

# Perencanaan Dermaga Curah Urea di Papua Barat untuk Kapal 15.000 DWT

Ridho Arrasyid, Dyah Iriani Widyastuti, dan Fuddoly  
Departemen Teknik Sipil, Institut Teknologi Sepuluh Nopember (ITS)  
*e-mail: dyah@ce.its.ac.id*

**Abstrak**—Indonesia termasuk salah satu negara dengan cadangan gas alam terbesar di dunia. Menurut data Statistik Minyak dan Gas Bumi 2020 dari Kementerian ESDM, jumlah cadangan gas alam di Indonesia mencapai 62,39 TCF. Gas alam berjenis LNG dapat dimanfaatkan untuk kebutuhan industri dan pembuatan pupuk urea. Oleh karena itu, perlu dikembangkan sarana transportasi berupa dermaga yang sesuai dengan standar. Maka, direncanakan dermaga curah kering yang dapat melayani kapal berkapasitas 15.000 DWT berjenis *bulk carrier*. Perencanaan dermaga yang dilakukan meliputi evaluasi *layout* perairan, evaluasi *layout* dermaga, perhitungan struktur atas meliputi perhitungan struktur atas *jetty* dan *trestle*, perhitungan struktur bawah, serta perhitungan kebutuhan *fender* dan *bollard*. Dari perencanaan dermaga tersebut dilakukan penentuan metode pelaksanaan serta perhitungan rencana anggaran biaya. Hasil dari perencanaan dermaga curah kering bertipe *jetty* meliputi: rekomendasi *layout* perairan dengan kedalaman -10,5mLAT. Rekomendasi *layout* dermaga dengan panjang *trestle* sebesar 1400m dan lebar 8m, serta struktur *jetty* dengan panjang 195m dan lebar 24m. Kedua struktur terletak pada elevasi +5.3mLAT. Dari hasil perhitungan, didapatkan kebutuhan pelat setebal 50cm pada *jetty* dan 30 cm pada *trestle*. Selain itu, kebutuhan balok pada *jetty* meliputi balok *crane* (800 x 1200mm), balok memanjang (500 x 700mm), balok melintang (500 x 700mm), dan balok *plank* (1300 x 2800mm). Pada *Trestle* dibutuhkan balok memanjang (500 x 700mm) dan balok melintang (300 x 450mm). Pada *Jetty* dibutuhkan *poer ganda* (2400 x 1200 x 1000mm) dan *poer single* (1200 x 1200 x 1000 mm), sedangkan pada *trestle* dibutuhkan *poer single* (1200 x 1200 x 1000mm). Dari hasil perhitungan struktur bawah didapatkan kebutuhan tiang pancang baja D812 dengan tebal 15mm untuk struktur *jetty*. Sedangkan, pada struktur *trestle* digunakan tiang pancang beton D800A. Pekerjaan yang dilakukan diantaranya pekerjaan persiapan, pekerjaan struktur *trestle*, pekerjaan struktur *jetty*, dan pekerjaan instalasi aksesoris dermaga. Dari pekerjaan tersebut, total biaya yang dibutuhkan adalah Rp171,158,670,000.

**Kata Kunci**—Dermaga, Jetty, Open-Pier, Trestle, Urea.

## I. PENDAHULUAN

**G**AS alam adalah sumber energi yang berasal dari fosil tanaman, hewan, dan mikroorganisme yang tersimpan di bawah tanah selama ribuan bahkan jutaan tahun. Indonesia termasuk salah satu negara dengan cadangan gas alam terbesar di dunia. Jumlah cadangan gas alam di Indonesia mencapai 62,39 TCF [1].

Gas alam memiliki beberapa kegunaan, antara lain untuk gas rumah tangga, tenaga pembangkit listrik, produksi bahan bakar, dan pembuatan pupuk. Gas alam berjenis LNG dapat dimanfaatkan untuk kebutuhan industri dan pembuatan pupuk urea. Pupuk urea diproduksi dengan mengolah gas LNG menjadi amonia dan urea yang merupakan bahan utama untuk membuat pupuk urea.

Indonesia memiliki beberapa kilang gas LNG. Salah satu kilang gas terletak di Papua Barat, yakni LNG Tangguh. Pemerintah merencanakan pengembangan pabrik pupuk

petrokimia sebagai diversifikasi produk yang dapat menjadi faktor pendorong pemanfaatan gas bumi untuk keperluan domestik [2]. Dalam membangun pabrik pupuk, dibutuhkan infrastruktur untuk melakukan pengiriman hasil produksi pupuk. Seringkali dalam proses pengangkutannya, pupuk urea diangkut dalam bentuk curah kering. Untuk dapat mengangkut curah kering urea dalam jumlah besar pada satu waktu dibutuhkan sarana transportasi berupa pelabuhan. Oleh karena itu, perlu dikembangkan sarana transportasi berupa terminal khusus yang sesuai dengan standar yang berlaku.

Sesuai dengan pemanfaatannya, dermaga yang dirancang pada perencanaan ini berfungsi sebagai sarana untuk memuat curah urea kering hasil produksi untuk didistribusikan menuju ke tujuan. Dari hasil studi masterplan terdahulu didapatkan tipe dermaga berupa *jetty*. Tipe dermaga *jetty* adalah dermaga dengan struktur untuk kapal bertambat atau berlabuh yang letaknya menjorok ke lautan [3]. Pengangkutan curah kering urea dapat dilakukan menggunakan kapal berjenis *bulk carrier* dengan kapasitas sebesar 15.000 DWT. Maka, pada perencanaan ini direncanakan dermaga curah kering yang dapat melayani kapal dengan kapasitas 15.000 DWT berjenis *bulk carrier*.

## II. TINJAUAN PUSTAKA

### A. Data Pasang Surut Air Laut

Pasang surut air laut adalah fluktuasi muka air laut akibat adanya gaya tarik matahari dan bulan dan gaya sentrifugal dari sistem mahari-bumi-bulan terhadap massa air laut di bumi [4]. Puncak gelombang disebut dengan pasang tinggi dan lembah dari gelombang disebut pasang rendah. Tinggi pasang surut adalah jarak vertikal antara air tertinggi (puncak air pasang) dan air terendah (lembah air surut) yang berurutan.

### B. Data Batimetri

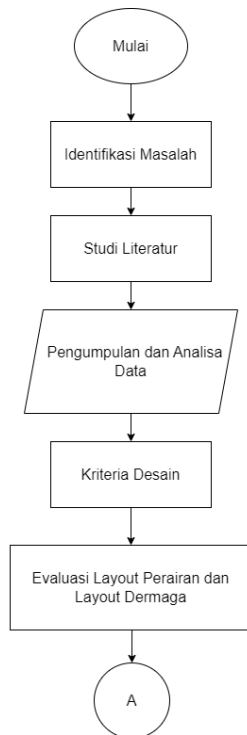
Batimetri adalah metode atau teknik penentuan kedalaman laut atau profil dasar laut dari hasil analisa data kedalaman [5]. Peta batimetri berfungsi untuk menentukan kedalaman dasar laut agar kapal dapat bermanuver dengan aman. Pada umumnya peta batimetri menunjukkan kedalaman 0.00 m LWS. Peta batimetri digunakan untuk: (1) Mengetahui kedalaman tanah dasar laut yang diperlukan dalam perencanaan elevasi dermaga. (2) Mengetahui daerah yang berbahaya untuk alur kapal sehingga dapat diantisipasi dengan memberi tanda navigasi. (3) Merencanakan struktur *jetty* dengan tepat agar kapal dapat bersandar dengan aman.

### C. Survei Data Arus

Arus laut adalah gerakan massa air dari suatu tempat (posisi) ke tempat lain secara horizontal. Arus dapat diklasifikasikan menjadi 2 jenis, yakni arus tidal dan arus

Tabel 1.  
Kriteria pemasangan bollard

Gross-Tonage of Ships (tons)	Interval Pemasangan Maksimal (m)	Jumlah Pemasangan Minimum
<2.000	10 – 15	4
2.001 – 5.000	20	6
5.001 – 20.000	25	6
20.001 – 50.000	35	8
50.001 – 100.000	45	8
100.001 – 150.000	45	10
150.001 – 200.000	45	12



Gambar 1. Diagram alir pengerjaan penulisan perencanaan (a).

non-tidal. Arus tidal adalah arus yang diakibatkan perbedaan tinggi permukaan air laut akibat interaksi gaya tarik-menarik antara matahari, bumi, dan bulan. Arus non-tidal diakibatkan oleh sistem sirkulasi lautan secara umum yang berkaitan dengan meteorologi [4].

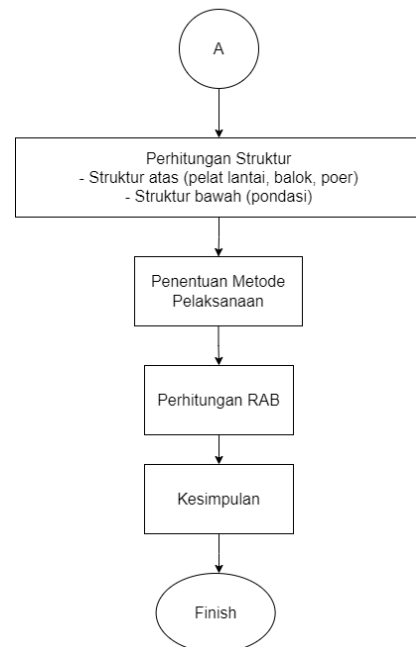
**D. Data Gelombang**

Gelombang laut merupakan peristiwa naik turunnya permukaan laut secara vertikal yang membentuk kurva/grafik sinusoidal. Secara umum terjadinya gelombang laut ditimbulkan oleh angin, meskipun gelombang dapat pula disebabkan oleh hal lain seperti gempa di dasar laut, tsunami, gerakan kapal, atau pasang surut.

Data gelombang digunakan untuk mengetahui ketinggian gelombang pada dermaga. Ketinggian gelombang pada dermaga harus memenuhi persyaratan agar kapal dapat melakukan proses loading secara aman. Gelombang secara umum disebabkan oleh adanya angin. Sehingga data gelombang didapatkan dengan cara mengolah data angin dengan metode SPM.

**E. Data Tanah**

Penyelidikan data tanah dilakukan untuk mendapatkan beberapa parameter tanah dasar yang dibutuhkan dalam merencanakan dermaga dan *trestle*. Penyelidikan tanah dapat dilakukan dengan penyelidikan lapangan. Penyelidikan lapangan dilakukan menggunakan metode bor laut untuk



Gambar 2. Diagram alir pengerjaan penulisan perencanaan (b).

mendapatkan sampel tanah dan melakukan uji SPT. Pengambilan data tanah dilakukan dengan pengeboran menggunakan mesin bor dan pompa dengan tenaga diesel. Kedudukan titik bor dilakukan dengan alat *theodolite*.

**F. Evaluasi Layout Perairan**

Dalam melakukan perencanaan dermaga, perlu diperhatikan mengenai konfigurasi *layout* area perairan. Perencanaan *layout* perairan diperlukan untuk menjamin akses lalu lintas kapal dengan aman dalam segala keadaan cuaca serta meminimalisir waktu transit kapal di alur pelayaran [6]. Evaluasi *Layout* Perairan meliputi area penjangkaran, alur masuk, kolam putar, dan kolam dermaga.

**G. Evaluasi Layout Dermaga**

Struktur *jetty* adalah struktur dermaga yang menjorok jauh ke arah laut, dengan maksud agar ujung dermaga terletak pada kedalaman yang cukup untuk merapatkan kapal. Panjang *jetty* ditentukan dari dimensi kapal yang bersandar, sedangkan, lebar *jetty* ditentukan berdasarkan peralatan muat, fasilitas, dan kegiatan pada *jetty*. *Trestle* adalah struktur yang menghubungkan antara dermaga dengan daratan. Struktur ini dibuat dengan menggunakan tiang pancang. Panjang *trestle* ditentukan berdasarkan jarak dermaga dengan daratan, sedangkan lebar *trestle* mempertimbangkan peralatan muat, fasilitas, serta kegiatan yang berada di atas *trestle*.

**H. Fender**

*Fender* merupakan suatu konstruksi yang dipasang pada depan konstruksi dermaga yang berfungsi untuk menahan beban tumbukan kapal saat sandar serta mentransformasikan gaya tumbukan menjadi gaya reaksi yang dapat diterima konstruksi dan kapal secara aman. Pada perencanaan *fender*, desain energi tumbuk pada *fender* harus dikurangi dengan manufacturing tolerance dan gaya reaksi harus ditingkatkan dengan manufacturing tolerance. Pemasangan *fender* perlu memperhatikan kedua arah, yakni arah vertikal dan arah horizontal. Pada arah vertikal, *fender* dipasang sedemikian rupa sehingga kapal rendah dapat bersandar pada *fender*. Pada arah Horizontal, *fender* dapat dipasang pada interval 5

Tabel 2.  
Elevasi pasang surut air laut

Elevasi Pasang Surut		0.00 m ( <i>pheil schaal</i> )	0.0 mLAT
HAT	<i>Highest Astronomical Tide</i>	4.7	+3.8
MHHWS	<i>Mean Highest High Water Spring</i>	4.42	+3.52
MHHWN	<i>Mean Highest High Water Neap</i>	3.85	+2.95
MSL	<i>Mean Sea Level</i>	2.86	+1.96
MLLWN	<i>Mean Lowest Low Water Neap</i>	1.96	+1.06
MLLWS	<i>Mean Lowest Low Water Spring</i>	1.17	+0.27
LAT	<i>Lowest Astronomical Tide</i>	0.9	0

– 20 m atau sekitar 1/5 hingga 1/6 dari panjang kapal [7].

I. *Bollard*

*Bollard* merupakan suatu konstruksi yang dipasang pada tepi atas dermaga yang berfungsi untuk menambatkan tali kapal saat kapal bersandar. *Bollard* dipasang sesuai dengan interval pada Tabel 1.

III. METODOLOGI

Diagram alir (*flow chart*) Perencanaan Dermaga Curah Urea di Papua Barat untuk Kapal 15.000 DWT dapat dilihat pada Gambar 1 dan Gambar 2.

IV. ANALISIS DATA DAN PEMBAHASAN

A. *Analisis Data*

Data yang dianalisis diantaranya adalah data pasang surut air laut, data peta batimetri, data arus, data gelombang, data tanah, data kapal, dan data alat muat curah kering.

1. *Analisis Data Pasang Surut Air Laut*

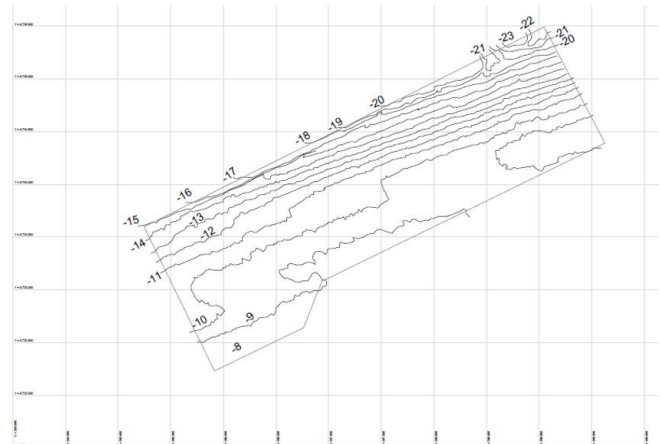
Pembacaan data pasang surut air laut dilakukan dengan pengamatan visual terhadap rambu ukur selama 15 hari (20 Oktober 2021 – 4 November 2021). Berdasarkan perhitungan konstanta harmonik didapatkan nilai formzahl sebesar 1,14. Sehingga pada perairan teluk bintuni didapatkan jenis pasang surut campuran dominan ganda (*Mix Tide Prevailing Semi Diurnal*) yang mana dalam satu hari terjadi dua kali pasang dan dua kali surut dengan ketinggian yang berbeda. Setelah diketahui karakteristik pasang surut yang terjadi, dilakukan perhitungan elevasi pasang surut dengan metode admiralty dan menentukan ketinggian acuan LAT (*Lowest Astronomical Tide*) dari hasil pengamatan rambu ukur. Elevasi pasang surut dapat dilihat pada Tabel 2. Dapat diketahui perbedaan pasang surut antara HAT dan LAT sebesar +3.8 m.

2. *Analisis Data Peta Batimetri*

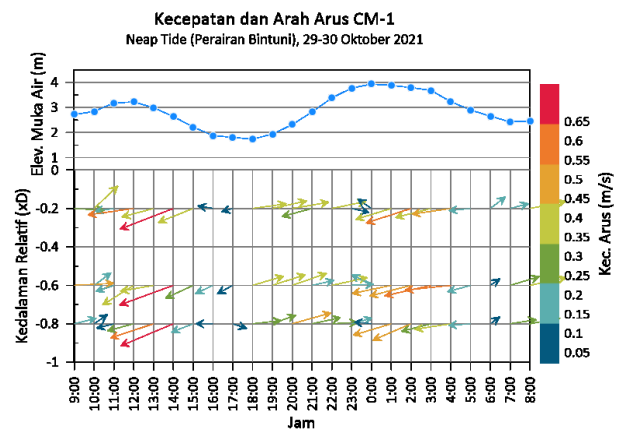
Pada perencanaan *layout* dermaga, direncanakan menggunakan *jetty* yang menjorok ke lautan. Untuk itu diperlukan kedalaman yang sesuai dengan persyaratan agar kapal dapat bersandar dengan aman. Peta batimetri menunjukkan kedalaman berdasarkan referensi +0.00 mLAT. Peta batimetri dapat dilihat pada Gambar 3.

3. *Analisis Data Arus*

Analisis arus dilakukan dengan dua kondisi, yakni saat kondisi *spring tide* (pasang naik tertinggi/pasang pumama)



Gambar 3. Peta bathymetri pada perairan Teluk Bintuni.



Gambar 4. Data arus di titik 1 pada kondisi *neap*.

dan *neap tide* (pasang surut terendah/pasang perbani). Pengukuran arus dilakukan pada 2 titik dengan interval waktu 1 jam selama 24 jam menggunakan alat *Current meter* yang dapat merekam kecepatan dan arah arus secara *self-recorded*. Data arus disajikan dengan plot grafik untuk mengetahui kecepatan dan vektor arah arus yang dapat dilihat pada Gambar 4.

Dari data-data pengukuran arus didapatkan kondisi kecepatan arus maksimum sebesar 0,746 m/s pada arah 248,9° (barat).

4. *Analisis Data Gelombang*

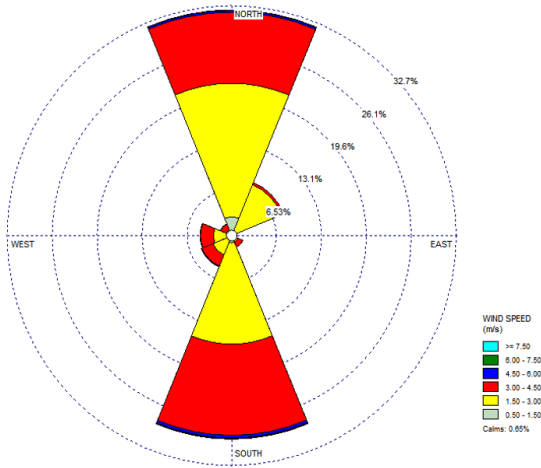
Data angin selama 20 tahun yang dirilis BMKG pada Stasiun Meteorologi Torea. Data angin dapat dilihat pada Gambar 5. Data angin digunakan untuk melakukan peramalan gelombang sehingga menghasilkan tinggi gelombang. Peramalan gelombang dilakukan dengan mengolah data angin di darat menjadi data angin di laut, kemudian dikoreksi dengan faktor efek lokasi dan faktor tegangan angin, serta nilai *fetch* efektif. Hasil perhitungan bangkitan gelombang dapat dilihat pada dengan tinggi gelombang signifikan sebesar 1,08 m. Data bangkitan gelombang dapat dilihat pada Gambar 6.

5. *Analisis Data Tanah*

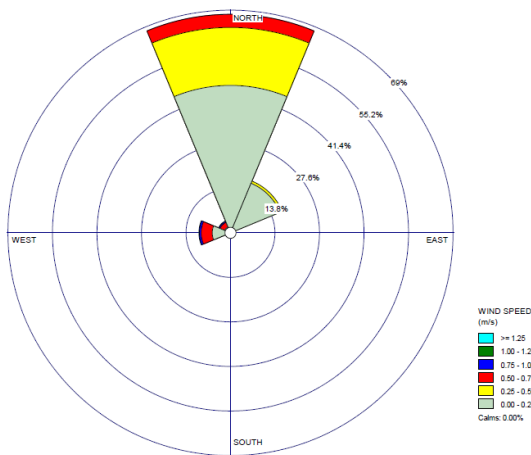
Data SPT tanah tersaji pada *bor-log*. Pada *bor-log* termuat data mengenai kedalaman tanah, jenis tanah, deskripsi tanah, dan jumlah pukulan (*N Value*). Pengujian SPT dilakukan sampai dengan kedalaman 40m. Data *bor-log* untuk perencanaan dermaga dapat dilihat pada Gambar 7.

6. *Analisis Data Kapal*

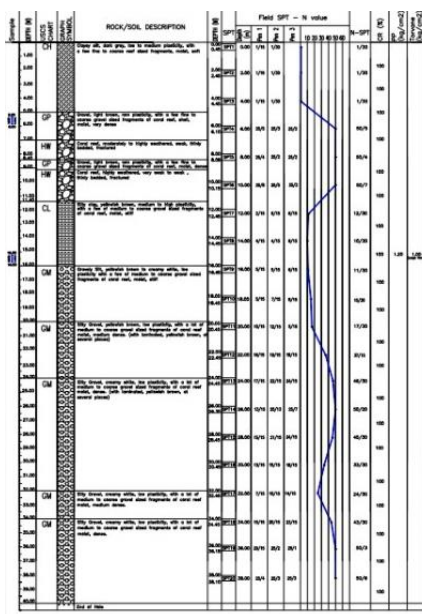
Data kapal *bulk carrier* untuk kapasitas 15.000 DWT harus



Gambar 5. Mawar angin periode 2002 – 2021.



Gambar 6. Mawar gelombang periode 2002 – 2021.



Gambar 7. Boring log.

disesuaikan dengan peraturan yang berlaku secara internasional agar dermaga dapat mengakomodir kapal secara internasional. Data kapal *bulk carrier* untuk kapasitas 15.000 DWT dapat dilihat pada Tabel 3.

7. Analisis Data Alat Muat Curah Kering

Alat Muat Curah Kering yang digunakan adalah *shiploader*, *belt conveyor*, dan Truk. *Shiploader* yang digunakan adalah KOCH Transporttechnik GmbH dengan

Tabel 3. Data kapal *bulk carrier* 15.000 DWT

DWT	Δm	Loa	Lpp	B	T	Cb
(t)	(t)	(m)	(m)	(m)	(m)	(-)
15000	19500	145	138	20.75	8.4	0.76

Tabel 4. Evaluasi *layout* perairan

No	Variabel	Masterplan	Evaluasi	Satuan
<b>A Areal Penjangkaran</b>				
1	Kedalaman	-14	-10,5	mLAT
2	Jari jari	240	220	m
3	Jumlah	1	1	Buah
<b>B Alur masuk</b>				
1	Kedalaman	-14	-10,5	mLAT
2	Panjang	2.700	5.605	m
3	Lebar	240	217,5	m
<b>C Kolam Putar</b>				
1	Kedalaman	-14	-10,5	mLAT
2	Jari jari	240	150	m
<b>D Kolam Dermaga</b>				
1	Kedalaman	-14	-10,5	mLAT
2	Ketenangan	Perlu diperhatikan proses bongkar muat saat Hs > 0,5 m		

Tabel 5. Evaluasi *layout* dermaga

No	Variabel	Perhitungan	Satuan
<b>A Jetty</b>			
1	Panjang	195	m
2	Lebar	24	m
3	Elevasi	+5,3	mLAT
<b>B Trestle</b>			
1	Panjang	1400	m
2	Lebar	8	m

kapasitas muat 1.200 t/h, berat 380 ton, dan roda sebanyak 16 buah.

B. Evaluasi *Layout* Perairan

Kedalaman minimum untuk *layout* perairan dihitung sesuai dengan persamaan (1).

$$D = 1,2d + 0,4m \tag{1}$$

Dari hasil perhitungan didapatkan kedalaman minimum untuk *layout* perairan adalah sebesar 10,5m. Lebar alur pelayaran sebesar 240m guna mengakomodir lalu lintas kapal untuk dua arah. Hasil evaluasi *layout* perairan dapat dilihat pada Tabel 4.

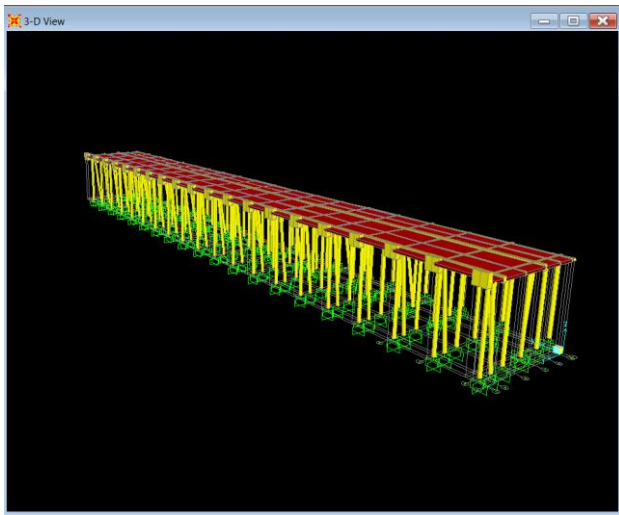
Oleh karena kebutuhan kedalaman yang diperlukan adalah sebesar -10,5 mLAT, maka perlu dilakukan pengerukan untuk mendapatkan kedalaman yang sesuai.

C. Evaluasi *Layout* Dermaga

Evaluasi *layout* dermaga disesuaikan dengan kapal rencana dengan kapasitas 15.000 DWT. *Jetty* direncanakan menghadap ke arah utara dengan panjang 195m. Panjang struktur *trestle* ditentukan berdasarkan jarak dari daratan ke *jetty* yakni sebesar 1.400 m. Rekapitulasi evaluasi *layout* dermaga dapat dilihat pada Tabel 5.

D. Perhitungan Kebutuhan *Fender* dan *Bollard*

Penentuan *fender* dilakukan dengan mempertimbangkan beban tumbukan kapal yang terjadi. Beban tumbukan dapat dihitung dengan menggunakan persamaan (2).



Gambar 9. Pemodelan jetty dengan menggunakan aplikasi SAP2000.

Joint Displacements

Joint Object	24	Joint Element	24
	1	2	3
Trans	0.04212	0.04711	-0.00849
Rotn	-7.694E-04	0.00907	-4.299E-04

Gambar 10. Besar defleksi pada balok crane.

$$Ec = 0,5C_M M_d V_B^2 C_E C_S C_C \tag{2}$$

Berdasarkan perhitungan didapatkan besar beban tumbukan kapal adalah sebesar 119,6 ton.m. Beban tumbukan harus dikalikan dengan faktor keamanan saat terjadi tumbukan abnormal. Besar beban abnormal dihitung dengan persamaan (3).

$$Ea = FsEc \tag{3}$$

Dari hasil perhitungan, didapatkan nilai beban abnormal adalah sebesar 209,39 ton.m. Pada dermaga ini, direncanakan kapal dapat bertambat dengan menumbuk 2 fender bersamaan, sehingga nilai beban tumbukan yang harus ditahan oleh masing-masing fender adalah sebesar 1026 kN.m. Untuk mengakomodir beban tumbukan tersebut dipilih fender SCN 1400 F1.1 dengan serapan energi sebesar 1027.9 kNm dan reaksi ke struktur sebesar 1369.4 kN. Pada arah memanjang fender dipasang dalam interval jarak 10 m.

Untuk keperluan keamanan badan kapal saat kontak, diperlukan tambahan aksesoris berupa *frontal frame*. Kontrol kontak kapal digunakan untuk menentukan dimensi *frontal frame* kapal yang digunakan. Perhitungan dimensi *frontal frame* dihitung dengan persamaan (4).

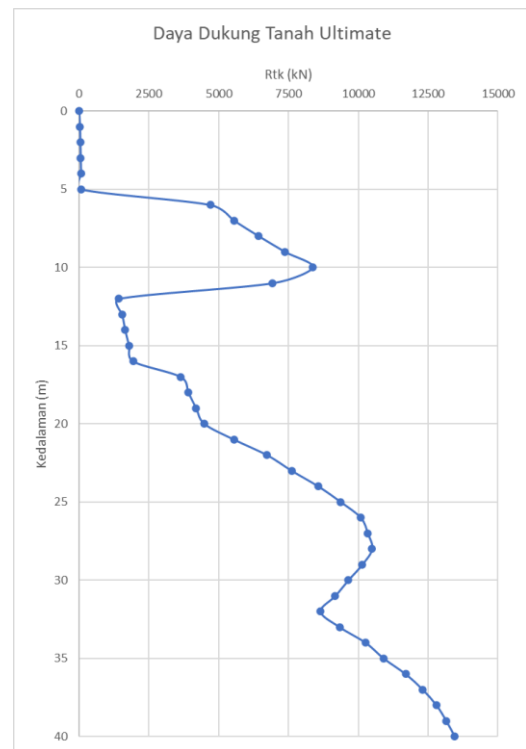
$$P = \frac{R}{W \times H} < Pp \tag{4}$$

Dari hasil perhitungan, didapatkan dimensi *frontal frame* yang dibutuhkan adalah sebesar 2,5m x 3m. Untuk memperpanjang umur pakai dari fender diperlukan rantai tambahan berupa *weight chain* dan *tension chain*.

Kebutuhan *bollard* ditentukan sesuai dengan Tabel 1. Untuk kapal berkapasitas 15000 DWT diperlukan pemasangan *bollard* dengan jarak maksimum 25 m dan jumlah minimum sebanyak 6 buah. Sehingga, dipasang *bollard* dengan kapasitas 80 ton sejarak 25 m dan sejumlah 8 buah.

Tabel 6.  
Gaya dalam pada balok crane

No	Balok	Dimensi (cm)	Mul (ton.m)	Mut (ton.m)	Vu (ton)	Tu (ton.m)
1	Crane	80 x 120	434.2	256.69	246.6	2.26



Gambar 8. Daya dukung ultimate tiang pancang.

E. Kombinasi Pembebanan

Dalam perencanaan ini digunakan standar internasional yang didapat dari *British Standard 6349 Part 2* pada kondisi *Ultimate Limit State (ULS)*. Kombinasi pembebanan dibagi menjadi 3 set. Berikut merupakan contoh kombinasi pembebanan untuk set A:

Jetty:

*Persistent and Transient Unfavourable Condition*

$$1,05DL + 1,05SDL$$

$$1,05DL + 1,05SDL + 1,35CL + 0,84C$$

$$1,05DL + 1,05SDL + 1,35CL + 1,05F + 0,84C$$

$$1,05DL + 1,05SDL + 1,35CL + 0,84Bh + 0,84Bv + 0,84C$$

$$1,05DL + 1,05SDL + 1,35CL + 1,02T + 0,84C$$

$$1,05DL + 1,05SDL + 1,35CL + 0,75 LL + 0,84C$$

*Seismic Loads Unfavourable Condition:*

$$DL + SDL + Ex + 0,3Ey$$

$$DL + SDL + Ex - 0,3Ey$$

$$DL + SDL + 0,3Ex + Ey$$

$$DL + SDL + 0,3Ex - Ey$$



Tabel 7.  
Rekapitulasi kebutuhan tulangan untuk balok

No	Balok	Dimensi (cm)	Tulangan				
			Lapangan	Tumpuan	Sengkang Tumpuan	Sengkang Lapangan	Torsi
<i>Jetty</i>							
1	Crane	80 x 120	9D40	7D40	4D22-150	4D22-200	-
2	Memanjang <i>Jetty</i>	50 x 70	4D29	5D29	2D12-125	2D12-250	-
3	Memanjang <i>Jetty</i> Cantilever	50 x 70	2D29	2D29	2D12-200	2D12-200	-
4	Melintang <i>Jetty</i>	50 x 70	5D32	5D32	2D14-100	2D14-100	2-D22
5	Cantilever	60 x 90	2D32	6D32	2D19-100	2D19-100	4-D32
6	Plank Fender	280 x 130	16D32	5D32	2D12-200	2D12-200	-
<i>Trestle</i>							
7	Memanjang <i>Trestle</i>	40 x 60	4D29	4D29	2D12-100	2D12-100	-
8	Memanjang <i>Trestle</i> Kiri	40 x 60	2D29	2D29	2D10-200	2D10-200	-
9	Memanjang <i>Trestle</i> Kanan	30 x 45	2D22	3D22	2D10-200	2D10-200	-
10	Melintang <i>Trestle</i> Kiri	30 x 45	2D19	2D19	2D10-200	2D10-200	2-D19
11	Melintang <i>Trestle</i> Kanan	30 x 45	2D25	2D25	2D10-200	2D10-200	2-D16

$$DL + SDL - Ex + 0,3Ey \quad L \geq \frac{1}{\beta} \quad (5)$$

$$DL + SDL - Ex - 0,3Ey$$

$$DL + SDL - 0,3Ex + Ey$$

$$DL + SDL - 0,3Ex - Ey$$

*Trestle:*

*Persistent and Transient Unfavourable Condition:*

$$1,05DL + 1,05SDL$$

$$1,05DL + 1,05SDL + 1,35T + 0.84C$$

$$1,05DL + 1,05SDL + 1,5L + 0.84C$$

$$1,05DL + 1,05SDL + 1,5L + 1,02T + 0.84C$$

*Seismic Loads Unfavourable Condition:*

$$DL + SDL + Ex + 0,3Ey$$

$$DL + SDL + Ex - 0,3Ey$$

$$DL + SDL + 0,3Ex + Ey$$

$$DL + SDL + 0,3Ex - Ey$$

$$DL + SDL - Ex + 0,3Ey$$

$$DL + SDL - Ex - 0,3Ey$$

$$DL + SDL - 0,3Ex + Ey$$

$$DL + SDL - 0,3Ex - Ey$$

Dengan keterangan antara lain, DL adalah beban mati, SDL adalah beban mati tambahan, CL adalah beban crane, C adalah beban arus pada struktur, F adalah beban fender, Bh adalah beban horizontal bollard, Bv adalah beban vertikal bollard sebesar 0,5Bh, T adalah beban truk, LL adalah beban hidup muatan dan air hujan, Ex adalah beban gempa arah x, Ey adalah beban gempa arah y.

**F. Pemodelan Struktur**

Pemodelan struktur dilakukan dengan menggunakan aplikasi SAP2000. Sebelum melakukan pemodelan struktur, kedalaman titik jepit tiang pancang perlu diperhitungkan sesuai dengan persamaan (5).

Dari hasil perhitungan didapatkan kedalaman titik jepit minimum untuk tiang pancang baja dan tiang pancang beton adalah 256,92 cm dan 256,3 cm. Sehingga diambil kedalaman titik jepit tiang untuk pemodelan sebesar 300 cm. Pemodelan struktur dapat dilihat pada Gambar 9.

**G. Perhitungan Struktur Atas**

Berdasarkan hasil analisis pemodelan struktur menggunakan aplikasi SAP2000 didapatkan output berupa besar defleksi dan gaya dalam yang terjadi pada tiap-tiap elemen. Besar defleksi balok dapat dilihat pada Gambar 10.

Besar defleksi yang terjadi akibat kombinasi set A adalah sebesar 8.4 mm. Batasan maksimum defleksi pada struktur balok adalah sesuai dengan persamaan (6).

$$\bar{d} = L/250 \quad (6)$$

Panjang balok crane direncanakan sepanjang 10 m. Batasan defleksi ijin adalah 40 mm. Sehingga besar defleksi pada balok crane memenuhi persyaratan.

Dari hasil analisis struktur didapatkan gaya dalam pada balok berupa momen, geser, dan torsi. Gaya dalam yang terjadi pada balok crane dapat dilihat pada Tabel 6.

Gaya dalam hasil analisis struktur digunakan untuk perhitungan desain tulangan yang diperlukan. Kebutuhan tulangan untuk tiap balok dapat dilihat pada Tabel 7. Perhitungan yang sama dilakukan untuk struktur pelat lantai dan struktur poer.

**H. Perhitungan Struktur Bawah**

Struktur bawah direncanakan menggunakan pondasi tiang pancang berjenis baja untuk struktur jetty dan beton prestressed untuk struktur trestle. Kontrol pada struktur bawah meliputi kontrol kekuatan bahan, kontrol daya dukung tanah, kontrol defleksi, kontrol tiang pancang ketika berdiri sendiri, dan korosi pada tiang pancang. Berdasarkan hasil analisis pemodelan struktur didapatkan gaya dalam pada tiang pancang berupa gaya aksial, geser, dan momen. Gaya dalam pada tiang pancang dapat dilihat pada

Joint Displacements			
Joint Object	65	Joint Element	65
	1	2	3
Trans	0.04177	0.04668	-0.00742
Rotn	-0.00515	8.854E-04	-4.299E-04

Gambar 11. Besar defleksi pada ujung tiang pancang.

Joint Object 65	Joint Element 65		
	1	2	3
Trans	0.04177	0.04668	-0.00742
Rotn	-0.00515	8.854E-04	-4.299E-04

Gambar 11. Besar defleksi pada ujung tiang pancang.

Tabel 9. Gaya dalam pada tiang pancang

No	Tiang Pancang	Dimensi (cm)	Pu (ton)	Mux (ton.m)	Muy (ton)	Vu (ton.m)
1	R5	81.2	126.2	31.64	27.68	5.05

Tabel 10. Rekapitulasi kontrol tiang pancang

No	Baris	Jenis Tiang Pancang	Tebal (mm)	Panjang		Rasio	
				(m)	Momen	Aksial	Interaksi
<i>Jetty</i>							
1	2 & 3	Baja, Tegak	15	26	0.38	0.48	0.99
2	5 & 6	Baja, Tegak	15	22	0.23	0.35	0.74
3	4	Baja, Tegak	15	37	0.26	0.45	0.92
4	2	Baja, Miring 1:10	15	39	0.28	0.41	0.92
5	4	Baja, Miring 1:10	15	36	0.23	0.43	0.81
<i>Trestle</i>							
1	B	Beton, Tegak		21	0.67	0.23	
2	A & C	Beton, Miring 1:10		21	0.5	0.17	

Tabel 9.

Dari gaya tersebut dilakukan kontrol untuk menentukan tahanan gaya sesuai bahan tiang pancang. Daya dukung tanah dihitung dengan menggunakan persamaan (7).

$$R_{tk} = R_{pk} + R_{fk} \tag{7}$$

Perhitungan daya dukung dilakukan dengan memperhatikan bagian struktur di bawah permukaan tanah yang dianggap sebagai titik jepit. Grafik daya dukung tanah *ultimate* dapat dilihat pada Gambar 8.

Grafik daya dukung menunjukkan hubungan kedalaman dan besar tahanan gaya yang dapat dipikul oleh tanah. Untuk mengakomodir gaya aksial yang terjadi pada tiang pancang R5 sebesar 126,2 ton dan *safety factor* (SF) sebesar 3, diperlukan kedalaman tiang pancang sebesar 6m di bawah permukaan tanah.

Besar defleksi pada tiang pancang perlu diperhitungkan agar struktur dapat bekerja secara aman. Besar defleksi tiang pancang dapat dilihat pada Gambar 11. Besar defleksi yang terjadi akibat kombinasi *set A* adalah sebesar 46 mm. Batasan maksimum defleksi pada struktur tiang pancang adalah sesuai dengan persamaan (8).

$$\bar{d} = L/300 \tag{8}$$

Panjang tiang pancang yang dihitung dari titik jepit hingga ke ujungnya direncanakan sepanjang 18,3 m. Batasan

Tabel 8. Rekapitulasi kontrol tiang pancang

REKAPITULASI RENCANA ANGGARAN BIAYA PEKERJAAN DERMAGA CURAH KERING 15.000 DWT TELUK BINTUNI - PAPUA BARAT		
KODE	URAIAN PEKERJAAN	JUMLAH HARGA
A	Pekerjaan Konstruksi	
A.1	Pekerjaan Persiapan	Rp2.675.000.000
A.2	Pekerjaan <i>Trestle</i>	Rp70.682.745.471
A.3	Pekerjaan <i>Jetty</i>	Rp72.188.756.855
B	Pekerjaan Fasilitas Dermaga	
B.1	Pengadaan dan Pemasangan Fender per Unit	Rp3.474.199.535
B.2	Pengadaan dan Pemasangan Frontal Frame per Unit	Rp3.704.199.535
B.3	Pengadaan dan Pemasangan Bollard	Rp1.472.050.145
	JUMLAH	Rp154.196.951.541
	PEMBULATAN	Rp154.197.000.000
	PPN 11%	Rp16.961.670.000
	TOTAL HARGA	Rp171.158.670.000

defleksi ijin adalah 61 mm. Sehingga besar defleksi pada tiang pancang memenuhi persyaratan.

Tiang pancang perlu dikontrol saat berdiri sendiri. Hal ini bertujuan untuk mencegah tiang pancang patah akibat frekuensi dari gelombang. Perhitungan frekuensi tiang pancang dilakukan menggunakan persamaan (9) dan besar frekuensi yang terjadi dihitung dengan persamaan (10).

$$\omega_t = 1,73 \sqrt{\frac{EI}{\left(\frac{wl^2}{g}\right)}} \tag{9}$$

$$\omega = \frac{1}{T} \tag{10}$$

Dari hasil perhitungan didapatkan besar frekuensi tiang pancang adalah 0,95 rad/s dengan frekuensi gelombang yang terjadi adalah sebesar 3,16 rad/s. Oleh karena frekuensi tiang pancang lebih kecil daripada frekuensi gelombang yang terjadi, maka tiang pancang dapat dengan aman ketika berdiri sendiri.

Pada tiang pancang baja, pengaruh laju korosi harus diperhitungkan. Laju korosi dihitung hingga struktur ditumbuhi karang. Laju korosi untuk *splash zone* adalah sebesar 0,17 mm/tahun/sisi [8]. Untuk itu, diperlukan perlindungan tambahan berupa penebalan tiang pancang dan *composite wrapping* untuk melindungi tiang pancang baja dari pengaruh korosi. Rekapitulasi kebutuhan dan kontrol tiang pancang dapat dilihat pada Tabel 10.

### 1. Metode Pelaksanaan

Metode pelaksanaan dalam pembangunan dermaga curah kering 15.000 DWT dimulai dengan pekerjaan persiapan yang berisikan pembersihan lahan, pembangunan *direksi keet* sebagai kantor sementara untuk pelaksanaan, pembuatan gudang material dan barak pekerja, instalasi listrik dan air kerja, serta pekerjaan mobilisasi dan demobilisasi peralatan. Setelah pekerjaan persiapan selesai dilakukan, terdapat pekerjaan konstruksi struktur bawah yang dimulai dari daerah dangkal menuju ke daerah dalam untuk memudahkan mobilisasi.

Pekerjaan struktur bawah dimulai dari pekerjaan pengadaan dan *handling* material tiang pancang, pembuatan dan pemasangan sepatu tiang pancang, pemancangan, penyambungan tiang pancang, pemotongan tiang pancang,

perlindungan korosi untuk tiang pancang baja pada *jetty*, serta pekerjaan isian tiang pancang.

Setelah itu, dilakukan pekerjaan struktur atas yang meliputi pekerjaan *poer*, pekerjaan balok, dan pekerjaan pelat lantai. Masing-masing pekerjaan tersebut dilakukan mulai dari pekerjaan bekisting, pekerjaan pembesian, dan pekerjaan pengecoran. Pada struktur *jetty*, terdapat pekerjaan pemasangan aksesoris dermaga, yakni *fender*, *frontal frame*, dan *bollard*. Aksesoris tersebut diinstalasi setelah pekerjaan struktur atas selesai dilaksanakan.

#### J. Rencana Anggaran Biaya

Perhitungan rencana anggaran biaya dilakukan untuk pekerjaan persiapan, pekerjaan konstruksi *jetty*, pekerjaan konstruksi *trestle*, dan pekerjaan instalasi aksesoris dermaga. Perhitungan harga dimulai dari penentuan *work breakdown structure*, penentuan harga material dan upah satuan, analisis harga satuan pekerjaan, perhitungan volume, dan perhitungan rencana anggaran biaya. Rekapitulasi perhitungan rencana anggaran biaya pada dermaga curah kering dapat dilihat pada Tabel 8.

### V. KESIMPULAN

Berdasarkan hasil perencanaan dermaga curah kering di Papua Barat untuk kapal 15.000 DWT didapatkan kesimpulan berupa (1) Hasil evaluasi *layout* perairan berupa kedalaman minimum -10,5 mLAT, panjang alur pelayaran 5605 m, lebar alur pelayaran 217,5 m, areal penjangkaran dengan dimensi jari – jari 220 m sebanyak 1 buah, kolam putar dengan dimensi jari – jari 150 m. Hasil evaluasi *layout* dermaga berupa panjang *jetty* 195 m dengan lebar 24 m dan *crown height* +5.3 mLAT serta *trestle* dengan panjang 1400 m dengan lebar 8 m. (2) Struktur atas yang digunakan berupa pelat lantai, balok, dan *poer* dengan

dimensi dan detail penulangan sesuai dengan perhitungan. Struktur bawah dermaga yang terbagi menjadi pondasi tiang pancang baja untuk *jetty* dan pondasi beton *prestressed* untuk *trestle*. Aksesoris dermaga berupa *fender* tipe SCN 1400 F1.1 dengan dilengkapi *frontal frame* ukuran 2,5 x 3 m serta aksesoris *bollard tee* berkapasitas 80 ton. (3) Pekerjaan pembangunan dermaga dimulai dari pekerjaan persiapan, pekerjaan konstruksi *jetty*, pekerjaan konstruksi *trestle*, dan pekerjaan instalasi aksesoris dermaga. Pada struktur *jetty* dan *trestle*, pekerjaan dimulai dari pekerjaan struktur bawah menuju ke pekerjaan struktur atas. Biaya yang diperlukan dalam pembangunan dermaga curah kering ini adalah sebesar Rp171.158.670.000.

### DAFTAR PUSTAKA

- [1] Direktorat Jenderal Minyak dan Gas Bumi, "Statistik Minyak dan Gas Bumi," Kementerian Energi dan Sumber Daya Mineral, Jakarta, 2020.
- [2] Kementerian Perindustrian, "Peraturan Pemerintah Republik Indonesia Nomor 14 Tahun 2015 Tentang Rencana Induk Pembangunan Industri Nasional Tahun 2015-2035," Kementerian Perindustrian, Jakarta, 2015.
- [3] British Standards Institute, "BS6349-2 Code of Practice for The Design of Quaywalls, Jetties, and Dolphins," British Standards Institute, London, 2010.
- [4] International Hydrographic Organization, "Manual On Hydrography Publication C-13," International Hydrographic Organization, Monaco, 2005.
- [5] Standar Nasional Indonesia, "SNI-7646-2010 Survei Hidrografi Menggunakan Singlebeam Echosounder," Badan Standardisasi Nasional, Tangerang Selatan, 2010.
- [6] The World Association for Waterbone Transport Infrastructure, "PIANC Report no 121 Harbour Approach Channel Design Guidelines," PIANC Secrétariat Général, Belgium, 2014.
- [7] The Overseas Coastal Area Development Institute of Japan (OCDI), "Technical Standards and Commentaries for Port and Harbour Facilities in Japan," The Committee for Propagating Japanese Technical Standards Abroad, Japan, 2020.
- [8] British Standards Institute, "BS6349-1 Code of Practice for General Criteri," British Standards Institute, London, 2000.