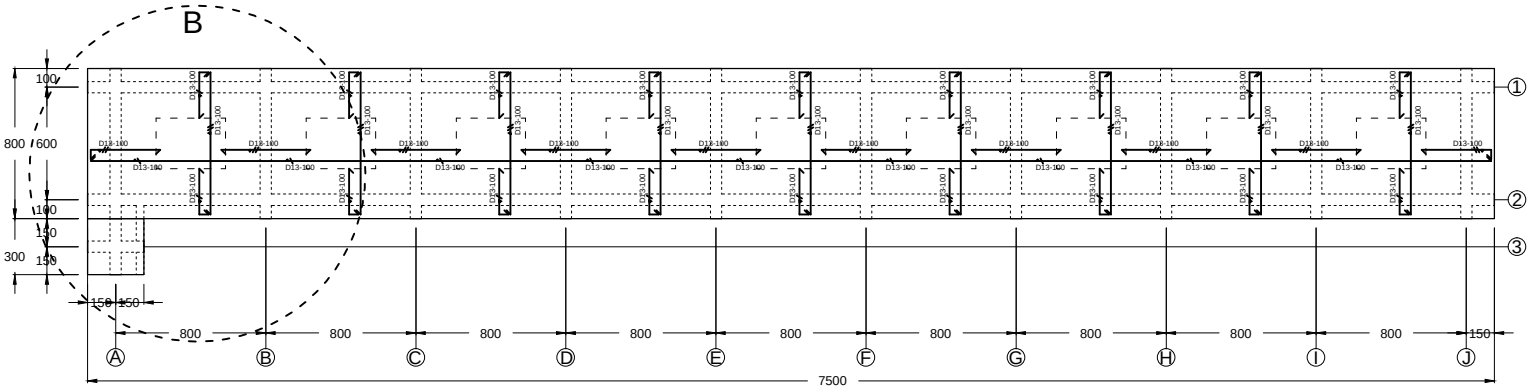
"Halaman ini sengaja dikosongkan"



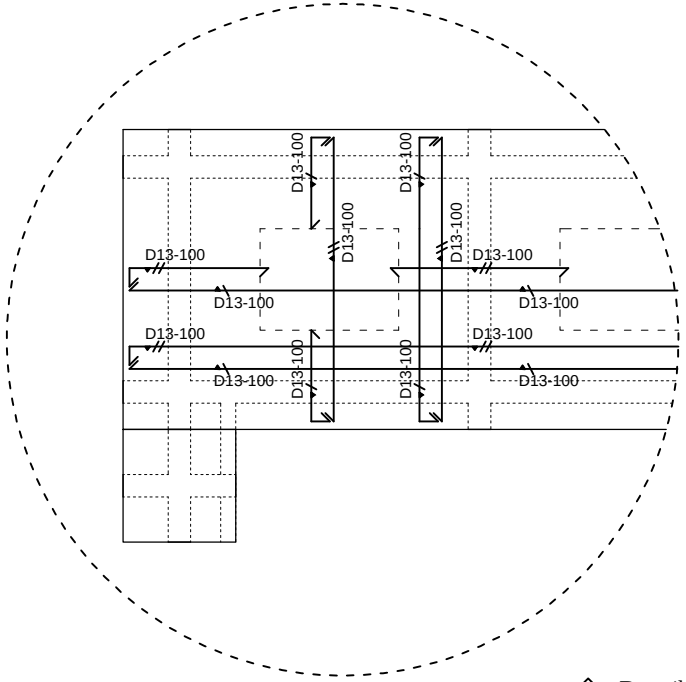
Potongan B - B Trestle
SKALA 1:400

JURUSAN TEKNIK SIPIL FAKULTAS TEKNIK SIPIL DAN PERENCANAAN INSTITUT TEKNOLOGI SEPULUH NOPEMBER	TUGAS AKHIR - RC14-1501	DOSEN PEMBIMBING	MAHASISWA	JUDUL GAMBAR	GAMBAR KE-	DARI
	PERENCANAAN DERMAGA UNTUK KAPAL *MPSV/PSV* 3.500 *DWT* DAN *FLOATING PONTOON* DI TERMINAL KHUSUS PT. BADAK NGL, BONTANG	Ir. DYAH IRIANI W, M.Sc Ir. FUDDOLY, M.Sc	BAYU ARGO NUSANTORO 3112100097	POTONGAN B - B *TRESTLE*	13	20
					SATUAN = SENTIMETER	
					SKALA = 1 : 400	

"Halaman ini sengaja dikosongkan"



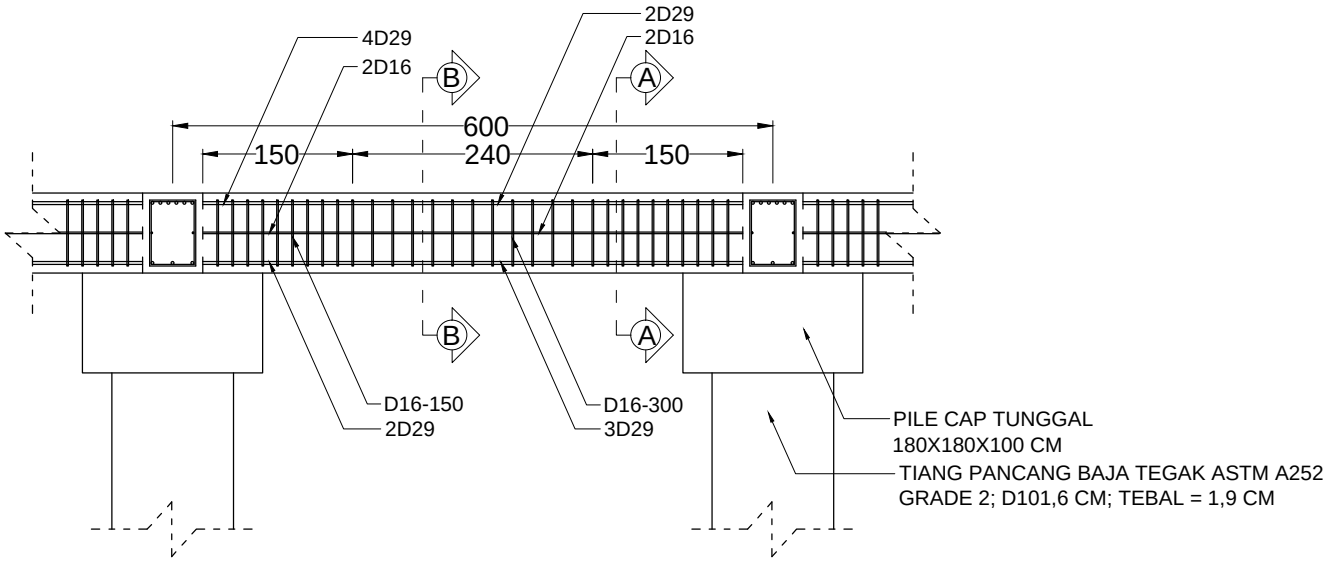
Penulangan Pelat Trestle
SKALA 1:400



Detail B
SKALA 1:200

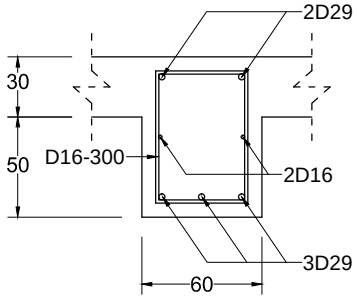
JURUSAN TEKNIK SIPIL FAKULTAS TEKNIK SIPIL DAN PERENCANAAN INSTITUT TEKNOLOGI SEPULUH NOPEMBER	TUGAS AKHIR - RC14-1501	DOSEN PEMBIMBING	MAHASISWA	JUDUL GAMBAR	GAMBAR KE-	DARI
	PERENCANAAN DERMAGA UNTUK KAPAL *MPSV/PSV* 3.500 *DWT* DAN *FLOATING PONTOON* DI TERMINAL KHUSUS PT. BADAK NGL, BONTANG	Ir. DYAH IRIANI W, M.Sc Ir. FUDDOLY, M.Sc	BAYU ARGO NUSANTORO 3112100097	PENULANGAN PELAT *TRESTLE*	14	20
					SATUAN = SENTIMETER	
					SKALA = 1 : 400	

"Halaman ini sengaja dikosongkan"



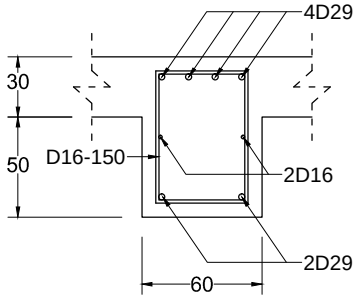
Penulangan Balok Melintang Trestle

SKALA 1:75



Potongan B - B

SKALA 1:37,5

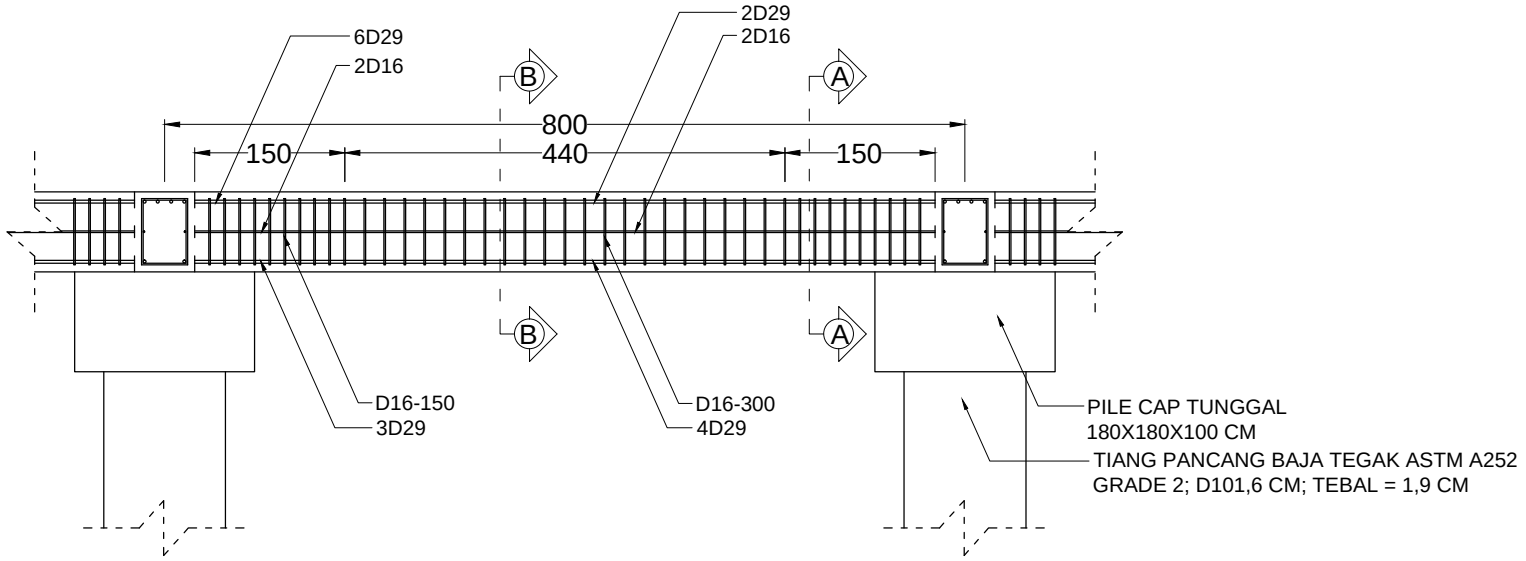


Potongan A - A

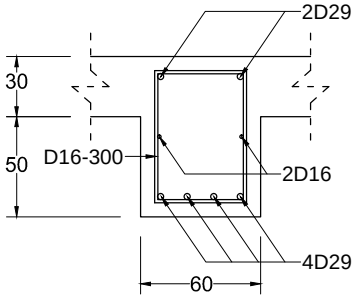
SKALA 1:37,5

JURUSAN TEKNIK SIPIL FAKULTAS TEKNIK SIPIL DAN PERENCANAAN INSTITUT TEKNOLOGI SEPULUH NOPEMBER	TUGAS AKHIR - RC14-1501	DOSEN PEMBIMBING	MAHASISWA	JUDUL GAMBAR	GAMBAR KE-	DARI
	PERENCANAAN DERMAGA UNTUK KAPAL *MPSV/PSV* 3.500 *DWT* DAN *FLOATING PONTOON* DI TERMINAL KHUSUS PT. BADAK NGL, BONTANG	Ir. DYAH IRIANI W, M.Sc Ir. FUDDOLY, M.Sc	BAYU ARGO NUSANTORO 3112100097	PENULANGAN BALOK MELINTANG *TRESTLE*	15	20
					SATUAN = SENTIMETER	
					SKALA = 1 : 75	

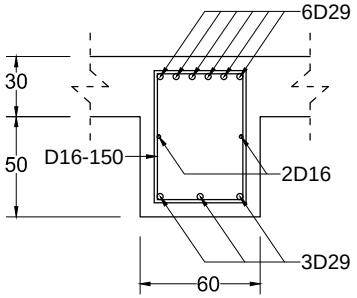
"Halaman ini sengaja dikosongkan"



Penulangan Balok Memanjang Trestle
SKALA 1:75



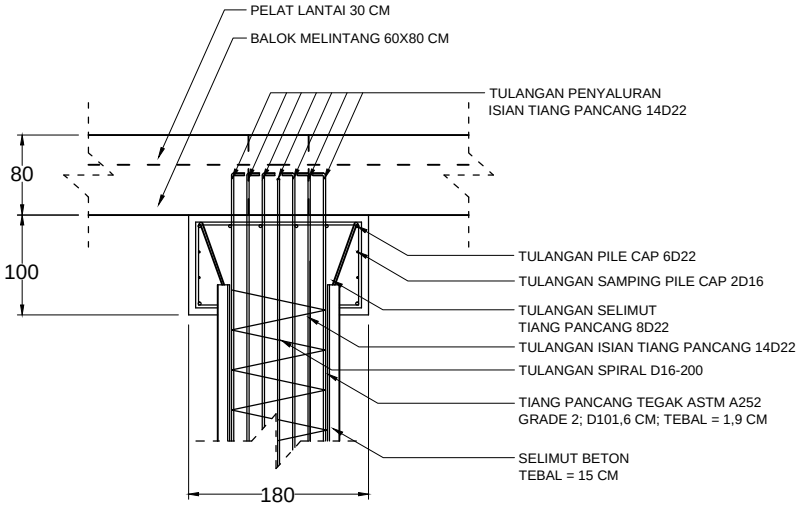
Potongan B - B
SKALA 1:37,5



Potongan A - A
SKALA 1:37,5

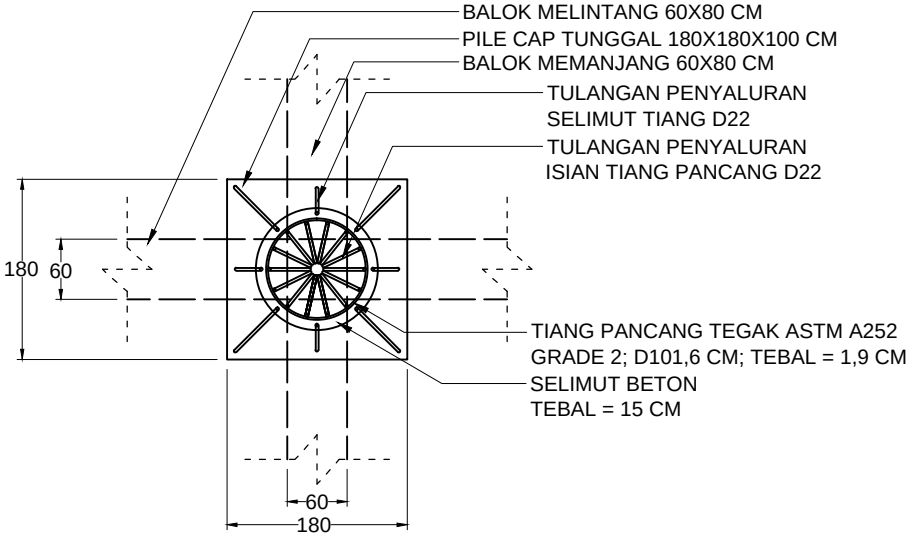
JURUSAN TEKNIK SIPIL FAKULTAS TEKNIK SIPIL DAN PERENCANAAN INSTITUT TEKNOLOGI SEPULUH NOPEMBER	TUGAS AKHIR - RC14-1501	DOSEN PEMBIMBING	MAHASISWA	JUDUL GAMBAR	GAMBAR KE-	DARI
	PERENCANAAN DERMAGA UNTUK KAPAL *MPSV/PSV* 3.500 *DWT* DAN *FLOATING PONTOON* DI TERMINAL KHUSUS PT. BADAK NGL, BONTANG	Ir. DYAH IRIANI W, M.Sc Ir. FUDDOLY, M.Sc	BAYU ARGO NUSANTORO 3112100097	PENULANGAN BALOK MEMANJANG *TRESTLE*	16	20
					SATUAN = SENTIMETER	
					SKALA = 1 : 75	

"Halaman ini sengaja dikosongkan"



Penulangan Pile Cap Tunggal Trestle

SKALA 1:75

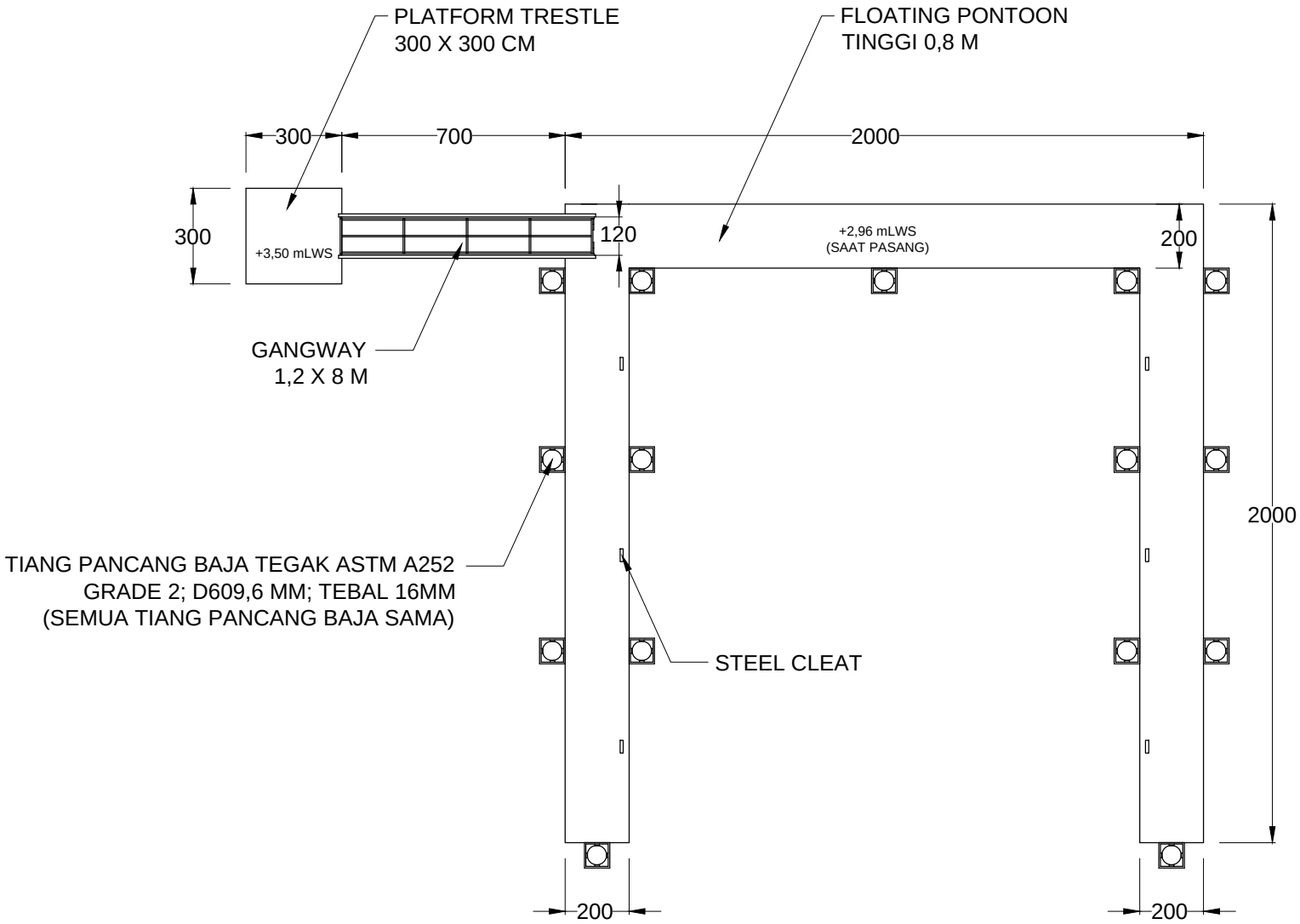


Potongan A - A

SKALA 1:75

JURUSAN TEKNIK SIPIL FAKULTAS TEKNIK SIPIL DAN PERENCANAAN INSTITUT TEKNOLOGI SEPULUH NOPEMBER	TUGAS AKHIR - RC14-1501	DOSEN PEMBIMBING	MAHASISWA	JUDUL GAMBAR	GAMBAR KE-	DARI
	PERENCANAAN DERMAGA UNTUK KAPAL *MPSV/PSV* 3.500 *DWT* DAN *FLOATING PONTOON* DI TERMINAL KHUSUS PT. BADAK NGL, BONTANG	Ir. DYAH IRIANI W, M.Sc Ir. FUDDOLY, M.Sc	BAYU ARGO NUSANTORO 3112100097	PENULANGAN *PILE CAP* TUNGGAL *TRESTLE*	17	20
					SATUAN = SENTIMETER	
					SKALA = 1 : 75	

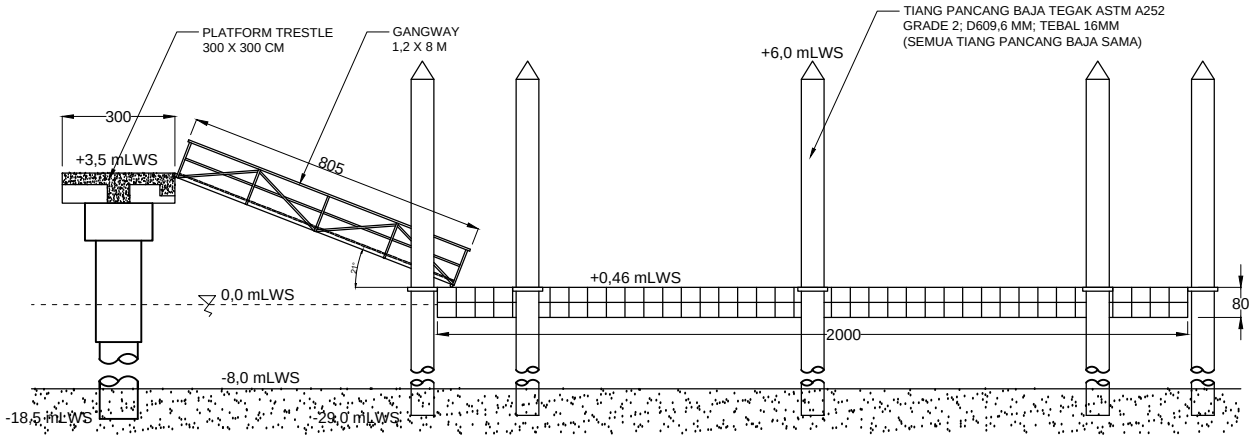
"Halaman ini sengaja dikosongkan"



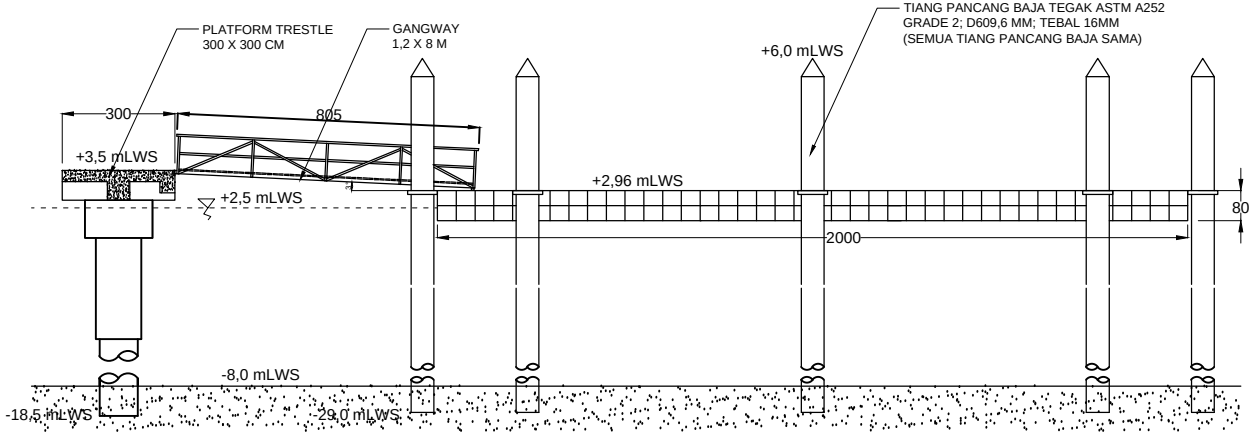
Layout Floating Pontoon dan Gangway
SKALA 1:200

JURUSAN TEKNIK SIPIL FAKULTAS TEKNIK SIPIL DAN PERENCANAAN INSTITUT TEKNOLOGI SEPULUH NOPEMBER	TUGAS AKHIR - RC14-1501	DOSEN PEMBIMBING	MAHASISWA	JUDUL GAMBAR	GAMBAR KE-	DARI
	PERENCANAAN DERMAGA UNTUK KAPAL *MPSV/PSV* 3.500 *DWT* DAN *FLOATING PONTOON* DI TERMINAL KHUSUS PT. BADAK NGL, BONTANG	Ir. DYAH IRIANI W, M.Sc Ir. FUDDOLY, M.Sc	BAYU ARGO NUSANTORO 3112100097	*LAYOUT FLOATING PONTOON* DAN *GANGWAY*	18	20
					SATUAN = SENTIMETER	
					SKALA = 1 : 200	

"Halaman ini sengaja dikosongkan"



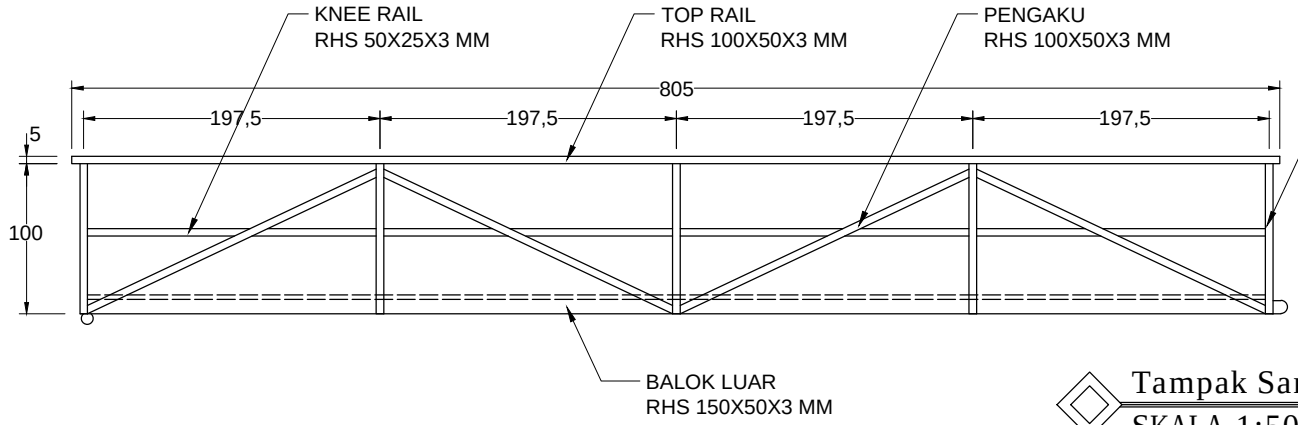
Tampak Melintang Pontoon Saat Air Surut
SKALA 1:200



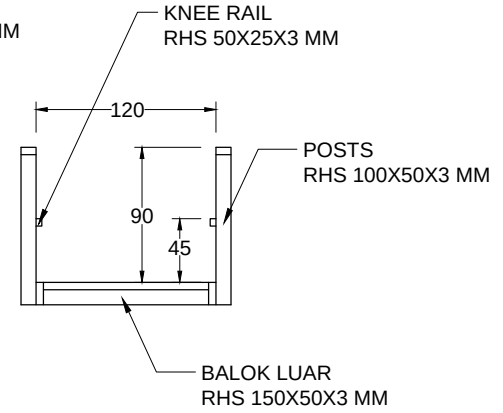
Tampak Melintang Pontoon Saat Air Pasang
SKALA 1:200

JURUSAN TEKNIK SIPIL FAKULTAS TEKNIK SIPIL DAN PERENCANAAN INSTITUT TEKNOLOGI SEPULUH NOPEMBER	TUGAS AKHIR - RC14-1501	DOSEN PEMBIMBING	MAHASISWA	JUDUL GAMBAR	GAMBAR KE-	DARI
	PERENCANAAN DERMAGA UNTUK KAPAL *MPSV/PSV* 3.500 *DWT* DAN *FLOATING PONTOON* DI TERMINAL KHUSUS PT. BADAK NGL, BONTANG	Ir. DYAH IRIANI W, M.Sc Ir. FUDDOLY, M.Sc	BAYU ARGO NUSANTORO 3112100097	TAMPAK MELINTANG *FLOATING PONTOON* DAN *GANGWAY*	19	20
					SATUAN = SENTIMETER	
					SKALA = 1 : 200	

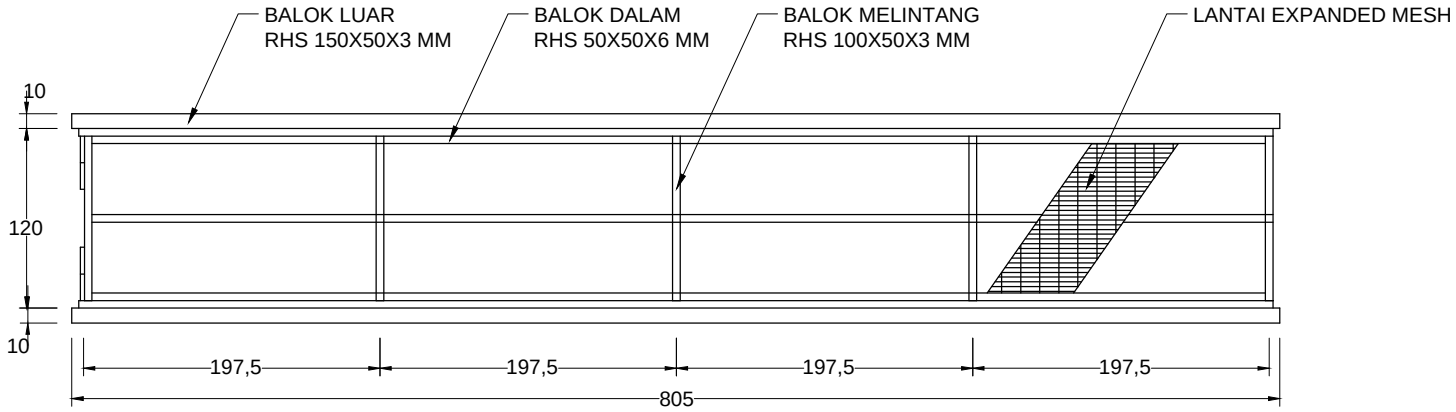
"Halaman ini sengaja dikosongkan"



Tampak Samping Gangway
SKALA 1:50



Tampak Depan Gangway
SKALA 1:50



Tampak Atas Gangway
SKALA 1:50

JURUSAN TEKNIK SIPIL FAKULTAS TEKNIK SIPIL DAN PERENCANAAN INSTITUT TEKNOLOGI SEPULUH NOPEMBER	TUGAS AKHIR - RC14-1501	DOSEN PEMBIMBING	MAHASISWA	JUDUL GAMBAR	GAMBAR KE-	DARI
	PERENCANAAN DERMAGA UNTUK KAPAL *MPSV/PSV* 3.500 *DWT* DAN *FLOATING PONTOON* DI TERMINAL KHUSUS PT. BADAK NGL, BONTANG	Ir. DYAH IRIANI W, M.Sc Ir. FUDDOLY, M.Sc	BAYU ARGO NUSANTORO 3112100097	DETAIL *GANGWAY*	20	20
					SATUAN = SENTIMETER	
					SKALA = 1 : 50	

"Halaman ini sengaja dikosongkan"

Form AK/TA-04

PROGRAM S-1 JURUSAN TEKNIK SIPIL FTSP - ITS

LEMBAR KEGIATAN ASISTENSI TUGAS AKHIR (WAJIB DIISI)

Jurusan Teknik Sipil lt.2, Kampus ITS Sukolilo, Surabaya 601111
Telp.031-5946094, Fax.031-5947284 rev01

NAMA PEMBIMBING	: Ir. DYAH IRIANI W, M.Sc.
NAMA MAHASISWA	: BAYU ARGO N
NRP	: 3112100097
JUDUL TUGAS AKHIR	: PERENCANAAN DERMAGA UNTUK KAPAL MPSV/PSV 3.500 DWT
	DAN FLOATING PONTOON, DI BONTANG
TANGGAL PROPOSAL	: 19 JANUARI 2016
NO. SP-MMTA	: 025377

NO	TANGGAL	KEGIATAN		PARAF ASISTEN
		REALISASI	RENCANA MINGGU DEPAN	
1.	23/3 16	Bab I	Perbaiki Diagram	
		Bab II	Selesai data	
		Bab III	Selesai data	
2.	4/4 16	Bab II	Perbaiki Bab II	
			Bab IV	
3	11/4 16	Bab III, IV	Perbaiki & Lanjutkan	
4	14/5 16	Bab V	Perbaikan Bab V	
5	8/6 16	Bab VI	Perbaikan Bab V, VII	

"Halaman ini sengaja dikosongkan"

PROGRAM S-1 JURUSAN TEKNIK SIPIL FTSP - ITS

LEMBAR KEGIATAN ASISTENSI TUGAS AKHIR (WAJIB DIISI)

Jurusan Teknik Sipil lt.2, Kampus ITS Sukolilo, Surabaya 601111
Telp.031-5946094, Fax.031-5947284 rev01

Form AK/TA-04

NAMA PEMBIMBING	: Ir. DYAH IRIANI W, M.SC.
NAMA MAHASISWA	: BAYU ARGO N
NRP	: 3112 100 097
JUDUL TUGAS AKHIR	: PERENCANAAN DERMAGA UNTUK KAPAL MPSV / PSV 3500 DWT
	DAN FLOATING PONTOON, DI BONTANG
TANGGAL PROPOSAL	: 19 JANUARI 2016
NO. SP-MMTA	: 025377

NO	TANGGAL	KEGIATAN		PARAF ASISTEN
		REALISASI	RENCANA MINGGU DEPAN	
6	3/10 16	BAB VII	ok	
7	14/11 16	BAB VIII	ok	
8	13/12 16	Lampiran Gambar	ok	
9	28/12 16	Gambar	ok	

"Halaman ini sengaja dikosongkan"

BIODATA PENULIS

Penulis lahir di Madiun, 22 Juli 1993, merupakan anak pertama dari dua bersaudara. Penulis telah menempuh pendidikan formal di SDN Magetan 1, SMPN 1 Magetan, dan SMAN 2 Madiun. Setelah lulus dari SMAN 2 Madiun penulis melanjutkan pendidikan di Institut Teknologi Sepuluh Nopember melalui jalur SNMPTN. Penulis diterima di Jurusan Teknik Sipil ITS pada tahun 2012 dengan NRP 3112100097.

Di Jurusan Teknik Sipil ini penulis mengambil bidang studi transportasi khususnya pelabuhan. Penulis pernah aktif di berbagai organisasi dan kegiatan mahasiswa baik di luar maupun di dalam kampus. Penulis dapat dihubungi melalui email berikut, bayu.argo.n@gmail.com.

"Halaman ini sengaja dikosongkan"