

## **PERANCANGAN PONDASI TIANG PANCANG DERMAGA PACKING PLANT BANJARMASIN – KALIMANTAN SELATAN**

Mandala Siliwangi, Ferry Rizki Adhi Pratomo, Sri Prabandiyani R.W.<sup>\*)</sup>, Siti Hardiyati<sup>\*)</sup>

Jurusan Teknik Sipil, Fakultas Teknik, Universitas Diponegoro  
Jl. Prof Soedarto, Tembalang, Semarang. 50239, Telp.: (024)7474770, Fax.: (024)7460060

### **ABSTRAK**

*Proyek pembangunan Dermaga Packing Plant berada di daerah Banjarmasin, Kalimantan Selatan. Pembangunan dermaga ini diperuntukan sebagai sarana dalam kegiatan distribusi barang curah melalui jalur laut menggunakan kapal. Secara umum, Dermaga Packing Plant ini menggunakan tipe jetty. Tujuan dari penulisan tugas akhir ini adalah merencanakan struktur bawah (sub structure) dermaga dalam hal ini adalah pondasi tiang pancang (pile) pada bangunan – bangunan dermaga antara lain ; Berthing Dolphin, Mooring Dolphin, Catwalk dan Trestle. Dari beberapa kemungkinan beban yang akan terjadi pada struktur, maka perlu dilakukan analisis terhadap daya dukung tanah dan tiang pancang. Metode yang digunakan untuk menganalisis daya dukung tiang terhadap beban vertikal adalah metode Meyerhof, sedangkan untuk analisis daya dukung tiang pancang dan tanah terhadap gaya lateral digunakan metode Broms. Untuk daya dukung terhadap gaya tarik digunakan metode Sowa. Berdasarkan hasil analisis yang dilakukan, tiang pancang yang digunakan adalah tiang pancang beton (concrete spun pile) dengan panjang tiang 37 m dengan diameter 80 cm untuk bangunan Berthing Dolphin dan Mooring Dolphin dengan konfigurasi untuk masing masing bangunan secara berurutan adalah 9 dan 4 buah tiang dengan kapasitas daya dukung aksial sebesar 578,671 ton dan 151,799 ton, kapasitas daya dukung lateral sebesar 15,006 ton dan 10,774 ton, kapasitas daya dukung tarik sebesar 1383,696 ton dan 527,976 ton, sedangkan untuk bangunan Catwalk dan Trestle digunakan tiang dengan diameter 40 cm dengan kapasitas daya dukung aksial sebesar 67,373 ton dan 71,308 ton, daya dukung lateral sebesar 0,802 ton dan 1,277 ton. Penurunan untuk tiang tunggal pada Berthing Dolphin, Mooring Dolphin, Catwalk dan Trestle secara berurutan adalah 3.224 mm, 0.8454 mm, 0.552 mm dan 0.552 mm, sedangkan untuk penurunan untuk tiang kelompok pada Berthing Dolphin dan Mooring Dolphin secara berurutan adalah 7.897 mm dan 1.577 mm.*

**kata kunci :** perancangan pondasi, pile dermaga, pondasi pile

### **ABSTRACT**

*The construction project of Packing Plant Jetty located in the Banjarmasin, South Kalimantan. This jetty construction is intended as a means to distribute goods in bulk*

---

<sup>\*)</sup> Penulis Penanggung Jawab

*through the sea using ships. In general, this building using jetty type. The purpose of this thesis are to design jetty sub-structure, in this case is jetty pile foundation on buildings of jetty, among others are : Berthing Dolphin, Mooring Dolphin, Catwalk and Trestle. From the several load possible that will occur in the structure, it is necessary to do an analysis of the bearing capacity of soil and pile. The method used to analyze the pile bearing capacity of the vertical load is a method of Meyerhof, whereas for the analysis of the bearing capacity of soil and pile to lateral forces used Broms method. For the bearing capacity of the pullout forces used Sowa method. Based on the analysis performed, piles that used are concrete spun pile with pile length 37 m and diameters 80 cm for Berthing Dolphin and Mooring Dolphin with the configuration for each buildings in a row are 9 and 4 piles with axial bearing capacity 578,671 ton and 151,799, lateral load capacity 15,006 ton and 10,774 ton, pullout capacity 1383,696 ton and 527,976 ton. Catwalk and Trestle using piles with a diameter of 40 cm . Those axial bearing capacity are 67,373 ton and 71,308 ton, lateral load capacity are 0,802 ton and 1,277 ton. The settlement for single piles at Dolphin Berthing, Mooring Dolphin, Catwalk and Trestle are 3,224 mm, 0.8454 mm, 0552 mm and 0552 mm, The settlement for the group piles Berthing Dolphin and Mooring Dolphin are 7,897 mm and 1,577 mm.*

**keywords:** *design of foundation, jetty pile, pile foundation*

## **PENDAHULUAN**

### **Latar Belakang**

Proyek pembangunan Dermaga *Packing Plant* berada di daerah Banjarmasin, Kalimantan Selatan. Pembangunan dermaga ini diperuntukan sebagai sarana dalam kegiatan distribusi barang curah, dalam hal ini adalah material semen yang akan ditampung menggunakan Kapal Curah dalam proses pendistribusian melalui jalur laut. Secara umum, Dermaga *Packing Plant* ini menggunakan tipe *jetty* dikarenakan kedalaman seabed tidak memungkinkan untuk memenuhi kriteria kedalaman draft kapal. Sedangkan untuk struktur bawah, dengan posisi kedalaman tanah keras di bawah 30 m dan jenis tanah mayoritas adalah tanah lunak maka digunakan pondasi *pile* untuk menjangkau kedalaman tanah keras tersebut.

### **Maksud dan Tujuan**

Maksud dari penulisan tugas akhir ini adalah menghitung pembebanan pada Dermaga *Packing Plant* Banjarmasin - Kalimantan Selatan, menentukan dimensi dan kedalaman pondasi, menghitung daya dukung aksial, daya dukung lateral, daya dukung terhadap gaya tarik, menghitung kapasitas pondasi tiang pancang, penulangan poer dan menghitung biaya pondasi tiang pancang pada *Berthing Dolphin, Mooring Dolphin, Cat Walk* dan *Trestle*.

Adapun tujuan dari penulisan tugas akhir ini adalah merencanakan struktur bawah (*sub structure*) dermaga dalam hal ini adalah pondasi tiang pancang, mengusulkan dimensi dari tiang pancang ditinjau dari segi keefektifan kekuatan pondasi dan keekonomisan.

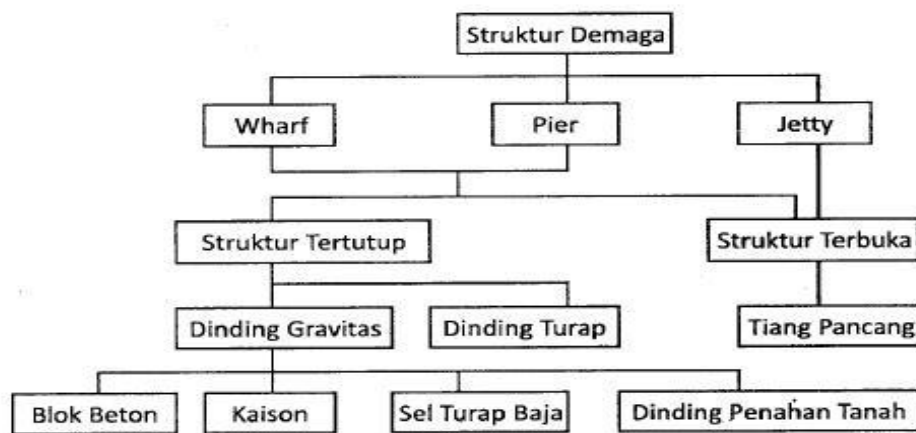
## KAJIAN PUSTAKA

### Dermaga

Dermaga adalah suatu bangunan pelabuhan yang digunakan untuk merapat dan menambatkan kapal yang melakukan bongkar muat barang dan menaik-turunkan penumpang. Bentuk dan dimensi dermaga tergantung pada jenis dan ukuran kapal yang bertambat pada dermaga tersebut.

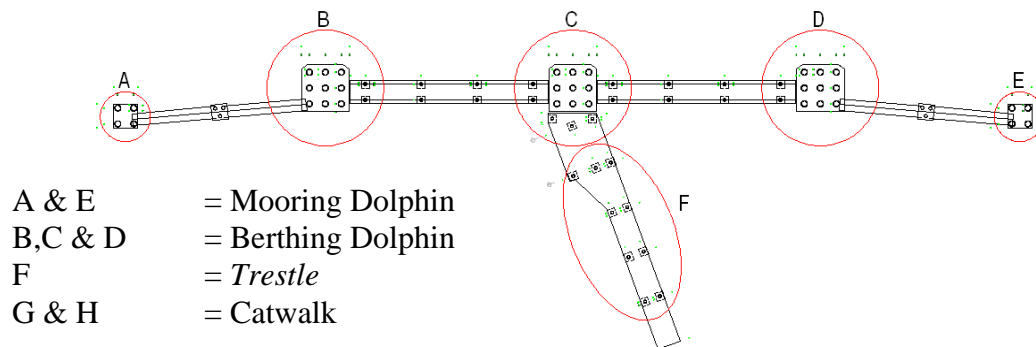
### Jenis dan Tipe Dermaga

Dermaga dapat dibedakan menjadi tiga tipe yaitu *wharf*, *pier*, dan *Jetty*; seperti ditunjukkan dalam Gambar 1. struktur *wharf* dan *pier* bisa berupa struktur tertutup atau terbuka, sementara *jetty* pada umumnya berupa struktur terbuka.



Gambar 1. Tipe Dermaga (Triatmodjo, B. 2010)

Dermaga tipe *jetty* merupakan dermaga yang menjorok ke laut dengan tujuan untuk menambah kedalaman tempat kapal berlabuh berdasarkan kriteria draft kapal. Untuk menghubungkan antara darat dan laut digunakan jembatan (*trestle*) seperti pada Gambar 2.

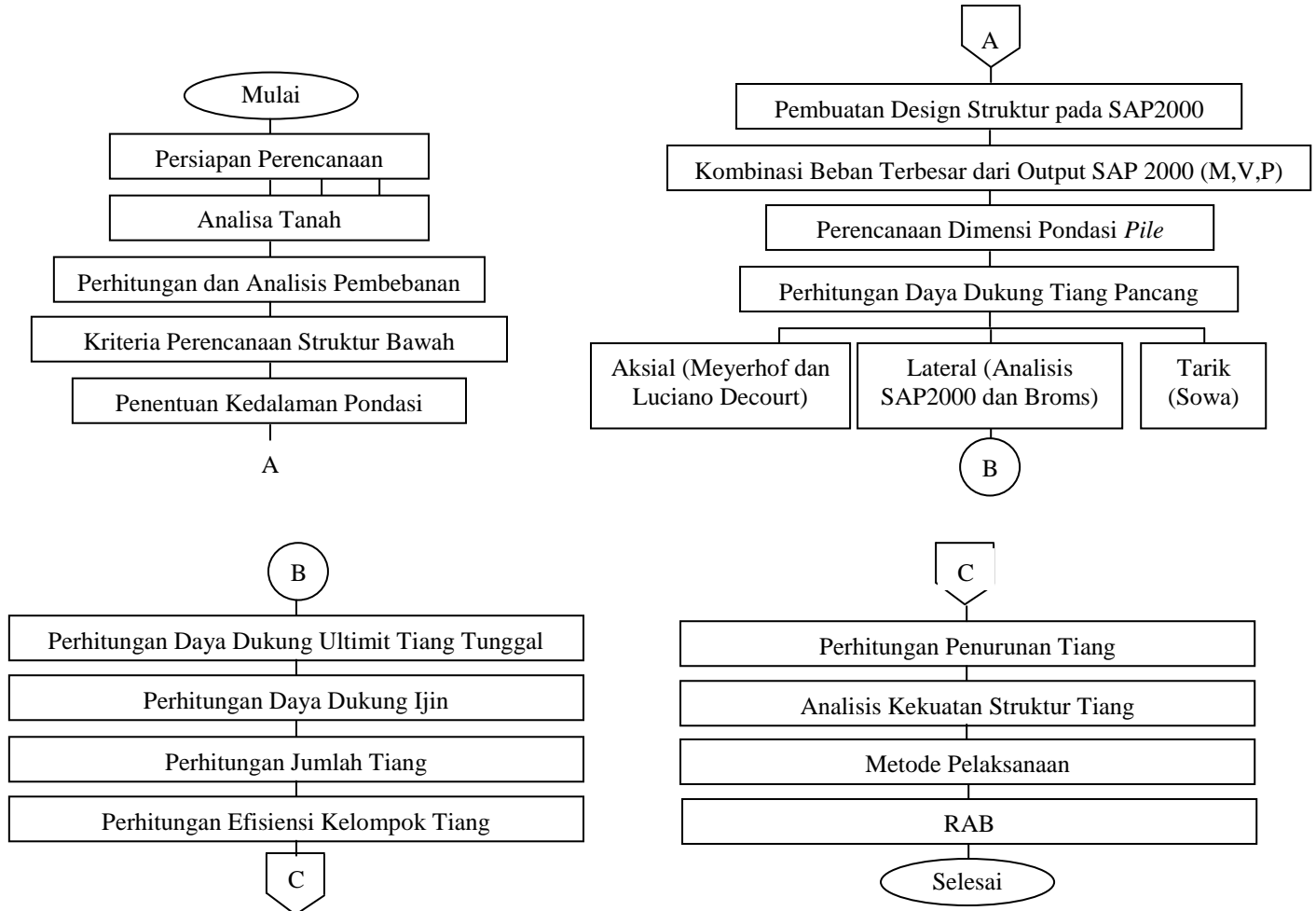


Gambar 2. Bangunan pada Dermaga Tipe Jett

Sumber : perhitungan

## METODOLOGI PERENCANAAN

Berikut adalah diagram alir (*flow chart*) perencanaan pondasi tiang pancang (*pile*) yang dapat dilihat pada Gambar 3.



Gambar 3. Diagram Alir (*flow chart*) Perencanaan

## ANALISIS DAN PEMBAHASAN

### Pembebanan

#### Berthing Dolphin (BEBAN VERTIKAL)

- Bolard : 1,30 ton/titik
- Fender : 1,00 ton/titik
- Berat Poer : 191,7 ton/berthing
- Mini Catwalk : 53,53 ton
- Beban Hidup : 3 ton/m<sup>2</sup>

#### Mooring Dolphin (BEBAN VERTIKAL)

- Berat Poer : 43,2 ton/berthing
- Berat Bolard : 1,30 ton/titik

- Mini Catwalk : 47,72 ton
- Beban Hidup : 3 ton/m<sup>2</sup>

Trestle arah x (BEBAN VERTIKAL)

- Beban mati frame 1,2,6 : 0,762 t/m
- Beban mati frame 3-5 : 0,663 t/m
- Beban hidup frame 1,2,6: 3 t/m
- Beban hidup frame 3-5 : 4,5 t/m
- Conveyor : 5,34 ton

Trestle arah y (BEBAN VERTIKAL)

- Beban Mati : 15,56 ton
- Beban Hidup : 21 ton/m

Catwalk arah x (BEBAN VERTIKAL)

- Beban Mati Total : 0,82 t/m
- Beban Hidup : 4,5 ton/m

Catwalk arah y (BEBAN VERTIKAL)

- Beban Mati Total : 17 t/m
- Beban Hidup : 21 ton/m

Berthing Dolphin (BEBAN HORIZONTAL)

- Bolard : 33,759 ton
- Fender : 0,446 ton
- Gempa : Respon Spektrum
- Massa : 19,541

Mooring Dolphin (BEBAN HORIZONTAL)

- Gempa : Respon Spektrum
- Bolard : 33,759 ton
- Massa : 4,404

Trestle arah x (BEBAN HORIZONTAL)

- Gempa : Respon Spektrum

Trestle arah y (BEBAN HORIZONTAL)

- Gempa : Respon Spektrum

Catwalk arah x (BEBAN HORIZONTAL)

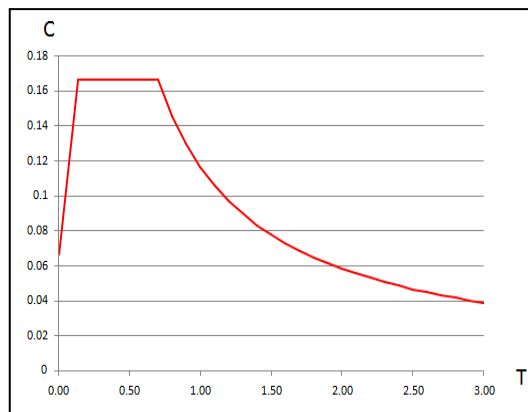
- Gempa : Respon Spektrum

Catwalk arah y (BEBAN HORIZONTAL)

- Gempa : Respon Spektrum

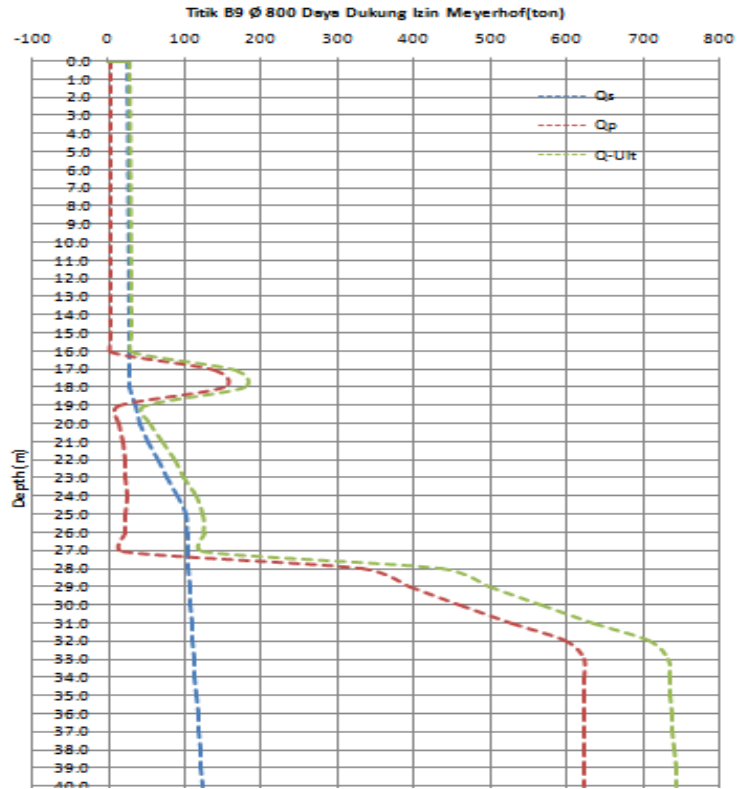
T	C
0.00	0.067
0.14	0.167
0.70	0.167
0.80	0.146
0.90	0.130
1.00	0.117
1.10	0.106
1.20	0.097
1.30	0.090
1.40	0.083
1.50	0.078
1.60	0.073
1.70	0.069

T	c
1.80	0.065
1.90	0.061
2.00	0.058
2.10	0.056
2.20	0.053
2.30	0.051
2.40	0.049
2.50	0.047
2.60	0.045
2.70	0.043
2.80	0.042
2.90	0.040
3.00	0.039

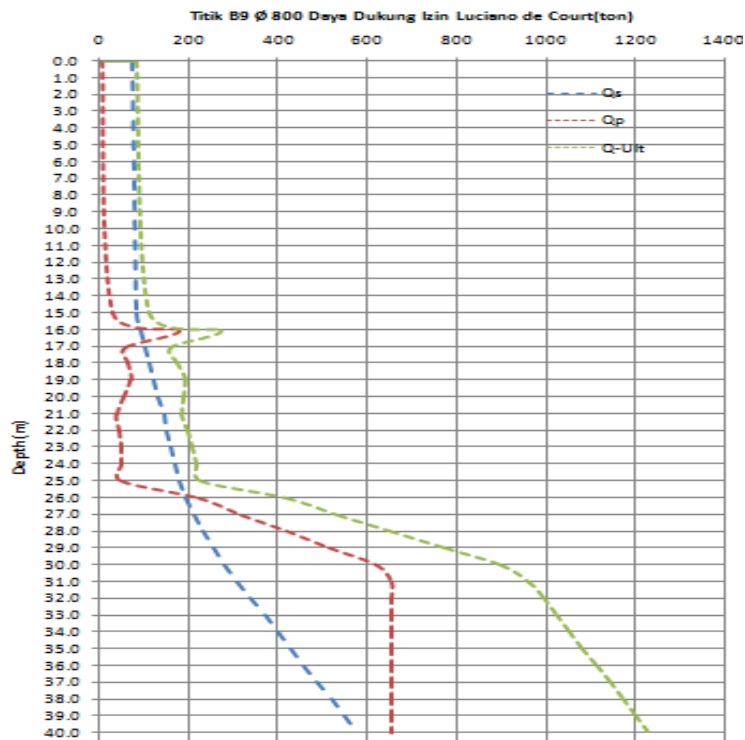


Gambar 4. Respon Spektrum Gempa  
Sumber : perhitungan

### Gaya Dukung Tiang terhadap Beban Vertikal



Gambar 5. Grafik Daya Dukung Metode Meyerhof  
Sumber : perhitungan



Gambar 6. Grafik Daya Dukung Metode Luciano Decourt  
Sumber : perhitungan

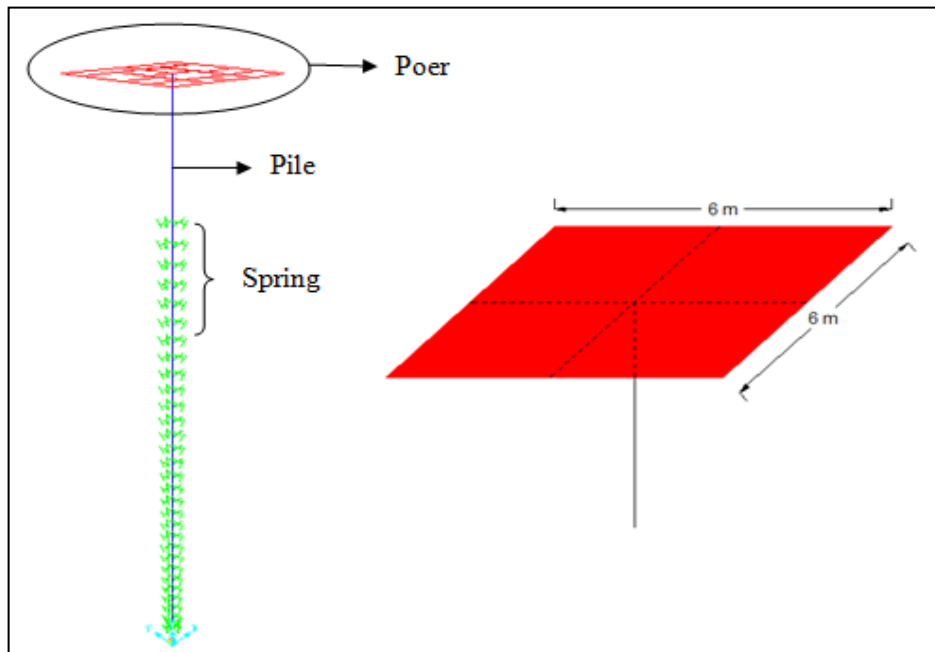
Tabel 1. Rekapitulasi Analisis Perhitungan Daya Dukung Tiang Terhadap Beban Aksial

Bangunan	Diameter Pile (mm)	Jumlah Pile per Poer	Daya Dukung	Daya Dukung Kelompok (ton)	Beban Luar (ton)	Aplikasi Jumlah Pile	Diameter (mm)	Tipe Pile
Berthing Dolphin	600	4	135,628	488,263	505,61	3	800	A
	700	3	178,398	454,916	509,17			
	800	3	226,930	578,671	512,6			
Mooring Dolphin	400	3	67,373	135,119	118,61	3	400	A
	500	3	98,620	143,400	122,1			
	600	3	135,629	151,799	125,58			
Catwalk								
arah x	400	1	67,373	-	46,37	1	400	A
	500	1	98,620	-	46,81			
	600	1	135,628	-	47,20			
arah y	400	1	67,373	-	30,657	1	400	A
	500	1	98,620	-	31,100			
	600	1	135,628	-	31,543			
Trestle								
arah x	400	1	71,308	-	42,552	1	400	A
	500	1	91,043	-	43,318			
	600	1	111,540	-	43,769			
arah y	400	1	71,308	-	29,792	1	400	A
	500	1	91,043	-	30,236			
	600	1	111,540	-	30,679			

Sumber : perhitungan

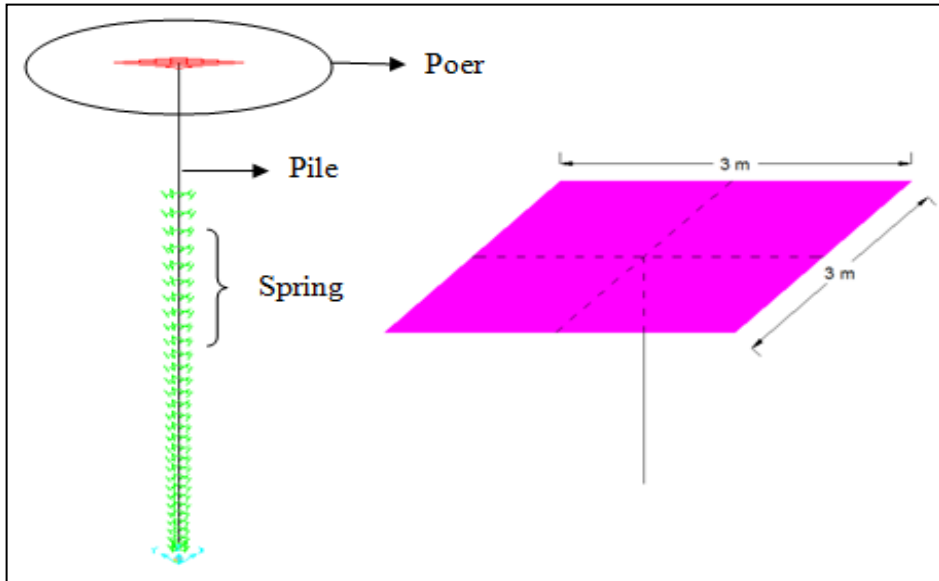
**Analisis Perhitungan Daya Dukung Tiang Terhadap Beban Lateral**

**1. Pemodelan Struktur**



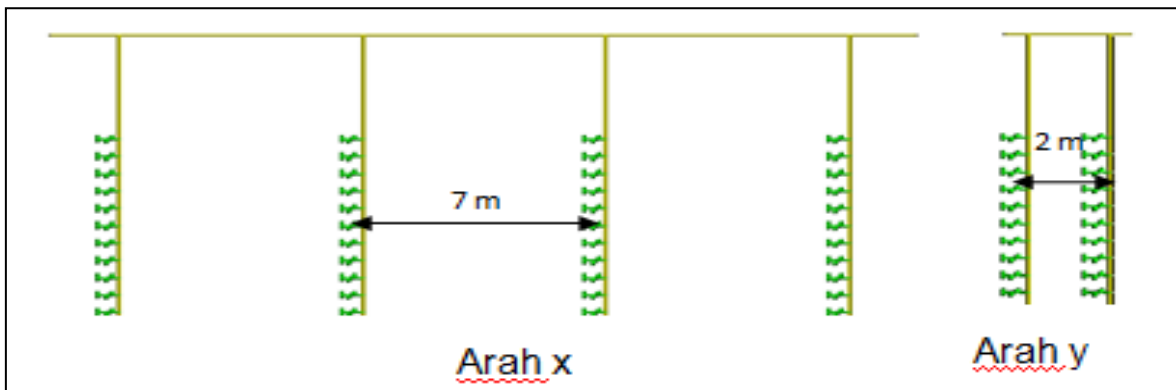
Gambar 7. Berthing Dolphin

Sumber : perhitungan



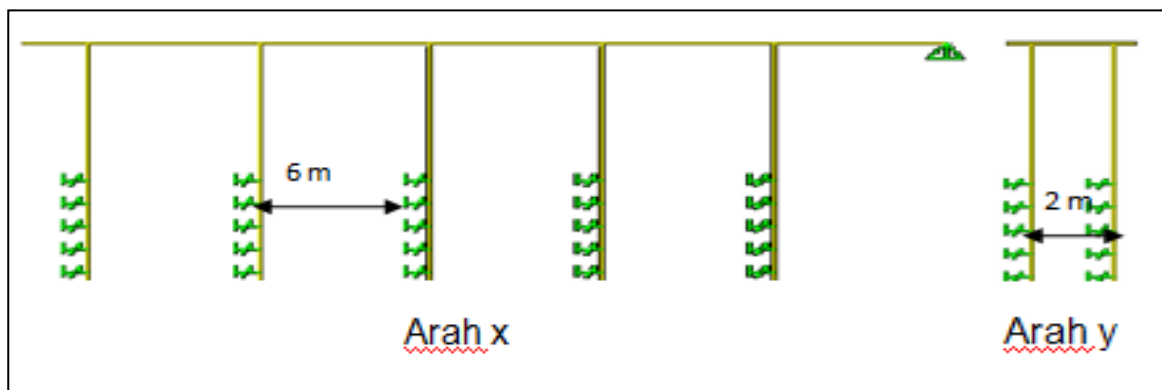
Gambar 8. Mooring Dolphin

Sumber : perhitungan



Gambar 9. Catwalk

Sumber : perhitungan



Gambar 10. Trestle

Sumber : perhitungan



Tabel 2. Rekapitulasi Analisis Daya Dukung Tiang Terhadap Beban Lateral

Bangunan	Hitungan SAP2000				Metode Broms				Aplikasi Jumlah Pile	Diameter (mm)	Tipe Pile
	Diameter Pile	Jumlah Pile per	Momen Kapasitas	Momen Luar per pile	Jumlah Pile per Poer	Daya Dukung Tiang Tunggal	Daya Dukung Kelompok (ton)	Beban Luar			
Berthing Dolphin	600	-	-	-	18	2.164	15.583	14.304	9	800	A
	700	-	-	-	13	2.946	15.319	14.304			
	800	8	39,2	37,34	9	4.168	15.006	14.304			
Mooring Dolphin	400	3	7,5	8,97	28	1.122	12.569	9.381	4	800	AB
	500	3	12,1	11,84	22	1.754	15.431	9.381			
	600	3	16,4	16,023	13	3.066	15.944	9.381			
	700	-	-	-	8	4.664	14.926	9.381			
	800	-	-	-	4	6.733	10.774	9.381			
Catwalk											
arah x	400	1	13,5	9,09	-	-	-	-	1	400	A
	500	1	25,8	12,395	-	-	-	-			
	600	1	55,2	15,41	-	-	-	-			
arah y	400	1	13,5	5,071	1	0.802	-	0.470			
	500	1	25,8	6,641	1	1.378	-	0.470			
	600	1	55,2	7,831	1	2.164	-	0.470			
Trestle											
arah x	400	1	13,5	2,17	-	-	-	-	1	400	A
	500	1	25,8	3,50	-	-	-	-			
	600	1	55,2	4,94	-	-	-	-			
arah y	400	1	13,5	4,83	1	1.277	-	0.520			
	500	1	25,8	6,316	1	1.696	-	0.520			
	600	1	55,2	7,447	1	2.873	-	0.520			

Sumber : perhitungan

### Analisis Daya Dukung Tiang Terhadap Gaya Tarik

Tabel 3. Daya Dukung Tarik Tiang Tunggal

Kedalaman (m)	Properties Tanah			Skin Friction		Properties Tiang		Qtr (ton)	
	Layer	Cu (ton/m <sup>2</sup> )	Cd (ton/m <sup>2</sup> )	(compress)	fs = 0.7xQs	Wp (ton/m)	selimut tian	Lokal	Kumulatif
0	Clay	0	0	0	0	0.62	2.512	0.62	0.62
-1	Clay	1.8	1.89	4.5216	3.1651	0.62	2.512	5.36768	5.98768
-2	Clay	0.6	0.72	1.5072	1.055	0.62	2.512	2.42864	8.41632
-3	Clay	0.6	0.72	1.5072	1.055	0.62	2.512	2.42864	10.84496
-4	Clay	0.6	0.72	1.5072	1.055	0.62	2.512	2.42864	13.2736
-5	Clay	0.6	0.72	1.5072	1.055	0.62	2.512	2.42864	15.70224
-26	Sand	4.8	3.6	0.5168	0.3617	0.62	2.512	9.6632	115.8287
-27	Sand	4.2	3.444	0.6926	0.4848	0.62	2.512	9.271328	125.1
-28	Sand	0	0	0.8684	0.6079	0.62	2.512	2.147055	127.2471
-29	Sand	0	0	1.0371	0.726	0.62	2.512	2.443632	129.6907
-30	Sand	0	0	1.2129	0.8491	0.62	2.512	2.752829	132.4435

Sumber: perhitungan

Tabel 4. Daya Dukung Tarik Tiang Kelompok

Bangunan	Diameter (mm)	Daya dukung tank tiang tunggal (ton)	n	Daya dukung tank tiang kelompok (ton)	Gaya Tank (ton)	Keterangan
Berthing Dolphin	800	132,444	9	1,383,696	33,759	aman
Mooring Dolphin	800	132,444	4	527,976	33,759	aman

Sumber: perhitungan

Tabel 5. Rekapitulasi Akhir

Bangunan	Diameter Pile (mm)	Jumlah Pile per Poer			Aplikasi Jumlah Pile	Diameter	Tipe Pile
		Daya Dukung Aksial	Daya Dukung Lateral	Daya Dukung Tarik			
Berthing Dolphin	600	4	18	-	9	800	A
	700	3	13	-			
	800	3	9	9			
Mooring Dolphin	600	3	13	-	4	800	AB
	700	3	8	-			
	800	3	4	4			
Catwalk	400	1	1	-	1	400	A
	500	1	1	-			
	600	1	1	-			
Trestle	400	1	1	-	1	400	A
	500	1	1	-			
	600	1	1	-			

Sumber : perhitungan

### Cek Kapasitas Penampang

Tabel 6. Komparasi Nilai Kapasitas Tiang

	Pabrikasi	Hitungan Manual
Aksial max (kN)	4940	4438,424
Momen Crack (kN.m)	392	316,740
Momen max (kN.m)	589	574,570

Sumber: perhitungan

### Penulangan Dan Kapasitas Poer

#### 1. Penulangan Poer

Tabel 7. Penulangan Poer

Bangunan	Penulangan Arah x	Penulangan Arah y
<b>Berthing dolphin</b>		
bagian atas	D 25 - 250	D 25 - 250
bagian bawah	D 25 - 250	D 25 - 250
<b>Mooring dolphin</b>		
bagian atas	D 25 - 280	D 25 - 280
bagian bawah	D 25 - 280	D 25 - 280

Sumber: perhitungan

#### 2. Cek Ketebalan (Geser Pons)

##### a. Berthing Dolphin

$$P = 109,337 \text{ ton}$$

$$h = 2 \text{ m}, \quad D = 0,8 \text{ m}$$

$$t = \frac{P}{\pi \cdot h \cdot (h + D)} = \frac{109,337}{\pi \cdot 2 \cdot (2 + 0,8)}$$

$$= 6,22 \frac{t}{m^2} = 0,0622 \text{ MPa}$$

$$t_{ijin} = 0,65\sqrt{40} = 4,11 \text{ MPa}$$

$t < t_{ijin}$  ..... Tebal poer cukup untuk menahan gaya reaksi dari pile.

b. Mooring Dolphin

P = 108,495 ton

h = 1,5 m, D = 0,4 m

$$t = \frac{P}{\pi \cdot h \cdot (h + D)} = \frac{108,495}{\pi \cdot 1,5 \cdot (1,5 + 0,4)}$$

$$= 12,118 \frac{t}{m^2} = 0,12118 \text{ MPa}$$

$$t_{ijin} = 0,65\sqrt{40} = 4,11 \text{ MPa}$$

$t < t_{ijin}$  ..... Tebal poer cukup untuk menahan gaya reaksi dari pile.

**Settlement Tiang**

Tabel 8. Rekapitulasi Penurunan Tiang

Bangunan	Penurunan tiang tunggal (mm)	Penurunan tiang kelompok (mm)
Berthing Dolphin	3,224	7,897
Mooring Dolphin	0,845	1,577
Trestle	0,522	-
Catwalk	0,569	-

Sumber: perhitungan

**RAB DAN METODE PELAKSANAAN**

**Rencana Anggaran Biaya**

Harga material dan upah diambil dari “Harga Satuan Bahan dan Upah Kerja pada Proyek Pembangunan Dermaga Penyebrangan Pamoko Tahap VI” di Papua pada tahun 2012.

Tabel 9. Rencana Anggaran Biaya

No	Uraian	Harga
I	Pekerjaan Tiang Pancang Tegak	Rp. 39.241.043.507,00
II	Bekisting	Rp. 106.513.898,60
III	Penulangan	Rp. 1.196.007.876,00
IV	Pengecoran	Rp. 211.953.398,60
VI	Fender Karet	Rp. 660.000.000,00
VII	Bollard	198.000.000,00
IX	Pemasangan Rel Crane	202.012.240,00
	Subtotal :	Rp. 41.815.530.920,00
	PPN 10% :	4.181.553.092,00
	TOTAL :	45.997.084.012,00

Sumber: perhitungan

**Metode Pelaksanaan**

1. Tahap Persiapan
2. Pemancangan Tiang Pancang
3. Pembuatan Pile Cap (Poer)
4. Pembuatan Balok dan Pelat

**KESIMPULAN**

Berdasarkan hasil analisis dan perhitungan sebelumnya baik itu analisis struktur dan rencana anggaran biaya, dapat ditarik kesimpulan bahwa tiang pancang (pile) yang digunakan adalah tiang pancang beton pracetak (concrete spun pile) dengan panjang sebesar 37 m, sedangkan berdasarkan hasil analisis dan perhitungan metode yang digunakan untuk acuan kapasitas daya dukung :

- Metode Meyerhof (1956) untuk Daya Dukung Aksial
- Metode Broms (1964) untuk Daya Dukung Lateral
- Metode Sowa (1970) untuk Daya Dukung Tarik

Sehingga Rekapitulasi yang dihasilkan dari perhitungan tersebut adalah:

Bangunan	Diameter Pile (mm)	Jumlah Pile per Poer			Aplikasi Jumlah Pile	Diameter (mm)	Tipe Pile
		Daya Dukung Aksial	Daya Dukung Lateral	Daya Dukung Tarik			
Berthing Dolphin	600	4	18	-	9	800	A
	700	3	13	-			
	800	3	9	9			
Mooring Dolphin	600	3	13	-	4	800	AB
	700	3	8	-			
	800	3	4	4			
Catwalk	400	1	1	-	1	400	A
	500	1	1	-			
	600	1	1	-			
Trestle	400	1	1	-	1	400	A
	500	1	1	-			
	600	1	1	-			

**SARAN**

- Dalam analisis dan perhitungan pondasi tiang pancang, metode – metode yang digunakan perlu ditambah untuk memperbesar tingkat keakuratan dari hasil yang diperoleh. Tentunya metode – metode tersebut didapat dari sumber yang terpercaya.
- Data – data tanah dan pendukung analisis lainnya perlu diperbanyak dan ditambah lagi sesuai dengan kebutuhan agar dalam proses analisis dan perhitungannya tidak menemui kesulitan yang menghambat jalannya proses tersebut kedepannya.
- Untuk nilai kohesi undrained (cu) dapat diperoleh dengan test vane shear bila nilai N-SPT sangat kecil yaitu 1. Hal ini dilakukan agar hasil perhitungan lebih tepat karena rumus konversi dari nilai N ke cu masih dilematis bila nilai N sangat kecil.
- Untuk perhitungan RAB perlu dikaji kembali tentang besarnya harga satuan yang terbaru dari tiap daerah dan tahun terbaru.

## DAFTAR PUSTAKA

- Badan Standardisasi Nasional. 2008. Standar Nasional Indonesia (SNI). SNI-4153-2006. Cara Uji Penetrasi Lapangan dengan SPT. Dewan Standardisasi Indonesia. Jakarta.
- Bowles, Joseph E. 1975. *Foundation Analysis and Design*, McGraw Hill, Kogakusha.
- Das, Braja M. 1995. *Mekanika Tanah (Prinsip-prinsip Rekayasa Geoteknis)*, Cetakan 4, Erlangga, Jakarta
- Hardiyatmo, H. Christady. 2008. *Teknik Fondasi 2*, Cetakan 4, Beta Offset Yogyakarta, Yogyakarta
- Kementerian Pekerjaan Umum, 2010. *Peta Zonasi Gempa Indonesia*, Direktorat Jendral Bina Marga, Jakarta.
- Minimum Design Load for Buildings and Other Structures, ASCE Standard ASCE/SEI 7-05, American Society of Civil Engineers.
- Nakazawa M, Kazuto. 2000. "*Mekanika Tanah dan Teknik Pondasi*". Cetakan 7, Pradnya Paramita, Jakarta.
- Prakash, S. & Sharma, Hari D. 1990. *Pile Foundation In Engineering Practice*, John Wiley & Sons, Inc, Canada.
- Teng, W.C. 1984. *Foundation Design*, ed. Prentice hall, New Delhi.
- Terzaghi, Karl. & Peck, Ralph D. 1987. *Mekanika Tanah Dalam Praktek Rekayasa, Jilid 2*, Erlangga, Jakarta.
- Triatmodjo, B. 2010. *Perencanaan Pelabuhan*, Beta Offset Yogyakarta Yogyakarta,
- Vesic, A.S. 1977. Design of Pile Foundations, National Cooperative Highway Research Program Synthesis of Practice No. 42, Transportation Research Board, Washington,D.C.,
- Wahjudi, Herman. 1999. *Daya Dukung Pondasi Dalam*. Surabaya : ITS