

Evaluasi Kapasitas Eksisting Pelabuhan Bongkar Batubara Terhadap Peningkatan Ukuran Tonase Kapal

The Evaluation of Existing Capacity of Coal Unloading Ports to Increase the Size of Ship

Maria Angelin Naiborhu ^{a,1*}

^aInstitut Transportasi dan Logistik Trisakti, Jakarta, Indonesia

^{1*}maria.n@hire.co.id

*corresponding e-mail

This is an open access article under the terms of the CC-BY-NC license

ABSTRACT

Coal unloading ports at a steam power plant (PLTU), the size of barge or ship is determined based on the needs of coal consumption each month and the safety factors that considers period of downtime due to weather factor. The percentage of downtime when the design is calculated to be distributed in a period of time can last for several weeks and cause a break in the supply of coal to the power plant in a long period of time. Regarding this condition, it is necessary to use bigger ship capacity. The size of ships served in some PLTU must be evaluated. This article discusses a case of port capacity evaluation in one of PLTU in Southern Coast of Java if it was able to serve a ship with bigger size. An evaluation to the capacity of pier pole structure was done by using SAP2000 software and the evaluation of pier dimension, fender and bollard capacity, as well as the depth and the area of existing turning basin that have been done by using port design standards. The result of the evaluation is an early indication for the size of ships which still can be served by the existing port PLTU.

Keywords: coal loading port, fender, bollard, turning basin

ABSTRAK

Untuk pelabuhan bongkar batubara pada suatu Pembangkit Listrik Tenaga Uap (PLTU), ukuran tongkang atau kapal ditentukan berdasarkan kebutuhan konsumsi batubara per-bulan ditambah dengan faktor keamanan yang mempertimbangkan periode *downtime* akibat faktor cuaca. Persentase *downtime* yang pada saat desain diperhitungkan terdistribusi dalam 1 tahun ternyata sering terakumulasi dalam suatu periode waktu yang dapat berlangsung selama beberapa minggu dan menyebabkan putusnya pasokan batubara ke PLTU dalam jangka waktu cukup panjang. Terkait kondisi tersebut, perlu dilakukan pengiriman batubara dengan menggunakan kapal berkapasitas lebih besar. Seberapa besar kapal yang masih dapat dilayani oleh fasilitas pelabuhan PLTU eksisting harus dievaluasi. Artikel ini akan membahas contoh kasus evaluasi kapasitas pelabuhan pada salah satu PLTU di Pantai Selatan Jawa untuk dapat menerima kapal dengan ukuran yang melebihi desain awal. Evaluasi terhadap kapasitas struktur tiang dermaga dilakukan dengan menggunakan perangkat lunak SAP2000 dan evaluasi terhadap dimensi dermaga, kapasitas

fender dan *bollard*, serta kedalaman dan luas kolam putar eksisting dilakukan dengan mengacu kepada standar-standar desain pelabuhan. Hasil evaluasi ini merupakan indikasi awal untuk ukuran kapal yang masih dapat dilayani oleh pelabuhan eksisting PLTU.

Kata kunci: pelabuhan batubara, fender, bolard, kolam putar

A. Pendahuluan

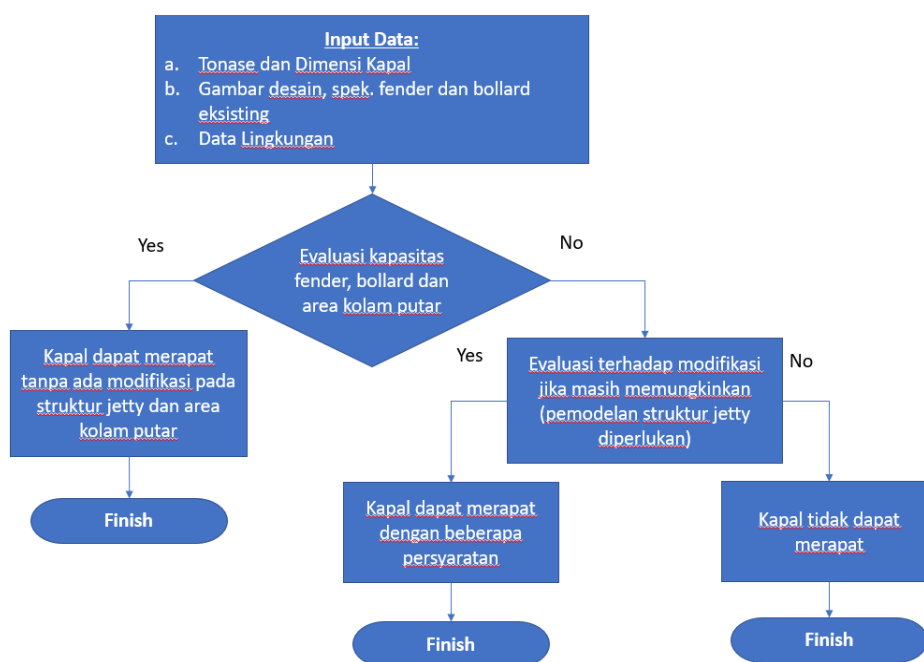
Pada umumnya, pelabuhan pada PLTU didesain untuk dapat melayani tongkang 12.000 DWT sampai dengan vessel 20.000 DWT dengan pertimbangan terhadap jumlah konsumsi batubara dan jumlah kedatangan kapal yang dapat dilayani setiap bulannya. Akan tetapi, seiring pada periode operasi pembangkit, seringkali terjadi tongkang/kapal dengan kapasitas desain tersebut tidak dapat berlayar menuju ke lokasi pelabuhan dan/ataupun tidak dapat merapat dan bongkar pada dermaga tujuan akibat kondisi gelombang. Kondisi ini seringkali terjadi dalam periode waktu yang cukup panjang sehingga dapat mempengaruhi pola operasi pembangkit yang harus menyesuaikan dengan cadangan batubara yang tersisa.

Salah satu solusi dalam menghadapi kondisi tersebut dengan melakukan pengiriman batubara menggunakan ukuran vessel/kapal yang lebih besar. Ukuran kapal yang lebih besar akan lebih aman dalam proses pengiriman batubara, akan tetapi akan menjadi masalah dalam proses manuver, bersandar dan bongkar di pelabuhan tujuan karena pertimbangan kondisi eksisting pelabuhan. Perlu dilakukan evaluasi terhadap kemampuan pelabuhan eksisting dalam menerima kapal yang lebih besar daripada ukuran desain.

Secara umum, evaluasi dilakukan terhadap kondisi fisik dan kemampuan struktur dermaga eksisting, kapasitas *fender* dan *bollard*, kedalaman dan diameter kolam putar, kedalaman dan lebar alur pelayaran. Pada artikel ini akan dibahas evaluasi pelabuhan eksisting terhadap perubahan ukuran kapal yang akan bersandar ke dermaga eksisting untuk salah satu PLTU di pesisir pantai laut Jawa Selatan dimana pelabuhan eksisting didesain untuk dapat melayani tongkang 12.000 DWT dan kapal 20.000 DWT. Ukuran kapal yang akan bersandar direncanakan memiliki tonase 30.000 DWT sampai 37.000 DWT.

B. Metode Penelitian

Alur proses evaluasi terhadap pelabuhan eksisting dapat dijabarkan dalam bagan alir pada Gambar 1. berikut. Dari bagan alir tersebut dapat dilihat ada kemungkinan perlu dilakukan modifikasi pada fasilitas pelabuhan eksisting untuk dapat melayani kapal yang lebih besar dari desain awal. Selanjutnya, untuk melakukan evaluasi terhadap kapasitas tiang dermaga dilakukan dengan menghitung reaksi tiang dermaga eksisting terhadap pengaruh penambahan beban dari ukuran kapal dengan menggunakan perangkat lunak SAP2000. Perhitungan kapasitas tiang pancang eksisting dilakukan dengan membandingkan reaksi maksimum tiang pancang terhadap kapasitas desain awal tiang pancang.



Gambar 1 Bagan alir proses evaluasi fasilitas pelabuhan eksisting

Proses evaluasi untuk kapasitas *fender*, *bollard*, kedalaman dan diameter kolam putar serta lebar alur masuk dilakukan dengan mengacu kepada standar desain yang umum berlaku untuk desain struktur maritim. Daftar standar yang dipergunakan adalah sebagai berikut:

Tabel 1 Daftar standar/code yang dipergunakan dalam proses evaluasi

British Standards/BS (versi terakhir sebelum diganti dengan Eurocodes)	BS 6399 Part 1: 1997 – Dead and Imposed Loads BS 6349 – Maritime structures BS 5400 – Steel, concrete and composite bridges BS 5950 – Structural use of steelwork
--	--

	BS 8004 – Code of practice for foundations BS 8110 – Structural use of concrete Dan <i>British Standard</i> terkait lainnya
PIANC	1995 - WG24 Criteria for Movements of Moored Ships in Harbors 1995 - WG30 Approach Channels Preliminary Guidelines 2002 - WG33 Guidelines for the Design of Fender System
Standard Nasional Indonesia (SNI)	SNI 03-2847 – Standard Perencanaan Struktur Beton SNI 03-1726 – Standard Perencanaan Bangunan Tahan Gempa SNI 03-1729 – Standard Perencanaan Struktur Baja Dan SNI terkait lainnya

Parameter data kapal pada Tabel 2 untuk barge 12.000 DWT dan kapal 20.000 DWT diambil berdasarkan data desain awal, sementara data kapal untuk kapasitas 30.000 DWT dan 37.000 DWT diambil berdasarkan table data kapal yang terdapat pada *Trelleborg Marine Fender Design* untuk 75% *confidence limit*.

Tabel 2 Parameter Data Kapal

Dimensi Kapal	Vessel			Barge
	37.000	30.000	20.000	12.000
<i>Displacement loaded</i> M_D (t)	40.040	37.700	27.700	12.646
<i>Length Overall</i> L_{OA} (m)	184,00	169,37	157,90	112,00
<i>Length</i> L_{BP} (m)	175,00	160,40	149,00	100,00
<i>Beam</i> B (m)	27,53	27,20	23,10	28,04
<i>Maximum Draft</i> D (m)	10,80	10,60	9,45	5,50
<i>Ballast Draft</i> D_B (m)	5,85	5,74	5,13	2,99
<i>Freeboard loaded</i> (m)	4,40	4,10	3,20	3,00
<i>Allowable Hull Pressure</i> (T/m ²)	20,00	20,00	20,00	20,00
<i>Maximum berthing angle</i> (°)	10,00	10,00	10,00	10,00
<i>Maximum berthing velocity</i> (m/s)	0,15	0,15	0,15	0,20
<i>Berthing Point</i> (1/4 point)	0,25	0,25	0,25	0,25
<i>FoS abnormal berthing</i>	1,25	1,25	1,25	1,25

C. Hasil dan Pembahasan

1. Evaluasi Terhadap Kapasitas Fender

Evaluasi kapasitas *fender* existing dilakukan terhadap *fender* eksisting yang merupakan *fender* karet tipe SC1450 H E1.4 dengan kapasitas pada saat defleksi 52,5% sebagai berikut: *Energy absorption*: 596 kN.m dan *Reaction force*: 936 kN

Dari perhitungan pada Tabel 3, dapat dilihat bahwa *fender* eksisting hanya dapat menyerap energi sandar dari kapal sampai dengan tonase 30.000 DWT sehingga kemungkinan untuk menggunakan kapal dengan tonase 37.000 DWT dieliminasi dan evaluasi dilanjutkan terhadap ukuran kapal 30.000 DWT.

Tabel 3 Perhitungan energi sandar

Parameter Desain		Tonase Vessel/Barge (DWT)			
		37.000	30.000	20.000	12.000
<i>Displacement</i>	M (t)	40.040	37.700	27.700	12.646
<i>Berthing Velocity</i>	v (m/s)	0,15	0,15	0,15	0,20
<i>Water Density</i>	ρ (t/m ³)	1,025	1,025	1,025	1,025
<i>Virtual Mass Factor</i> ¹	C _m	1,80	1,78	1,82	1,39
<i>Block Coefficient</i> ²	C _b	0,751	0,795	0,831	0,800
<i>Radius of Gyration</i> ³	K (m)	44,2	41,9	39,9	26,2
<i>Distance from bow to impact point</i>	X (m)	43,8	40,1	37,3	25,0
<i>Distance of point of contact to centre of mass</i>	R (m)	45,9	42,3	39,0	28,7
<i>Angle between velocity vector and the line between the point of contact and the centre of mass</i>	Φ (°)	62,5	61,3	62,8	50,7
<i>Eccentricity Coefficient</i> ⁴	C _e	0,592	0,61	0,61	0,67
<i>Berth Configuration Coefficient</i>	C _c	1,00	1,00	1,00	1,00
<i>Softness Coefficient</i>	C _s	1,00	1,00	1,00	1,00
<i>Berthing Energy</i>					
<i>Normal Berthing Energy</i>	E _d (kNm)	480	461	348	237
<i>Factor for abnormal berthing</i>	C _{ab}	1,25	1,25	1,25	1,25
<i>Abnormal Berthing Energy</i>	E _v (kNm)	600	577	435	297

Catatan

¹ Perhitungan Faktor Virtual Mass mengacu ke BS6349 Part 4.

² C_b = block coefficient menggunakan formula
$$= \frac{M}{L_{BP} \times B \times D \times \rho}$$

³ K = Radius of Gyration menggunakan formula
$$= (0.19C_b + 0.11) \times L$$

⁴ C_e = Eccentricity Coefficient menggunakan formula
$$= \frac{K^2 + R^2 \times \cos^2 \phi}{K^2 + R^2}$$

2. Evaluasi Terhadap Kapasitas Bollard

Evaluasi kapasitas *bollard* existing dilakukan dengan memperhitungkan kecepatan angin 40 m/detik dan kecepatan arus 1 m/detik pada saat kapal dalam kondisi *ballast* dan *full loaded* dengan arah datang angin dan arus diperhitungkan dari 0°-180°.

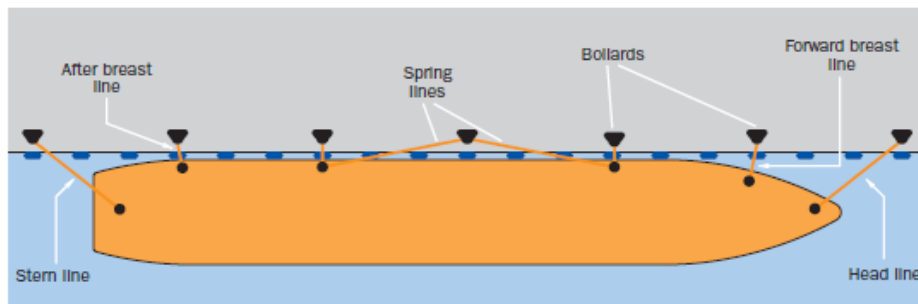
Selain itu, evaluasi kapasitas *bollard* dilakukan berdasarkan syarat minimum jumlah tali tambat seperti dipersyaratkan dalam PIANC 1995 - WG24 *Criteria for*

Movements of Moored Ships in Harbors. Untuk kapal dengan kapasitas sampai dengan 40.000 DWT jumlah tali tambat yang disyaratkan adalah 14 unit (Tabel 4). Pengaturan titik tambat secara umum dapat dilihat pada Gambar 2. Hasil evaluasi kapasitas *bollard* eksisting pada Tabel 5 menunjukkan bahwa untuk kapal 30.000 DWT, *bollard* eksisting dengan kapasitas *working load* 55 T tidak dapat menahan beban tambat pada bagian *after breast line*.

Tabel 4 Jumlah tali tambat berdasarkan kapasitas kapal

Mooring Line	Ship A	Ship B	Ship C	Ship D
Head	1	2	3	4
Breast-for	(1)	2	2	2
Spring-for	1	1	2	2
Spring-aft	1	1	2	2
Breast-aft	(1)	2	2	2
Stern	1	2	3	4
TOTAL NUMBER	4	10	14	16

- Ship A = Small general cargo ship
- Ship B = Medium sized general cargo ship
- Ship C = Bulk carrier or tanker up to 40,000 DWT
- Ship D = Bulk carrier or tanker over 40,000 DWT



Gambar 2 Sketsa Umum Pengaturan Titik Tambat

Tabel 5 Perhitungan kapasitas minimum *bollard* untuk kapal 30.000 DWT

Mooring Line Requirements

- Spring lines, either forward or after:

$$S \times MBL = \frac{F_{x\max}}{0.9 \times 0.55} = 2.0F_{x\max} = 619 \text{ kN}$$

Total No of Spring Line	S	2		
Minimum Breaking Load	MBL	309	kN	
Used QRH Working Load	SWL	550	kN	--> Existing Bollard is OK!
Bollard Used: 55 T				

- Forward breast lines:

$$BR \times MBL = \frac{F_{YF}}{0.7 \times 0.55} = 2.6F_{YF\max} = 2.676 \text{ kN}$$

Total No of Breast Line	BR	5		
Minimum Breaking Load	MBL	535	kN	
Used QRH Working Load	SWL	550	kN	--> Existing Bollard is OK!
Bollard Used: 55 T				

- Aft breast lines:

$$BR \times MBL = \frac{F_{YA}}{0.7 \times 0.55} = 2.6F_{YA\max} = 2.808 \text{ kN}$$

Total No of Breast Line	BR	5		
Minimum Breaking Load	MBL	562	kN	
Used QRH Working Load	SWL	600	kN	--> Existing Bollard is not OK!
Bollard Used: 60 T				

3. Evaluasi Terhadap Kapasitas Perairan

Evaluasi kapasitas area perairan dilakukan untuk alur masuk (*navigation channel*), kolam putar (*turning basin*) dan area sandar (*berthing area*). Evaluasi dilakukan dengan menggunakan data kapal 30.000 DWT.

4. Evaluasi Terhadap Kedalaman dan Lebar Alur Masuk

Evaluasi dilakukan untuk kedalaman dan lebar alur masuk. Kedalaman alur masuk yang dibutuhkan untuk kapal 30.000 DWT dengan kedalaman draft 10.6 m pada kondisi *fully loaded draft* dapat dihitung dengan persamaan berikut:

$$d = D - T + s_{\max} + r + m$$

$$d = 10,6 - (-0,06) + 0,5 + 1,25 + 0,5 = 12,91 \text{ m} \approx 13,0 \text{ m LLWL}$$

Dengan melihat kondisi batimetri pada saat desain, diketahui bahwa kedalaman perairan eksisting pada alur masuk mulai dari -16 m LLWL s/d lebih dari -20 m LLWL

sehingga kedalaman alur eksisting masih memadai untuk kapal 30.000 DWT.

Untuk lebar alur masuk eksisting didesain untuk kapal 20.000 DWT dengan lebar kapal (*Beam*) = 27,8 m. Dengan melihat bahwa lebar (*beam*) kapal 30.000 DWT adalah 27,2 m, maka dapat disimpulkan bahwa lebar alur masuk saat ini sebesar 130 m masih memadai untuk kapal 30.000 DWT.

5. Evaluasi Terhadap Kolam Putar dan Area Sandar

Evaluasi dilakukan untuk kedalaman dan diameter kolam putar. Kedalaman kolam putar eksisting didesain di -10,4 LLWL dengan diameter 350 m. Untuk kapal 30.000 DWT, kedalaman kolam putar yang dibutuhkan secara konseptual dapat dihitung dengan menggunakan formula yang dipergunakan untuk menghitung kedalaman alur masuk. Perbedaan terdapat di tinggi gelombang karena kolam putar dilindungi oleh *breakwater* sehingga ketinggian gelombang yang diperhitungkan lebih kecil dalam hal ini 1.5 m.

Dengan demikian, maka kedalaman kolam putar dan area sandar untuk kapal 30.000 DWT adalah:

$$d = 10,6 - (-0,06) + 0,5 + 0,75 + 0,5 = 12,41 \text{ m} \approx 12,5 \text{ m LLWL}$$

Dari nilai kedalaman tersebut, diketahui bahwa kedalaman yang dibutuhkan pada kondisi LLWL adalah 12,5 m, sementara kedalaman desain pada kondisi LLWL adalah 10,4 m. Diameter kolam putar untuk kapal 30.000 DWT adalah $2 \times LoA = 2 \times 169,37 \text{ m} = 338,74 \text{ m}$. Dari nilai tersebut dapat dilihat bahwa diameter kolam putar eksisting masih mencukupi untuk manuver kapal 30.000 DWT.

6. Evaluasi Terhadap Struktur Dermaga

Dalam artikel ini, evaluasi struktur dermaga hanya dilakukan untuk struktur tiang dermaga dengan menggunakan perangkat lunak. Selain memperhitungkan beban kapal, pemodelan struktur yang akan dilakukan juga memperhitungkan beban tambahan sebagai berikut: (1) *Double line conveyor* yang pada kondisi awal menggunakan *single line conveyor*, dan (2) Dua (2) unit *movable hopper*, yang pada kondisi awal menggunakan satu unit *movable hopper*

Proses pemodelan dimulai dengan melakukan perhitungan struktur tanpa beban sandar dan tambat untuk mengetahui besar pengaruh penambahan beban peralatan pada struktur dermaga. Selanjutnya struktur dermaga dimodelkan dengan menambahkan beban

sandar dan tambat kapal. Nilai beban tambat dan sandar yang dimasukkan dalam pemodelan disajikan pada Tabel 6. Struktur dermaga eksisting menggunakan pondasi tiang pancang baja dengan diameter 1000 dan 1200 mm.

Perhitungan struktur dilakukan dengan beberapa skenario sebagai berikut: (1) Posisi *unloader* berada disisi kiri, tengah dan kanan, (2) Beban tambat pada bollard di sisi kanan dan kiri dermaga dengan variasi sudut horizontal 30-90° dan variasi sudut vertikal 0-25°. Dan (3) Beban sandar pada sisi kanan dan kiri dermaga.

Kombinasi pembebanan dalam pemodelan dilakukan untuk kondisi layan dan ultimit seperti ditunjukkan pada Tabel 7. Untuk kedua kondisi tersebut, beban sandar dan tambat dikombinasikan bersama dalam 1 (satu) kombinasi dikarenakan kapal mengalami fenomena *swaying*, *yawing* dan *rolling* pada saat tambat.

Tabel 5 Nilai beban tambat dan sandar pada pemodelan struktur jetty

1	LIVE	Liveload						GZ =	-20,0 kN/m ²				
2	BN1A	Berthing Normal Case 1 1P						FX =	-187 kN	FY =	936 kN	FZ =	0 kN
3	BN2A	Berthing Normal Case 2 1P	Berthing Case					FX =	0 kN	FY =	936 kN	FZ =	187 kN
4	BN3A	Berthing Normal Case 2 1P		FX =	187 kN	FY =	936 kN	FZ =	0 kN				
5	BN4A	Berthing Normal Case 3 1P		FX =	0 kN	FY =	936 kN	FZ =	-187 kN				
6	MR1A	Mooring Case 1, 30-0						FX =	268 kN	FY =	-540 kN	FZ =	0 kN
7	MR2A	Mooring Case 2, 30-25						FX =	243 kN	FY =	-489 kN	FZ =	456 kN
8	MR3A	Mooring Case 3, 45-0						FX =	218 kN	FY =	-764 kN	FZ =	0 kN
9	MR4A	Mooring Case 4, 45-25	Mooring Case					FX =	198 kN	FY =	-692 kN	FZ =	456 kN
10	MR5A	Mooring Case 5, 60-0		FX =	155 kN	FY =	-935 kN	FZ =	0 kN				
11	MR6A	Mooring Case 6, 60-25		FX =	140 kN	FY =	-848 kN	FZ =	456 kN				
12	MR7A	Mooring Case 7, 90-0		FX =	0 kN	FY =	-1080 kN	FZ =	0 kN				
13	MR8A	Mooring Case 8, 90-25						FX =	0 kN	FY =	-979 kN	FZ =	456 kN

Tabel 6 Kombinasi dan nilai faktor pembebanan untuk kondisi layan dan ultimit struktur tiang dermaga

SAP Ref. No.	SAP load case name	LOAD CASE DESCRIPTION	NORMAL SLS																							
			SLS101	SLS102	SLS103	SLS104	SLS105	SLS106	SLS107	SLS108	SLS109	SLS110	SLS111	SLS112	SLS113	SLS114	SLS115	SLS116	SLS117	SLS118	SLS119	SLS120	SLS121	SLS122	SLS123	SLS124
1	DEAD	Self weight	1,0	1,0	1,0	1,0	1,0	1,0	1,0	1,0	1,0	1,0	1,0	1,0	1,0	1,0	1,0	1,0	1,0	1,0	1,0	1,0	1,0	1,0	1,0	1,0
2	FENDER	Self weight	1,0	1,0	1,0	1,0	1,0	1,0	1,0	1,0	1,0	1,0	1,0	1,0	1,0	1,0	1,0	1,0	1,0	1,0	1,0	1,0	1,0	1,0	1,0	1,0
3	BOLLARD	Self weight	1,0	1,0	1,0	1,0	1,0	1,0	1,0	1,0	1,0	1,0	1,0	1,0	1,0	1,0	1,0	1,0	1,0	1,0	1,0	1,0	1,0	1,0	1,0	1,0
4	UNIFORM LIVE	Liveload	1,1	1,1	1,1	1,1	1,1	1,1	1,1	1,1	1,1	1,1	1,1	1,1	1,1	1,1	1,1	1,1	1,1	1,1	1,1	1,1	1,1	1,1	1,1	1,1
5	WAVE	Waveload	1,1	1,1	1,1	1,1	1,1	1,1	1,1	1,1	1,1	1,1	1,1	1,1	1,1	1,1	1,1	1,1	1,1	1,1	1,1	1,1	1,1	1,1	1,1	1,1
6	HOPPER	Equipment	1,1	1,1	1,1	1,1	1,1	1,1	1,1	1,1	1,1	1,1	1,1	1,1	1,1	1,1	1,1	1,1	1,1	1,1	1,1	1,1	1,1	1,1	1,1	1,1
7	SHIP UNLOADER	Equipment	1,1	1,1	1,1	1,1	1,1	1,1	1,1	1,1	1,1	1,1	1,1	1,1	1,1	1,1	1,1	1,1	1,1	1,1	1,1	1,1	1,1	1,1	1,1	1,1
8	CONVEYOR LINE	Equipment	1,1	1,1	1,1	1,1	1,1	1,1	1,1	1,1	1,1	1,1	1,1	1,1	1,1	1,1	1,1	1,1	1,1	1,1	1,1	1,1	1,1	1,1	1,1	1,1
9	MOORING LEFT																									
	Mooring Normal Case 1, 30-0	Vessel	1,1		1,1		1,1		1,1		1,1		1,1		1,1		1,1		1,1		1,1		1,1		1,1	
	Mooring Normal Case 2, 30-25	Vessel		1,1		1,1		1,1		1,1		1,1		1,1		1,1		1,1		1,1		1,1		1,1		1,1
	Mooring Normal Case 3, 45-0	Vessel	1,1		1,1		1,1		1,1		1,1		1,1		1,1		1,1		1,1		1,1		1,1		1,1	
	Mooring Normal Case 4, 45-25	Vessel		1,1		1,1		1,1		1,1		1,1		1,1		1,1		1,1		1,1		1,1		1,1		1,1
	Mooring Normal Case 5, 60-0	Vessel	1,1		1,1		1,1		1,1		1,1		1,1		1,1		1,1		1,1		1,1		1,1		1,1	
	Mooring Normal Case 6, 60-25	Vessel		1,1		1,1		1,1		1,1		1,1		1,1		1,1		1,1		1,1		1,1		1,1		1,1
	Mooring Normal Case 7, 90-0	Vessel	1,1		1,1		1,1		1,1		1,1		1,1		1,1		1,1		1,1		1,1		1,1		1,1	
	Mooring Normal Case 8, 90-25	Vessel		1,1		1,1		1,1		1,1		1,1		1,1		1,1		1,1		1,1		1,1		1,1		1,1
10	MOORING RIGHT																									
	Mooring Normal Case 1, 30-0	Vessel											1,1		1,1		1,1		1,1		1,1		1,1		1,1	
	Mooring Normal Case 2, 30-25	Vessel											1,1	1,1		1,1	1,1		1,1	1,1		1,1	1,1		1,1	
	Mooring Normal Case 3, 45-0	Vessel											1,1	1,1	1,1		1,1	1,1		1,1	1,1		1,1	1,1		1,1
	Mooring Normal Case 4, 45-25	Vessel											1,1	1,1	1,1	1,1		1,1	1,1		1,1	1,1		1,1	1,1	
	Mooring Normal Case 5, 60-0	Vessel											1,1	1,1	1,1	1,1	1,1		1,1	1,1		1,1	1,1		1,1	
	Mooring Normal Case 6, 60-25	Vessel											1,1	1,1	1,1	1,1	1,1	1,1		1,1	1,1		1,1	1,1		1,1
	Mooring Normal Case 7, 90-0	Vessel											1,1	1,1	1,1	1,1	1,1	1,1		1,1	1,1		1,1	1,1		1,1
	Mooring Normal Case 8, 90-25	Vessel											1,1	1,1	1,1	1,1	1,1	1,1		1,1	1,1		1,1	1,1		1,1
11	Berthing Normal Case 1	Vessel	1,1	1,1									1,1	1,1											1,1	
	Berthing Normal Case 2	Vessel			1,1	1,1									1,1	1,1									1,1	1,1
	Berthing Normal Case 3	Vessel					1,1	1,1									1,1	1,1							1,1	1,1
	Berthing Normal Case 4	Vessel							1,1	1,1									1,1	1,1					1,1	1,1

SAP Ref. No.	SAP load case name	LOAD CASE																	ULTIMATE SLS											
		DESCRIPTION	ULS101	ULS102	ULS103	ULS104	ULS105	ULS106	ULS107	ULS108	ULS109	ULS110	ULS111	ULS112	ULS113	ULS114	ULS115	ULS116	ULS117	ULS118	ULS119	ULS120	ULS121	ULS122	ULS123	ULS124				
1	DEAD	Self weight	1,27	1,27	1,27	1,27	1,27	1,27	1,27	1,27	1,27	1,27	1,27	1,27	1,27	1,27	1,27	1,27	1,27	1,27	1,27	1,27	1,27	1,27	1,27	1,27				
2	FENDER	Self weight	1,27	1,27	1,27	1,27	1,27	1,27	1,27	1,27	1,27	1,27	1,27	1,27	1,27	1,27	1,27	1,27	1,27	1,27	1,27	1,27	1,27	1,27	1,27	1,27				
3	BOLLARD	Self weight	1,27	1,27	1,27	1,27	1,27	1,27	1,27	1,27	1,27	1,27	1,27	1,27	1,27	1,27	1,27	1,27	1,27	1,27	1,27	1,27	1,27	1,27	1,27	1,27				
4	UNIFORM LIVE	Self weight	1,54	1,54	1,54	1,54	1,54	1,54	1,54	1,54	1,54	1,54	1,54	1,54	1,54	1,54	1,54	1,54	1,54	1,54	1,54	1,54	1,54	1,54	1,54	1,54				
5	WAVE	Liveload	1,54	1,54	1,54	1,54	1,54	1,54	1,54	1,54	1,54	1,54	1,54	1,54	1,54	1,54	1,54	1,54	1,54	1,54	1,54	1,54	1,54	1,54	1,54	1,54				
6	HOPPER	Equipment	1,54	1,54	1,54	1,54	1,54	1,54	1,54	1,54	1,54	1,54	1,54	1,54	1,54	1,54	1,54	1,54	1,54	1,54	1,54	1,54	1,54	1,54	1,54	1,54				
7	SHIP UNLOADER	Equipment	1,54	1,54	1,54	1,54	1,54	1,54	1,54	1,54	1,54	1,54	1,54	1,54	1,54	1,54	1,54	1,54	1,54	1,54	1,54	1,54	1,54	1,54	1,54	1,54				
8	CONVEYOR LINE	Equipment	1,54	1,54	1,54	1,54	1,54	1,54	1,54	1,54	1,54	1,54	1,54	1,54	1,54	1,54	1,54	1,54	1,54	1,54	1,54	1,54	1,54	1,54	1,54	1,54				
9	MOORING LEFT																													
	Mooring Normal Case 1, 30-0	Vessel	1,54		1,54		1,54		1,54		1,54		1,54		1,54		1,54		1,54		1,54		1,54		1,54					
	Mooring Normal Case 2, 30-25	Vessel		1,54		1,54		1,54		1,54		1,54		1,54		1,54		1,54		1,54		1,54		1,54		1,54				
	Mooring Normal Case 3, 45-0	Vessel	1,54		1,54		1,54		1,54		1,54		1,54		1,54		1,54		1,54		1,54		1,54		1,54					
	Mooring Normal Case 4, 45-25	Vessel		1,54		1,54		1,54		1,54		1,54		1,54		1,54		1,54		1,54		1,54		1,54		1,54				
	Mooring Normal Case 5, 60-0	Vessel	1,54		1,54		1,54		1,54		1,54		1,54		1,54		1,54		1,54		1,54		1,54		1,54					
	Mooring Normal Case 6, 60-25	Vessel		1,54		1,54		1,54		1,54		1,54		1,54		1,54		1,54		1,54		1,54		1,54		1,54				
	Mooring Normal Case 7, 90-0	Vessel	1,54		1,54		1,54		1,54		1,54		1,54		1,54		1,54		1,54		1,54		1,54		1,54					
	Mooring Normal Case 8, 90-25	Vessel		1,54		1,54		1,54		1,54		1,54		1,54		1,54		1,54		1,54		1,54		1,54		1,54				
10	MOORING RIGHT																													
	Mooring Normal Case 1, 30-0	Vessel										1,54		1,54		1,54		1,54		1,54		1,54		1,54		1,54				
	Mooring Normal Case 2, 30-25	Vessel										1,54		1,54		1,54		1,54		1,54		1,54		1,54		1,54				
	Mooring Normal Case 3, 45-0	Vessel										1,54		1,54		1,54		1,54		1,54		1,54		1,54		1,54				
	Mooring Normal Case 4, 45-25	Vessel										1,54		1,54		1,54		1,54		1,54		1,54		1,54		1,54				
	Mooring Normal Case 5, 60-0	Vessel										1,54		1,54		1,54		1,54		1,54		1,54		1,54		1,54				
	Mooring Normal Case 6, 60-25	Vessel										1,54		1,54		1,54		1,54		1,54		1,54		1,54		1,54				
	Mooring Normal Case 7, 90-0	Vessel										1,54		1,54		1,54		1,54		1,54		1,54		1,54		1,54				
	Mooring Normal Case 8, 90-25	Vessel										1,54		1,54		1,54		1,54		1,54		1,54		1,54		1,54				
11	BERTHING																													
	Berthing Normal Case 1	Vessel		1,54	1,54								1,54	1,54											1,54					
	Berthing Normal Case 2	Vessel				1,54	1,54							1,54	1,54											1,54				
	Berthing Normal Case 3	Vessel						1,54	1,54						1,54	1,54										1,54				
	Berthing Normal Case 4	Vessel								1,54	1,54						1,54	1,54								1,54				

SAP Ref. No.	SAP load case name	LOAD CASE					SEISMIC																		
		DESCRIPTION	S01	S02	S03	S04	S05	S06	S07	S08	S09	S10	S11	S12											
1	DEAD	Self weight	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00
2	UNIFORM LIVE	Live Load	0,30	0,30	0,30	0,30	0,30	0,30	0,30	0,30	0,30	0,30	0,30	0,30	0,30	0,30	0,30	0,30	0,30	0,30	0,30	0,30	0,30	0,30	0,30
3	FENDER	Self weight	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00
4	BOLLARD	Self weight	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00
5	SHIP UNLOADER	Equipment	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00
6	CONVEYOR LINE	Equipment	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00
7	HOPPER	Equipment	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00
8	WAVE	Waveload	0,30	0,30	0,30	0,30	0,30	0,30	0,30	0,30	0,30	0,30	0,30	0,30	0,30	0,30	0,30	0,30	0,30	0,30	0,30	0,30	0,30	0,30	0,30
9	EQX	Seismic X direction	1,00	1,00	-1,00	-1,00	0,30	0,30	-0,30	0,30	-0,30	0,30	-0,30	0,30	-0,30	0,30	-0,30	0,30	-0,30	0,30	-0,30	0,30	-0,30	0,30	-0,30
10	EQY	Seismic Y direction	0,30	-0,30	0,30	-0,30	1,00	1,00	-1,00	-1,00	0,30	-0,30	0,30	-0,30	0,30	-0,30	0,30	-0,30	0,30	-0,30	0,30	-0,30	0,30	-0,30	0,30

Dari hasil kombinasi pembebanan untuk beberapa skenario diatas maka diketahui bahwa peningkatan reaksi struktur terhadap desain eksisting adalah sebagai berikut:

Tabel 7 Tabulasi reaksi tiang pancang dermaga

Perhitungan Kapasitas Tiang Nilai Pada Desain Awal			Reaksi Tiang untuk Kondisi 30.000 DWT		Daya Dukung Ultimate Tanah
	Kapasitas bearing max. untuk tiang individu	3898,95 kN	4453 kN		Kapasitas ultimate bearing tiang individu Qd = 4149,62 kN
SPP diameter 1000 mm	Kapasitas ijin bearing untuk tiang individu	1937,09 kN	3255 kN		
	Kapasitas ijin moment untuk tiang individu	480,02 kN.m	310 kN.m		
	Kapasitas max. Moment untuk tiang individu	1170,56 kN.m	443 kN.m		
SPP diameter 1200 mm	Kapasitas bearing max. untuk tiang individu	4010,57 kN	3849		Kapasitas ultimate bearing tiang individu Qd = 4444 kN
	Kapasitas ijin bearing untuk tiang individu	1647,41 kN	3000		
	Kapasitas ijin moment	856,77 kN.m	1385		

Perhitungan Kapasitas Tiang Nilai Pada Desain Awal	Reaksi Tiang untuk Kondisi 30.000 DWT	Daya Dukung Ultimate Tanah
untuk tiang individu		
Kapasitas max.	2480,38	
Moment untuk tiang individu	kN.m	1936

Dari Tabel 7, nilai reaksi tiang maximum (*ultimate*) dan layan (*allowable*) meningkat cukup signifikan. Hal ini disebabkan karena nilai tersebut diperoleh untuk kasus dimana posisi *ship unloader* dan *hopper* berada di ujung kiri (ujung Selatan) dermaga serta dikombinasikan dengan beban tambat pada sudut horizontal 90° dan sudut vertikal 0-25° terhadap *bollard* serta beban sandar pada ujung kanan (ujung Utara) dermaga.

Untuk tiang pancang baja dengan diameter 1000 mm, reaksi tiang kondisi layan (*allowable*) akibat kombinasi pembebanan disebutkan masih lebih rendah dibandingkan kapasitas daya dukung ultimate tanah dimana faktor keamanan untuk kondisi ekstrim ini adalah 1,27. Hal serupa juga terjadi untuk tiang baja dengan diameter 1200 mm dimana faktor keamanan terhadap reaksi tiang untuk kondisi layan (*allowable*) adalah 1,48.

Dengan memperhatikan faktor keamanan tersebut, maka perlu diterapkan beberapa kondisi batas untuk kapal 30.000 DWT dapat bersandar, tambat dan melakukan proses pembongkaran batubara di dermaga eksisting.

D. Simpulan

Dari hasil evaluasi, maka dapat disimpulkan bahwa dari aspek kekuatan struktur pancang dermaga, kapal 30.000 DWT masih dapat masuk dan bersandar pada dermaga eksisting PLTU dengan beberapa modifikasi pada fasilitas dermaga serta batasan terhadap kondisi lingkungan. Modifikasi yang dimaksudkan dalam hal ini adalah pada peningkatan kapasitas bollard dari 55 Ton menjadi 75 Ton per unit dan kedalaman kolam putar serta area sandar menjadi -12,5 LLWL. Sementara batasan terhadap kondisi lingkungan di fokuskan pada ketinggian gelombang dan kecepatan angin.

Dari evaluasi terhadap kedalaman eksisting pada kolam putar dan area sandar, dapat disimpulkan bahwa kapal 30.000 DWT dengan kondisi *full loaded* tidak dapat memasuki area pelabuhan. Kedalaman saat ini adalah -10,4 LLWL sementara kedalaman yang dibutuhkan adalah -12,5 LLWL. Terkait hal ini, untuk kegiatan operasi jangka

panjang, pengerukan sampai elevasi -12,5 LLWL akan dibutuhkan dan proses pengerukan harus memperhatikan kestabilan struktur *slope protection* pada area pantai dan *breakwater*.

E. Daftar Pustaka

PIANC (1995). *WG24 Criteria for Movements of Moored Ships in Harbors*.

PIANC (1995). *WG30 Approach Channels Preliminary Guidelines*

PIANC (2002). *WG33 Guidelines for the Design of Fender System*

CCCC Second Harbor Consultant Co.,Ltd. 2010. Conceptual Design Jetty Part (Rev.1)

Trelleborg Marine Fender Design, 2010