DESAIN STRUKTUR ATAS DERMAGA *LIQUID BERTH II* DENGAN BETON PRACETAK PADA *MAGTYMGULY GAS RECYCLING DEVELOPMENT PROJECT* DI LAUT KASPIA

Upper Structure Design of Liquid Berth II with Precast Concrete at Magtymguly Gas Recycling Development Project in Caspian Sea

David Mahardika Widyanto[1] dan Sri Murti Adiyastuti[2]
Program Studi Teknik Kelautan
Fakultas Teknik Sipil dan Lingkungan
Institut Teknologi Bandung
Jl. Ganesha 10 Bandung 40132
[1]davidmahardikawidyanto@gmail.com dan [2]adiyastuti@ocean.itb.ac.id

Abstrak: LNG (Liquefied Natural Gas) adalah gas alam cair yang diproses untuk menghilangkan hidrokarbon dan pengotor yang dikondensasi menjadi cairan. LNG ini adalah solusi dari menipisnya sumber energi minyak bumi. Bongkar muat LNG memerlukan fasilitas khusus yang dibangun pada dermaga. *Magtymguly Gas Recycling Development Project* pada Laut Kaspia, Turkmenistan yang diusut pihak Petronas ini menggunakan dermaga tipe *dolphin* sebagai sarana bongkar muat LNG. Beban dermaga ini terdiri dari beban horizontal dan beban vertikal yang terjadi akan ditinjau kembali dengan menggunakan acuan dari *british standard*. Dimensi dan beban dermaga dimodelkan menggunakan SAP2000 untuk mendapatkan output nilai *Unity Check Ratio* yang optimum sehingga bisa didapatkan nilai gaya dalam untuk elemen balok, pelat dan pile cap. Nilai gaya dalam ini digunakan untuk desain penulangan. Dermaga *liquid berth II* akan dilanjutkan desain untuk analisis beton pracetak di *loading platform*. Analisis ini terdiri dari 3 analisis yaitu kondisi pengangkatan, instalasi dan tumpuan. Analisis kondisi pengangkatan akan mengecek kekuatan tulangan lentur pada saat diangkat untuk mendapatkan desain tulangan angkat dan desain tulangan angkur untuk pengangkatan. Analisis instalasi akan mengecek kekuatan elemen beton untuk menahan berat sendiri dan berat elemen struktur diatasnya. Analisis tumpuan akan mengecek potensi adanya keretakan akibat geser pada bagian ujung tumpuan.

Kata Kunci: *Dermaga, Curah Cair, Pemodelan, Penulangan, Beton Pracetak*

***Abstract**: Liquefied Natural Gas (LNG), which has condensated from pollutant and hydrocarbons, one of the sollutions for petroleum resource's depletion so it needs an infrastructure like liquid berth port. One of them is Magtymguly Gas Recycling Development Project in Caspian Sea, Turkmenistan by Petronas. This port is design as a dolphin port for loading-unloading activity. This berths consist of horizontal and vertical load that will be reviewed by British Standard. The dimensión and load will be medelled using SAP2000 for having Unity Check Ratio until get an optimal desgn. The results from SAP2000, like internal forces for slab, beam, and pile cap, will be used for designing reinforcement bar. This Liquid Berth II will be designed also for using precast concrete in loading platform. Analyses about the precast concrete are lifting condition, installation condition, and support condition. Lifting analysis will check the strength of the reinforcement bar and check the needs of lifting reinforcement and the requirement of lifthing anchor. Installation condition will check the strength of the concrete element when maintaining self-weight and receiving another element. Support condition will check the possibility of shear failure at the supporting área.*

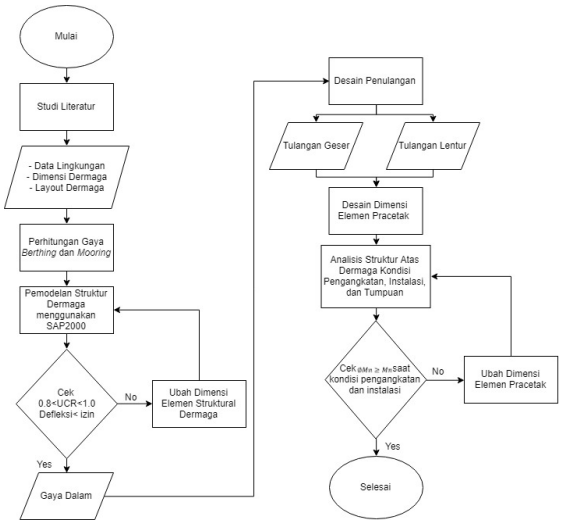
Keyword: *Berth, Liquid Berth, Modelling, Reinforcement, Precast Concrete*

PENDAHULUAN

Diperlukan penanggulangan penggunaan bahan bakar fosil dunia dengan energi alternatif. Salah satu contoh energi alternatif yang ada adalah gas alam cair (LNG). Gas Alam Cair ini menghasilkan gas alam dengan pembakaran lebih bersih dibandingkan energi fosil yang digunakan saat ini. Dengan digunakanannya LNG sebagai sumber energi alternative yang menjanjikan, diperlukan suatu dermaga untuk menampung bongkar muat LNG ini seperti dermaga *liquid berth I1* pada *Magtymguly Gas Recycling Development Project* di laut kaspia sebagai lokasi dermaga untuk bongkar muat LNG.

METODOLOGI DAN TEORI

Metodologi dari pengerjaan tugas akhir ini dapat dilihat di Gambar 1.



Gambar 1 Metodologi pengerjaan tugas akhir

Dimensi umum dari sebuah dermaga adalah elevasi dermaga, kedalaman perairan, dan layout dermaga.

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)

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

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).

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

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/m^3)
A_L : Area proyeksi kapal (m^2)
V_W : Kecepatan angin desain (m/s)

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

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

F_{TC} : Gaya arus transversal (kN)
F_{LC} : Gaya angin 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/m^3)
L_{BP} : Panjang garis air kapal (m)
d_m : Draft rata-rata kapal (m)
V_C : Kecepatan arus (m/s)

Beban vertikal dermaga terdiri dari beban mati, mati *superimposed*, hidup, manusia dan salju.

Penulangan elemen struktur dermaga dilakukan untuk elemen balok, pelat, dan *pile cap*. Penulangan elemen struktur terdiri dari penulangan lentur dan geser. Prinsip dari tulangan lentur ditunjukkan di persamaan (4).

$$\phi M_n \geq M_u \qquad (4)$$

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

Prinsip dari tulangan geser ditunjukkan di persamaan (5).

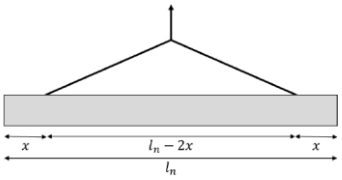
$$\phi V_n \geq V_u \qquad (5)$$

ϕ : Faktor reduksi
V_n : Kuat geser nominal (kN)
V_u : Gaya geser ultimit (kN)

Perancangan struktur atas dermaga dengan beton pracetak dimulai dari penentuan dimensi beton pracetak. Dimensi elemen beton pracetak harus didesain agar tidak gagal pada saat kondisi pengangkatan (*lifting*) maupun instalasi termasuk saat proses pengecoran sehingga menjadi struktur yang monolit. Selain itu, kondisi tumpuan juga harus

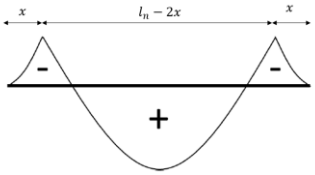
dicek karena adanya kemungkinan retak akibat geser di tumpuan.

Pada kondisi pengangkatan (*lifting*) beban yang bekerja adalah berat sendiri elemen beton pracetak yang ditumpu oleh angkur pengangkatan. Elemen balok pracetak diangkat pada 2 titik dengan menggunakan *crane*, seperti yang ditunjukkan di Gambar 2.



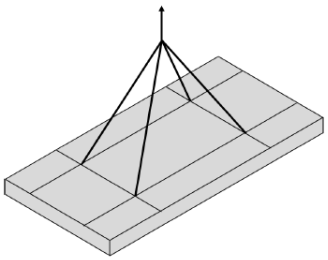
Gambar 2 Ilustrasi titik pengangkatan balok pracetak

Momen yang terjadi pada balok pracetak saat kondisi pengangkatan ditunjukkan di Gambar 3.



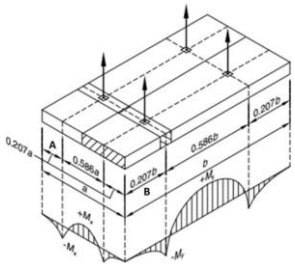
Gambar 3 Momen pada balok pracetak saat kondisi pengangkatan

Pada kondisi pengangkatan (*lifting*) beban yang bekerja adalah berat sendiri elemen beton pracetak yang diangkat pada 4 titik dengan menggunakan *crane*, seperti yang ditunjukkan di Gambar 4 Ilustrasi titik pengangkatan pelat pracetak



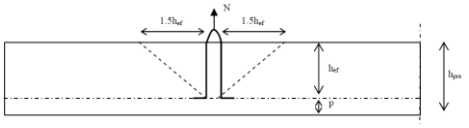
Gambar 4 Ilustrasi titik pengangkatan pelat pracetak

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



Gambar 5 Momen pada pelat pracetak saat kondisi pengangkatan

Angkur pengangkatan (*lifting anchor*) merupakan baja tulangan yang ditanam pada elemen beton pracetak sebagai lokasi kaitan pada saat kondisi pengangkatan, seperti yang ditunjukkan di Gambar 6. Tulangan angkat ini harus dianalisis kekuatannya saat pengangkatan serta kedalaman tulangan yang harus ditanam.

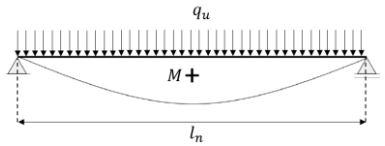


Gambar 6 Pengangkuran beton pracetak

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 (6).

$$N_n \leq N_{sa} \qquad (6)$$

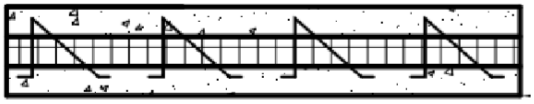
Pada kondisi instalasi, beban yang diterima oleh beton pracetak adalah beban beton pracetak itu sendiri, beban beton pracetak di atasnya, serta beton segar yang dicor di tempatnya. Dalam kondisi ini elemen beton pracetak ditinjau terhadap kekuatan lentur dan kebutuhan penghubung geser akibat beban-beban yang berkerja.
Pada saat terpasang, balok pracetak akan menahan beban sendiri, beban pelat pracetak yang ditumpu diatasnya dan beban beton segar saat pengecoran. Dalam kondisi instalasi hanya terjadi momen positif dan momen yang terjadi pada balok pracetak saat instalasi terlihat pada Gambar 7.



Gambar 7 Diagram momen pada balok pracetak saat kondisi instalasi

Penghubung Geser atau *shear connector* digunakan untuk menahan gaya geser yang terjadi antara bidang pertemuan pelat pracetak bagian atas dengan beton segar sebagai pelat yang dicor di tempat. Gaya

geser horizontal yang timbul antara pelat pracetak dan pelat cor ditempat selama pembebanan harus ditahan agar penampang komposit bekerja secara monolit untuk menjamin adanya lekatan antara dua komponen tersebut. Ilustrasi dari penghubung geser yang umum digunakan menurut PCI 6th Edition ditunjukkan di Gambar 8.



Gambar 8 Ilustrasi penghubung geser yang digunakan

Kekuatan nominal tulangan geser friksi yang tegak lurus bidang geser dihitung dengan persamaan (7).

$$V_n = A_{vy} f_y \mu \qquad (7)$$

Kekuatan nominal tulangan geser friksi yang tegak lurus bidang geser dihitung dengan persamaan (8).

$$V_n = A_{vf} f_y (\mu sin\alpha + cos\alpha) \qquad (8)$$

Avf = luas tulangan geser friksi (mm2)
fy = tegangan leleh tulangan (MPa) ≤ 420 MPa
μ = koefisien friksi (gambar sekian)
α = sudut antara tulangan friksi dengan bidang geser
λ = 1.0 (untuk beton berat normal), 0.75 (untuk beton ringan)

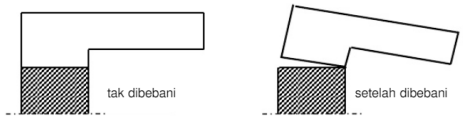
Pada saat balok atau pelat pracetak diletakkan pada tumpuan ada kemungkinan terjadinya retak akibat geser pada bagian ujung tumpuannya. Tumpuan elemen pracetak ditinjau terhadap kekuatan nominal tumpuan. Besarnya gaya reaksi pada tumpuan harus lebih kecil daripada kekuatan nominal tumpuan seperti yang ditunjukkan di persamaan (9).

$$V_u \leq B_n = f_c A_l \qquad (9)$$

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 (mm^2)

Terdapat dua hal yang ditinjau dalam analisis tumpuan, yakni tegangan tumpu dan tegangan geser pada tumpuan.

Pada kondisi instalasi, pelat dianalisis dengan tumpuan terletak bebas karena sambungan pada pelat belum monolit dan dapat diasumsikan diletakkan begitu saja di atas balok atau antara pelat dan balok tidak dicor bersama-sama, sehingga pelat dapat berotasi bebas pada tumpuan tersebut, seperti yang ditunjukkan di Gambar 9.



Gambar 9 Ilustrasi tumpuan terletak bebas

HASIL DAN ANALISIS

A. DATA SEKUNDER

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

a. Data Lingkungan
Data lingkungan yang digunakan ditunjukkan di Tabel 1.

Tabel 1 Data lingkungan

No	Parameter	Nilai
1	Kecepatan angin maksimum	19.79 m/s dari barat laut
2	Elevasi muka air	
	Astronomical Tide	0.10 m
	Storm Surge (1-year RP)	0.80 m
	Storm Surge (100-year RP)	1.00 m
	Normal Seasonal Variation of Water Depth	0.30 m
	Extreme Low Water Level Variation	(-) 1.00 m CSD
	Extreme High Water Level Variation	(+) 2.80 m CSD
	Highest Mean Sea Level	(+) 2.60 m CSD
	Present Mean Sea Level	(+) 1.00 CSD
	Lowest Mean Sea Level	(-) 1.10 m CSD
	Kecepatan arus maksimum	0.03 m/s

b. Data Karakteristik Kapal
Data karakteristik kapal *Sumbar* yang memiliki panjang 139.95 m dan 7075 DWT.

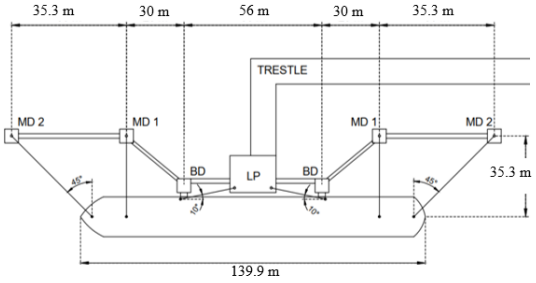
c. Data Operasional
Data operasional yang digunakan yaitu *loading arm*, *mobile crane*, dan mobil inspeksi.

B. LAYOUT DERMAGA

Dimensi dermaga ditunjukkan di Tabel 2, sedangkan layout dari dermaga ditunjukkan di Gambar 10.

Tabel 2 Dimensi dermaga

No	Parameter	Nilai
1	Elevasi dermaga	(+) 6 m dari Lowest Mean Sea Level
2	Kedalaman perairan	(-) 7.9 m dari Lowest Mean Sea Level



Gambar 10 Layout Dermaga

C. BEBAN DERMAGA

Beban dermaga terdiri dari beban horizontal dan beban vertikal.

a. Beban Berthing

Beban *berthing* dermaga ditunjukkan di Tabel 3.

Tabel 3 Beban *berthing* dermaga

No	Parameter	Nilai
1.	Energi b*erthing* (E_B)	503.4 kNm
2	Energi Abnormal	
	Safety factor (SF)	1.5
	Energi abnormal (E_A)	755 kNm
3	Jenis *Fender*	
	Tipe *fender*	SCN 1200 - E1.6
	Energi maksimum (Er)	755 kNm
	Reaksi maksimum (Rr)	1231 kN
	Lebar panel *fender*	2 m
	Tinggi panel *fender*	2.5 m
	Luas panel *fender*	5 m^2

b. Beban Mooring

Beban *mooring* yang terjadi ditunjukkan di Tabel 4.

Tabel 4 Beban *mooring* dermaga

No	Parameter	Nilai
1	Beban Mooring Loading Platform	
	Mooring arah x	96.34 kN
	Mooring arah y	17 kN
	Mooring arah z	6.77 kN
	Beban Mooring Mooring Dolphin	
	Breast lines arah x	0 kN
	Breast lines arah y	97.87 kN
	Breast lines arah z	5.2 kN
	Head/stern lines arah x	69.24 kN
	Head/stern lines arah y	69.24 kN
	Head/stern lines arah z	5.2 kN

c. Beban Gelombang

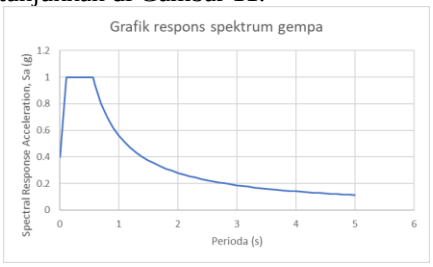
Beban gelombang dermaga yang terjadi adalah 1.21 m dengan perioda 9.58 s.

d. Beban Arus

Beban arus yang terjadi adalah kecepatan arus desain yaitu sebesar 0.03 m/s.

e. Beban Gempa

Grafik respons spektrum gempa yang terjadi ditunjukkan di Gambar 11.



Gambar 11 Grafik spektrum respons gempa

f. Beban Hidup

Beban hidup tipikal dermaga yang digunakan adalah sebesar 25 kN/m^2.

g. Beban Manusia

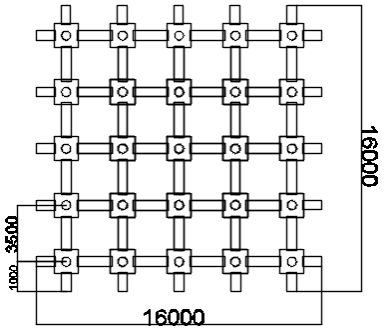
Beban manusia yang digunakan adalah 5 kN/m^2.

h. Beban Salju

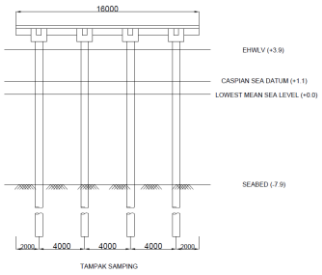
Beban salju yang digunakan adalah 0.8 kN/m^2.

D. LOADING PLATFORM

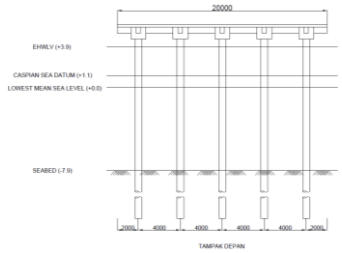
Tampak atas, samping, dan depan dari *loading platform* ditunjukkan di Gambar 12, Gambar 13, dan Gambar 14.



Gambar 12 Tampak atas *loading platform*

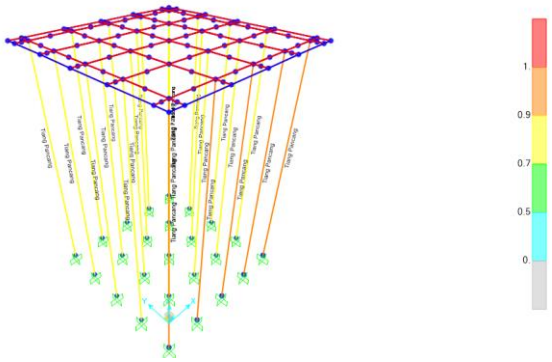


Gambar 13 Tampak samping *loading platform*



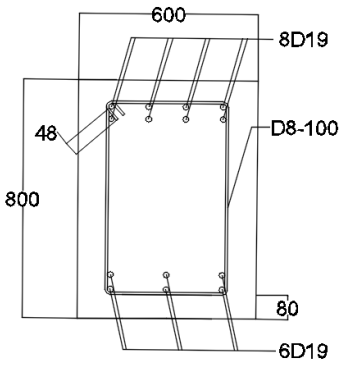
Gambar 14 Tampak depan *loading platform*

Output nilai UCR di *loading platform* ditunjukkan di Gambar 15.

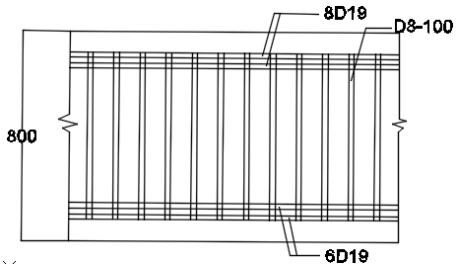


Gambar 15 UCR di *loading platform*

Detail tulangan balok di *loading platform* ditunjukkan di Gambar 16 dan Gambar 17.

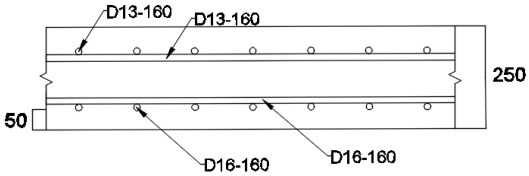


Gambar 16 Detail tulangan balok di *loading platform*



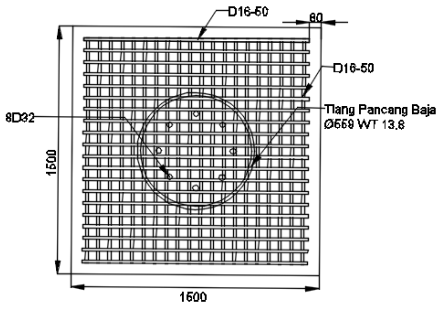
Gambar 17 Detail tulangan balok di *loading platform* tampak samping

Detail tulangan pelat di *loading platform* ditunjukkan di Gambar 18.

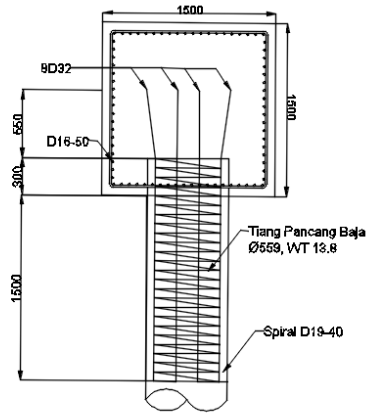


Gambar 18 Detail tulangan pelat di *loading platform* arah memanjang (sumbu x)

Detail tulangan *pile cap* di *loading platform* ditunjukkan di Gambar 19 dan Gambar 20.

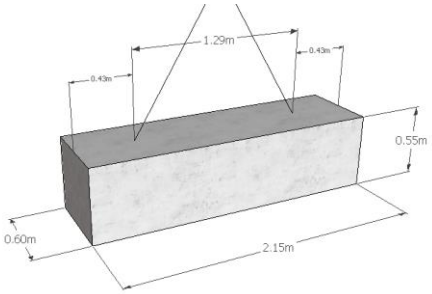


Gambar 19 Detail tulangan *pile cap* di *loading platform* tampak atas

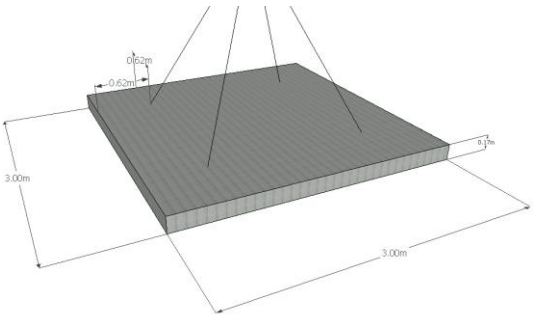


Gambar 20 Detail tulangan *pile cap* di *loading platform* potongan melintang

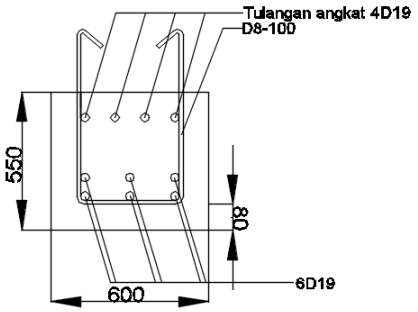
Lokasi titik pengangkatan balok pracetak di loading platform ditunjukkan pada Gambar 21 dan detail tulangan balok pracetak pada Gambar 23 dan Gambar 24 sedangkan pelat pracetak di *loading platform* ditunjukkan di Gambar 22. Detail tulangan pelat pracetak di *loading platform* ditunjukkan di Gambar 25



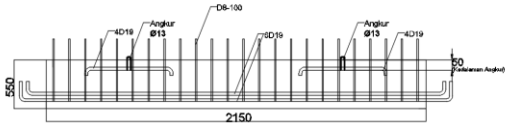
Gambar 21 Lokasi titik pengangkatan balok pracetak di *loading platform* tampak isometri



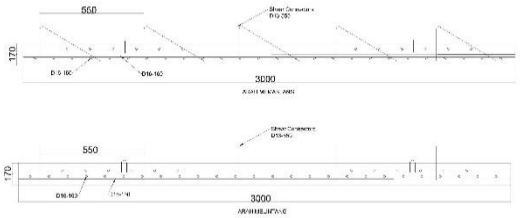
Gambar 22 Lokasi titik pengangkatan pelat pracetak di *loading platform* tampak isometri



Gambar 23 Detail tulangan balok pracetak di *loading platform*



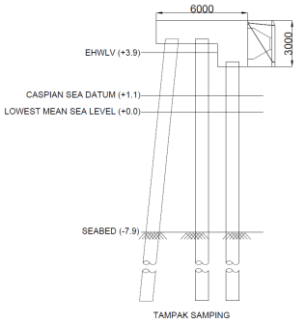
Gambar 24 Detail tulangan balok pracetak di *loading platform* tampak samping



Gambar 25 Detail tulangan pelat pracetak di *loading platform*

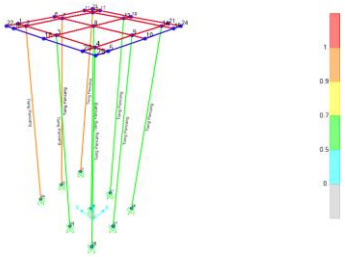
E. BREASTING DOLPHIN

Tampak samping dari *breasting dolphin* ditunjukkan di Gambar 26.



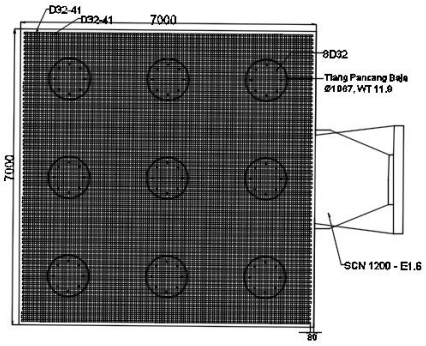
Gambar 26 Tampak samping *breasting dolphin*

Output nilai UCR di *breasting dolphin* ditunjukkan di Gambar 27.

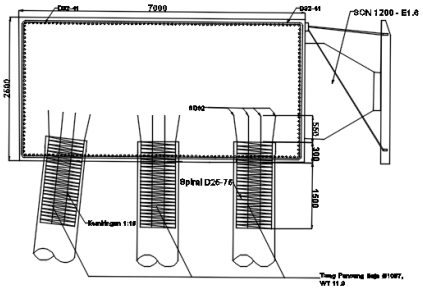


Gambar 27 UCR di *breasting dolphin*

Detail tulangan *pile cap* di *breasting dolphin* ditunjukkan di Gambar 28 dan Gambar 29.



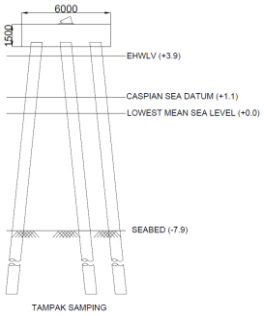
Gambar 28 Detail tulangan *pile cap* di *breasting dolphin* tampak atas



Gambar 29 Detail tulangan *pile cap* di *breasting dolphin* potongan melintang

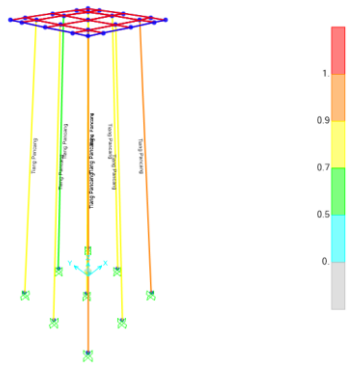
F. MOORING DOLPHIN

Tampak samping dari *mooring dolphin* ditunjukkan di Gambar 30.



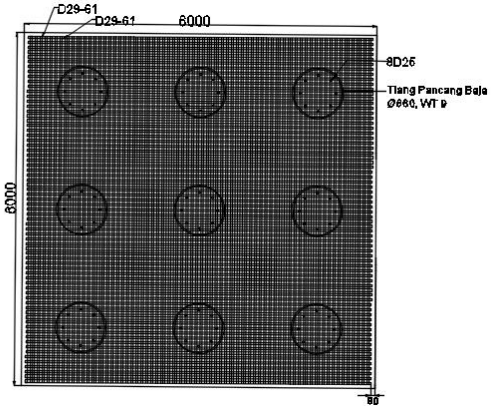
Gambar 30 Tampak samping *mooring dolphin*

Output nilai UCR di *mooring dolphin* ditunjukkan di Gambar 31.

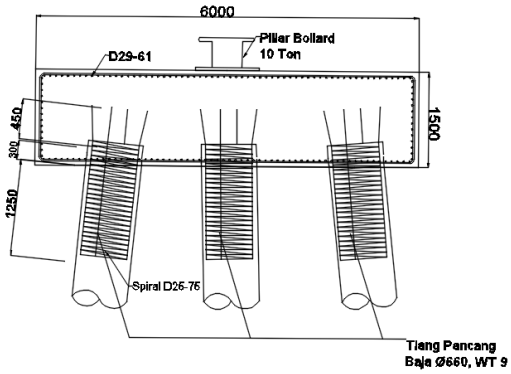


Gambar 31 UCR di *mooring dolphin*

Detail tulangan *pile cap* di *breasting dolphin* ditunjukkan di Gambar 32 dan Gambar 33.



Gambar 32 Detail tulangan *pile cap* di *mooring dolphin*



Gambar 33 Detail tulangan *pile cap* di *mooring dolphin*

SIMPULAN DAN SARAN

A. SIMPULAN

Perancangan struktur atas dermaga pada tugas akhir ini menghasilkan kesimpulan sebagai berikut.

1. Dermaga curah cair ini memiliki 3 struktur utama yang terdiri dari *loading platform*, *breasting dolphin*, dan *mooring dolphin*
2. Elemen struktural dermaga yang digunakan di bagian *loading platform* adalah sebagai berikut.
   a. Dimensi *loading platform*: 16 m × 16 m
   b. Tiang pancang: OD 559 mm, WT 13.8 mm
   c. Balok
      - Tinggi × lebar × panjang: 800 × 600 × 3500 mm
      - Tulangan lentur sisi bawah: 6D19, spasi 183 mm
      - Tulangan lentur sisi atas: 8D19, spasi 116 mm
      - Tulangan Sengkang: D8-100
   d. Pelat
      - Tebal: 250 mm
      - Tulangan lentur sisi atas arah x: D13-160
      - Tulangan lentur sisi bawah arah x: D16-160
      - Tulangan lentur sisi atas arah y: D13-160
      - Tulangan lentur sisi bawah arah y: D16-160
   e. *Pile Cap*
      - Dimensi: 1500 × 1500 × 1500 mm
      - Tulangan arah x: D16-50
      - Tulangan arah y: D16-50
      - Tulangan *dowel*: 8D32
      - Tulangan spiral: D19-40
3. Elemen struktural dermaga yang digunakan di bagian *breasting dolphin* adalah sebagai berikut.
   a. Dimensi *breasting dolphin*: 7000 × 7000 mm
   b. Tiang pancang: OD 1067 mm, WT 11.9 mm
   c. *Pile Cap*
      - Dimensi: 7000 × 7000 × 1500 mm
      - Tulangan arah x: D32-41
      - Tulangan arah y: D32-41
      - Tulangan *dowel*: 8D32
      - Tulangan spiral: D25-75
4. Elemen struktural dermaga yang digunakan di bagian *mooring dolphin* adalah sebagai berikut.
   a. Dimensi *breasting dolphin*: 6000 × 6000 mm
   b. Tiang pancang: OD 660 mm, WT 9 mm
   c. *Pile Cap*
      - Dimensi: 6000 × 6000 × 2500 mm

- Tulangan arah x : D29-61
- Tulangan arah y : D29-61
- Tulangan *dowel* : 8D25
- Tulangan spiral : D22-75

5. Elemen beton pracetak yang digunakan di bagian *loading platform* adalah sebagai berikut.
   a. Balok pracetak
      - Tinggi × lebar × panjang: 550 × 600 × 2150 mm
      - Tulangan lentur sisi bawah: 6D22,
      - Tulangan sengkang: D8-100
      - Tulangan angkat sisi atas: 4D19
      - Angkur pengangkatan: 2D8, kedalaman 20 mm
   b. Pelat pracetak
      - Tebal × lebar × panjang : 170 × 3000 × 3000
      - Tulangan lentur sisi bawah arah x: D16-160
      - Tulangan lentur sisi bawah arah y: D16-160
      - Tulangan angkat sisi atas arah x: D13-280
      - Tulangan angkat sisi atas arah y: D13-280
      - Angkur pengangkatan: 4D6, kedalaman 25 mm
      - Penghubung geser arah x : D13, spasi 550mm
      - Penghubung geser arah y: D13, spasi 550 mm

B. SARAN

Saran dari perancangan struktur atas dermaga di tugas akhir ini adalah sebagai berikut.

1. Perlu dilakukan pemodelan lebih lanjut menggunakan SAP2000 setelah didapatkan desain tulangan untuk setiap elemen struktur beton agar desain tersebut memang sudah dapat menahan semua gaya yang diterima dermaga.
2. Perlu dilakukan analisis lebih lanjut mengenai metode konstruksi pemasangan setiap desain tulangan elemen struktur beton.
3. Perlu analisis ketersediaan alat berat untuk mengangkat tiap elemen pracetak saat proses instalasi.

REFERENSI

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

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

Fentek Marine System GmbH. 2010. *"Fentek Marine Fendering System."* Rigmarine.

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

Institute, Precast/Prestressed Concrete. 2010. *PCI Design handbook 6th Edition*

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

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

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

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