

DESAIN DERMAGA BATU BARA CIREBON PADA TAHAP CONCEPTUAL DESIGN DAN DETAIL DESIGN

Steffi Stevanie

Program Studi Sarjana Teknik Kelautan, Fakultas Teknik Sipil dan Lingkungan

Institut Teknologi Bandung

Jl. Ganeca No.10, Bandung 40132

steffi.stevanie@yahoo.com

Kata Kunci: dermaga, batu bara, desain struktur, conceptual design, detail design, SAP2000

ABSTRAK

Pengembangan *powerplant* milik PLTU Cirebon mengakibatkan kebutuhan batu bara meningkat sehingga berimbas pada peningkatan aktivitas bongkar di dermaga. Untuk mengantisipasi permasalahan yang mungkin terjadi, PT Cirebon Electric Power sebagai pengelola PLTU Cirebon merencanakan dermaga baru di lokasi yang tidak jauh dari dermaga lama. Perencanaan ini menggunakan kriteria desain dan acuan standar tertentu agar struktur mampu menahan beban yang bekerja.

Data-data lingkungan yang terdiri dari angin, gelombang, arus, pasang-surut, dan tanah digunakan dalam penentuan kriteria desain dermaga, penentuan elevasi dermaga, perhitungan beban pada struktur, pemodelan struktur, dan analisis daya dukung tanah yang bertujuan untuk memeriksa potensi kegagalan selama masa operasi.

Perencanaan dermaga batu bara dilakukan dalam dua tahap, yaitu *conceptual design* dan *detail design*. Pada tahap *conceptual design*,

perhitungan dan perencanaan beban dilakukan secara manual dengan desain yang sederhana menggunakan program Mathcad. *Output* yang dihasilkan pada tahap *conceptual design* berupa dimensi elemen struktur tiang pancang. Hasil ini kemudian dianalisis melalui tekuk (*buckling*) yang terjadi pada tiang.

Pada tahap *detail design*, perencanaan dilakukan sesuai dengan desain aktual menggunakan pemodelan perangkat lunak SAP2000. *Output* yang dihasilkan dari perangkat lunak SAP2000 berupa *unity check ratio* (UCR), *displacement*, gaya dalam, dan reaksi perletakan. Hasil ini akan digunakan dalam penentuan dimensi elemen struktur, perancangan elemen beton bertulang, dan analisis daya dukung tanah.

PENDAHULUAN

PT. Cirebon Electric Power adalah pelaku ekonomi yang memanfaatkan laut sebagai jalur transportasi penunjang kegiatan usaha di bidang pembangkit listrik. Perusahaan ini menjalin kerja sama dengan Pelabuhan Cirebon terkait terminal

batu bara dengan menggunakan dua dermaga tipe *wharf*. Namun, belakangan PLTU Cirebon, yang berada di bawah bendera PT.Cirebon Electric Power, akan melakukan pengembangan *power plant* sehingga dibutuhkan lebih banyak batu bara yang berimbas pada peningkatan aktivitas bongkar di dermaga Pelabuhan Cirebon.

Dengan adanya pengembangan *power plant*, PT. Cirebon Electric Power mengantisipasi permasalahan yang mungkin terjadi dalam hal transportasi suplai batu bara dengan merencanakan dermaga bongkar batu bara di lokasi baru yang terletak di sebelah selatan dari Pelabuhan Cirebon.

Perencanaan dermaga batu bara milik PT. Cirebon Electric Power terdiri dari dua tahap, yaitu *conceptual design* dan *detail design*. Kedua tahap ini sama-sama mengeluarkan hasil berupa dimensi elemen struktur dermaga.

Pada tahap *conceptual design*, perhitungan dimensi elemen dermaga dilakukan secara manual dengan desain dermaga yang sederhana sedangkan pada tahap *detail design* penentuan dimensi elemen dermaga dilakukan sesuai desain aktual menggunakan pemodelan. Tahap *detail design* ini lebih kompleks dan sudah pasti memenuhi kriteria desain karena tidak mengalami penyederhanaan kondisi dan diperiksa melalui program pemodelan. Namun, akan sangat memudahkan apabila dimensi elemen struktur pada tahap *conceptual design* sudah sesuai dengan kriteria desain.

Pada tugas akhir ini, dilakukanlah desain dermaga berdasarkan perbandingan dimensi tahap *conceptual design* dan tahap *detail design* dengan tetap mengacu pada pembebanan dan kriteria desain dermaga.

TEORI DAN METODOLOGI

Perencanaan dermaga dimulai dengan mengumpulkan data sekunder terkait struktur dermaga batu bara, mulai dari data lingkungan berupa data angin, gelombang, arus, pasang-surut, dan tanah, hingga data operasional dermaga berupa data kapal rencana dan peralatan yang akan beroperasi di atas struktur.

Data-data di atas diolah hingga menghasilkan perhitungan beban dan *layout* serta dimensi dermaga yang sesuai dengan kondisi lingkungan dan operasional berdasarkan standar yang digunakan, yaitu OCDI (*The Overseas Coastal Area Development Institute of Japan*) tahun 2002¹, BS (*British Standard*) tahun 2000², SNI (Standar Nasional Indonesia) tahun 2002/2012/2013^{3,4,5}, dan ASCE (*American Society of Civil Engineers*) tahun 2002⁶.

Pada Tugas Akhir ini, langkah awal yang dilakukan adalah melakukan pengolahan data lingkungan, berupa angin dan gelombang, dengan analisis harga ekstrem untuk memperoleh kecepatan angin dan tinggi gelombang desain.

Langkah berikutnya adalah perhitungan beban berdasarkan kondisi lingkungan dan operasional yang terjadi di dermaga. Beban ini terdiri dari

beban vertikal dan horizontal. Beban vertikal terdiri dari beban mati (berat struktur dan komponennya) dan beban hidup (manusia dan alat berat). Sementara itu, beban horizontal terdiri dari beban arus, beban gelombang, beban *berthing*, beban *mooring*, dan beban gempa.

Beban mati merupakan beban yang mencakup berat dari seluruh material pada komponen struktur dermaga. Berat struktur dapat dihitung menggunakan persamaan berikut:

$$W = \rho g V \quad (1)$$

Keterangan:

W : Berat struktur (kN)
 ρ : Massa jenis benda (kg/m³)
 g : Percepatan gravitasi (9.81 m/s²)
 V : Volume benda (m³)

Beban arus dan beban gelombang dihitung secara otomatis oleh perangkat lunak SAP2000. Beban *berthing* merupakan beban yang diterima dermaga ketika kapal bersandar. Beban ini dihitung berdasarkan besar energi *berthing* menggunakan persamaan berikut:

$$E = \left(\frac{M_s V^2}{2} \right) C_e C_m C_s C_c \quad (2)$$

Keterangan:

E : Energi *berthing* kapal (kJ = kN.m)
 M_s : Massa kapal (ton)
 V : Kecepatan *berthing* kapal (m/s)
 C_e : Koefisien eksentrisitas (*eccentricity factor*)
 C_m : Koefisien massa virtual (*virtual mass factor*) = standar 1.0

C_s : Koefisien kelembutan (*softness factor*)
 C_c : Koefisien konfigurasi dermaga (*berth configuration factor*) = standar 1.0

Beban *mooring* dihitung berdasarkan gaya angin dan arus yang bekerja pada arah transversal dan longitudinal menggunakan persamaan berikut:

$$R_T = R_{WY} + R_{CY} \quad (3)$$

$$R_L = R_{WX} + R_{CX} \quad (4)$$

Keterangan:

R_T : Beban *mooring* arah transversal
 R_L : Beban *mooring* arah longitudinal
 R_{WY} : Beban angin arah transversal
 R_{WX} : Beban angin arah longitudinal
 R_{CY} : Beban arus arah transversal
 R_{CX} : Beban arus arah longitudinal

Beban angin dihitung berdasarkan OCDI 2002¹ menggunakan persamaan berikut:

$$R_{WT} = \frac{1}{2} \times \rho_a \times U^2 \times A_T \times C_T \quad (5)$$

$$R_{WL} = \frac{1}{2} \times \rho_a \times U^2 \times A_L \times C_L \quad (6)$$

Keterangan:

R_{WT} : Gaya angin arah transversal (kN)
 R_{WL} : Gaya angin arah longitudinal (kN)
 ρ_a : Massa jenis angin (ton/m³)
 U : Kecepatan angin (m/s)
 A_T : Luas proyeksi kapal arah transversal (m²)
 A_L : Luas proyeksi kapal arah longitudinal (m²)
 C_T : Koefisien seret arah transversal
 C_L : Koefisien seret arah longitudinal

Beban arus dihitung berdasarkan OCDI 2002¹ menggunakan persamaan berikut:

$$R_{CT} = 0.5 \times \rho_0 \times C \times V^2 \times B \quad (7)$$

$$R_{CL} = 0.0014 \times S \times V^2 \quad (8)$$

Keterangan:

- R_{CT} : Gaya arus untuk arah transversal (kN)
 R_{CL} : Gaya arus untuk arah longitudinal (kN)
 B : Area terendam proyeksi transversal (m²)
 S : Area terendam proyeksi longitudinal (m²)
 V : Kecepatan arus (m/s)
 ρ_0 : Massa jenis air laut (m³)
 C : Koefisien tekanan arus

Beban gempa dihitung berdasarkan SNI 1726-2002³ yang menghasilkan grafik spektrum respons desain yang kemudian digunakan sebagai *input* untuk beban gempa pada perangkat lunak SAP2000.

Langkah berikutnya adalah pemodelan struktur dermaga menggunakan perangkat lunak SAP2000. *Output* yang dihasilkan dari perangkat lunak SAP2000 berupa *unity check ratio* (UCR), *displacement*, gaya dalam, dan reaksi perletakan. Gaya dalam dan reaksi perletakan pada elemen struktur hasil pemodelan perangkat lunak SAP2000 dijadikan sebagai *input* pada desain penulangan elemen beton bertulang dan pengecekan *punching shear* berdasarkan SNI 2987-2013⁵.

Langkah selanjutnya adalah perhitungan dimensi tiang pancang berdasarkan beban vertikal dan horizontal yang telah dihitung menggunakan perangkat lunak Mathcad. Dimensi yang dihasilkan akan mengalami pemeriksaan tekuk

untuk mengetahui rasio tegangan yang terjadi pada tiang pancang akibat pembebanan.

Analisis daya dukung tanah terhadap tiang pancang dihitung berdasarkan data tanah pada lokasi dermaga, beban yang bekerja pada struktur, dan reaksi perletakan hasil pemodelan perangkat lunak SAP2000, untuk mengetahui daya dukung tanah dalam menahan beban struktur di atasnya.

KRITERIA DESAIN DAN PEMODELAN

Kriteria desain pada perencanaan struktur dermaga di antaranya berupa parameter lingkungan dan operasional. Parameter lingkungan yang digunakan sebagai kriteria desain dalam perencanaan struktur pada Tugas Akhir ini ditunjukkan melalui Tabel 1 sedangkan parameter operasional berupa karakteristik kapal layan rencana tongkang batu bara 13000 DWT ditunjukkan melalui Tabel 2.

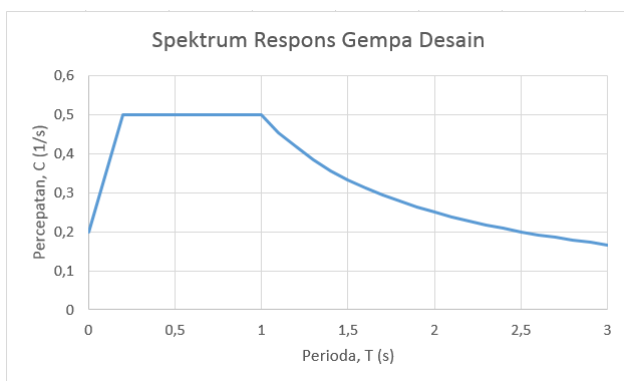
Tabel 1 Nilai Parameter Lingkungan

Parameter Lingkungan	Nilai	Satuan
Kecepatan angin desain	33.95	m/s
Tinggi gelombang desain	1.5	m
Kecepatan arus	0.38	m/s
Tunggang pasang	1.02	m
Kedalaman perairan	-6.5	m dari LWS

Tabel 2 Karakteristik Kapal Rencana

Ukuran	Nilai	Satuan
Vessel Tongkang 13000 DWT		
LOA (<i>Length Over All</i>)	121	m
<i>Breadth</i>	22.5	m
<i>Draft</i>	5	m
<i>Freeboard</i>	1.4	m

Beban gempa yang dimasukkan dalam perangkat lunak SAP2000 dihitung secara otomatis oleh SAP2000 berbekal grafik spektrum respons desain menggunakan SNI 1726-2002³. Grafik spektrum respons desain di Cirebon dapat dilihat melalui Grafik 1.



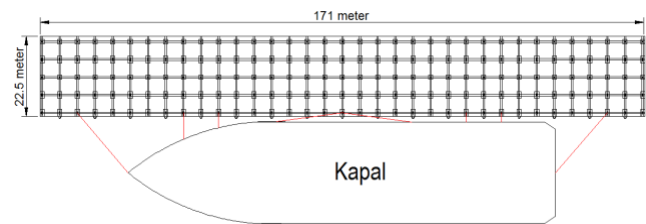
Grafik 1 Spektrum Respons Desain

Desain struktur dermaga mengacu pada geometri struktur yang ditunjukkan melalui Tabel 3. Desain struktur dermaga yang dimodelkan pada perangkat lunak SAP2000 ditunjukkan melalui Gambar 1 sedangkan potongan melintang dermaga ditunjukkan melalui Gambar 2.

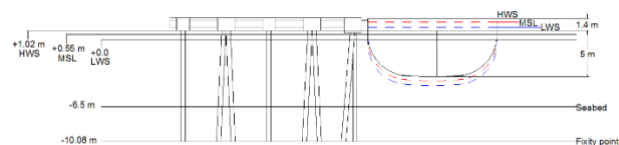
Tabel 3 Geometri Struktur Dermaga

Kedalaman perairan	-6.5 m dari LWS
Panjang dermaga	171 m
Lebar dermaga	22.5 m
Elevasi dermaga	+4 m dari LWS

Diameter tiang pancang	500 mm
Tebal tiang pancang	12 mm



Gambar 1 Desain struktur dermaga (1)



Gambar 2 Potongan melintang dermaga

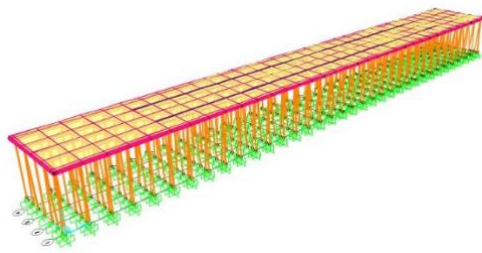
Fasilitas struktur pada dermaga yang digunakan untuk menahan beban lingkungan dan beban kapal adalah terdiri dari:

- *Fentek Super Cone Fender* dengan $E_R = 541$ kN.m dan $R_R = 947$ kN, dipasang 17 buah
- *Trelleborg Marine System bollard* 80 ton, 8 buah.

Material yang digunakan dalam perancangan struktural dermaga dituliskan sebagai berikut.

- Material beton K-300 dengan kuat tekan 29.05 MPa.
- Material baja ASTM A292 Grade 2 ($f_y = 410$ MPa) untuk tiang pancang dan material baja BJTD-40 ($f_y = 400$ MPa) untuk tulangan lentur serta BJTP-24 ($f_y = 240$ MPa) untuk tulangan geser.

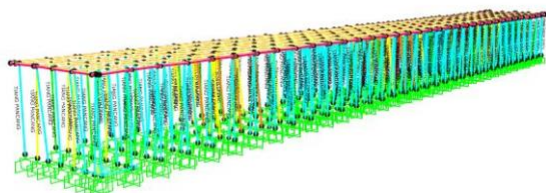
Pemodelan struktur dermaga pada perangkat lunak SAP2000 ditunjukkan melalui Gambar 3.



Gambar 3 Dermaga 3 dimensi

HASIL DAN ANALISIS

Analisis struktur yang dilakukan pada *detail design* yaitu pengecekan *unity check ratio* dan *displacement* pada dermaga yang dimodelkan. *Unity check ratio* merupakan rasio antara tegangan akibat beban yang bekerja pada struktur dengan kapasitas tegangan dari material yang digunakan pada elemen struktur. Struktur masih berada dalam batas aman jika nilai UCR yang dihasilkan < 1 . Gambar 4 menunjukkan UCR yang terjadi pada elemen tiang dermaga.



Gambar 4 Hasil UCR pemodelan dermaga

Dari hasil pemodelan dermaga didapat nilai UCR maksimum sebesar 0.897 akibat kombinasi pembebanan COMB13.14 (1.2D + L2 + WC_Y + B2)) dan nilai UCR minimum sebesar 0.247 akibat kombinasi pembebanan COMB15.06 (1.2D + L3 + EY).

Displacement merupakan perubahan posisi struktur akibat beban yang bekerja pada struktur.

Besarnya defleksi maksimum yang diizinkan pada struktur diatur oleh standar SNI 03-1729-2002³. Defleksi maksimum yang diizinkan pada struktur dermaga adalah 0.0704 m. Besar defleksi yang terjadi pada struktur ditunjukkan melalui Tabel 4 berikut.

Tabel 4 Defleksi Maksimum Struktur

Struktur	Joint	Arah	Defleksi (m)	Kombinasi Pembebanan
Dermaga	120	U1	0.009738	COMB61
	127	U2	0.049671	COMB55
	53	U3	-0.002005	COMB2
Trestle	20	U1	0.010757	COMB61
	31	U2	0.010846	COMB52
	10	U3	-0.002529	COMB2

Gaya dalam pada elemen struktur digunakan sebagai *input* dalam desain penulangan elemen beton sedangkan reaksi perletakan digunakan dalam perhitungan *punching shear* dan analisis daya dukung tanah. Besar gaya dalam yang terjadi pada struktur ditunjukkan melalui Tabel 5 berikut.

Elemen struktur	Gaya geser (V2), kN		Momen (M3), kN.m	
	Positif	Negatif	Positif	Negatif
Balok memanjang	98.27	98.16	158.09	140.10
Balok melintang	79	79.90	100.89	100.87
Balok kantilever	36.83	26.12	29.26	75.82
Balok crane	1617.29	1617.93	1185.89	911.33
Pelat	Momen arah x (M22), kN.m		Momen arah y, (M11), kN.m	
	Positif	Negatif	Positif	Negatif
	39.98	29.83	51.69	29.83

Gaya dalam yang diperoleh dari pemodelan struktur digunakan dalam desain penulangan elemen beton berdasarkan standar SNI 2847-2013. Gaya dalam ini akan dibandingkan terhadap beban nominal masing-masing elemen struktur. Rangkuman desain penulangan pada elemen beton adalah sebagai berikut.

- Balok memanjang
 - Lentur tekan: Baja sirip D22, 4 buah
 - Lentur tarik: Baja sirip D22, 3 buah
 - Sengkang: Baja polos D8, 180 mm
- Balok melintang
 - Lentur tekan: Baja sirip D19, 4 buah
 - Lentur tarik: Baja sirip D19, 4 buah
 - Sengkang: Baja polos D8, 180 mm
- Balok *crane*
 - Lentur tekan: Baja sirip D32, 7 buah
 - Lentur tarik: Baja sirip D32, 5 buah
 - Sengkang: Baja polos D22, 95 mm
- Balok kantilever
 - Lentur tekan: Baja sirip D19, 4 buah
 - Lentur tarik: Baja sirip D19, 4 buah
- Pelat
 - Tulangan arah x: Baja sirip D10,
 - 8 buah untuk 1 meter lebar pelat
 - Tulangan arah y: Baja sirip D10,
 - 10 buah untuk 1 meter lebar pelat
- *Pile cap*
 - *Pile cap* biasa: Baja sirip D22, 11 buah
 - *Pile cap* khusus tiang ganda: Baja sirip D22, 9 buah

- *Pile cap* khusus *fender* dan *bollard*: Baja sirip D22, 10 buah

KESIMPULAN

Berdasarkan hasil pengerjaan Tugas Akhir “Desain Dermaga Batu Bara Cirebon Pada Tahap *Conceptual Design* dan *Detail Design*” didapatkan kesimpulan sebagai berikut.

1. Struktur dermaga yang didesain merupakan dermaga batu bara tipe *wharf* dengan kapal layan rencana berupa *barge* 13000 DWT.
Dimensi dermaga:
Panjang : 171 meter
Lebar : 22.5 meter
Elevasi : +4 meter (dari LWS)
2. Dimensi elemen struktur pada *detail design* didapat sebagai berikut.
 - Tiang pancang
 - Diameter : 500 mm
 - Tebal : 12 mm
 - Balok biasa
 - Tinggi : 600 mm
 - Lebar : 400 mm
 - Balok *crane*
 - Tinggi : 1000 mm
 - Lebar : 600 mm
 - Pelat
 - Tebal : 350 mm
 - *Pile cap*
 - Pile cap* biasa: 1.2 m x 1.2 m x 1.2 m
 - Pile cap* khusus tiang ganda: 2 m x 1.5 m x 1.2 m

Pile cap khusus fender dan bollard: 2 m x 1.75 m x 1.2 m

3. Berdasarkan hasil perhitungan pada tahap *conceptual design* didapat dimensi elemen struktur tiang pancang sebagai berikut.

Diameter : 700 mm

Tebal : 17 mm

UCR : 0.935

4. Perbedaan dimensi elemen struktur pada tahap *conceptual design* dan *detail design* diakibatkan oleh gaya *berthing* yang besar sehingga harus ditahan oleh tiang berdimensi besar. Selain itu, terdapat selisih yang cukup besar antara gaya input pada *conceptual design* dan *detail design*.

SARAN

Saran yang perlu diperhatikan dalam perencanaan struktur dermaga batu bara dituliskan sebagai berikut:

1. Desain struktur dermaga yang dilakukan pada laporan ini merupakan perhitungan secara teoritis sehingga perlu dilakukan optimasi lebih lanjut untuk mendapatkan hasil yang baik.
2. Pada tahap *conceptual design* sebaiknya dilakukan analisis lebih lanjut perihal beban yang bekerja pada dermaga supaya tidak terlalu konservatif.

DAFTAR PUSTAKA

1. ASCE Standard 7 2010, Minimum Design Loads for Buildings and Other Structures (ASCE 7-10)
2. British Standard, Maritime Structures – Part 4: Code of Practice for Design of Fendering and Mooring Systems (BS 6439-4 2000)
3. Das, Braja. 2011. Principles of Foundation Engineering, Seventh Edition. Stamford: Cengage Learning.
4. Fentek Marine Systems. 2000. Fentek® marine Fendering Systems Catalogue. Hamburg: Fentek.
5. OCDI. 2002. Technical Standards and Commentaries for Port and Harbbour Facilities in Japan. Japan: OCDI.
6. Standar Nasional Indonesia, Baja Tulangan Beton (SNI 2052-2014)
7. Standar Nasional Indonesia, Persyaratan Beton Struktural untuk Bangunan Gedung (SNI 2847-2013)
8. Standar Nasional Indonesia, Tata Cara Perencanaan Ketahanan Gempa untuk Struktur Bangunan Gedung dan Non Gedung (SNI 1726-2012)
9. Standar Nasional Indonesia, Tata Cara Perencanaan Struktur Baja untuk Bangunan Gedung (SNI 03-1729-2002)
10. Thoresen, Carl A. 2014. Port Designer's Handbook, Third Edition. London: ICE Publishing.

11. Trellebord. 2007. Safe Berthing and Mooring, Trelleborg Marine Systems. ____: Trelleborg.
12. Triatmodjo, Bambang. 2009. Perencanaan Pelabuhan. Yogyakarta: Beta Offset.