

Perencanaan Perbaikan dan Perkuatan Sisi Utara Dermaga Konstruksi untuk Kapal General Cargo 6.000 DWT di Tersus PT Pupuk Kaltim, Bontang

Rubin Sitorus, Dyah Iriani Widyastuti, dan Fuddoly
Departemen Teknik Sipil, Institut Teknologi Sepuluh Nopember (ITS)
e-mail: dyah1961@gmail.com

Abstrak—Dermaga Konstruksi PT Pupuk Kaltim merupakan dermaga jetty pertama yang dibangun pada tahun 1979 dan pengembangannya pada tahun 1988. Awalnya dermaga ini berfungsi sebagai tempat bongkar/muat material konstruksi pabrik PT Pupuk Kaltim. Namun, fungsi tersebut beralih menjadi tempat bongkar/muat bahan baku produksi dan distribusi pupuk urea dengan menggunakan kapal *general cargo* 2.000 DWT. Wilayah distribusi pupuk Urea, yaitu wilayah Kalimantan Utara, Kalimantan Tengah, Kalimantan Selatan, Kalimantan Barat, Bali, Nusa Tenggara Barat, Nusa Tenggara Timur, Sulawesi Utara, Sulawesi Tengah, Sulawesi Barat, Sulawesi Selatan, Sulawesi Tenggara, Maluku Utara, Maluku, Papua, dan sebagian Jawa Timur. Saat ini umur struktur sisi utara Dermaga Konstruksi telah lebih dari 30 tahun dan menyebabkan beban aktivitas bongkar/muat dermaga tidak optimal. Dan di tahun 2017, PT Pupuk Kaltim akan meningkatkan kapasitas kapal general cargo yang akan bersandar di Dermaga Konstruksi menjadi 6000 DWT. Berdasarkan dua faktor tersebut, sisi utara Dermaga Konstruksi perlu dilakukan perencanaan perbaikan dan perkuatan. Perencanaan dilakukan menggunakan standard utama British Standard 6349 tentang *Maritime Works*. Dalam perencanaan, dilakukan evaluasi fasilitas perairan dan daratan, *fender* dan *bollard*, dan struktur eksisting dermaga. Pemodelan struktur eksisting menggunakan program SAP2000. Setelah dilakukan evaluasi, selanjutnya merencanakan perbaikan dan perkuatan struktur dermaga, dan rencana anggaran biaya. Berdasarkan analisis yang telah dilakukan diperoleh kebutuhan struktur baru sebagai berikut: *fender* perlu diganti dengan tipe V G.1.4 SX-PH 600 mm L 3000 mm sebanyak 11 set, pelat lantai dengan tebal 600 mm, balok melintang dan memanjang dengan ukuran 400 x 800 mm, *pile cap* fender dengan ukuran 2000 x 2000 x 1500 mm, *pile cap* biasa ukuran 2000 x 2000 x 800, dan perbaikan tiang pancang menggunakan *patch plate* tebal 8 mm dengan kedalaman 13,385 m. Rencana anggaran biaya yang diperlukan untuk perbaikan dan perkuatan struktur dermaga sebesar Rp41.098.695.745.60 (*Empat Puluh Satu Milyar Sembilan Puluh Delapan Juta Enam Ratus Sembilan Puluh Lima Ribu Tujuh Ratus Empat Puluh Lima Rupiah*).

Kata Kunci—Jetty, Kapal General Cargo 6.000 DWT, Pupuk Urea, Perbaikan, Perkuatan.

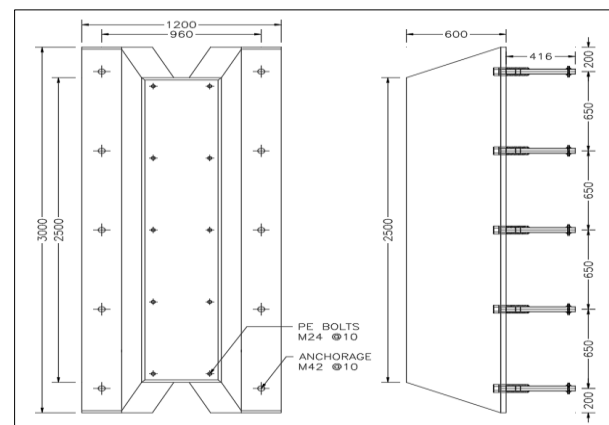
I. PENDAHULUAN

PT PUPUK Kaltim merupakan perusahaan yang bergerak di bidang usaha industri manufaktur, perdagangan, dan jasa yang terkait pupuk dan industri kimia lainnya. Pada sektor perdagangan, PT Pupuk Kaltim mendistribusikan pupuk melalui Terminal Khusus (Tersus) PT Pupuk Kaltim. Terminal khusus ini memiliki 4 dermaga yaitu, Dermaga Konstruksi, Dermaga Amoniak/Urea, Dermaga Quadrant Arm Loader, dan Dermaga Tursina.

Di tahun 2017 PT Pupuk Kaltim berencana meningkatkan kapasitas kapal yang akan bersandar di 4 dermaga tersebut.

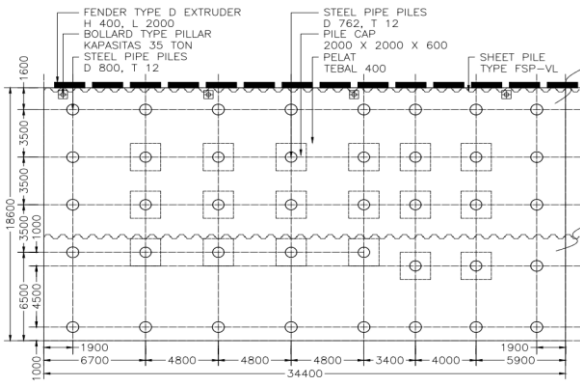


Gambar 1. Lokasi Perencanaan.

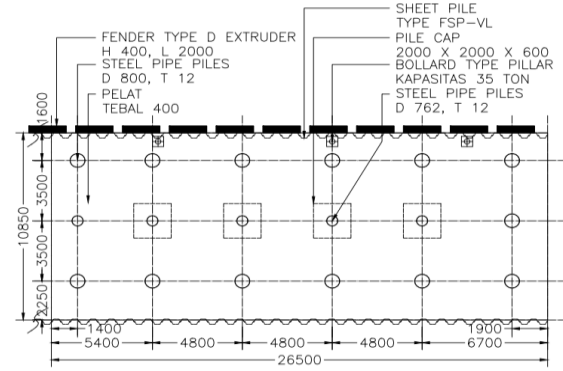


Gambar 2. Spesifikasi Dimensi Fender.

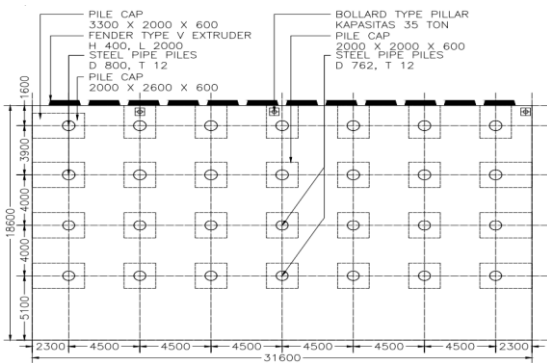
Rencana itu dilakukan untuk menekan ongkos distribusi pupuk. Salah satu dari 4 dermaga itu, yaitu Dermaga Konstruksi akan melayani kapal general cargo berkapasitas sampai 6000 DWT. Dermaga ini merupakan dermaga jetty pertama yang dibangun pada tahun 1979 dan pengembangannya pada tahun 1988. Awalnya dermaga ini berfungsi sebagai tempat bongkar/muat material konstruksi pabrik PT Pupuk Kaltim. Namun, fungsi tersebut beralih menjadi tempat bongkar/muat bahan baku produksi dan distribusi pupuk urea. Dermaga ini melayani kapal general cargo berkapasitas sampai 2000 DWT untuk distribusi pupuk Urea ke wilayah Kalimantan Utara, Kalimantan Tengah, Kalimantan Selatan, Kalimantan Barat, Bali, Nusa Tenggara Barat, Nusa Tenggara Timur, Sulawesi Utara, Sulawesi Tengah, Sulawesi Barat, Sulawesi Selatan, Sulawesi Tenggara, Maluku Utara, Maluku, Papua, dan sebagian Jawa Timur. Dermaga Konstruksi memiliki layout berbentuk huruf U. Sisi utara Dermaga Konstruksi memiliki dimensi panjang 90 meter, lebar 18 meter dan kedalaman perairan 5 meter. Sisi barat memiliki dimensi panjang 160 meter, lebar 30 meter,



(a) Dermaga Lumus 1



(b) Dermaga Lumus 2

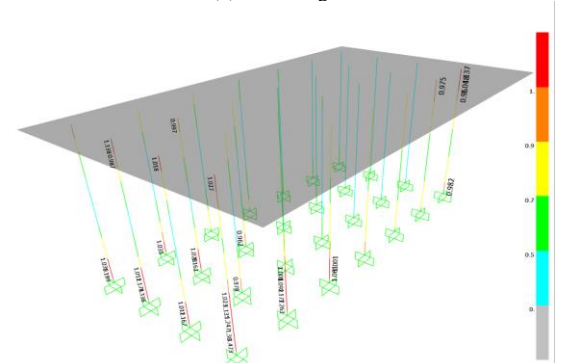
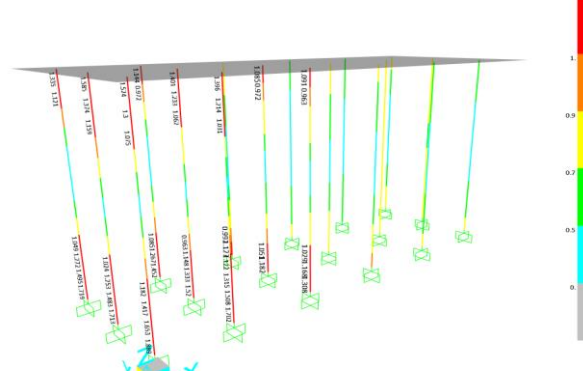
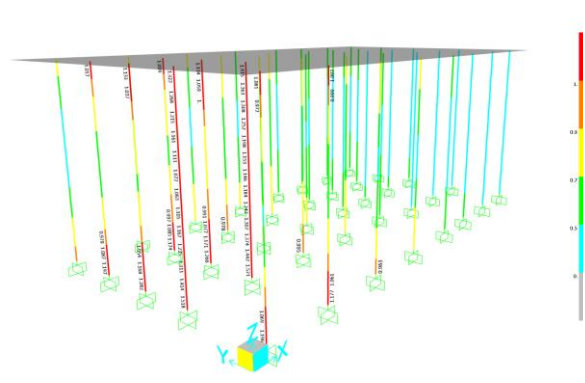


(c) Dermaga Extension 1

Gambar 3. Layout Eksisting Dermaga Konstruksi.

kedalaman perairan 5 meter. Dan, sisi selatan memiliki dimensi panjang 170 meter, lebar 30 meter, dan kedalaman 5 meter. Sisi utara Dermaga Konstruksi terbagi menjadi tiga bagian, yaitu Dermaga Lumus 1, Dermaga Lumus 2, dan Dermaga Extension 1. Dermaga Lumus 1 dan 2 dibangun pada tahun 1979 dan Dermaga Extension 1 dibangun pada tahun 1988. Saat ini umur struktur sisi utara Dermaga Konstruksi telah lebih dari 30 tahun. Faktor tersebut memungkinkan adanya penurunan kualitas bahan dan material konstruksi dermaga. Kondisi tersebut telah menyebabkan beban aktivitas bongkar/muat dermaga menjadi lebih rendah dari kapasitas layan rencana struktur dermaga [1].

Rencana kapal general cargo berkapasitas 6000 DWT dan umur struktur eksisting yang telah lebih dari 30 tahun, maka struktur sisi utara Dermaga Konstruksi memerlukan evaluasi dan perencanaan, yaitu layout perairan dan daratan, kekuatan struktur, perbaikan, dan perkuatan struktur dermaga. Evaluasi dan perencanaan ini bertujuan untuk memastikan aktivitas bongkar-muat dan operasional kapal general cargo



Gambar 4. PMM – Ratio Tiang Pancang.

berkapasitas 6000 DWT dapat berjalan dengan baik.

Lokasi Dermaga Konstruksi berada di Tersus PT Pupuk Kaltim, Bontang, Kalimantan Timur. Koordinat lokasi yaitu 0°10'48" Lintang Utara dan 117°29'38" Bujur Timur yang dapat dilihat pada Gambar 1.

II. URAIAN PENELITIAN

A. Tahap Persiapan

Tahap persiapan meliputi identifikasi masalah, penentuan kebutuhan data dan studi lapangan dengan menggunakan *Google Earth* maupun *ENC Pushidrosal*.

B. Studi Literatur

Studi literatur yang dilakukan, yaitu mengumpulkan *standard* atau *code practices* yang berlaku secara internasional yang memiliki dasar hukum. Dalam perencanaan ini, *standard* utama yang digunakan, yaitu *British Standard 6349* –

Tabel 1.
Nilai Defleksi Maksimum Tiang Pancang Dermaga Lumus 1 akibat Beban ULS

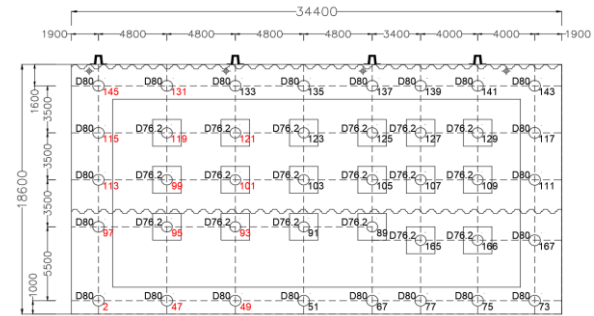
Label Joint Tiang Pancang	Nilai Defleksi Maksimum Akibat Efek Beban		Kombinasi Pembebanan
	U1	U2	
	(mm)	(mm)	
145	-5.434	-68.9	ULS - PTR - SET C - SBRL - Y
131	-5.425	-57	ULS - PTR - SET C - SBRL - Y
115	-2.669	-68.8	ULS - PTR - SET C - SBRL - Y
119	-2.664	-57	ULS - PTR - SET C - SBRL - Y
121	-2.663	-45.1	ULS - PTR - SET C - SBRL - Y
113	0.162	-68.8	ULS - PTR - SET C - SBRL - Y
99	0.159	-56.9	ULS - PTR - SET C - SBRL - Y
101	0.159	-45.1	ULS - PTR - SET C - SBRL - Y
97	7.862	-68.7	ULS - PTR - SET C - SBRL - Y
95	7.857	-56.9	ULS - PTR - SET C - SBRL - Y
93	7.848	-45.1	ULS - PTR - SET C - SBRL - Y
2	21.351	-68.7	ULS - PTR - SET C - SBRL - Y
47	21.347	-56.9	ULS - PTR - SET C - SBRL - Y
49	21.332	-45.1	ULS - PTR - SET C - SBRL - Y

Tabel 2.
Nilai Defleksi Maksimum Tiang Pancang Dermaga Lumus 2 akibat Beban ULS

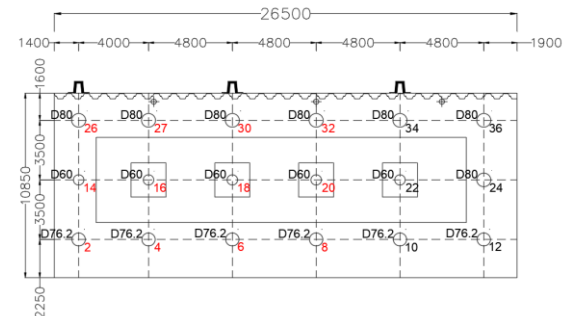
Label Joint Tiang Pancang	Nilai Defleksi Maksimum Akibat Efek Beban		Kombinasi Pembebanan
	U1	U2	
	(mm)	(mm)	
2	31.965	-125	ULS - PTR - SET B - SBRL - X
4	31.961	-100	ULS - PTR - SET B - SBRL - X
6	31.948	-75.1	ULS - PTR - SET B - SBRL - X
8	31.933	-50.1	ULS - PTR - SET B - SBRL - X
16	11.334	-125	ULS - PTR - SET B - SBRL - X
18	11.333	-100	ULS - PTR - SET B - SBRL - X
20	11.323	-75.1	ULS - PTR - SET B - SBRL - X
22	11.316	-50.1	ULS - PTR - SET B - SBRL - X
30	-4.081	-125	ULS - PTR - SET B - SBRL - X
32	-4.08	-100	ULS - PTR - SET B - SBRL - X
34	-4.085	-75.1	ULS - PTR - SET B - SBRL - X
36	-4.08	-50.1	ULS - PTR - SET B - SBRL - X
44	-	-125	ULS - PTR - SET B - SBRL - X
46	12.937	-100	ULS - PTR - SET B - SBRL - X
48	12.917	-75.1	ULS - PTR - SET B - SBRL - X
50	12.893	-50.1	ULS - PTR - SET B - SBRL - X
	12.874	-50.1	ULS - PTR - SET B - SBRL - X

Tabel 3.
Nilai Defleksi Maksimum Tiang Pancang Dermaga Extension 1 akibat Beban ULS

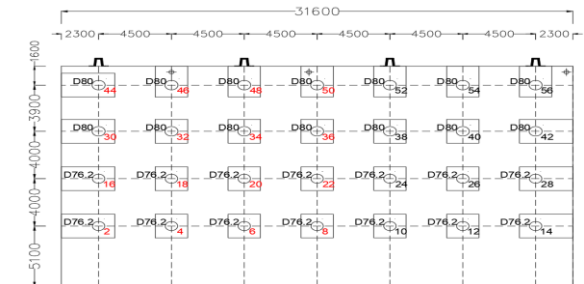
Label Joint Tiang Pancang	Nilai Defleksi Maksimum Akibat Efek Beban		Kombinasi Pembebanan
	U1	U2	
	(mm)	(mm)	
2	36.049	-203	ULS - PTR - SET B - SBRL - X
4	36.041	-160	ULS - PTR - SET B - SBRL - X
6	36.007	-109	ULS - PTR - SET B - SBRL - X
8	35.969	-59	ULS - PTR - SET C - SBRL - Y
14	1.294	-203	ULS - PTR - SET B - SBRL - X
16	1.294	-160	ULS - PTR - SET B - SBRL - X
18	1.288	-109	ULS - PTR - SET B - SBRL - X
20	1.289	-59	ULS - PTR - SET C - SBRL - Y
26	-11.879	-203	ULS - PTR - SET B - SBRL - X
28	-11.87	-160	ULS - PTR - SET B - SBRL - X
30	-11.853	-109	ULS - PTR - SET B - SBRL - X
32	-11.836	-59	ULS - PTR - SET C - SBRL - Y



(a) Dermaga Lumus 1



(b) Dermaga Lumus 1



(c) Dermaga Extension 1

Gambar 5. Defleksi Horizontal Tiang Pancang Eksisting.

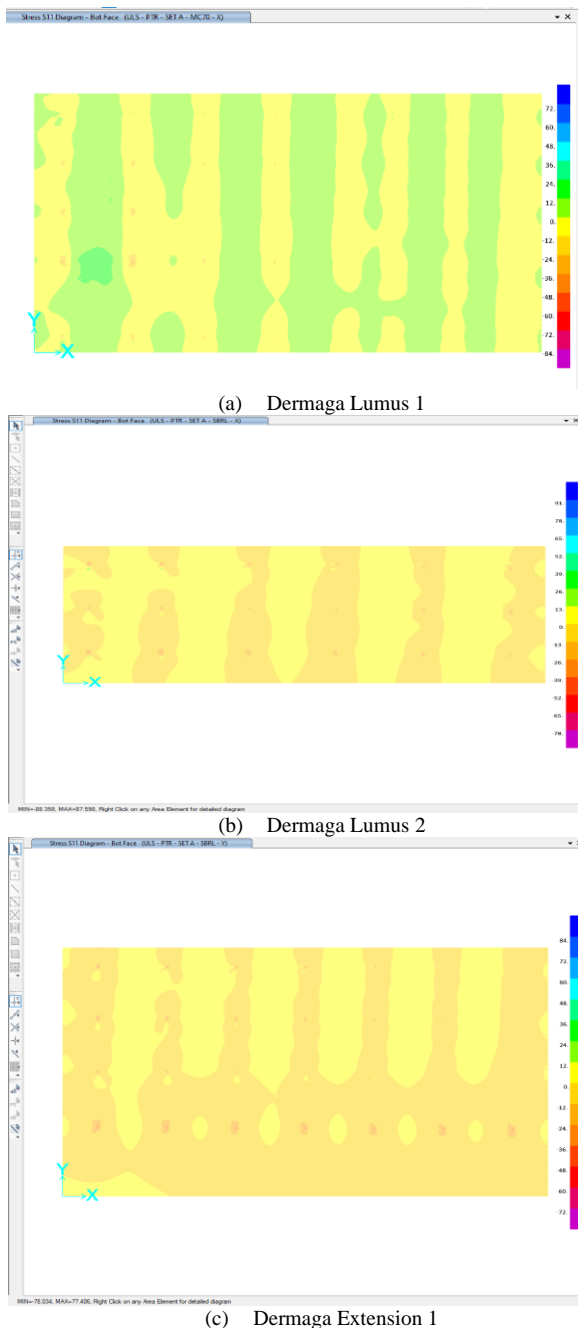
Maritime Works Part 1-8. Dan standard pendukung seperti Eurocode 0 – 3[[2]-[5] OC DI 2009 [6], PIANC 2014 [7].

C. Pengumpulan Data

Data yang digunakan dalam perencanaan merupakan data sekunder yang diperoleh dari BPPU – ITS tahun 2019 [8], KM No. 63 tahun 2006 [2], dan Pushidrosal [[9-10]. Data tersebut diperlukan untuk evaluasi dermaga eksisting dan perencanaan perbaikan dan penguatan dermaga.

D. Tahap Perencanaan

Adapun perencanaan yang dilakukan meliputi kriteria perencanaan, evaluasi layout fasilitas perairan dan daratan, fender dan bollard, metode perbaikan dan penguatan, metode pelaksanaan, dan perhitungan rencana anggaran biaya. Tahap kriteria perencanaan meliputi jenis kapal yang direncanakan, kualitas material dan bahan, dan kriteria



Gambar 6. Tegangan Beton Akibat Beban ULS.

pembebanan. Kapal yang digunakan dalam perencanaan, yaitu *general cargo* kapasitas 6.000 DWT dengan spesifikasi kapal menggunakan standard PIANC 2014 Pasal C.1. Kualitas beton menggunakan mutu beton f_{ck} 35 MPa sesuai SNI 2847 Pasal 19.3.2. Kualitas baja tulangan polos menggunakan U-24 (2400 kg/cm²) dan baja tulangan ulir U-32 (3200 kg/cm²) sesuai dengan PBI 1971 Pasal 3.7. Kualitas tiang pancang baja menggunakan ASTM A252:1998 dengan F_u 415 MPa dan F_y 240 MPa. Spesifikasi tiang pancang menggunakan *Nippon Steel Pipe Piles Catalogue*. Kriteria pembebanan menggunakan standard BS 6349-2:2010 Pasal 5. Pembebanan yang digunakan, yaitu *ultimate limit state*. Untuk pemeriksaan kesetimbangan statis struktur menggunakan *load cases SET A*, desain elemen struktur atas menggunakan *load cases SET B*, dan desain elemen struktur bawah menggunakan nilai efek terbesar dari *load cases SET B/ SET C*. Beban gempa dalam perencanaan menggunakan standard SNI 1726:2019 [11].

Tabel 4.
Rencana Tebal Tiang Pancang

SPP Dermaga Konstruksi	Diameter Luar (mm)	Tebal Eksisting (mm)	Rencana Tebal (mm)
SPP OD800 WT16	800	8.73	16
SPP OD762 WT16	762	8.73	16
SPP OD600 WT16	600	8.73	16

Tabel 5.
Gaya Dalam Tiang Pancang

Nilai Maksimum	N _{ed} (KN)	My _{ed} (KN-m)	Mz _{ed} (KN-m)	Defleksi Horizontal	
				U _x (mm)	U _y (mm)
SPP OD800 WT16	-3336	-1434.57	-317.35	-15	-77.12
SPP OD762 WT16	-4062	-1243.24	-248.98	-8.9	-77.05
SPP OD600 WT16	-2638	-633.896	-30.975	-2	-77.07

Tabel 6.
Kontrol Kegagalan Tekan Tiang Pancang

SPP Dermaga Konstruksi	Ag (mm ²)	N _{c,Rd} (KN)	Compression Check	State
SPP OD800 WT16	39408.14	10403.75	0.32	OK
SPP OD762 WT16	37498.05	9899.49	0.41	OK
SPP OD600 WT16	29355.04	7749.73	0.34	OK

Tabel 7.
Kontrol Kegagalan Axial Buckling

SPP	N _{b,Rd} (KN)	Axial Buckling Check	State
SPP OD800 WT16	8502.80	0.39	OK
SPP OD762 WT16	8090.67	0.50	OK
SPP OD600 WT16	5472.69	0.48	OK

Tahap evaluasi layout fasilitas perairan dan daratan menggunakan standard OCDI 2009 Part III Bab 3 dan Bab 5. Evaluasi layout fasilitas perairan meliputi alur pelayaran, area penjangkaran, kolam putar, dan kolam dermaga. Evaluasi layout daratan meliputi elevasi permukaan dermaga, dan kebutuhan dimensi dermaga.

Tahap evaluasi *fender* dan *bollard* menggunakan standard BS 6349-4:2014. Kebutuhan *fender* baru berdasarkan perhitungan energi tumbukan kapal berlabuh saat kondisi abnormal, kemudian dilakukan pemilihan tipe *fender* berdasarkan *catalogue fender*. Kebutuhan *bollard* direncanakan berdasarkan gaya arus dan angin yang bekerja pada kapal.

Tahap evaluasi detail struktur dermaga eksisting menggunakan standard Eurocode 2 dan 3. Evaluasi detail struktur meliputi tiang pancang, pile cap, dan pelat. Parameter yang diperiksa, yaitu PMM Ratio tiang pancang harus kurang dari 1,00, defleksi horizontal tiang pancang tidak boleh lebih dari defleksi horizontal izin, dan tegangan beton akibat beban *ultimate limit state* (ULS) tidak boleh lebih dari 45% kuat tekan beton karakteristik.

Setelah evaluasi detail struktur eksisting, maka direncanakan kebutuhan perbaikan dan perkuatan struktur. Perencanaan perbaikan dan perkuatan struktur menggunakan

Tabel 8.
Kontrol PMM Ratio dan Defleksi Horizontal

SPP Dermaga Konstruksi	PMM Ratio Check		Deflections Check			
	Nilai	State	Ux (mm)	Uy (mm)	Defleksi Horizontal Izin (mm)	State
SPP 800 T 16 mm	0.82	OK	-15.3	-77.1	80.00	OK
SPP 762 T 16 mm	0.93	OK	-8.9	-77.0	80.00	OK
SPP 600 T 16 mm	0.74	OK	-2.0	-77.1	80.00	OK

Tabel 9.
Gaya Dalam Pile Cap.

Nilai Maksimum	Mx _{ed} (KN-m)	My _{ed} (KN-m)
Pile Cap PC1	1840.03	2647.68
Pile Cap PC2	2459.65	3365.73

Tabel 10.
Rekapitulasi Penulangan Pile Cap

Tipe Pile Cap	Tulangan Lentur Tarik - Sumbu X			Tulangan Lentur Tarik - Sumbu Y		
	Tul. Ulir	Jumlah Minimal Tul.	Spasi Antar Tul. (mm)	Tul. Ulir	Jumlah Minimal Tul.	Spasi Antar Tul. (mm)
Pile Cap PC1	D25	10	100	D25	14	100
Pile Cap PC2	D40	10	100	D40	14	100

Tabel 11.
Gaya Dalam Balok

Balok	V _{Ed} (KN)	Torsi (KN-m)	M _{ed} (KN-m)		Defleksi Vertikal (mm)
			Tump.	Lap.	
B - 400 x 800 Melintang	194.1	27.4	-131.3	273.5	1.6
B - 400 x 800 Memanjang	108.2	101.9	-174.9	341.1	1.6

Tabel 12.
Rekapitulasi Penulangan Balok

Balok	Tulangan Tarik Tumpuan		Tulangan Tarik Lapangan		Tulangan Torsi	
	Tulangan	Jumlah	Tulangan	Jumlah	Tulangan	Jumlah
B - 400 x 800 Melintang	D25	2	D25	3	D25	2
B - 400 x 800 Memanjang	D25	2	D25	4	D25	2

standard Eurocode 0-3.

Selanjutnya, metode pelaksanaan. Metode pelaksanaan harus mempertimbangkan kondisi operasional bongkar muat di Dermaga Konstruksi. Urutan pelaksanaan meliputi, tahap persiapan, pembongkaran struktur beton eksisting, pemancangan *patch plate* perbaikan tiang pancang, pekerjaan struktur beton baru, pemasangan *fender* dan *bollard*, dan pengecatan dan penataan layout skenario aktivitas bongkar – muat.

Perhitungan rencana anggaran biaya menggunakan standar biaya di lingkungan Kementerian Perhubungan tahun 2014 (PM No. 78 Tahun 2014) [12].

III. HASIL DAN PEMBAHASAN

A. Evaluasi Layout Fasilitas Perairan

Evaluasi layout fasilitas perairan menggunakan standard OCDI 2009 Part III Bab 3 tentang *Waterways and Basins*. Berdasarkan evaluasi, di area penjangkaran nahkoda kapal harus menjaga jarak aman antar kapal minimal 145 meter untuk mencegah tabrakan kapal, dan di kolam dermaga harus dikeruk hingga minimal kedalaman perairan 7,48 mLWS. Diameter ruang manuver di kolam dermaga hanya tersedia 160 m. Hal tersebut tidak sesuai dengan kebutuhan manuver kapal *general cargo* 6.000 DWT, yaitu 226 m, sehingga sistem manuver kapal harus berputar lebih dulu di kolam putar di luar area Dermaga Konstruksi, dan posisi

kapal berjalan mundur dibantu dengan *tugboats*.

B. Evaluasi Layout Fasilitas Daratan

Evaluasi layout fasilitas daratan menggunakan standard OCDI 2009 Part III Bab 5. Elevasi permukaan dermaga dihitung berdasarkan muka air pasang tertinggi bulanan. Tinggi pasang surut sebesar 2,55 m. Dari tinggi pasang surut tersebut diperoleh standard tinggi puncak struktur dermaga anatar 1,00 – 2,00 m. Tinggi puncak struktur dermaga eksisting sisi Utara Dermaga Konstruksi, yaitu 1,045 m masih sesuai dengan standar OCDI, sehingga elevasi permukaan sisi utara Dermaga Konstruksi masih aman untuk digunakan.

Kebutuhan panjang dermaga 136 m dan kedalaman perairan kolam 7,48 m untuk kapal *general cargo* 6.000 DWT. Panjang dermaga sisi utara Dermaga Konstruksi 90 meter dan kedalaman perairan 5,00 m, sehingga tidak sesuai dengan rekomendasi OCDI. Maka panjang dermaga sisi utara Dermaga Konstruksi perlu ditambah 43,5 m untuk memenuhi kebutuhan standar panjang dermaga kapal *general cargo* 6.000 DWT dan kedalaman perairan dilakukan pengerukan hingga 7,48 mLWS.

C. Evaluasi Fender

Kebutuhan energi tumbukan kapal berlabuh saat kondisi abnormal untuk kapal *general cargo* 6.000 DWT sebesar $E_D = 64 \text{ kN.m}$. Fender eksisting tipe V *extruder* dan D *extruder* H 400 L 2000 masing – masing memiliki energi fender sebesar 50 kN.m dan 23 kN.m, sehingga perlu diganti.

Tabel 13.
Gaya Dalam Pelat

Pelat	Mx _{ed} (KN-m/m)		My _{ed} (KN-m/m)	
	Tumpuan	Lapangan	Tumpuan	Lapangan
Pelat T 600 mm	-688.12	519.96	-508.67	551.29

Tabel 14.
Rekapitulasi Penulangan Pelat.

Tipe Pelat	Tulangan Lentur Tarik - Sumbu X		Tulangan Lentur Tarik - Sumbu Y	
	Tulangan Ulir	Spasi Antar Tulangan (mm)	Tulangan Ulir	Spasi Antar Tulangan (mm)
Tumpuan	D25	100	D25	100
Lapangan	D25	100	D25	100

Tabel 15.
Rekapitulasi Rencana Anggaran Biaya.

Uraian Pekerjaan	Harga Pekerjaan
1 Pekerjaan Persiapan	Rp1,564,981,159.80
2 Pembongkaran Struktur Beton Eksisting	Rp168,650,299.45
3 Pengadaan Patch Plate (Tebal 8, kedalaman 13.385 m)	Rp3,818,982,656.00
4 Pemancangan Patch Plate (Tebal 8, kedalaman 13.385 m)	Rp567,943,770.14
5 Tiang Pancang D 800	Rp457,881,780.96
6 Pemancangan Patch Plate (Tebal 8, kedalaman 13.385 m)	Rp157,712,719.56
7 Tiang Pancang D 762	Rp 652,479,681.44
8 Pemancangan Patch Plate (Tebal 8, kedalaman 13.385 m)	Rp470,672,981.45
9 Tiang Pancang D 600	Rp54,202,183.31
10 Pemancangan Patch Plate (Tebal 8, kedalaman 13.385 m)	Rp1,782,027,924.55
11 Pekerjaan Pile Cap 2000 x 2600 x 1500	Rp1,137,214,004.41
12 Pekerjaan Pile Cap 2000 x 2000 x 800	Rp263,418,262.69
13 Pekerjaan Balok Melintang B 400, H 800	Rp1,299,095,973.40
14 Pekerjaan Balok Memanjang B 400, H 800	Rp10,560,547,030.54
15 Pekerjaan Pelat Tebal 600	Rp27,088,540.13
16 Pengecatan dan Penataan Layout	Rp1,217,336,893.88
17 Pemasangan Bollard Type Pillar Kapasitas 35 Ton	Rp460,892,335.17
Total Biaya Perbaikan dan Perkuatan (setelah PPN 11%)	Rp24,661,128,196.87
Total Biaya Perbaikan dan Perkuatan (setelah PPN 11%) per m²	Rp16,276,629.45

Rekomendasi fender yang digunakan Tipe V G.1.4 SX-P H 600 L 3000 dengan spesifikasi sebagai berikut:

1. Energi fender sebesar 245 kN.m dengan panjang efektif fender 2,5 m,
 2. Reaksi fender sebesar 40 ton,
 3. Berat fender 1,276 ton,
 4. Anchor bolts menggunakan M42 sebanyak 10 buah,
 5. PE bolts menggunakan M24 sebanyak 10 buah.
- Spesifikasi dimensi fender dapat dilihat pada Gambar 2.

D. Evaluasi Bollard

Kebutuhan bollard dihitung berdasarkan beban mooring yang diperoleh dari kombinasi gaya angin dan arus. Beban mooring kapal general cargo 6.000 DWT sebesar 35,001 ton. Kapasitas bollard eksisting dengan tipe pillar sebesar 35 ton masih aman untuk digunakan.

E. Evaluasi Detail Struktur Eksisting

Evaluasi detail struktur meliputi pemodelan struktur, pemeriksaan PMM Ratio tiang pancang, defleksi horisontal tiang pancang, dan tegangan beton akibat beban ULS. Layout struktur eksisting dapat dilihat pada Gambar 3.

1) Pemodelan Struktur Eksisting

Pemodelan struktur eksisting menggunakan program SAP2000 dengan steel design preferences Eurocode 3:2005 dan concrete design preferences Eurocode 2:2004.

2) PMM – Ratio Tiang Pancang

PMM – Ratio merupakan nilai perbandingan tegangan

merupakan perbandingan efek beban ULS dengan kapasitas elemen dihitung menggunakan persamaan (1). PMM – ratio tiang pancang eksisting lebih besar dari 1,00 (Gambar 4), maka diameter tiang pancang perlu diperbesar dengan menggunakan patch plate tebal 8 mm.

$$\frac{N_{Ed}}{N_{Rd}} + \frac{M_{y,Ed}}{M_{y,Rd}} + \frac{M_{z,Ed}}{M_{z,Rd}} \leq 1 \tag{1}$$

3) Defleksi Horisontal Tiang Pancang

Berdasarkan BS 6349 – 2:2010 Pasal 5.3.2, nilai defleksi izin sebesar $h/300 = 24000/300 = 80$ mm. Dari hasil pemodelan pada Tabel 1, Tabel 2, dan Tabel 3, dan Gambar 5, nilai defleksi horisontal yang terjadi lebih dari defleksi izin. Maka diperlukan pembuatan balok baru dan penebalan tebal pile cap untuk memberikan kekakuan struktur.

4) Tegangan Beton pada Pelat Akibat Beban ULS

Berdasarkan BS EN 1992-1-1:2004 Pasal 7.2 ayat (3), tegangan beton akibat beban semi-permanent tidak boleh lebih dari 45% kuat tekan beton karakteristik. Tegangan izin beton Dermaga Konstruksi sebesar 10,332 Mpa. Dari Gambar 6, tegangan beton akibat beban ULS sekitar 30 MPa, sehingga tebal pelat lantai perlu diperbesar.

F. Metode Perbaikan dan Perkuatan

Berdasarkan evaluasi detail struktur eksisting, diperoleh kesimpulan diameter tiang pancang perlu diperbesar, penebalan pile cap dan pelat lantai, dan pembuatan balok baru dermaga.

1) Perbaikan dan Perkuatan Tiang Pancang

Perbaikan dan perkuatan tiang pancang menggunakan *patch plate* tebal 8 mm dengan kedalaman 13,385 m. Tebal tiang pancang baru pada Tabel 4 dilakukan kontrol kegagalan tekan, *axial buckling*, PMM – ratio, dan defleksi horisontal berdasarkan gaya dalam pada Tabel 5.

Berdasarkan BS EN 1993-1-1:2005 Pasal 6.2.4 gaya aksial tekan harus lebih kecil dari gaya aksial penampang tiang pancang. Hasil perhitungan dapat dilihat pada Tabel 6.

Berdasarkan BS EN 1993-1-1:2005 Pasal 6.3.1 gaya *axial buckling* harus lebih kecil dari gaya *axial buckling* penampang tiang pancang. Hasil perhitungan dapat dilihat pada Tabel 7. Pemeriksaan PMM ratio dan defleksi horisontal dapat dilihat pada Tabel 8.

2) Perencanaan Pile Cap

Dalam perencanaan ini, *pile cap* direncanakan dengan dua tipe, yaitu *pile cap* PC1 untuk instalasi *fender* dengan ukuran 2 x 2,6 x 1,5 m dan *pile cap* biasa PC2 dengan ukuran 2 x 2 x 0,8 m. Perencanaan *pile cap* menggunakan standar BS 8110-1:21007 Pasal 3.7. Mutu beton yang digunakan f'_{ck} 35 MPa, dan baja tulangan ulir U-32. Berdasarkan gaya dalam *pile cap* pada Tabel 9 diperoleh penulangan pada Tabel 10.

3) Perencanaan Balok

Balok direncanakan dengan dua tipe, yaitu balok melintang dan memanjang. Perencanaan balok menggunakan standar BS EN 1992-1:2004 dan BS 8110-1:1997 Pasal 3.4. Dimensi balok yang digunakan B 400 dan H 800. Mutu beton f'_{ck} 35 MPa, mutu baja tulangan polos U-24, dan baja tulangan ulir U-32. Berdasarkan gaya dalam balok pada Tabel 11 diperoleh penulangan pada Tabel 12. Panjang penyaluran sebesar 1,2 m.

4) Perencanaan Pelat

Pelat direncanakan dengan tebal 600 mm. Perencanaan pelat menggunakan standar BS 8110-1:1997 dan BS EN 1992-1:2004. Mutu beton f'_{ck} 35 MPa, dan mutu baja tulangan ulir U-32. Berdasarkan gaya dalam pelat pada Tabel 13 diperoleh penulangan pada Tabel 14.

G. Metode Pelaksanaan

Metode pelaksanaan dilaksanakan sesuai urutan pelaksanaan sebagai berikut:

1. Pekerjaan Persiapan,
2. Pembongkaran Struktur Beton Eksisting,
3. Pemancangan *Patch Plate* T 8 mm sedalam 13,385 m,
4. Pekerjaan Struktur Beton Baru,
5. Pemasangan *Fender* dan *Bollard*,
6. Pengecatan dan Penataan Layout Skenario Aktivitas Bongkar - Muat

H. Rencana Anggaran Biaya

Perhitungan anggaran biaya berdasarkan standar biaya di lingkungan Kementerian Perhubungan tahun 2014 (PM No. 78 tahun 2014). Anggaran biaya dihitung berdasarkan volume pekerjaan sesuai dengan urutan pelaksanaan. Rekapitulasi rencana anggaran biaya dapat dilihat pada Tabel 15.

IV. KESIMPULAN

Berdasarkan hasil perencanaan diperoleh kesimpulan

sebagai berikut:

1) Spesifikasi kapal *general cargo* rencana:

- a. DWT : 6.000 DWT
- b. LOA : 113 m
- c. B : 17,1 m
- d. Draft : 6,8 m

2) Rekomendasi Layout Fasilitas Perairan dan Daratan

Di area penjangkaran Nahkoda kapal harus menjaga jarak antar kapal minimal 145 m untuk mencegah tabrakan kapal, Kolam dermaga eksisting sedalam 5 m perlu dikeruk untuk memenuhi kedalaman perairan desain sedalam 7,48 m. Panjang dermaga eksisting 92,5 m perlu diperpanjang 43,5 meter menjadi 136 m untuk kebutuhan kapal *general cargo* 6.000 DWT.

3) Rekomendasi Fender Baru

Fender eksisting perlu diganti dengan *fender* tipe V G.1.4 SX-P H 600 L 3000 sebanyak 11 set. *Fender* baru dipasang secara vertikal. Spesifikasi *fender* dapat dilihat pada Gambar 2.

4) Perbaikan dan Perkuatan Dermaga

Perbaikan dan perkuatan tiang pancang menggunakan *patch plate* tebal 8 mm dengan kedalaman 13,385 m. Perbaikan dan perkuatan struktur atas direncanakan sebagai berikut: (a) *Pile cap* direncanakan dengan dua tipe, yaitu PC1 untuk *fender* dengan ukuran 2 x 2,6 x 1,5 m dan PC2 untuk *pile cap* biasa dengan ukuran 2 x 2 x 0,8 m. Spesifikasi penulangan *pile cap* dapat dilihat pada Tabel 10; (b) Balok direncanakan dengan dua tipe, yaitu balok melintang dan balok memanjang. Ukuran balok B 400 dan H 600. Spesifikasi penulangan balok dapat dilihat pada Tabel 12 dengan panjang penyaluran 1,2 m (c) Pelat direncanakan dengan tebal 600 mm. Spesifikasi penulangan pelat dapat dilihat pada Tabel 14.

5) Rencana Anggaran Biaya

Rencana anggaran biaya perbaikan dan perkuatan sisi utara Dermaga Konstruksi untuk kapal *general cargo* 6.000 DWT di Tersus PT Pupuk Kaltim, Bontang sebesar Rp41.098.695.745.60 (*Empat Puluh Satu Milyar Sembilan Puluh Delapan Juta Enam Ratus Sembilan Puluh Lima Ribu Tujuh Ratus Empat Puluh Lima Rupiah*).

DAFTAR PUSTAKA

- [1] Menteri Perhubungan, *Peraturan Menteri Perhubungan Nomor KM 63 Tahun 2006 tentang Rencana Induk Pelabuhan Khusus PT Pupuk Kalimantan Timur, Tbk*. Jakarta: Kementerian Perhubungan Republik Indonesia, 2006.
- [2] British Standards Institution, *Eurocode -Basis of Structural Design*. London: British Standards Institution Group, 2005.
- [3] European Committee for Standardization, *Eurocode 1: Actions on structures -Part 1-4: General Actions Wind Actions*. Brussels: European Committee for Standardization, 2010.
- [4] B. E. 1992 CEN, *Eurocode 2: Design of concrete structures - Part 1-2: General Rules - Structural Fire Design*. Brussels: European Committee for Standardization, 2004.
- [5] BS EN 1992-1-1 Eurocode 2, *Design of Concrete Structures - Part 1-1: General Rules and Rules for Buildings*. Brussels: European Committee for Standardization, 2005.
- [6] Overseas Coastal Area Development Institute of Japan, *Technical Standards and Commentaries for Port and Harbour in Japan*. Tokyo, Japan: Overseas Coastal Area Development Institute of Japan, 2009.

- [7] Mark McBrideMichael, J. Briggs Briggs, G Rink Groenveld, and Martin Boll, *Harbour Approach Channels - Design Guidelines*. Bruxelles, Belgique: PIANC Secretariat General, 2014.
- [8] BPPU ITS, "Pekerjaan Assesment dan Pembuatan Rekomendasi Perbaikan Dermaga 1 Konstruksi PKT," 2019., Surabaya, 2019.
- [9] Pushidrosal, "Peta Kawasan PT. Pupuk Kalimantan Timur," *Pushidrosal*, 2020.
- [10] D. I. P. Arifianti and C. Buana, "Perencanaan Dermaga Curah Urea di Kota Bontang, Kalimantan Timur," Institut Teknologi Sepuluh Nopember, Departemen Teknik Sipil, Surabaya, 2012.
- [11] Badan Standardisasi Nasional, *SNI 1726:2019 Tata Cara Perencanaan Ketahanan Gempa untuk Struktur Bangunan Gedung dan Nongedung*. Jakarta: Badan Standardisasi Nasional, 2019, pp. 1–250.
- [12] Menteri Perhubungan Republik Indonesia, *Peraturan Menteri Perhubungan Nomor PM 78 Tahun 2014 Tentang Standar Biaya di Lingkungan Kementerian Perhubungan*. Jakarta: BN. 2014/NO.1968, PERATURAN.GO.ID, 2014.