

PERENCANAAN STRUKTUR DERMAGA NAVIGASI DI TANJUNG KELIAN, KEPULAUAN BANGKA BELITUNG

Firda Ambarwati Fadila

Program Studi Teknik Kelautan, Fakultas Teknik Sipil dan Lingkungan,

Institut Teknologi Bandung

Jl. Ganeca No. 10, Bandung 40132

[*firda.afadila@gmail.com*](mailto:firda.afadila@gmail.com)

Kata kunci: dermaga, menara suar, desain, navigasi

ABSTRAK

Kebutuhan pengadaan sarana atau fasilitas dalam menara suar dalam memperlancar kegiatan navigasi dan mempermudah transportasi *crew* serta pengiriman logistik salah satunya adalah pembangunan *jetty* atau dermaga. Pemenuhan fasilitas untuk menara suar ini mengakibatkan diperlukannya perancangan struktur dermaga navigasi yang dapat memenuhi kegiatan tersebut. Perencanaan sebuah dermaga perlu memenuhi kriteria-kriteria tertentu sehingga diperoleh dimensi serta konfigurasi dari dermaga yang direncanakan.

Perencanaan struktur ini akan terdiri dari dua struktur terpisah yaitu dermaga dan *trestle*. Pada permulaan proses desain dermaga, data-data lingkungan seperti gelombang, pasang surut, angin, tanah, kecepatan arus, dan batimetri akan menjadi data primer yang digunakan untuk menentukan kriteria desain sebagai syarat perencanaan struktur, penentuan *layout*, perhitungan pembebanan,

pemodelan struktur, dan desain penulangan struktur yang optimal agar struktur tidak dibangun secara berlebihan (*overdesign*) ataupun mengalami kegagalan/keruntuhan selama masa operasi.

Perancangan dan pemodelan struktur ini dapat dilakukan dengan menggunakan perangkat lunak SAP2000. Pada program SAP2000, model dan pembebanan dirancang sedemikian rupa mendekati kondisi yang sebenarnya. *Output* dari perangkat lunak ini berupa *unity check ratio* (UCR), defleksi struktur, gaya dalam pada balok dan pelat, serta reaksi peletakan. *Output* ini digunakan sebagai parameter untuk merancang detail dimensi dan tulangan pada komponen beton bertulang, yaitu balok, pelat, dan *pilecap*, serta penentuan profil tiang baja. Selain itu, data tanah dan hasil peletakan dari program SAP2000 juga akan digunakan untuk dilakukan analisis daya dukung tanah terhadap tiang pancang di lokasi tersebut.

PENDAHULUAN

Dalam meningkatkan jalur transportasi laut di Indonesia dibutuhkan pula sebuah sarana dan prasarana navigasi laut agar transportasi laut selalu aman. Salah satu prasarana yang mendukung dalam melancarkan dan mengamankan jalur transportasi laut Indonesia adalah menara suar. Peraturan Menteri Perhubungan No. 25 Tahun 2011 tentang Sarana Bantu Navigasi Pelayaran (SBNP) Pasal 10 menetapkan bahwa sarana dan prasarana menara suar meliputi rumah penjaga, rumah generator, gudang logistik, bak penampungan air, alat penolong dan keselamatan, sumber tenaga yang memadai, sarana komunikasi dan *jetty*/dermaga sesuai kebutuhan.

Dibangunnya dermaga pada menara suar di Tanjung Kelian adalah untuk melengkapi fasilitas menara suar di pulau terpencil dan sebagai akses yang mempermudah kegiatan transportasi *crew* dan pengiriman logistik ke menara suar, mengingat akses darat yang cukup jauh dan sulit dari pelabuhan penumpang yang sudah ada di daerah tersebut.

Pada tahun 2015, Direktorat Kenavigasian akan melaksanakan Studi Investigasi dan Desain (SID) *jetty* di lokasi SBNP/ Menara Suar. Salah satu menara suar di Indonesia yang akan dilakukan studi investigasi dan desain untuk mendapat sarana dan prasarana *jetty*/dermaga adalah Menara Suar Tanjung

Kelian Distrik Navigasi I Kota Palembang, Bangka Belitung (Gambar 1).



Gambar 1 Lokasi Dermaga Navigasi di Tanjung Kelian

Tujuan dari tugas akhir ini adalah untuk menentukan kriteria desain serta penentuan desain struktur (ukuran dan mutu) struktur dermaga dan *trestle* pada perencanaan pembangunan Dermaga Navigasi di Tanjung Kelian, Bangka Belitung.

TEORI DAN METODOLOGI

Penentuan desain struktur dermaga navigasi dilakukan dengan terlebih dahulu menentukan kriteria-kriteria desainnya. Kriteria desain meliputi data lingkungan (pasang surut, peta batimetri, data tanah, gelombang, arus, dan angin), data kapal yang dilayani, dimensi, serta material yang digunakan pada struktur dermaga dan *trestle*.

Referensi yang dijadikan acuan/standar menentukan kriteria dalam pengerjaan desain adalah BS (*British Standard*), OCDI (*The Overseas Coastal Area Development Institute of Japan*) tahun 2002, dan SNI (Standar Nasional Indonesia) tahun 2012/2013/2014.

Pada Tugas Akhir ini, hal pertama yang dilakukan adalah pengolahan data lingkungan yang didapatkan. Data lingkungan seperti angin dan gelombang perlu dilakukan analisis nilai ekstrem dan *hindcasting* gelombang untuk mengetahui nilai tinggi gelombang dari data angin. Langkah selanjutnya adalah penentuan geometri dan perhitungan gaya-gaya yang bekerja pada struktur dermaga. Geometri yang ditentukan terdiri dari ukuran komponen-komponen dermaga (tiang pancang, balok, *pilecap*, dan pelat) serta konfigurasinya. Sedangkan gaya-gaya yang bekerja pada struktur adalah gaya *berthing*, gaya *mooring*, beban mati (berat struktur sendiri, *fender*, dan *bollard*), beban hidup (berat truk dan beban manusia), serta beban lingkungan (gaya gelombang, gaya arus, dan gaya gempa).

Perhitungan gaya *berthing* ditentukan dengan besarnya energi *berthing* yang pada prinsipnya adalah energi kinetik kapal saat bersandar. Rumus energi *berthing* adalah sebagai berikut.

$$E_N = \frac{1}{2} \cdot M_D \cdot V_B^2 \cdot C_e \cdot C_m \cdot C_s \cdot C_c \quad (1)$$

Keterangan:

- E_N = energi *berthing* (kN)
- M_D = massa kapal (ton)
- V_B = kecepatan kapal saat *berthing* (m/s)
- C_e = koefisien eksentrisitas
- C_m = koefisien massa hidrodinamik
- C_s = koefisien *softness*
- C_c = koefisien konfigurasi

Gaya *mooring* dihitung atas pengaruh arus dan angin. Perumusan gaya *mooring* akibat arus ditunjukkan dengan rumus berikut mengacu pada OCDI (2002).

$$F_{CT} = 0.5 \cdot C_D \cdot \rho_0 \cdot A_{CT} \cdot V_c^2 \quad (2)$$

$$F_{CL} = 0.5 \cdot C_D \cdot \rho_0 \cdot A_{CL} \cdot V_c^2 \quad (3)$$

Keterangan:

- F_{CT} = beban *mooring* arus transversal (kN)
- F_{CL} = beban *mooring* arus longitudinal
- A_{CT} = luas proyeksi arus transversal (m²)
- A_{CL} = luas proyeksi arus longitudinal (m²)
- C_D = koefisien tekanan arus
- ρ_0 = massa jenis air laut (kg/m³)
- V_c = kecepatan arus desain (m/s)

Gaya *mooring* akibat angin ditunjukkan dengan rumus sebagai berikut mengacu pada OCDI (2002).

$$F_{WT} = 0.5 \cdot C_W \cdot \rho_A \cdot A_{WT} \cdot V_W^2 \quad (4)$$

$$F_{WL} = 0.5 \cdot C_W \cdot \rho_A \cdot A_{WL} \cdot V_W^2 \quad (5)$$

Keterangan:

- F_{WT} = beban *mooring* angin transversal
- F_{WL} = beban *mooring* angin longitudinal
- A_{WT} = luas proyeksi angin transversal (m²)
- A_{WL} = luas proyeksi angin longitudinal
- C_W = koefisien gaya angin
- ρ_A = massa jenis udara (kg/m³)
- V_W = kecepatan angin desain (m/s)

Beban mati dan beban hidup berupa fasilitas ditentukan berdasarkan beratnya sendiri, sedangkan beban lingkungan seperti angin dan arus ditentukan berdasarkan gaya Morison dan program SAP2000, untuk beban gempa dilakukan dengan menggunakan respon spektrum dengan merujuk pada SNI-1726-2012.

Langkah selanjutnya adalah pemodelan struktur dermaga dengan program SAP2000. Program ini akan menghasilkan *output* berupa *unity check ratio* (UCR), defleksi struktur, gaya dalam pada balok dan pelat, serta reaksi peletakan. Perencanaan tulangan komponen beton dilakukan dengan perhitungan dan prosedur sistematis yang merujuk pada SNI-03-2987-2013 yang menggunakan hasil gaya dalam keluaran dari program SAP2000. Analisis daya dukung tanah terhadap tiang pancang akan dihitung menggunakan data tanah lokasi yang telah diketahui untuk mengetahui kekuatan tanah menahan beban struktur di atasnya,

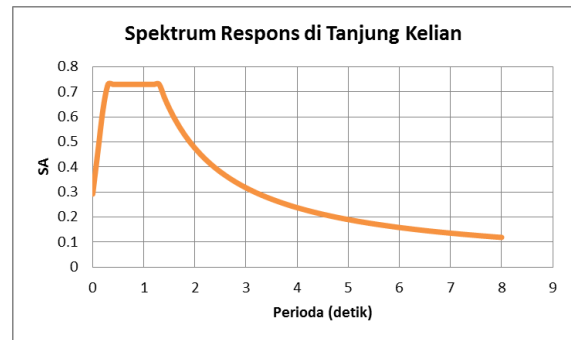
DASAR DESAIN DAN PEMODELAN

Dasar-dasar desain yang digunakan untuk melakukan desain struktur salah satunya adalah nilai parameter lingkungan. Nilai lingkungan yang digunakan dalam penentuan desain dapat dilihat pada Tabel 1 berikut ini.

Tabel 1 Nilai Parameter Lingkungan

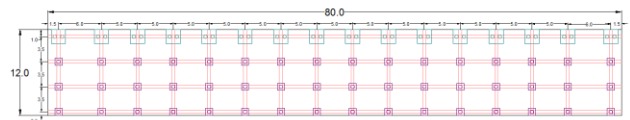
Parameter Lingkungan	Nilai	Satuan
Angin	15.33	m/s
Gelombang	1.25	m
Pasang Surut	4.8	m
Arus	1	m/s

Sedangkan untuk beban gempa dilakukan perhitungan secara manual dengan mengacu pada SNI 1726-2012. Respons spektrum gempa di Tanjung Kelian dapat dilihat pada Gambar 2 berikut ini.

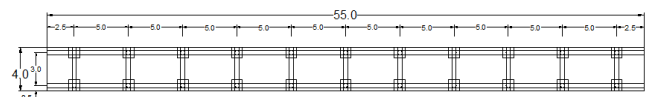


Gambar 2 Spektrum Respons Gempa

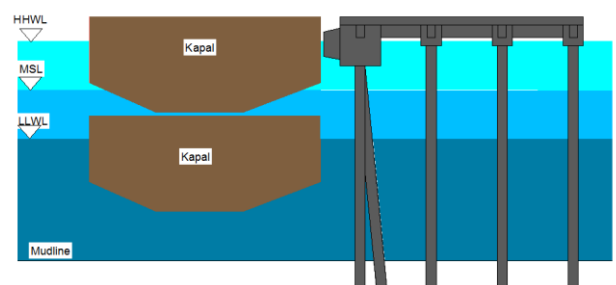
Desain struktur dermaga navigasi terdiri dari dua komponen yaitu dermaga dan *trestle*. Geometri struktur yang dimodelkan seperti yang ditunjukkan pada Gambar 3 dan Gambar 4.



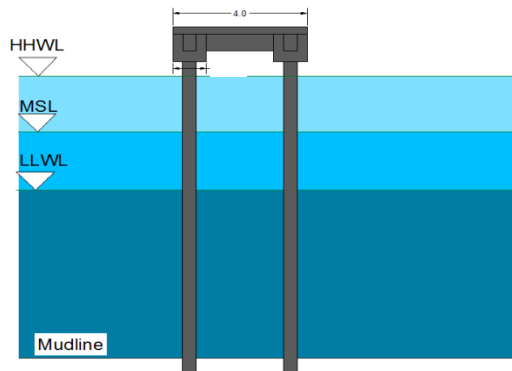
Gambar 3 Layout Model Struktur Dermaga



Gambar 4 Layout Model Struktur Trestle



Gambar 5 Tampak Samping Dermaga



Gambar 6 Tampak Samping *Trestle*

Geometri dermaga dan *trestle* ditunjukkan oleh Tabel 2 dan Tabel 3 di bawah ini.

Tabel 2 Geometri Struktur Dermaga

Kedalaman	4 m dari LLWL
Elevasi	6 m dari LLWL
Lebar	12 m
Panjang	80 m
Diameter Tiang Pancang	506 mm
Tebal Pelat	250 mm
Penampang Balok	400 x 500 mm
Pilecap	800 x 800 x 800 mm
	1500 x 1500 x 1500 mm

Tabel 3 Geometri Struktur *Trestle*

Kedalaman	4 m dari LLWL
Elevasi	6 m dari LLWL
Lebar	4 m
Panjang	55 m
Diameter Tiang Pancang	405 mm
Tebal Pelat	250 mm
Penampang Balok	400 x 500 mm
Pilecap	800 x 800 x 800 mm

Fasilitas struktur dermaga navigasi yang digunakan untuk menahan beban *berthing* dan beban *mooring* kapal adalah sebagai berikut:

- Arch Fender AN 800 E.3, dari Fentek
- Tee bollard 22.5 ton dari Trelleborg

Material yang digunakan pada struktur dermaga adalah material beton dan baja sebagai berikut:

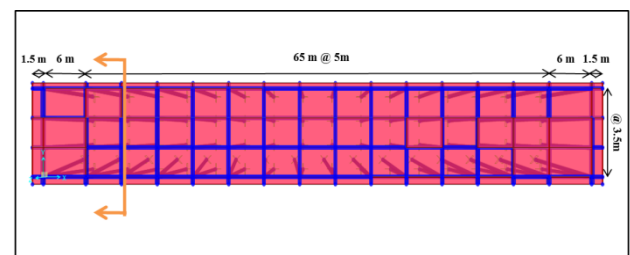
- Material beton K-350 dengan kuat tekan 31.2 Mpa.
- Material baja A36 untuk tiang pancang dan material baja dengan kuat tarik $f_y = 400$ Mpa untuk tulangan lentur dan $f_y = 240$ Mpa untuk tulangan geser.

Struktur dermaga ini didesain untuk dapat melayani kapal navigasi terbesar dengan ukuran 1271 GT dengan ukuran sebagai berikut.

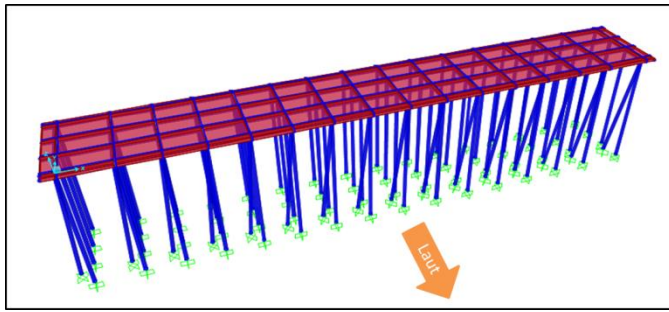
Tabel 4 Ukuran Kapal

Ukuran	Nilai	Satuan
LOA (<i>Length Over All</i>)	60	m
B (<i>Breadth</i>)	11.4	m
Depth	4.7	m
Draft	3.5	m
Freeboard	1.2	m

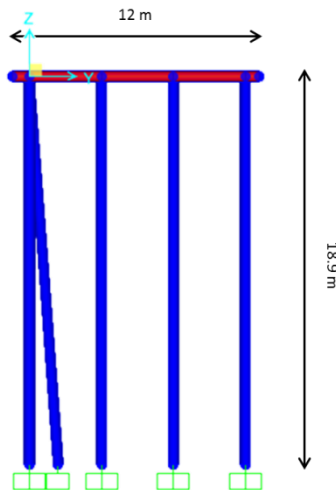
Pemodelan struktur dermaga dan *trestle* pada program SAP2000 dapat dilihat pada gambar di bawah ini.



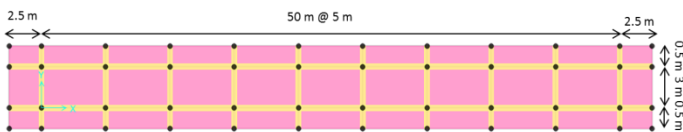
Gambar 7 Tampak Atas Pemodelan Dermaga



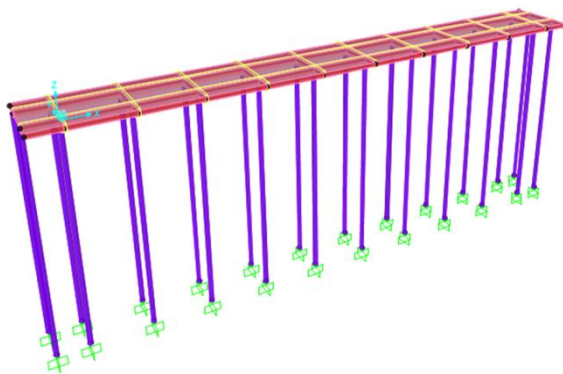
Gambar 8 Tampak 3D Pemodelan Struktur Dermaga



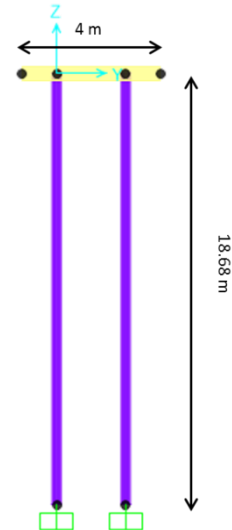
Gambar 9 Tampak Samping Pemodelan Struktur Dermaga



Gambar 10 Tampak Atas Struktur Trestle



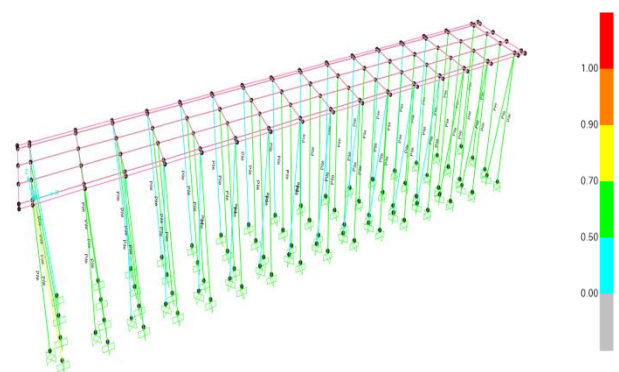
Gambar 11 Tampak 3D Pemodelan Struktur Trestle



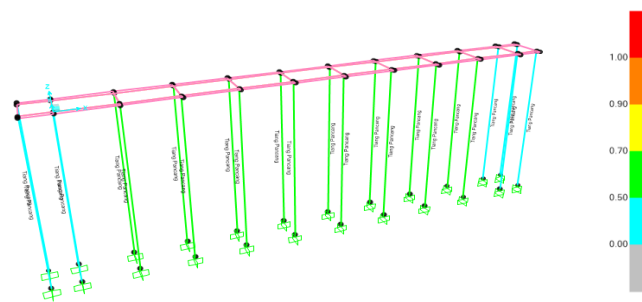
Gambar 12 Tampak Samping Pemodelan Struktur Trestle

HASIL DAN ANALISIS

Analisis struktur dermaga dan *trestle* yang pertama adalah pengecekan hasil UCR yang terjadi pada tiang pancang baja, Gambar 13 dan Tabel 3 menunjukkan hasil UCR dermaga dan Gambar 7 dan Tabel 4 menunjukkan hasil UCR *trestle*. Dari gambar dan tabel tersebut menunjukkan pemodelan memenuhi kriteria desain karena memiliki UCR tidak lebih dari 1.



Gambar 13 Hasil UCR pada Tiang Pancang Baja Dermaga



Gambar 14 Hasil UCR pada Tiang Pancang Baja *Trestle*

Tabel 3 Rangkuman Pengecekan UCR Maksimum

DERMAGA			
Nomor Frame	Rasio	Kombinasi Pembebanan	
382	0.72	71	1.2 DL + 1LL + 1 Wx+ + 1Cx+ + 1B2

Tabel 4 Rangkuman Pengecekan UCR Maksimum *Trestle*

TRESTLE			
Nomor Frame	Rasio	Kombinasi Pembebanan	
27	0.54	21	1.2 DL + 1.6 LL

Analisis struktur dermaga selanjutnya adalah pengecekan defleksi yang terjadi pada ujung tiang pancang baja. Hasil pengecekan defleksi dapat dilihat pada Tabel 5 dan Tabel 6. Dimana deflesi tertinggi tidak lebih dari defleksi izin yang diberikan oleh SNI-03-2847-2013.

Tabel 5 Pengecekan Defleksi Dermaga

DERMAGA				
Defleksi Izin (m)	Nomor Joint	U1 (m)	Kombinasi Pembebanan	
0.083	268	0.0423	31	1.2 DL + 1LL + 1 Wx + 1Cx + 1Mx
Defleksi Izin (m)	Nomor Joint	U2 (m)	Kombinasi Pembebanan	
0.083	38	0.0703	72	1.2 DL + 1LL + 1 Wy+ + 1Cy+ + 1B2
Defleksi Izin (m)	Nomor Joint	U3 (m)	Kombinasi Pembebanan	
0.083	316	0.0016	61	1.2 DL + 1LL + 1 Wx + 1Cx + 1B1

Tabel 6 Pengecekan Defleksi *Trestle*

TRESTLE				
Defleksi Izin (m)	Nomor Joint	U1 (m)	Kombinasi Pembebanan	
0.077	134	0.0257	61	0.9 DL + 1 Wx + 1Cx + 1Ex
Defleksi Izin (m)	Nomor Joint	U2 (m)	Kombinasi Pembebanan	
0.077	141	0.03	72	0.9 DL + 1 Wy+ + 1Cy+ + 1Ey
Defleksi Izin (m)	Nomor Joint	U3 (m)	Kombinasi Pembebanan	
0.077		0		

Selanjutnya, pengambilan *output* berupa reaksi peletakan dan gaya dalam dilakuakn sebagai bahan input untuk perencanaan tulangan dan pengecekan *punching shear* komponen beton. *Output* berupa reaksi perletakan digunakan untuk mengetahui gaya-gaya yang terjadi pada peletakan jepit di ujung bawah tiang pancang. Gaya reaksi peletakan arah sumbu-z digunakan untuk mengecek *punching shear* pada *pilecap*. *Output* berupa gaya dalam pada balok ditinjau untuk menentukan desain tulangan lentur dan sengkang.

Tabel 7 Gaya Dalam Dermaga

Dermaga				
Elemen	Tipe	V2 (kN)	M3 (kN.m)	
			+	-
Balok	Memanjang	191.4	185.21	133.58
	Melintang	82.56	64.66	35.5
		M11 (kN.m/m)	M22 (kN.m/m)	
Pelat	Tipe 1	28.11	34.42	
	Tipe 2	15.8	30.65	
	Tipe 3	32.43	32.22	

Tabel 8 Gaya Dalam *Trestle*

Trestle				
Elemen	Tipe	V2 (kN)	M3 (kN.m)	
			+	-
Balok	Melintang	59.09	34.6	23.38
	Memanjang	88.31	84.03	50.71
		M11 (kN.m/m)	M22 (kN.m/m)	
Pelat	Tipe 1	17.04	3.98	
	Tipe 2	18.01	7.92	

Dengan menggunakan gaya dalam yang terdapat pada Tabel 7 dan Tabel 8, maka penulangan komponen struktur dapat dihitung dengan mengacu pada SNI 03-2847-2013. Gaya-gaya tersebut selanjutnya dibandingkan terhadap beban nominal dari masing-masing penampang komponen beton. Rangkuman hasil perencanaan penulangan adalah sebagai berikut.

a. Balok

- Balok memanjang dermaga
Lentur atas : baja ulir D22, 4 buah
Lentur bawah : baja ulir D22, 5 buah
Sengkang : baja polos D10, 150 mm
- Balok melintang dermaga
Lentur atas : baja ulir D19, 3 buah
Lentur bawah : baja ulir D19, 4 buah
Sengkang : baja polos D10, 200 mm
- Balok memanjang *trestle*
Lentur atas : baja ulir D16, 3 buah
Lentur bawah : baja ulir D16, 5 buah
Sengkang : baja polos D10, 200 mm
- Balok melintang *trestle*
Lentur atas : baja ulir D16, 3 mbuah
Lentur bawah : baja ulir D16, 3 buah
Sengkang : baja polos D10, 200 mm

b. Pelat

- Dermaga
Tulangan arah x : baja ulir D13, spasi 196 mm
Tulangan arah y : baja ulir D13, spasi 225 mm
- *Trestle*

Tulangan arah x : baja ulir D13, spasi 355 mm

Tulangan arah y : baja ulir D13, spasi 440 mm

c. *Pilecap*

- Tipe 1 dermaga
Tulangan arah panjang : baja ulir D22, 10 buah
Tulangan arah lebar : baja ulir D22, 10 buah
- Tipe 2 dermaga
Tulangan arah panjang : baja ulir D22, 3 buah
Tulangan arah lebar : baja ulir D22, 3 buah
- *Trestle*
Tulangan arah panjang : baja ulir D22, 3 buah
Tulangan arah lebar : baja ulir D22, 3 buah

KESIMPULAN

Struktur dermaga yang didesain terdiri dari dua struktur yaitu struktur dermaga dan struktur *trestle* yang dimodelkan sebagai dua struktur yang terpisah dan akan digunakan sebagai dermaga khusus kenavigasian tempat transportasi *crew* dan pengiriman logistik ke menara suar distrik Tanjung Kelian.

1. Tunggang pasang yang terjadi di lokasi dermaga adalah sebesar 4.8 meter.

2. Tinggi gelombang hasil *hindcasting* dengan perioda ulang 50 tahun adalah 3.25 meter.
3. Desain dermaga navigasi yang melayani kapal navigasi terbesar KN Bimasakti dengan ukuran 1271 GT memiliki geometri umum sebagai berikut:
 - Kedalaman perairan : 4 m dari LLWL;
 - Elevasi lantai : +6 m dari LLWL;
 - Total lebar dermaga : 12 meter;
 - Total panjang dermaga : 80 meter;
 - Total lebar *trestle* : 4 meter;
 - Total panjang *trestle* : 55 meter;
4. Jenis pondasi yang digunakan pada desain ini adalah dermaga dengan tipe *deck on pile*.
5. Berdasarkan analisis daya dukung tanah, dapat disimpulkan bahwa daya dukung tanah mampu menopang beban struktur dermaga dan *trestle* karena persamaan $P_{total} < P_{allowable}$ terpenuhi untuk kedua struktur.

- **Dermaga**

$$P_{total} = 264.036 \text{ ton}$$

$$P_{allow} = 751.9 \text{ ton}$$

- **Trestle**

$$P_{total} = 119.143 \text{ ton}$$

$$P_{allow} = 456.6 \text{ ton}$$

6. Dari hasil analisis pemodelan struktur dengan SAP2000, struktur telah memenuhi persyaratan defleksi izin dan syarat *Unity Check Ratio* (UCR).

- **Dermaga**

UCR: 0.728 pada kombinasi pembebanan *berthing*

Defleksi: 0.07 m pada arah-y pada kombinasi pembebanan *berthing*
0.043 m pada arah-x pada kombinasi pembebanan *mooring*

- **Trestle**

UCR : 0.54 pada kombinasi pembebanan *dead load* dan *live load*

Defleksi : 0.03 m pada arah-y pada kombinasi pembebanan gempa
0.025 m pada arah-x pada kombinasi pembebanan gempa

SARAN

- Diperlukan data arus yang akurat pada lokasi perencanaan seperti grafik arus satu tahunan sehingga nilai arus desain yang digunakan akan lebih akurat.
- Diperlukan data kapal navigasi yang lebih jelas dimensinya agar desain struktur dermaga menjadi lebih akurat.
- Perlu adanya pertimbangan dalam perancangan di kondisi nyata (lapangan). Pada laporan ini desain dermaga masih dihitung secara teoritis tanpa mempertimbangkan proses pemasangan serta kondisi nyata, sehingga perlu dilakukan *detailling* untuk bisa diterapkan di lapangan.
- Diperlukan perhitungan transformasi gelombang secara manual agar nilai tinggi

gelombang yang berada pada lokasi dermaga dapat diketahui dengan lebih akurat.

Triatmodjo, Bambang. 2009. Perencanaan Pelabuhan. Yogyakarta: Beta Offset.

DAFTAR PUSTAKA

- AISC Steel Construction Manual, 14th Edition
ASCE Standard 7 2010, Minimum Design Loads for Buildings and Other Structures (ASCE 7-10)
British Standard, Maritime Structures – Part 1: Code of Practice for General Criteria (BS 6349-1 2000)
Fentek Marine Systems. 2000. Fentek® Marine Fendering Systems Catalogue. Hamburg: Fentek
OCDI. 2002. Technical Standards and Commentaries for Port and Harbour Facilities in Japan. Japan: OCDI.
Standar Nasional Indonesia, Persyaratan Beton Struktural untuk Bangunan Gedung (SNI 03-2847-2013)
Standar Nasional Indonesia, Tata Cara Perencanaan Ketahanan Gempa untuk Struktur Bangunan Gedung dan Nojn Gedung (SNI 1726-2012)
Standar Nasional Indonesia, Baja Tulanagn Beton (SNI 2052-2014)
Thoresen, Carl A. 2014. Port Designer's Handbook, Third Edition. London: ICE Publishing.
Trelleborg. 2007. Safe Berthing and Mooring, Trelleborg Marine Systems. ____: Trelleborg.