PERANCANGAN STRUKTUR *LIQUID BERTH* DENGAN KONSTRUKSI BETON PRACETAK DI BULA, SERAM TIMUR, PROVINSI MALUKU

Rian Aprilian Firmansyah[1] dan Sri Murti Adiyastuti [2]

Program Studi Teknik Kelautan

Fakultas Teknik Sipil dan Lingkungan, Institut Teknologi Bandung

Jl. Ganesha 10 Bandung 40132

[1]rianaprilianfirmansyah@gmail.com dan [2]murtia704@gmail.com

---

Abstrak: Indonesia memiliki potensi alam berupa minyak dan gas pada beberapa wilayahnya. Sebagian potensi minyak dan gas berada di darat (*onshore)*. Oleh karena itu, dibutuhkan infrastruktur berupa dermaga agar memungkinkan proses pengiriman minyak dan gas baik dalam keadaan minyak mentah ataupun yang sudah diolah ke daerah lain.Pada Tugas Akhir ini akan dibahas perancangan struktur dermaga pada *Oseil Field Development* dengan struktur dermaga *dolphin* bertipe *deck on pile* yang melayani komoditas curah cair berupa minyak bumi. Dermaga *dolphin* terdiri dari tiga komponen struktur utama, yaitu *loading platform*, *breasting dolphin*, dan *mooring dolphin.*Perancangan dermaga diawali dengan pengumpulan data sekunder berupa data lingkungan dan operational dermaga. Pengolahan data sekunder akan menghasilkan *preliminary design* dari dermaga berupa dimensi dan elemen struktral dermaga. Kemudian, dilakukan pemodelan struktur dermaga menggunakan bantuan perangkat lunak. Hasil dari pemodelan berupa *unity check ratio*, defleksi struktur , gaya dalam, serta reaksi perletakan elemen struktural dermaga.Gaya dalam elemen struktural hasil pemodelan dijadikan dasar dalam desain penulangan elemen struktural dermaga. Kemudian, khusus untuk elemen struktural loading platform didesain menggunakan beton pracetak karena beton pracetak memiliki banyak keuntungan dibandingkan dengan beton konvensional. Perancangan elemen struktur dengan beton pracetak meliputi analisis kondisi pengangkatan, instalasi dan tumpuan. Seluruh elemen struktur didesain sedemikian rupa sehinnga membentuk struktur yang monolit. Tahapan terakhir adalah perhitungan daya dukung tanah untuk mengetahui kedalaman rencana pemancangan dari tiang pancang sehingga mampu menahan beban reaksi perletakan struktur.

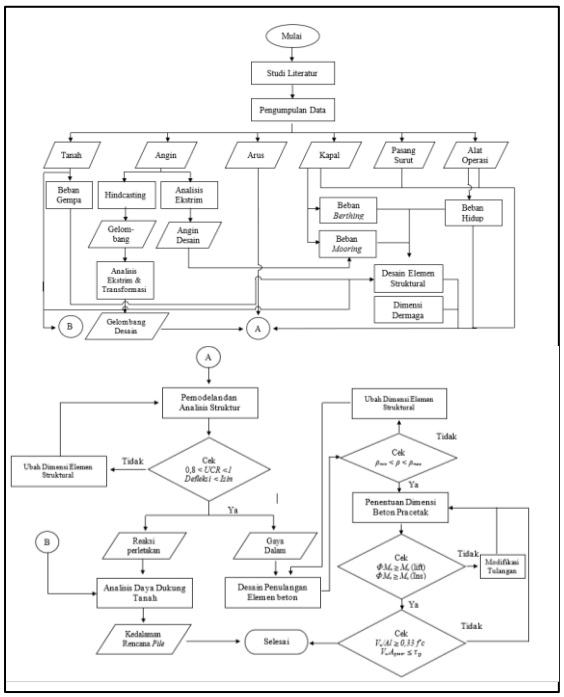
Kata kunci: *Dermaga, Dolphin, Curah Cair, Beton Pracetak*

PENDAHULUAN

Indonesia merupakan salah satu negara yang memiliki cadangan minyak dan gas bumi di wilayahnya. Salah satu daerah di Indonesia yang memiliki cadangan minyak dan gas bumi adalah Provinsi Maluku. Provinsi Maluku memiliki beberapa cadangan minyak salah satunya adalah *Oseil Field* yang terletak di Bula, Seram Bagian Timur. Hasil dari produksi harus diekspor keluar pulau menuju konsumen sehingga membutuhkan fasilitas dermaga untuk kebutuhan ekspor .

TEORI DAN METODOLOGI

Metodologi pengerjaan Tugas Akhir dalam perancangan struktur dermaga *liquid berth* dengan beton pracetak di Bula, Seram Timur, Provinsi Maluku, dapat dilihat pada Gambar 1.



Gambar 1 Metodologi Pengerjaan Tugas Akhir

Perancangan dermaga dilakukan berdasarkan standar utama , yaitu *British Standard 6349-1:2000, British Standard 6349-2:2000, dan British Standard 6349-3:2000.* Untuk hal-hal yang tidak diatur dalam standar utama digunakan *The Overseas Coastal Area Development Institute of Japan* (OCDI) dan beberapa Standar Nasional Indonesia (SNI). Penggunaan SNI digunakan pada perhitungan beban gempa, dimensi elemen struktural dermaga, dan penulangan elemen struktural dermaga. Beberapa SNI yang digunakan dalam tugas akhir ini adalah SNI 1726:2019, SNI 7833:2012, SNI 03-2847-2013, SNI 1729-2015. Perancangan dermaha mencakup perhitungan beban, penentuan dimensi dermaga, elevasi dermaga, panjang dermaga, serta dimensi elemen struktural dermaga. Beban yang bekerja pada dermaga meliputi beban berlabuh, beban bertambat, beban lingkungan dan operasional.

Energi berlabuh kapal dihitung dengan Persamaan 1.

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

Keterangan :
E_N = Normal energy berthing (kJ)
M_D = *Displacement* kapal (ton)
V_B = Kecepatan kapal berlabuh (m/s)
C_M = Koefisien penambahan massa
C_E = Koefisien eksentrisitas
C_S = Koefisien kekasaran
C_C = Koefisien konfigurasi tambat

Beban yang bekerja pada struktur akan menimbulkan beban ultimate pada elemen struktur. Kapsitas nominal struktur harus lebih besar dari beban ultimate yang terjadi guna menghindari kegagalan struktur. Kapasitas nominal momen penampang elemen struktur dihitung menggunakan Persamaan 2.

$$M_n = A_s f_y \left(d - 0.59 \frac{A_s f_y}{f_c' b}\right) \ldots (2)$$

Keterangan:

M_n : Kapasitas lentur nominal
A_s : Luas penampang tulangan lentur
f_y : Tegangan leleh baja
f_c' : Kuat tekan beton
d : Tinggi efektif penampang balok
a : Tinggi serat tekan ekivalen
b : Lebar penampang balok

Sedangkan kapasitas nominal penampang terhadap gaya geser dihitung menggunakan Persamaan 3, Persamaan 4, dan Persamaan 5.

$$V_n = V_c + V_s \ldots (3)$$

$$V_c = \frac{1}{6}\sqrt{f_c'}\, b_w d \ldots (4)$$

$$V_s = A_v f_y \frac{d}{s} \ldots (5)$$

Keterangan:
V_c : Kapasitas geser yang mampu dipikul oleh beton
V_s : Kapasitas geser tulangan sengkang
f_c' : Kuat tekan beton
b_w: Lebar efektif penampang balok
D : Tinggi efektif penampang balok
V_u : Kuat geser *ultimate* pada balok
$\emptyset$: Faktor reduksi kuat geser, diambil 0.85

HASIL DAN PEMBAHASAN

A. DATA SEKUNDER

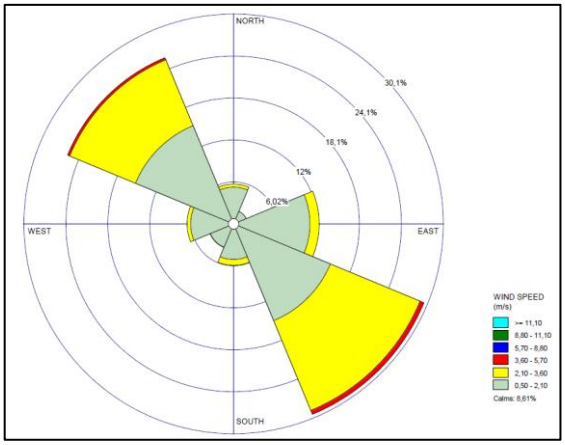
Data sekunder yang digunakan pada tugas akhir ini adalah data pasang surut, arus, angin, gelombang, tanah, kapal, loading arm, pipa, rak pipa dan kendaraan inspeksi.

Hasil pengolahan data pasang surut akan menghasilkan elevasi penting ditunjukkan pada Tabel 1.

Tabel 1 Elevasi Penting Pada Lokasi Tinjauan

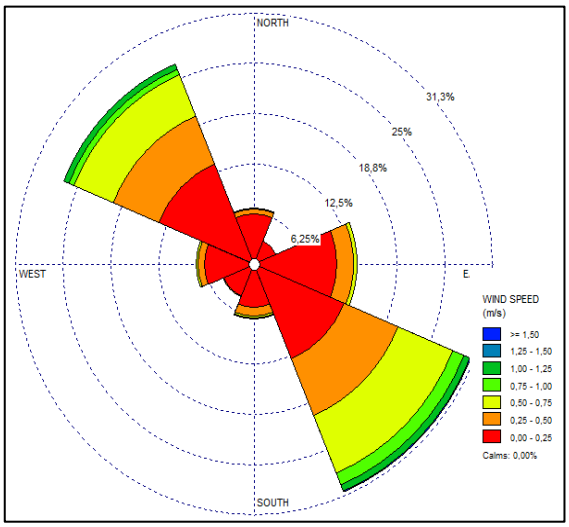
Elevasi-Elevasi Penting	Nilai (cm)
Highest Water Spring (HWS)	92.3
Mean High Water Spring (MHWS)	71.47
Mean High Water Level (MHWL)	48.73
Mean Sea Level (MSL)	0
Mean Low Water Level (MLWL)	-46.63
Mean Low Water Spring (MLWS)	-94.39
Lowest Water Spring (LWS)	-114.25

Data angin diolah menjadi windrose seperti yang ditunjukkan Gambar 2.



Gambar 2 Windrose 10 Tahun Pada Lokasi

Data angin kemudian diolah menjadi gelombang menggunakan metode *hindcasting*. Besar dan arah gelombang hasil hindcasting ditunjukkan pada Gambar 3.

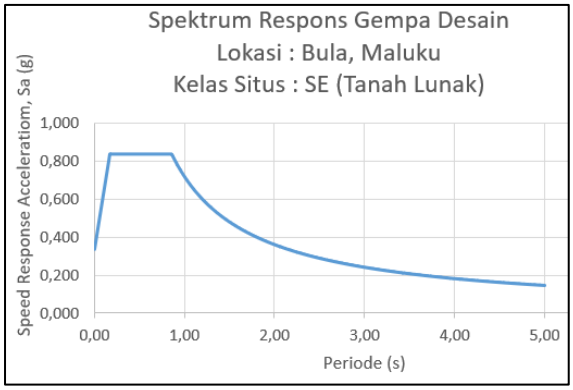


Gambar 3 Waverose 10 Tahun Hasil Hindcasting

B. BEBAN DERMAGA

Beban pada struktur dermaga terdiri dari beban *berthing*, *mooring*, beban lingkungan dan beban vertikal.

Beban lingkungan terdiri dari beban gelombang, arus, dan gempa. Input beban gempa menggunakan respons spektrum gempa yand ditunjukkan pada Gambar 4.



Gambar 4 Spektrum Respons Gempa Lokasi Tinjauan

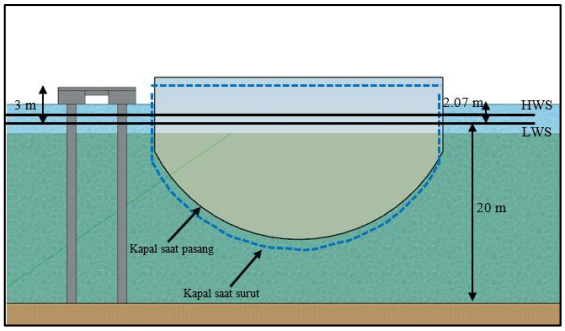
Beban-beban vertikal yang bekerja pada struktur dermaga ditunjukkah oleh Tabel 2.

Tabel 2 Beban Vertikal Pada Struktur Dermaga

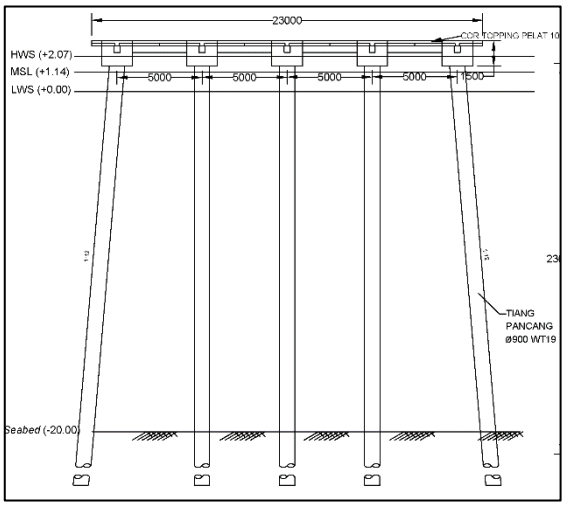
Nama Beban		Besaran	Satuan
Loading Arm		335.9	kN
Rak Pida dan Pipa	Ujung	5.37	kN
	Tengah	10.74	kN
Bollard		0.45	kN
Beban Hidup Tipikal		20	kN/m^2
Manusia		5	kN/m^2
Mobil Inspeksi		2.9	kN/m^2
Konten Pipa	Ujung	3.94	kN
	Tengah	7.88	kN
Fender		48.85	kN

C. STRUKTUR DERMAGA

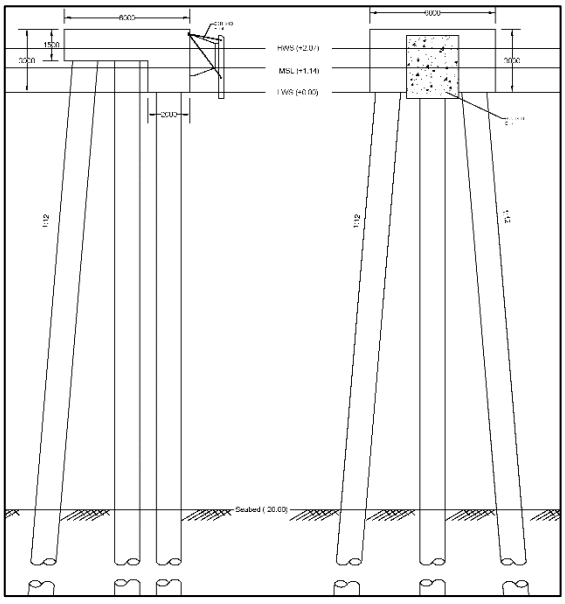
Elevasi dermaga dipengaruhi oleh kedalaman perairan, pasang surut dan gelombang. Elevasi dermaga ditunjukkan pada Gambar 5. Sedangkan ilustrasi struktur loading platform, breasting dolphin dan mooring dolphin berturut-turut ditunjukkan oleh Gambar 6, Gambar 7 dan Gambar 8.



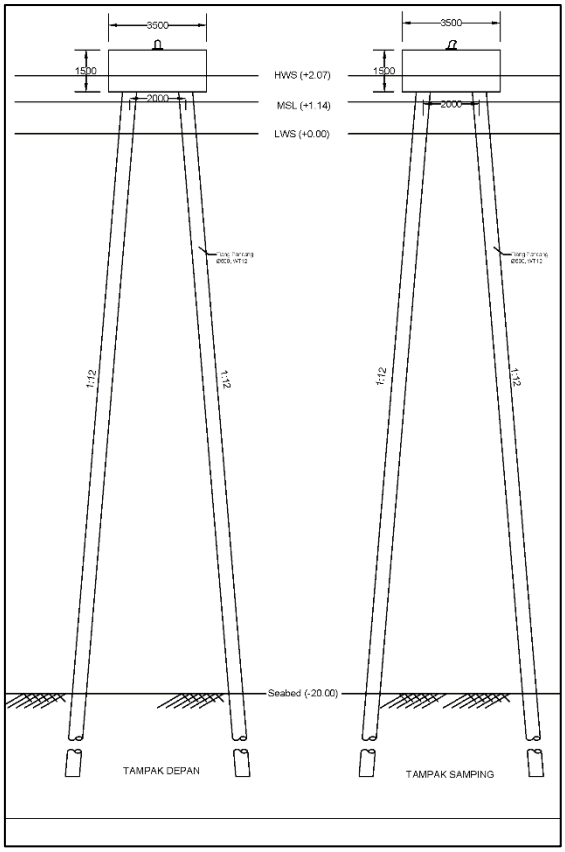
Gambar 5 Elevasi Dermaga



Gambar 6 Loading Platform

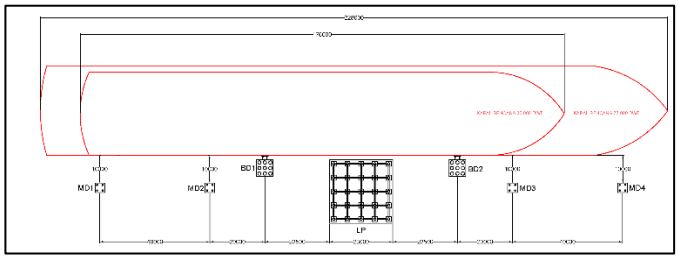


Gambar 7 Breasting Dolphin



Gambar 8 Mooring Dolphin

Posisi breasting dolphin dipenggaruhi oleh kapal terbesar dan terkecil yang akan sandar. Sedangkan posisi mooring dolphin diletakkan sedemikian rupa agar ketika kapal bertambat membentuk sudut yang direkomendasikan standar. Layout secara keseluruhan ditunjukkan oleh Gambar 9.



Gambar 9 Layout Dermaga Secara Keseluruhan

KESIMPULAN

Perencanaan struktur dermaga pada Tugas Akhir ini menghasilkan kesimpulan sebagai berikut:

1. Dermaga melayani kapal rencana terbesar berukuran 77.000 DWT dan yang terkecil berukuran 35.000 DWT dengan tipe struktur dermaga yaitu dermaga *dolphin*, detail dan dimensi struktur dermaga dijelaskan sebagai berikut:
   - *Loading platform* berukuran 32 m × 32 m
   - Dua buah *breasting dolphin* berukuran 6 m × 6 m
   - Empat buah *mooring dolphin* berukuran 3.5 m × 3.5 m
   - Elevasi lantai dermaga = +3.0 m dari LWS
   - Kedalaman dermaga = -20 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, dan *loading arm*.
   - Beban hidup seperti beban kendaraan inspeksi, beban muatan pipa, 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 (77.000 DWT), yaitu:

- Fender
  Jenis : SCN1400 $E_{1.4}$
  Kapasitas : E_R = 1140 kN
  Reaksi fender : R_r = 1574 kN
- Panel fender
  Dimensi : 2.5 m × 3.0 m
  Tipe layan : *Light duty*
- Bollard
  Jenis : *Tee-bollard* 10 ton *(Trellerborg Marine System)*
  Fungsi tali : Dua buah *spring lines*, dua buah *breast lines*, satu buah *stern line*, dan satu buah *head line.*

4. Detail elemen struktur *loading platform* adalah sebagai berikut:

- Tiang Pancang
  Material baja : ASTM A525 Grade 2
  Diameter : 900 mm
  Tebal : 19 mm
- Balok
  Material beton, f'_c : 35 Mpa
  Dimensi : 5000 × 350 × 700 mm
  Tebal selimut beton : 65mm
  Tulangan lentur sisi bawah : 6D32
  Tulangan lentur sisi atas : 6D32
  Tulangan sengkang : D13-150
- Pelat
  Material beton, f'_c : 35 Mpa
  Dimensi : 5000 × 5000 × 300 mm
  Tebal selimut beton : 50 mm
  Tulangan lentur bawah *x* : D19-100 mm
  Tulangan lentur atas *x* : D19-100 mm
  Tulangan lentur bawah *y* : D19-100 mm
  Tulangan lentur atas *y* : D19-100 mm
- Pilecap
  Material beton, f'_c : 35 Mpa
  Dimensi : 1800 × 1800 × 1500 mm
  Tebal selimut beton : 100 mm
  Tulangan lentur bawah : D19-75 mm
  Tulangan lentur atas : D19-75 mm
  Tulangan dowel : 17D32
  Perpanjangan : 600 mm
  Tulangan spiral : D13- 45 mm

5. Detail elemen struktur *breasting dolphin* adalah sebagai berikut:

- Tiang Pancang
  Material baja : ASTM A525 Grade 2
  Diameter : 1200 mm
  Tebal : 17 mm
- Pile Cap
  Material beton, f'_c : 35 Mpa
  Dimensi : 6000 × 600× 1500 mm
  Tebal *plank fender* : 3000 mm
  Tebal selimut beton : 100 mm
  Tulangan lentur bawah : D29-80 mm
  : D2-120 mm
  Tulangan lentur atas : D29-80 mm
  : D29-120 mm
  Tulangan dowel :15D32
  Perpanjangan : 600 mm
- Tulangan spiral : D13-45 mm
- Tulangan Dowel : 7D32
- Tulangan Spiral : D13-40mm

6. Detail elemen struktur *mooring dolphin* adalah sebagai berikut:

- Tiang Pancang
  Material baja : ASTM A525 Grade 2
  Diameter : 500 mm
  Tebal : 12 mm
- Pile Cap
  Material beton, f'_c : 35 Mpa
  Dimensi : 3500×3500× 1500 mm
  Tebal selimut beton : 100 mm
  Tulangan lentur bawah : D29-200 mm
  Tulangan lentur atas : D29-200 mm
  Tulangan dowel :7D32
  Perpanjangan : 600 mm
  Tulangan spiral : D13-40 mm

7. Elemen beton pracetak struktur *loading platform* yang digunakan adalah sebagai berikut:

- Balok
  Material beton, f'_c = 35 Mpa
  Dimensi = 3350× 350 × 400 mm
  Tumpuan pada *pile cap* = 75 mm
  Tulangan lentur sisi bawah = 6D32
  Tulangan sengkang = D13-150
  Tulangan pengangkatan = 4D13
  Angkur pengangkatan = Ø6
- Pelat
  Material beton, f'_c = 35 Mpa
  Dimensi = 4750 × 2365 × 150 mm
  Tulangan lentur bawah *x* : D19-100 mm
  Tulangan lentur bawah *y* : D19-100 mm
  Tulangan pengangkatan *x* : 5D-200
  Tulangan pengangkatan *y* : 5D-200
  Angkur pengangkatan : Ø6
  Penghubung geser arah *x* : Tipepaku D10-150
  Penghubung geser arah *y* : Tipe paku D10-180

8. Kedalaman rencana pemancangan pondasi *loading platform* sesuai daya dukung yang dibutuhkan yaitu 36.65 m dari dasar laut.
9. Kedalaman rencana pemancangan pondasi *breasting dolphin* sesuai daya dukung yang dibutuhkan yaitu 14.65 m dari dasar laut.
10. Kedalaman rencana pemancangan pondasi *mooring dolphin* sesuai daya dukung yang dibutuhkan yaitu 11.65 m dari dasar laut.

SARAN

1. 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.
2. 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.
3. Jika memungkinkan dilakukan kembali pemodelan struktur setelah terpasangnya tulangan pada elemen struktur.

DAFTAR PUSTAKA

British Standar. (1988). BS 6349-2:1998 Maritime Structures Part 2: Design of Quay Walls, Jetties, and Dolphins. London: BSI.

British Standar. (1988). BS 6349-4:1994 Maritime Structures Part 4: Code of Practice for Design of Fendering and Mooring Systems. London: BSI.

British Standar. (2000). BS 6349-1:2000 Maritime Structures Part 1: Code of Practice for General Criteria. London: BSI.

American Society of Civil Engineer. (2010). Minimum Design Load of Building and Other Structure. Virginia: American Society of Civil Engineers.

Badan Standardisasi Nasional. (2012). SNI 1726:2012 Tata Cara Perencanaan Ketahanan Gempa Untuk Struktur Bangunan Gedung dan Non Gedung. Jakarta: BSN.

Badan Standardisasi Nasional. (2012). SNI 03-2847:2002 Tata Cara Perhitungan Struktur Beton Untuk Bangunan Gedung. Bandung: BSN.

The Overseas Coastal Area Development Institute of Japan (OCDI). (2002). *Technical Standards and Commentaries for Ports and Harbour Facility in Japan.* Tokyo: Daikousha Printing.

Thoresen, C.A. (2014). *Port Designer's Handbook 3rd Edition.* London: Institution of Civil Engineers (ICE) Publishing.

Das, B. M. (2014). *Principles of Foundation Engineering Eight Edition.* Boston: Cengage Learning.

Imran, I. (2014). *Perencanaan Dasar Sturktur Beton Bertulang.* Bandung: Penerbit ITB.

J.H. Menge. (2001). *Fentek Fendering Systems.* Hamburg: Fentek Marine Systems GmbH.

Thoresen, C.A. (2003). *Port Designer's Handbook Recommendations and Guidelines.* London: Thomas Telford Publishing.

Triatmodjo, B. (2009). *Perencanaan Pelabuhan.* Yogyakarta: Beta Offset Yogyakarta.

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

Wight, J.K, & MacGregor, J. G. (2012). *Reinforced Concrete Mechanics and Design Sixth Edition.* New Jersey: Pearson Education, Inc