

PERANCANGAN STRUKTUR DERMAGA CURAH KERING NEW BLC DENGAN KONSTRUKSI BETON PRACETAK DI KALIORANG, KUTAI TIMUR, PROVINSI KALIMATAN TIMUR

*Structure Design of New BLC Dry Bulk Dolphin Berth with Precast Concrete
Construction at Kaliorang, Kutai Timur, Kalimantan Timur*

Pradita Aprilia Restiani¹ dan Sri Murti Adiyastuti²

Program Studi Teknik Kelautan
Fakultas Teknik Sipil dan Lingkungan
Institut Teknologi Bandung
Jl. Ganesha 10 Bandung 40132

praditaaprilial@gmail.com dan adiyastuti@ocean.itb.ac.id

Abstrak: Indonesia adalah salah satu produsen dan eksportir batubara terbesar di dunia. Berkaitan dengan permintaan global yang meningkat, pemerintah Indonesia menargetkan untuk meningkatkan produksi dan ekspor batubara. Oleh karena itu, dibutuhkan infrastruktur yang memadai untuk transportasi batubara. Salah satu infrastruktur tersebut adalah pelabuhan, termasuk di dalamnya struktur dermaga. Salah satu produsen dan eksportir batubara di Indonesia adalah PT Indexim Coalindo, yang memiliki lokasi tambang di Kaliorang, Kalimantan Timur, berencana untuk mengembangkan fasilitas pelabuhan yang dimilikinya untuk meningkatkan ekspor.

Pada Tugas Akhir ini akan dibahas perancangan struktur dermaga pada Pengembangan Pelabuhan dan Pembangunan Dermaga New BLC yang melayani komoditas batubara dengan struktur dermaga *dolphin* bertipe *deck on pile*. Dermaga yang didesain terdiri dari tiga komponen struktur utama, yaitu *loading platform*, *breasting dolphin*, dan *mooring dolphin*.

Tahapan awal dalam perancangan dermaga ini adalah pengumpulan data sekunder yang berupa data lingkungan dan data operasional dermaga. Pengolahan data dilakukan untuk mendapatkan angka desain sebagai dasar *preliminary design* dari dermaga. Struktur dermaga harus kuat menahan beban-beban yang bekerja, baik beban akibat pengaruh lingkungan di laut maupun akibat operasi di pelabuhan seperti kapal yang berlabuh dan aktivitas muat yang melibatkan alat berat.

Setelah didapatkan dimensi struktur dermaga dan elemen struktural dermaga dari *preliminary design*, pemodelan struktur dermaga dilakukan dengan bantuan perangkat lunak. Pemodelan struktur untuk mengetahui kehandalan struktur rencana terhadap beban yang bekerja. Hasil dari pemodelan berupa *unity check ratio* (UCR), defleksi struktur, gaya dalam, serta reaksi perletakan elemen struktural dermaga.

Gaya dalam elemen struktural dermaga yang didapatkan dari hasil pemodelan dijadikan dasar untuk melakukan penulangan elemen struktural dermaga. Kemudian, khusus untuk bagian struktur atas *loading platform*, elemen struktural dermaga didesain kembali dengan menggunakan beton pracetak karena terdapat banyak keuntungan dari penggunaan beton pracetak. Perancangan elemen struktural dengan beton pracetak ini meliputi analisis desain kondisi pengangkatan, analisis desain kondisi instalasi dan analisis desain tumpuan. Elemen pracetak harus didesain sedemikian rupa sehingga dapat menjadi satu struktur dermaga yang monolit ketika disatukan.

Tahapan terakhir adalah perhitungan daya dukung tanah untuk mengetahui kedalaman rencana pemancangan dari tiang pancang sehingga mampu menahan reaksi perletakan struktur berdasarkan data geoteknik yang tersedia.

Hasil dari Tugas Akhir ini adalah dimensi struktur dermaga yang terdiri dari *loading platform*, *breasting dolphin*, dan *mooring dolphin*, dimensi elemen struktural dermaga, detail penulangan, dimensi serta detail komponen beton pracetak pada *loading platform*, dan kedalaman tiang pancang.

Kata Kunci: Dermaga, Dolphin, Curah Kering, Batu Bara, Beton Pracetak

Abstract: Indonesia is one of the largest coal producers and exporters in the world. Regarding coal global demands, the Indonesian government aims to increase coal production and export. Thus, the infrastructure for coal transportation is needed. One of the requisite infrastructures is port, including the berthing structure. As one of the companies that engaged in the coal mining sector, PT Indexim Coalindo is planning to develop its port facilities to increase export. PT Indexim Coalindo's quarry located at Kaliorang, Kutai Timur, Kalimantan Timur.

This bachelor thesis deals with the structural design of Port Development and Construction of the New BLC Dry Bulk Dolphin Berth with a deck on pile structure. The dolphin structure consists of three main structural components, namely loading platform, breasting dolphin, and mooring dolphin.

The initial stage of designing this berth structure is collecting and processing the secondary data that consists of environmental data and port operational data. The results of the process will be used for preliminary design. Preliminary design of the berth consists of dimensions, horizontal and vertical load from environment condition, and operational activities.

Then, structural modelling is done by structural analysis software to determine the reliability of the plan structure against the workload. The results of the modelling are unity check ratio (UCR), structural deflection, internal force, and the base reaction of the berth structural elements.

The value of the internal forces will be used to design the reinforcement bar of the concrete elements. Then, only for loading platform upper structure, the structural elements will be redesigned using precast concrete elements due to the many advantages of the precast method construction. To design with precast concrete, there are three analyses that must be conducted. They are analysis in lifting condition, installation condition, and support condition. The precast element must be designed in such a way so it can become a monolithic structure when put together with other elements.

The last step is the calculation of soil friction capacity and end bearing capacity to determine the depth of the pile erection so it is able to withstand the base reactions based on available geotechnical data.

The final results of this bachelor thesis are the dimension of dolphin berth structure, dimension of structural elements, detail design of reinforcement bar, dimension of precast concrete elements for loading platform structure, and the depth of pile erection.

Keyword: Berth, Dolphin, Dry Bulk, Coal, Precast Concrete

PENDAHULUAN

Indonesia adalah salah satu produsen dan eksportir batubara terbesar di dunia. Kantong-kantong cadangan batu bara Indonesia ditunjukkan pada **Gambar 1**. Adanya tren peningkatan permintaan batu bara dan untuk mengonversi dolar AS tambahan dari penjualan bahan bakar ke dalam rupiah, pemerintah Indonesia menargetkan untuk meningkatkan nilai produksi dan ekspor batubara.



Gambar 1 Kantong-kantong cadangan batu bara di Indonesia

Untuk mengakomodir kebutuhan ekspor batubara, dibutuhkan sarana dan prasarana yang memadai dalam transportasi batubara dari lokasi tambang ke negara tujuan ekspor.

Atas dasar hal tersebut, timbul urgensi untuk mengembangkan fasilitas logistik berbasis moda angkutan laut, yaitu infrastruktur pelabuhan, termasuk di dalamnya struktur dermaga. Salah satu produsen dan eksportir batubara di Indonesia adalah PT Indexim Coalindo, yang memiliki lokasi tambang di Kaliorang, Kalimantan Timur, berencana untuk mengembangkan fasilitas pelabuhan yang dimilikinya untuk meningkatkan ekspor.

Pada Tugas Akhir ini akan dibahas perancangan struktur dermaga pada Pengembangan Pelabuhan dan Pembangunan Dermaga New BLC yang melayani komoditas batubara dengan struktur dermaga *dolphin* bertipe *deck on pile*. Dermaga yang didesain terdiri dari tiga komponen struktur utama, yaitu *loading platform*, *breasting dolphin*, dan *mooring dolphin*.

Struktur dermaga harus kuat menahan beban-beban yang bekerja, baik beban akibat pengaruh lingkungan di laut

maupun akibat operasi di pelabuhan seperti kapal yang berlabuh dan aktivitas muat yang melibatkan alat berat.

Hasil dari Tugas Akhir meliputi rancangan dermaga meliputi dimensi struktur, dimensi elemen struktural dermaga, detail penulangan berdasarkan gaya dalam, dimensi beton pracetak yang digunakan, analisis kekuatan beton pracetak saat dilakukan proses konstruksi seperti pengangkatan dan instalasi, serta kedalaman rencana pemancangan tiang pancang yang mampu menahan reaksi struktur berdasarkan data geoteknik yang tersedia.

TEORI DAN METODOLOGI

Hal yang pertama dilakukan pada metodologi pengerjaan Tugas Akhir ini adalah mengumpulkan studi literatur. Setelah itu, melakukan pengumpulan data-data sekunder yang terdiri dari data lapangan dan data lingkungan.

Dari setiap data lingkungan yang diolah dan operasional yang didapat, akan menghasilkan gaya-gaya yang bekerja pada struktur dermaga, baik gaya horizontal maupun vertikal.

Beban horizontal dermaga terdiri dari beban *berthing*, *mooring*, gelombang, arus dan gempa. Beban *berthing* dan *mooring* yang sudah ada akan ditinjau kembali berdasarkan kode desain *British Standard*. Beban *berthing* dapat dihitung dengan menggunakan **Persamaan (1)**.

$$E_N = 0.5C_M M_D (V_B)^2 C_E C_S C_C \quad (1)$$

- E : Energi *berthing* (kNm)
- C_M : Koefisien massa hidrodinamik
- M_D : Massa *displacement* kapal (ton)
- V_B : Kecepatan kapal berlabuh (m/s)
- C_E : Koefisien eksentrisitas
- C_S : Koefisien *softness*
- C_C : Koefisien konfigurasi *berthing*

Beban *mooring* akibat angin dapat dihitung dengan menggunakan **Persamaan (2)**.

$$F_{TW} = C_{TW} \rho_A A_L V_W^2 \times 10^{-4} \quad (2)$$

$$F_{LW} = C_{LW} \rho_A A_L V_W^2 \times 10^{-4}$$

F_{TW} : Gaya angin transversal (kN)
 F_{LW} : Gaya angin longitudinal (kN)
 C_{TW} : Koefisien angin transversal
 C_{LW} : Koefisien angin longitudinal
 ρ_A : Massa jenis angin (kg/m³)
 A_L : Area proyeksi kapal (m²)
 V_W : Kecepatan angin desain (m/s)

Beban *mooring* akibat arus dapat dihitung dengan menggunakan **Persamaan (3)**.

$$F_{TC} = C_{TC} C_{CT} \rho L_{BP} d_m V_C^2 \times 10^{-4} \quad (3)$$

$$F_{LC} = C_{LC} C_{CL} \rho L_{BP} d_m V_C^2 \times 10^{-4}$$

F_{TC} : Gaya arus transversal (kN)
 F_{LC} : Gaya arus longitudinal (kN)
 C_{TC} : Koefisien arus transversal
 C_{LC} : Koefisien arus longitudinal
 C_{CT} : Koreksi kedalaman transversal
 C_{CL} : Koreksi kedalaman longitudinal
 ρ : Massa jenis air laut (kg/m³)
 L_{BP} : Panjang garis air kapal (m)
 d_m : Draft rata-rata kapal (m)
 V_C : Kecepatan arus (m/s)

Beban horizontal lainnya berupa beban lingkungan berupa gaya gelombang dan gaya arus, serta gaya gempa ditentukan dengan menggunakan spektral gempa.

Kemudian, beban vertikal dermaga terdiri dari beban mati, beban mati *superimposed*, beban hidup operasional dermaga, seperti beban manusia, muatan batu bara, dan kendaraan inspeksi.

Berdasarkan kriteria desain dari perhitungan beban-beban yang bekerja juga akan didapat dimensi rencana dermaga. Sementara itu, orientasi dermaga tidak masuk ke dalam ruang lingkup pembahasan dalam Tugas Akhir ini.

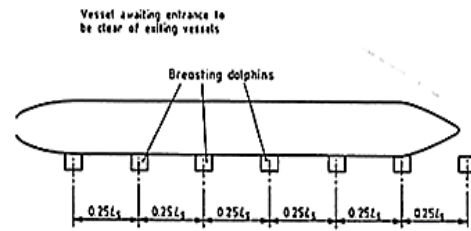
Dimensi umum dari sebuah dermaga adalah elevasi dermaga, dimensi *loading platform*, *breasting dolphin*, dan *mooring dolphin*, serta *layout* keseluruhan.

Elevasi dermaga dihitung dengan menggunakan **Persamaan (4)**.

$$H_D = HWS + 0.5H_s + F_B \quad (4)$$

Sementara, untuk dimensi dermaga dan *layout* ditentukan berdasarkan aturan *British Standard* mengenai dermaga *dolphin* dan juga kegiatan operasional dermaga.

Jarak antar *breasting dolphin* diatur tidak boleh lebih dari 0,25 dari panjang terluar kapal rencana terkecil, seperti pada **Gambar 2**.

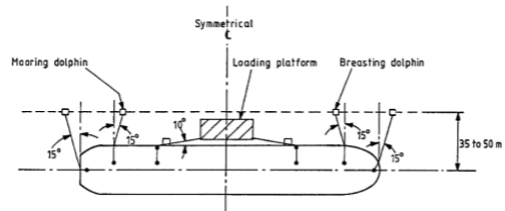


Gambar 2 Syarat jarak antar *breasting dolphin*

Untuk konfigurasi tali tambat kapal diatur pada **Tabel 1** dan **Gambar 3**.

Tabel 1 Sudut tali *mooring*

Jenis <i>mooring lines</i>	Sudut tambat
<i>Breast lines</i>	90° ± 30°
<i>Spring lines</i>	5°-10°
<i>Head and stern lines</i>	45° ± 15°



Gambar 3 Panjang dan sudut optimum tali *mooring* dermaga *dolphin*

Preliminary design juga dapat dilakukan dengan memperhitungkan beban-beban pada dermaga. Proses *preliminary design* mengacu pada PBI 1971 dan juga Standar Nasional Indonesia. Setelah didapatkan dimensi elemen struktural dermaga, dilakukan pemodelan struktur dermaga menggunakan perangkat lunak SAP2000.

Output dari pemodelan adalah nilai *unity check ratio* (UCR), defleksi, gaya dalam, dan reaksi perletakan. Gaya dalam digunakan untuk melakukan tahapan penulangan balok, *pile cap*, dan pelat pada komponen struktur.

Penulangan elemen struktur terdiri dari penulangan lentur dan geser. Prinsip dari tulangan lentur adalah nilai kapasitas tahanan atau momen nominalnya yang sudah dikalikan faktor reduksi harus lebih besar daripada nilai momen *ultimate* yang diterima oleh penampang beton, seperti yang ditunjukkan di **Persamaan (5)**.

$$\phi M_n \geq M_u \quad (5)$$

ϕ : Faktor reduksi
 M_n : Momen nominal (kN)
 M_u : Momen ultimit (kN)

Prinsip dari tulangan geser adalah kapasitas tahanan atau kuat geser nominalnya setelah dikalikan faktor reduksi harus lebih besar daripada gaya geser yang diterima penampang beton, seperti yang ditunjukkan di **Persamaan (6)**.

$$\phi V_n = \phi(V_c + V_s) \geq V_u \quad (6)$$

ϕ : Faktor reduksi
 V_n : Kuat geser nominal (kN)
 V_u : Gaya geser ultimit (kN)
 V_s : Kapasitas sengkang (kN)
 V_c : Kuat geser beton (kN)

Selain itu, akan dianalisis juga kekuatan geser terhadap kegagalan *punching shear*. *Punching shear* adalah jenis kegagalan pada struktur beton akibat beban yang besar yang terkonsentrasi terhadap dimensi elemen beton. Untuk desain *punching shear*, diasumsikan kapasitas geser terpusat sepenuhnya ditahan oleh beton. Nilai V_c yang diambil merupakan nilai yang terkecil dari **Persamaan (7), (8), dan (9)**.

$$V_{c1} = \left(1 + \frac{2}{\beta_c}\right) \frac{\sqrt{f'_c} b_o d_o}{6} \quad (7)$$

$$V_{c2} = \left(\frac{\alpha_s d}{b_o} + 2\right) \frac{\sqrt{f'_c} b_o d_o}{12} \quad (8)$$

$$V_{c3} = \frac{1}{3} \sqrt{f'_c} b_o d_o \quad (9)$$

β_c : Rasio antara panjang pelat
 f'_c : Kuat mutu beton (MPa)

b_o : Keliling bidang geser (mm)
 d_o : Kedalaman *centroid* (mm)
 α_s : Faktor letak elemen
: 40 (kolom dalam)
: 30 (kolom tepi)
: 20 (kolom sudut)

Pada perancangan dermaga ini, untuk struktur atas *loading platform* didesain dengan menggunakan beton pracetak karena keunggulan dari konstruksi beton pracetak.

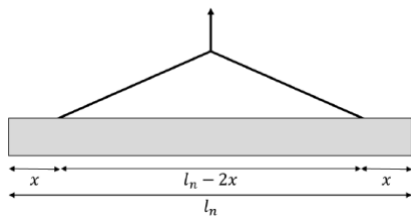
Kelebihan beton pracetak adalah sebagai berikut:

1. Bentuk panel beton yang variatif.
2. Pemasangan yang mudah.
3. Setiap panel beton memiliki kekuatan yang sama.
4. Tidak tergantung cuaca.
5. Hemat waktu dan mengurangi polusi.
6. Dapat diberikan bahan tambahan.

Namun, proses konstruksi dengan menggunakan beton pracetak juga harus memperhatikan kekuatan beton ketika proses konstruksi dermaga karena adanya perbedaan perlakuan antara beton cor (*cast in situ*) dan beton pracetak.

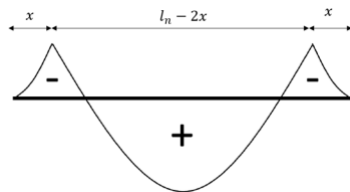
Oleh karenanya, perlu dilakukan perhitungan kembali terhadap dimensi elemen struktural *loading platform* sebagai komponen beton pracetak dan juga akan diperhitungkan momen yang terjadi pada elemen-elemen beton pracetak pada saat pengangkatan dan instalasi. Kemudian, akan didapatkan desain beton-beton pracetak yang sesuai sehingga tidak terjadi kegagalan ketika pengangkatan maupun instalasi termasuk saat elemen-elemen beton pracetak dicor dengan komponen struktural dermaga lainnya sehingga menjadi struktur yang monolit. Selain itu, kondisi tumpuan juga harus dicek karena adanya kemungkinan retak akibat geser di tumpuan.

Pada kondisi pengangkatan (*lifting*) beban yang bekerja adalah berat sendiri elemen beton pracetak yang ditumpu oleh angkur pengangkatan. Elemen balok pracetak diangkat pada dua titik dengan menggunakan *crane*, seperti yang ditunjukkan pada **Gambar 4**.



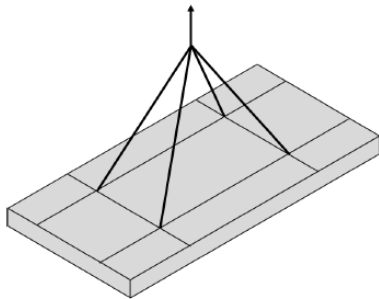
Gambar 4 Ilustrasi titik pengangkatan balok pracetak

Momen yang terjadi di sepanjang bentang balok pracetak saat kondisi pengangkatan ditunjukkan pada **Gambar 5**.



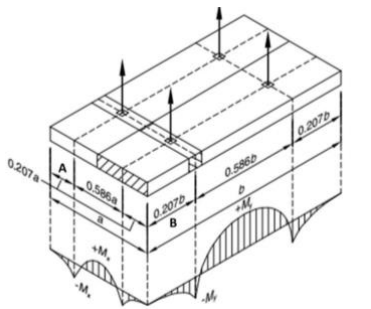
Gambar 5 Momen pada balok pracetak saat kondisi pengangkatan

Sementara untuk pelat, pada kondisi pengangkatan (*lifting*) beban yang bekerja adalah berat sendiri elemen beton pracetak yang diangkat pada empat titik dengan menggunakan *crane*, seperti yang ditunjukkan pada **Gambar 6**.



Gambar 6 Ilustrasi titik pengangkatan pelat pracetak

Momen yang terjadi pada balok pracetak saat kondisi pengangkatan ditunjukkan pada **Gambar 7**.



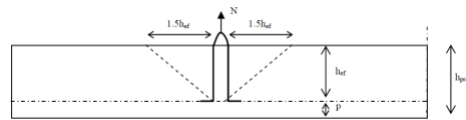
Gambar 7 Momen pada pelat pracetak saat kondisi pengangkatan

Setelah melakukan perhitungan beban *ultimate* yang bekerja saat kondisi pengangkatan dan penentuan lokasi titik angkat balok, maka akan dilakukan analisis kebutuhan tulangan lentur sementara untuk mengakomodir momen negatif yang terjadi pada elemen dengan membandingkan nilai $\phi M_n > M_{u(-)}$, dengan nilai $M_{u(-)}$ dikalikan faktor kejut pengangkatan sebesar 1,5.

Kemudian angkur pengangkatan didesain dengan kriteria kekuatan tulangan baja angkat satuan (*single anchor*) (N_{sa}) harus lebih besar dari gaya tarik yang bekerja pada tulangan angkat (N_n). Kondisi ini dapat dilihat di **Persamaan (10)**.

$$N_n \leq N_{sa} \quad (10)$$

Ilustrasi angkur ditunjukkan pada **Gambar 8**.

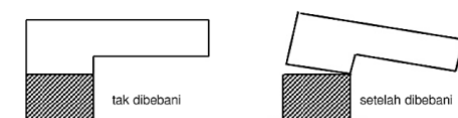


Gambar 8 Pengukuran beton pracetak

Kemudian, pada kondisi instalasi, beban-beban yang bekerja adalah berat sendiri elemen beton pracetak dan beban elemen beton pracetak yang ditumpu di atasnya. Dalam kondisi ini elemen beton pracetak ditinjau terhadap kekuatan lentur dan kebutuhan penghubung geser akibat beban-beban yang berkerja.

Pada saat terpasang, elemen pracetak akan menahan beban sendiri dan beban elemen yang ditumpu di atasnya. Dalam kondisi instalasi hanya terjadi momen positif.

Elemen dianalisis dengan tumpuan terletak bebas karena sambungan pada tiap elemen belum monolit dan dapat diasumsikan diletakkan begitu saja di atas elemen di bawahnya, seperti yang ditunjukkan di **Gambar 9**.



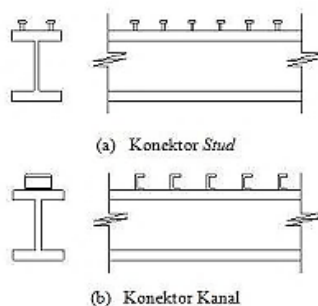
Gambar 9 Ilustrasi tumpuan terletak bebas

Setelah mendapatkan nilai momen maksimum yang terjadi pada kondisi instalasi, kapasitas lentur dari tulangan bawah yang telah didesain sebelumnya harus dicek dengan membandingkannya dengan nilai momen *ultimate* terfaktor.

Pelat didesain dengan metode *half slab* dimana sebagian pelat menggunakan beton pracetak dan sebagian lagi dicor, maka perlu didesain penghubung geser atau *shear connection* untuk menahan geser yang terjadi antara bidang pertemuan pelat pracetak bagian atas dengan bagian pelat yang di cor di tempat (*cast in situ*).

Gaya geser horizontal yang timbul antara pelat pracetak dan pelat *cast in situ* selama pembebanan harus ditahan agar penampang komposit bekerja secara monolit untuk menjamin adanya lekatan antara dua komponen tersebut.

Terdapat dua jenis penghubung geser yang umumnya digunakan, yaitu tipe paku dan tipe kanal. Ilustrasi dari kedua jenis penghubung geser ini ditunjukkan pada **Gambar 10**.



Gambar 10 Ilustrasi penghubung geser jenis paku

Penghubung geser yang dibutuhkan dihitung dengan membagi gaya geser yang terjadi akibat elemen komposit dibagi kapasitas geser dari penghubung geser **Persamaan (11)**.

$$n = \frac{V_h}{Q_n} \quad (11)$$

n : Jumlah penghubung geser
 V_h : Gaya geser akibat komposit (N)
 Q_n : Kapasitas penghubung geser (N)

Pada saat balok atau pelat pracetak diletakkan pada tumpuan ada kemungkinan terjadinya retak akibat geser pada bagian ujung tumpuannya. Tumpuan elemen pracetak ditinjau terhadap kekuatan nominal tumpuan. Besarnya gaya reaksi pada tumpuan harus lebih kecil daripada kekuatan nominal tumpuan seperti yang ditunjukkan di **Persamaan (12)**.

$$V_u \leq B_n = f_c A_l \quad (12)$$

V_u : Gaya reaksi di tumpuan (N)
 B_n : Kuat nominal tumpuan (N)
 f_c : Tegangan izin beton
 $= 0.33 f'_c$ (MPa)
 A_l : Luas tumpuan (mm²)

Terdapat dua hal yang ditinjau dalam analisis tumpuan, yakni tegangan tumpu dan tegangan geser pada tumpuan. Kedua parameter tersebut harus lebih kecil dari tegangan izin tumpuan dan tegangan geser izin tumpuan.

Tahapan selanjutnya adalah perhitungan daya dukung tanah. Dari data tanah akan didapat daya dukung tanah yang harus dicek apakah memadai untuk menanggung reaksi perletakan dari struktur atau tidak dengan nilai daya dukung tanah dirumuskan pada **Persamaan (13)**.

$$Q_{all} = \frac{Q_u}{FS} \quad (13)$$

dimana,

Q_{all} : Daya dukung izin tiang pancang
 Q_u : Kapasitas aksial tiang pancang
 FS : Faktor keamanan

Jika kapasitas izin tiang tidak memenuhi maka perbaikan yang harus dilakukan adalah memperdalam pemancangan tiang pancang.

Proses pengerjaan Tugas Akhir ini dianggap selesai apabila didapat kesimpulan bahwa daya dukung tanah, penulangan struktur, analisis pracetak, dan pemodelan struktur memenuhi semua kriteria yang ada.

HASIL DAN ANALISIS

A. DATA SEKUNDER

Data sekunder yang digunakan terdiri dari data lingkungan, karakteristik kapal, dan operasional.

a. Data Lingkungan

Setelah melakukan pengolahan data di antaranya didapatkan hasil sebagai berikut:

- Pasang Surut

Didapatkan nilai tunggang pasut sebesar 2,268 m dengan rincian elevasi-elevasi penting ditampilkan pada **Tabel 2**.

Tabel 2 Elevasi penting pasang surut

Elevasi-elevasi Penting	Nilai (cm)
Highest Water Spring (HWS)	141,88
Mean High Water Spring (MHWS)	124,83
Mean High Water Level (MHWL)	66,78
Mean Sea Level (MSL)	0,00
Mean Low Water Level (MLWL)	-67,98
Mean Low Water Spring (MLWS)	-105,28
Lowest Water Spring (LWS)	-124,90

- Arus

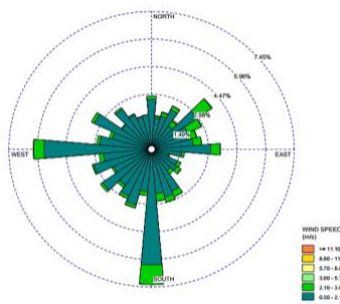
Kecepatan arus didapatkan dari BMKG dengan nilai arus dominan disajikan pada **Tabel 3**.

Tabel 3 Kecepatan arus maksimum arah dominan

Arah Datang Arus	Kecepatan Arus (cm/s)
Utara (N)	3,68
Timur Laut (NE)	5,50
Tenggara (SE)	3,97

- Angin

Kecepatan angin didapatkan dari NOAA dengan *windrose* disajikan pada **Gambar 11**.



Gambar 11 Windrose sepuluh tahun pada lokasi tinjauan

Dari data tersebut, dilakukan analisis ekstrim dan didapat kecepatan angin desain sebesar 12,15 m/s untuk arah datang dari selatan.

- Gelombang

Gelombang didapatkan dari *hindcasting* dari data angin. Kemudian, dilakukan analisis ekstrim nilai $H_s = 1,41$ m/s untuk gelombang dari arah selatan ke utara. Selanjutnya, dilakukan pemodelan transformasi gelombang dengan perangkat lunak SMS (*Surface-Water Modelling System*) dan didapatkan nilai tinggi gelombang setelah penjalaran ke pantai sebesar 1,22 m/s dengan periode 9,79 s.

- Tanah

Data tanah didapatkan dari survei geoteknik yang dilakukan oleh PT Zekon Indonesia. Dari pengklasifikasian situs didapatkan bahwa pada lokasi tersebut termasuk ke dalam situs tanah lunak.

b. Data Karakteristik Kapal

Data karakteristik kapal rencana ditunjukkan pada **Tabel 4**.

Tabel 4 Data karakteristik kapal

Parameter	Handysize Bulk 12.000 DWT	Bulk Carrier 10.000 DWT
M_D	14.150 ton	13.000 ton
L_{0A}	142,65 m	123,30 m
L_{BP}	139,43 m	118,30 m
<i>Beam</i>	15,87 m	15,85 m
<i>Draught</i>	7,729 m	7,661 m
<i>Freeboard</i>	3,051 m	2,799 m

c. Data Operasional

Data operasional berupa alat ditunjukkan di **Tabel 5**.

Tabel 5 Data alat operasional

<i>Conveyor Belt</i>	
Berat per meter, termasuk belt	63 kg
Berat <i>driving</i> dan <i>tension section</i>	170 kg
Berat <i>throw-off carriage</i>	380 kg
<i>Conveyor Ship Loader</i>	
Kapasitas	2 x 40 TPH
Berat	2 x 270 ton
Kendaraan Inspeksi Ford F-150 Raptor	
Berat	2,85 ton

B. PEMBEBANAN DAN AKSESORIS

Setelah dilakukan perhitungan beban-beban yang bekerja pada dermaga sesuai dengan metodologi pada Tugas Akhir ini, didapatkan beban-beban yang bekerja pada struktur dermaga disajikan pada **Tabel 6**.

Tabel 6 Beban pada dermaga

Beban Berthing	
Energi Berthing (E_R)	650 kNm
Tipe fender	SCN 1200 E1.0
Reaksi fender (R_R)	1045 kN
Dimensi panel fender	2,5 m × 3 m
Jarak antar fender	30 m
Beban Mooring	
Head/stern lines BD	x = 98,85 kN y = 49,07 kN z = 191,15 kN
Spring lines BD	x = 14,41 kN y = 109,42 kN z = 191,15 kN
Breast lines BD	x = 110,36 kN y = 0 kN z = 191,15 kN
Head lines MD	x = 53,34 kN y = 96,62 kN z = 191,15 kN
Tipe bollard	Tee bollard 22,5 ton
Beban Superimposed	
Beban sistem fender	37,72 kN
Beban bollard	1,076 kN
Beban ship loader	5297,4 kN
Beban conveyor belt	6,014 kN/m
Beban Hidup	
Beban manusia	5 kN/m ²
Beban kendaraan inspeksi	BTR = 9 kN/m ² BGT = 49 kN/m

Untuk beban gelombang dihitung dengan otomatis dengan *input* tinggi gelombang 1,22 m/s dan periode 10 s, juga teori gelombang yang dipilih adalah Airy. Arus juga dapat secara otomatis dihitung sebagai *current profile* dengan *input* kecepatan arus 0,05 m/s.

Untuk beban gempa didapatkan nilai percepatan tanah $S_s = 0,6$ g dan percepatan

tanah $S_I = 0,25$ g . Spektrum respon sebagai yang ditunjukkan pada **Gambar 12**.



Gambar 12 Grafik spektrum respons gempa

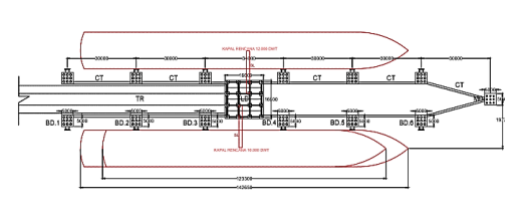
Kombinasi pembebanan yang digunakan adalah ULS (*Ultimate Limit State*), yaitu kombinasi pembebanan yang mempengaruhi stabilitas seluruh konstruksi dan kapasitas untuk tiap elemen struktur dan SLS (*Serviceability Limit State*), yaitu kombinasi pembebanan yang mempengaruhi *durability* dan *operability* dari struktur.

C. LAYOUT DERMAGA

Dimensi dermaga ditunjukkan oleh **Tabel 7**, sedangkan *layout* dari dermaga ditunjukkan pada **Gambar 13**.

Tabel 7 Dimensi dermaga

Parameter	Dimensi
Elevasi dermaga	+4,00 m
Loading Platform	16,6 m × 16,6 m
Breasting Dolphin	5 m × 5 m
Mooring Dolphin	5 m × 5 m
Jarak antar dolphin	30 m



Gambar 13 Layout Dermaga

Sementara itu, untuk dimensi elemen struktural dermaga dilakukan *preliminary design* untuk dijadikan *input* pada pemodelan.

D. PEMODELAN

Pemodelan dilakukan dengan menggunakan hasil *preliminary design* sebagai nilai iterasi awal pemodelan. Dilakukan serangkaian pemodelan hingga didapatkan hasil optimum.

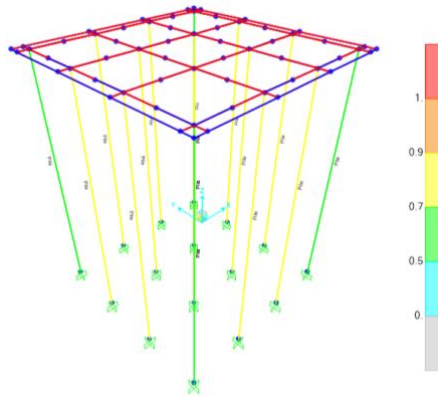
Jenis material yang digunakan untuk pemodelan ditunjukkan di **Tabel 8**.

Tabel 8 Jenis material yang digunakan

Jenis Material	Parameter	Nilai
Baja	ρ	76.973 kN/m ³
	F_y	240 MPa
	F_u	415 Mpa
Beton	ρ	23.544 kN/m ³
	f'_c	35 Mpa

(a) Loading Platform

Hasil pemodelan *loading platform* berupa nilai UCR berkisar pada 0,67 – 0,84 yang ditunjukkan pada **Gambar 14**.



Gambar 14 UCR di *loading platform*

Nilai defleksi maksimum tiang pancang *loading platform* ditunjukkan pada **Tabel 9**.

Tabel 9 Defleksi tiang pancang *loading platform*

Pile	Tipe Beban	Load Combo	Arah	Defleksi (cm)	Ket.
6	Tetap	ULS4A*	U1	0,25	OK
6	(izin = 4,1 cm)	ULS4A*	U2	0,26	OK
87	Sementara	ULS5	U1	8,67	OK
87	(izin=10,4 cm)	ULS5	U2	8,66	OK
Catatan: ULS4A* adalah <i>load combination</i> ULS4A dengan menonaktifkan beban hidup yang bekerja dalam waktu yang relatif sementara pada struktur <i>loading platform</i> .					

Untuk nilai lendutan maksimum balok ditunjukkan pada **Tabel 10**.

Tabel 10 Lendutan balok *loading platform*

Balok	Load Combo	Arah	Defleksi izin (cm)	Defleksi (cm)	Ket.
161-1	ULS2	U3	1,04	0,704	OK

Gaya dalam elemen struktural *loading platform* ditunjukkan pada **Tabel 11** dan **Tabel 12**.

Tabel 11 Gaya dalam balok *loading platform*

No. Frame	V2 (kN)	M3 (kN)	Load Combo	Ket.
146	521,22	-293,66	ULS2	V2 Max (+)
149	-521,22	-293,66	ULS2	V2 Max (-)
180	-388,18	-385,73	ULS5	M3 Max (-)
180	22,60	386,12	ULS2	M3 Max (+)

ULS2: Beban mati, beban hidup
ULS5: Beban mati, beban hidup, beban gempa
ULS7: Beban mati, beban gempa

Tabel 12 Gaya dalam pelat *loading platform*

No. AreaSec.	M11 (kN)	M22 (kN)	Load Combo	Ket.
28	-26,765	-15,296	ULS5	M11 Max (-)
25	21,979	22,016	ULS7	M11 Max (+)
28	-16,543	-34,304	ULS5	M22 Max (-)
25	21,979	22,016	ULS7	M22 Max (+)

ULS5: Beban mati, beban hidup, beban gempa
ULS7: Beban mati, beban gempa

Reaksi perletakan struktur *loading platform* disajikan pada **Tabel 13**.

Tabel 13 Reaksi perletakan *loading platform*

No. Frame	Reaksi Perletakan (kN)	Load Combo	Ket.
133	1747,005	ULS2	Maksimum
128	292,518	ULS7	Minimum

ULS2: Beban mati, beban hidup
ULS7: Beban mati, beban gempa

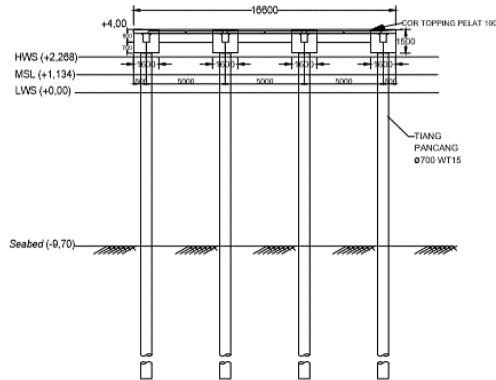
Dimensi elemen struktural hasil optimasi ditunjukkan pada **Tabel 14**.

Tabel 14 Dimensi *loading platform*

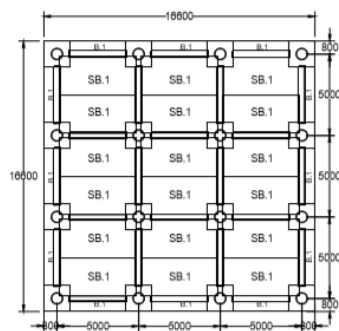
No	Dimensi	Nilai
1	Tebal pelat	250 mm
2	Tinggi balok	800 mm
3	Lebar balok	400 mm
4	Fixity point	7 m dari dasar laut
5	Diameter pile	700 mm

No	Dimensi	Nilai
6	Tebal <i>pile</i>	15 mm
7	Jarak antar <i>pile</i>	5 m
8	Dimensi <i>pile cap</i>	1,6 m × 1,6 m × 1,5 m

Ilustrasi *loading platform* ditunjukkan pada **Gambar 15** dan **Gambar 16**.



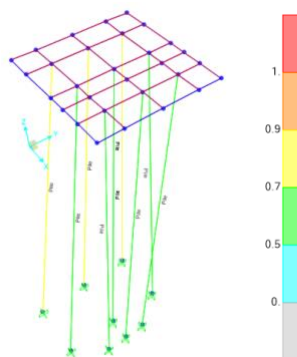
Gambar 15 Tampak samping *loading platform*



Gambar 16 Tampak atas *loading platform*

(b) *Breasting Dolphin*

Hasil pemodelan *breasting dolphin* berupa nilai UCR berkisar pada 0,60 – 0,85 yang ditunjukkan pada **Gambar 17**.



Gambar 17 UCR di *breasting dolphin*

Nilai defleksi maksimum tiang pancang *breasting dolphin* ditunjukkan pada **Tabel 15**.

Tabel 15 Defleksi tiang pancang *breasting dolphin*

Pile	Tipe Beban	Load Combo	Arah	Defleksi (cm)	Ket.
11	Tetap	ULS1	U1	1,55	OK
11	izin = 4,1 cm	ULS1	U2	0,06	OK
20	Sementara	ULS2	U1	6,06	OK
13	izin=10,4 cm	ULS5	U2	1,16	OK

Reaksi perletakan struktur *breastng dolphin* disajikan pada **Tabel 16**.

Tabel 16 Reaksi perletakan *breasting dolphin*

No. Frame	Reaksi Perletakan (kN)	Load Combo	Ket.
13	1967,565	ULS2	Maksimum
20	-1101,204	ULS2	Minimum

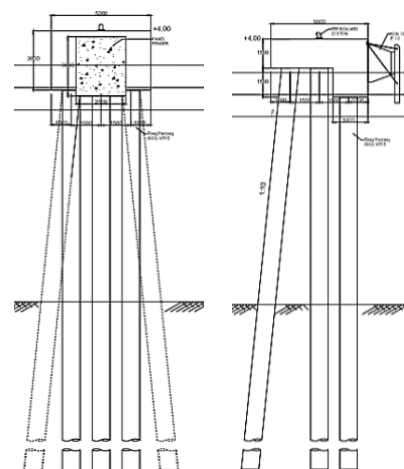
ULS2: Beban mati, beban hidup

Dimensi elemen struktural hasil optimasi ditunjukkan pada **Tabel 17**.

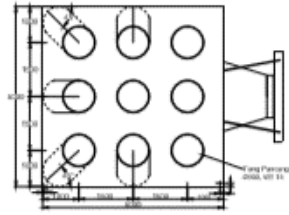
Tabel 17 Dimensi elemen *breasting dolphin*

No	Dimensi	Nilai
1	Dimensi <i>pile cap</i> dengan <i>plank fender</i>	5 m × 5 m × 3 m
2	Dimensi <i>pile cap</i> tanpa <i>plank fender</i>	5 m × 5 m × 1,5 m
3	<i>Fixity point</i>	7 m dari dasar laut
4	Diameter <i>pile</i>	900 mm
5	Tebal <i>pile</i>	15 mm

Ilustrasi *breasting dolphin* ditunjukkan pada **Gambar 18** dan **Gambar 19**.



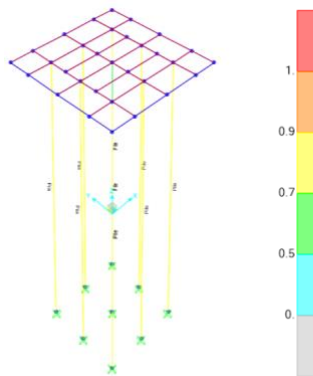
Gambar 18 Tampak samping dan depan *breasting dolphin*



Gambar 19 Tampak atas breasting dolphin

(c) Mooring Dolphin

Hasil pemodelan *mooring dolphin* berupa nilai UCR berkisar pada 0,71 – 0,89 yang ditunjukkan pada



Gambar 20 UCR di *mooring dolphin*

Nilai defleksi maksimum tiang pancang *mooring dolphin* ditunjukkan pada Tabel 18.

Tabel 18 Defleksi tiang pancang *mooring dolphin*

Pile	Tipe Beban	Load Combo	Arah	Defleksi (cm)	Ket.
8	Tetap	SLS3	U1	2,81	OK
8	(izin = 4,1 cm)	ULS4B*	U2	0,27	OK
21	Sementara	ULS5	U1	5,94	OK
21	(izin=10,4 cm)	ULS5	U2	5,61	OK

Catatan:
ULS4B* adalah *load combination* ULS4B dengan menonaktifkan beban hidup manusia dan beban gempa yang bekerja dalam waktu yang relatif sementara pada struktur *mooring dolphin*.

Reaksi perletakan struktur *mooring dolphin* disajikan pada Tabel 19.

Tabel 19 Reaksi perletakan *mooring dolphin*

No. Frame	Reaksi Perletakan (kN)	Load Combo	Ket.
4	680,564	ULS7	Maksimum
4	-436,097	ULS5	Minimum

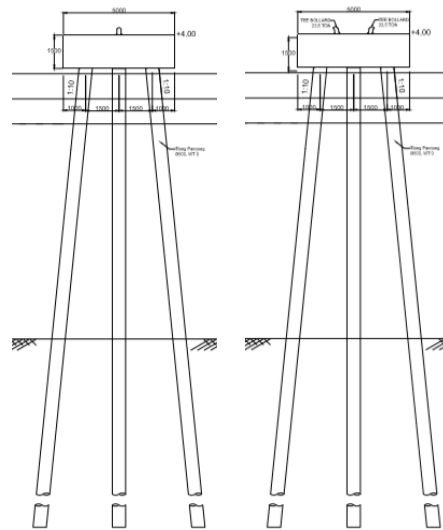
ULS5: Beban mati, beban hidup, beban gempa
ULS7: Beban mati, beban gempa

Dimensi elemen struktural hasil optimasi ditunjukkan pada Tabel 20.

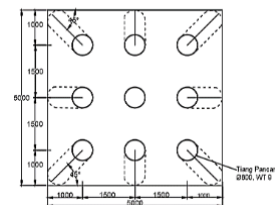
Tabel 20 Dimensi elemen *mooring dolphin*

No	Dimensi	Nilai
1	Dimensi <i>pile cap</i> dengan <i>plank fender</i>	5 m × 5 m × 1,5 m
2	<i>Fixity point</i>	7 m dari dasar laut
3	Diameter <i>pile</i>	600 mm
4	Tebal <i>pile</i>	9 mm

Ilustrasi *mooring dolphin* ditunjukkan pada Gambar 21 dan Gambar 22.



Gambar 21 Tampak samping dan depan *mooring dolphin*



Gambar 22 Tampak atas *mooring dolphin*

E. PENULANGAN

Mutu beton yang digunakan adalah beton dengan $f'_c = 35$ MPa dan tegangan leleh tulangan baja $f_y = 400$ MPa.

(a) Loading Platform

Balok (5000 mm × 400 mm × 800 mm)

- Selimut beton : 65 mm
- Tulangan Lentur : 5D25
- Tulangan Lentur Atas : 5D25
- Tulangan Pinggang : D10
- Tulangan Sengkang : D10-10

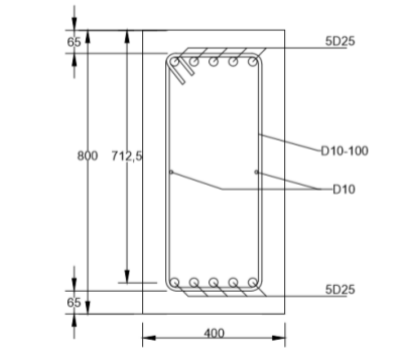
Pelat (5000 mm × 5000 mm × 250 mm)

- Selimut beton : 50 mm
- Tulangan Lentur : D13, spasi
Bawah Arah x 160 mm
- Tulangan Lentur : D13, spasi
Atas Arah x 160 mm
- Tulangan Lentur : D13, spasi
Bawah Arah y 160 mm
- Tulangan Lentur : D13, spasi
Atas Arah y 160 mm

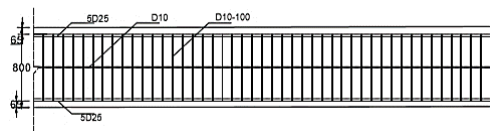
Pile Cap (1600 mm × 1600 mm × 1500 mm)

- Selimut beton : 100 mm
- Tulangan Lentur : D19, spasi
Bawah 130 mm
- Tulangan Lentur : D19, spasi
Atas 130 mm
- Tulangan Dowel : 10D22,
perpanjangan 400 mm
- Tulangan Spiral : D13, spasi 45 mm

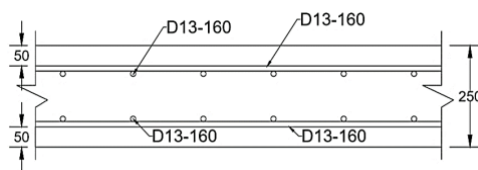
Ilustrasi penulangan elemen struktural pada *loading platform* ditunjukkan pada **Gambar 23**, **Gambar 24**, **Gambar 25**, dan **Gambar 26**.



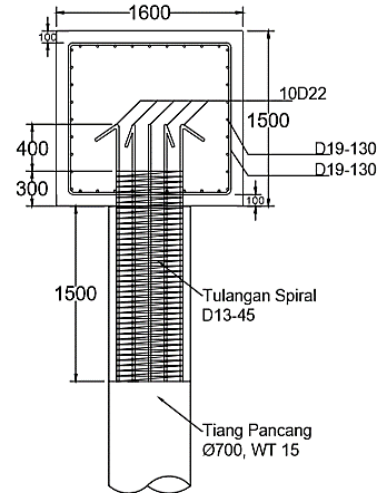
Gambar 23 Detail penulangan potongan balok *loading platform*



Gambar 24 Detail penulangan tampak samping balok *loading platform*



Gambar 25 Detail penulangan pelat *loading platform*



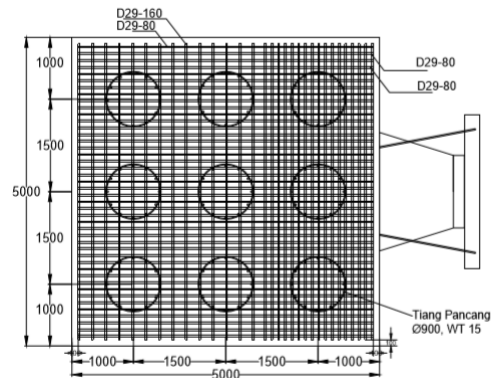
Gambar 26 Detail penulangan *pile cap loading platform*

(b) *Breasting Dolphin*

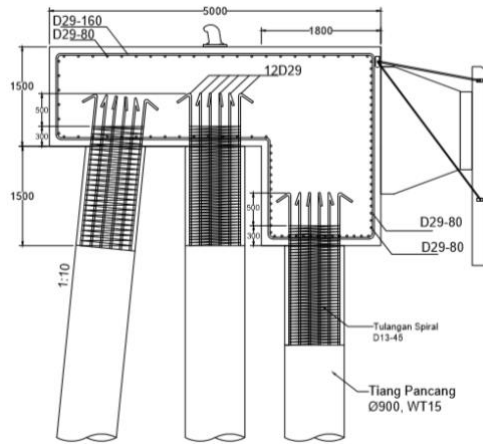
Pile Cap Breasting Dolphin

- Selimut beton : 100 mm
- Tulangan Lentur : D29, spasi 80 mm
Bawah (sisi *plank fender*)
- Tulangan Lentur : D29, spasi 80 mm
Atas (sisi *plank fender*)
- Tulangan Lentur : D29, spasi 160 mm
Bawah
- Tulangan Lentur : D29, spasi 160 mm
Bawah
- Tulangan Dowel : 12D29,
perpanjangan 500 mm
- Tulangan Spiral : D13, spasi 45 mm

Ilustrasi penulangan elemen struktural pada *breasting dolphin* ditunjukkan pada **Gambar 27** dan **Gambar 28**.



Gambar 27 Detail penulangan *pile cap breasting dolphin* tampak atas



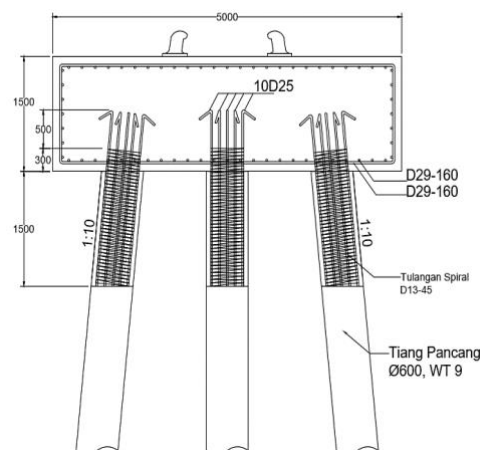
Gambar 28 Detail penulangan *pile cap breasting dolphin* tampak samping

(c) Mooring Dolphin

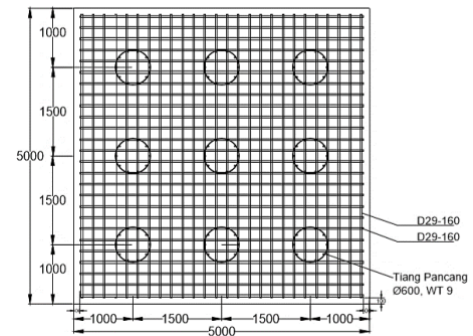
Pile Cap Mooring Dolphin

- Selimut beton : 100 mm
- Tulangan Lentur : D29, spasi 160 mm
- Tulangan Lentur : D29, spasi 160 mm
- Tulangan Dowel : 10D25, perpanjangan 500 mm
- Tulangan Spiral : D13, spasi 45 mm

Ilustrasi penulangan elemen struktural pada *mooring dolphin* ditunjukkan pada **Gambar 30** dan **Gambar 29**.



Gambar 29 Detail penulangan *pile cap mooring dolphin* tampak samping



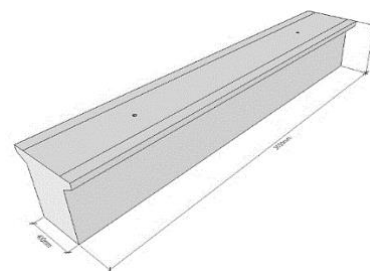
Gambar 30 Detail penulangan *pile cap mooring dolphin* tampak atas

F. PERENCANAAN PRACETAK

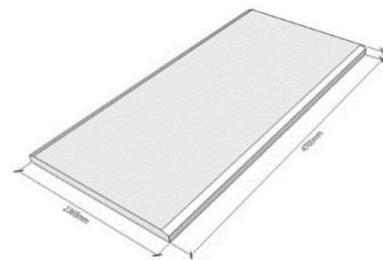
Dimensi elemen pracetak untuk struktur atas *loading platform* ditunjukkan pada **Tabel 21** dan diilustrasikan oleh **Gambar 31** dan **Gambar 32**.

Tabel 21 Dimensi elemen pracetak

Elemen Pracetak	Dimensi (mm)		
	Panjang	Lebar	Tinggi (Tebal)
Balok	3550	400	550
Pelat	4700	2365	150



Gambar 31 Balok pracetak



Gambar 32 Pelat pracetak

Untuk analisis kondisi pengangkatan, balok dan pelat tidak memerlukan tulangan pengangkatan bawah untuk menahan lentur, namun membutuhkan tulangan pengangkatan bagian atas. Elemen pracetak juga dihitung kebutuhan angkur pengangkatannya, untuk balok dipasang

angkur pada dua titik sementara pada pelat dipasang angkur pada empat titik. *Shear connector* juga dipasang pada bagian atas pelat. Detail penulangan elemen pracetak dijabarkan sebagai berikut:

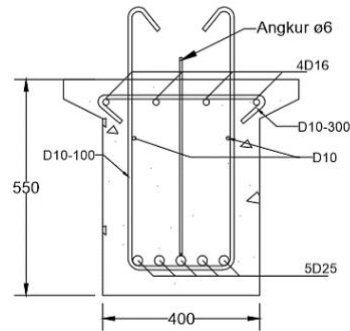
1) Balok

- Material beton, $f'_c = 35 \text{ MPa}$
- Dimensi = $3550 \text{ mm} \times 400 \text{ mm} \times 550 \text{ mm}$
- Tumpuan pada *pile cap* = 75 mm
- Tulangan lentur bawah = 5D25,
- Tulangan pinggang = D10
- Tulangan sengkang = D10-100
- Tulangan pengangkatan = 4D16
- Angkur pengangkatan = $\emptyset 6$

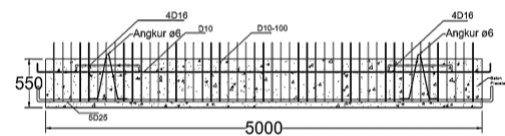
2) Pelat

- Material beton, $f'_c = 35 \text{ MPa}$
- Dimensi = $4700 \text{ mm} \times 2365 \text{ mm} \times 150 \text{ mm}$
- Tumpuan pada arah memanjang = 65 mm
- Tumpuan pada arah melintang = 50 mm
- Tulangan lentur sisi bawah $x = \text{D13}$, spasi = 160 mm
- Tulangan lentur sisi bawah $y = \text{D13}$, spasi = 160 mm
- Tulangan pengangkatan $x = 5\text{D10}$
- Tulangan pengangkatan $y = 5\text{D10}$
- Angkur pengangkatan = $\emptyset 6$
- Penghubung geser arah $x = \text{Tipe paku, D10-150}$
- Penghubung geser arah $y = \text{Tipe paku, D10-180}$

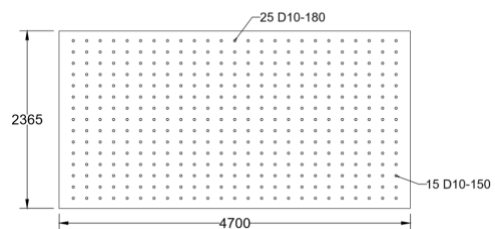
Ilustrasi potongan elemen pracetak ditunjukkan pada **Gambar 33** sampai dengan **Gambar 37**.



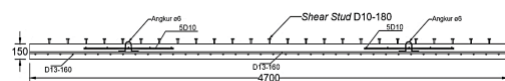
Gambar 33 Potongan melintang detail penulangan balok pracetak



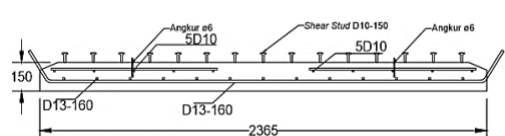
Gambar 34 Potongan memanjang detail penulangan balok pracetak



Gambar 35 Tampak atas pelat pracetak dengan *shear connector*



Gambar 36 Potongan memanjang detail penulangan pelat pracetak



Gambar 37 Potongan melintang detail penulangan pelat pracetak

KESIMPULAN DAN SARAN

Perancangan struktur dermaga curah kering yaitu Dermaga New BLC pada Tugas Akhir ini menghasilkan kesimpulan sebagai berikut:

1. Dermaga melayani operasi muat (*loading*) komoditas batu bara dengan kapal rencana terbesar berukuran 12.000 DWT (*Handysize Bulk Carrier*) dan kapal rencana yang lebih

kecil berukuran 10.000 DWT dengan tipe struktur dermaga yaitu dermaga *dolphin*, detail dan dimensi struktur dermaga dijelaskan sebagai berikut:

- *Loading platform* berukuran 16,6 m × 16,6 m
 - Enam buah *breasting dolphin* berukuran 5 m × 5 m
 - Satu buah *mooring dolphin* berukuran 5 m × 5 m
 - Elevasi lantai dermaga = +4,0 m dari LWS
 - Kedalaman dermaga = -9,7 m dari LWS
2. Dermaga dirancang untuk dapat menahan kombinasi beban yang bekerja di antaranya:
 - Berat sendiri struktur (*dead load*) yang terdiri dari elemen struktural yaitu tiang pancang, *pile cap*, pelat, dan balok.
 - Beban mati tambahan (*superimposed dead load*) dari fasilitas dermaga, yaitu *bollard*, sistem fender, *conveyor ship loader*, dan *conveyor belt*.
 - Beban hidup seperti beban kendaraan inspeksi, beban batu bara, dan beban manusia.
 - Beban akibat kapal berlabuh (*berthing load*).
 - Beban akibat tambatan kapal (*mooring*) yang disebabkan angin dan arus.
 - Beban lingkungan pada struktur dermaga yaitu beban arus, gelombang, dan gempa.
 3. Fasilitas struktur dermaga yang digunakan untuk menahan beban *mooring* akibat gaya arus dan gelombang dan beban *berthing* kapal terbesar (12.000 DWT), yaitu:
 - Fender
 - Jenis : SCN1200 E_{1.0}
 - Kapasitas : $E_R = 650 \text{ kN}$
 - Reaksi fender: $R_r = 1045 \text{ kN}$
 - Panel fender
 - Dimensi : 2,5 m × 3,0 m
 - Tipe layan : *Light duty*
 - Bollard
 - Jenis: *Tee-bollard* 22,5 ton (*Trellerborg Marine System*)
 - Fungsi tali : Dua buah *spring lines*, dua buah *breast lines*, satu buah *stern line*, satu buah *head line*, dan satu tambahan *head line*.
 4. Penulangan dilakukan berdasarkan gaya dalam hasil *output* pemodelan dan didapatkan hasil penulangan seperti yang dijabarkan pada bagian Penulangan, Hasil Dan Analisis.
 5. Elemen pracetak didesain untuk struktur atas *loading platform*, khususnya balok dan pelat. Balok pracetak memiliki dimensi 3550 mm × 400 mm × 550 mm dan pelat memiliki dimensi 4700 mm × 2365 mm × 150 mm. Proses konstruksi akan terdiri dari pengecoran *pile cap* tahap 1, peletakan balok pracetak di atas *pile cap*, pengecoran *pile cap* tahap 2 (setinggi balok pracetak), peletakan pelat pracetak di atas balok, pengecoran *topping* pelat *cast in situ* setinggi 100 mm. Detail perancangan elemen pracetak termasuk di dalamnya perencanaan tulangan pengangkatan, ankur, dan *shear connector* dijabarkan pada bagian Perencanaan Pracetak, Hasil Dan Analisis
 6. Kedalaman rencana pemancangan pondasi *loading platform* sesuai daya dukung yang dibutuhkan yaitu 37 m dari dasar laut.
 7. Kedalaman rencana pemancangan pondasi *breasting dolphin* sesuai daya dukung yang dibutuhkan yaitu 32,5 m dari dasar laut.
 8. Kedalaman rencana pemancangan pondasi *mooring dolphin* sesuai daya

dukung yang dibutuhkan yaitu 20,5 m dari dasar laut.

Adapun saran dalam pengerjaan Tugas Akhir ini adalah sebagai berikut:

1. Perlu analisis lebih lanjut mengenai keluaran gaya dalam berupa momen pelat dua arah pada perangkat lunak untuk menganalisis pelat satu arah yang digunakan pada pelat pracetak.
2. Perlu dianalisis kedalaman angkur yang ditanam pada elemen beton pracetak dengan formula yang sesuai sehingga gaya tarik yang bekerja pada angkur lebih kecil dari kekuatan pecah beton akibat tarik dan angkur dapat memikul beban akibat pengangkatan yang terjadi.
3. Perlu didesain shear connector khusus pelat beton, karena perhitungan pada Tugas Akhir ini masih menggunakan shear connector untuk elemen baja komposit yang mana lebih mahal dibandingkan kebutuhan pada elemen pelat beton.

REFERENSI

- Adisyastuti, Sri Murti. *Slide Mata Kuliah Beton Bertulang*. Bandung: ITB.
- Badan Standardisasi Nasional. 2016. *SNI 1725:2016 Pembebanan untuk Jembatan*. Jakarta: BSN.
- British Standard. (1994). *BS 6349-4 Code of Practice for Design of Fendering and Mooring System*. London: BSI.
- British Standard. (2000). *BS 6349-1 Code of Practice for General Criteria*. London: BSI.
- British Standard. (2010). *BS 6349-2 Code of practice for the design of Quay Wall, Jetties, and Dolphin*. London: BSI.
- Das, Braja M. 2011. *Principles of Foundation Engineering*. Stamford: CENGAGE Learning.

Fentek Marine System GmbH. 2010. *Fentek Marine Fendering System*. Rigmare.

Imran, Iswandi dan Ediansjah Zulkifli. 2014. *Perencanaan Dasar Struktur Beton Bertulang*. Bandung: Penerbit ITB.

Institute, Precast/Prestressed Concrete. 2010. *PCI Design handbook 7th Edition*.

Nasional, Badan Standardisasi. 2012. *SNI 7833:2012 Tata Cara Perancangan Beton Pracetak dan Prategang untuk Bangunan Gedung*. Jakarta: BSN.

Panitia Pembaharuan Peraturan Beton Bertulang 1971. 1971. *Peraturan Beton Bertulang Indonesia 1971*. Bandung: Departemen Pekerjaan Umum dan Tenaga Listrik.

Thoresen, Carl A. 2014. *Port Designers Handbook*. London: ICE Publishing.

Triatmodjo, Bambang. 2010. *Perencanaan Pelabuhan*. Yogyakarta: Beta Offset.

US Army Corps of Engineer. 1984. *Shore Protection Manual*. Washington D.C.: US Army Corps of Engineer.

Wight, James K. dan James G. MacGregor. 2012. *Reinforced Concrete Mechanics and Design*. New Jersey: Pearson Education, Inc.

—. 2012. *SNI 1726:2012 Perancangan Bangunan Tahan Gempa*. Jakarta: BSN.

—. 2015. *SNI 1729:2015 Spesifikasi Bangunan Baja Struktural*. Jakarta: BSN.

—. 2013. *SNI 2847:2013 Tata Cara Perhitungan Struktur Beton untuk Bangunan Gedung*. Jakarta: BSN.