

## **ANALISIS OPTIMALISASI PONDASI DALAM PADA CRUDE OIL STORAGE TANK (Studi Proyek Pondok Makmur Pertamina di Bekasi)**

Wawan Kuswaya  
Institut Sains dan Teknologi Nasional  
Jalan Mohammad Khafi II, Bhumi Srengseng Indah,  
Jagakarsa, Jakarta Selatan 12640

Ahmad Mahzun Ma'arif  
Institut Sains dan Teknologi Nasional  
Jalan Mohammad Khafi II, Bhumi Srengseng Indah,  
Jagakarsa, Jakarta Selatan 12640

### Abstrak

Pada penelitian ini tidak di desain dengan menggunakan pondasi dangkal karena akan mengakibatkan penurunan yang sangat besar dan tidak merata, mengakibatkan pipa-pipa yang terhubung dari Crude Oil Storage Tank ke tangki lainnya akan patah dikarenakan batas ijin penurunan pipa sangat kecil. Karena jenis tanahnya sangat lunak dan muka air tanah yang sangat tinggi. Dengan permasalahan tersebut, penulis tertarik untuk melakukan penelitian, untuk mendapatkan struktur pondasi yang lebih optimal. Jenis pondasi yang akan distudi adalah pondasi tiang pancang dengan bore pile. Data tanah berupa data N-SPT yang dikorelsikan kedalam parameter-paramter tanah yang dibutuhkan dalam menganalisa daya dukung. Analisa pembebanan dihitung menggunakan program Excel 2007 secara manual. Sedangkan analisa daya dukung tanah menggunakan metode pendekatan. Dari hasil penelitian memperlihatkan, daya dukung borepile lebih besar dibandingkan tiang pancang, hal ini tidak sesuai gambaran di lapangan, dikarenakan faktor adhesi untuk tanah lunak lebih besar. Terjadi ketidak optimalan terhadap kekuatan tiang pada perencanaan akibat material tiang jauh lebih besar dari kemampuan tanah, hal ini dikarenakan nilai N-SPT di ujung tiang masih rendah. Disain pondasi yang paling optimal adalah tiang pancang diameter 35 cm dengan daya dukung pondasi yang lebih dominan dalam perencanaan adalah aksial tekan sebesar 135,45 kN dan jumlah tiang pancang sebanyak 122 buah dengan biaya pelaksanaan sebesar Rp.1.398.730.00,-. Karena harga tersebut lebih kecil dari pada harga minimum bore pile diameter 40 dengan biaya pelaksanaan sebesar Rp. 1.664.640.000.  
Kata Kunci : Parameter tanah, Tiang pancang, Bore pile, Daya dukung, Biaya.

### Abstrak

*In this study, it was not designed to use a shallow foundation because it would result in a very large consolidation settlement and uneven drop, resulting in the pipes connected from the Crude Oil Storage Tank to the other tanks that would break because the allowable limit for dropping the pipes was very small. Because the soil type is very soft and the ground water level is very high. With these problems, the authors are interested in conducting research, to obtain a more optimal foundation structure. The type of foundation to be studied is a pile foundation with a bore pile. Soil data is in the form of N-SPT data which is correlated into the soil parameters needed in analyzing carrying capacity. Loading analysis is calculated using the Excel 2007 program manually. While the analysis of the carrying capacity of the soil uses the approach method. The research results show that the bearing capacity of bore pile is greater than that of piles, this is not according to the description in the field, because the adhesion factor for soft soil is greater. There was an unsuccessfulness of the pile strength in the planning due to the pile material being much greater than the soil capacity, this is because the N-SPT value at the end of the pile was still low. The most optimal foundation design is piles with a diameter of 35 cm with a foundation bearing capacity which is more dominant in the planning is axial compression of 135.45 kN and the number of piles as many as 122 pieces with an implementation cost of Rp. Rp. 1,398,730.00, -. Because this price is less than the minimum price for diameter 40 bore pile with an implementation cost of Rp. 1,664,640,000.  
Keywords: soil parameters, piles, bore pile, bearing capacity, cost.*

## PENDAHULUAN

### Latar Belakang

Ilmu pengetahuan dan penerapan teknologi dalam bidang pembangunan konstruksi teknik sipil mengalami perkembangan yang pesat, membuat para perencana struktur dituntut untuk lebih produktif, kreatif dan inovatif, terutama dalam hal perancangan struktur. Salah satu kriteria dalam merencanakan struktur pondasi adalah dengan merencanakan kinerja struktur bangunan yang baik dan efisien..

Hasil penyelidikan tanah pada Proyek Pondok Makmur Pertamina, menunjukkan kriteria tanah pada proyek tersebut merupakan jenis tanah sangat lunak dan juga muka air tanah yang sangat tinggi. Nilai N-SPT dari hasil penyelidikan tanah yang dilakukan menunjukkan sangat kecil, dari permukaan tanah sampai pada kedalaman 20 m ke bawah. Dan tangki yang akan dipikul pondasi menjadi beban yang sangat besar. Dengan permasalahan tersebut, menarik untuk dilakukan penelitian pada struktur pondasi pada *Crude Oil Storage Tank*. Desain pondasi dengan menggunakan pondasi dangkal akan mengakibatkan penurunan yang sangat besar dan tidak merata, karena kontribusi daya dukung tanah yang diberikan sangat kecil dan juga beban tangki yang disalurkan ke pondasi sangat besar. Apabila terjadi penurunan yang sangat besar pada pondasi tangki akan mengakibatkan pipa-pipa penyalur (*pipeline*) yang terhubung dari *Crude Oil Storage Tank* ke tangki lainnya akan patah karena batas ijin penurunan pipa sangat kecil. Sehingga penelitian ini tidak dimungkinkan menggunakan pondasi dangkal, solusi dari penelitian ini adalah menggunakan pondasi dalam. Selain itu pada lokasi penelitian boleh dilakukan pemancangan, karena sekitar lokasi penelitian adalah area persawahan, jadi getaran akibat pemancangan tidak mempengaruhi bangunan lain.

Penelitian mengacu berdasarkan SNI 1726:2012. Oleh karena itu, untuk mengetahui optimalisasi struktur pondasi *Crude Oil Storage Tank*, dalam penulisan ini diambil dua jenis pondasi untuk dapat dikaji, yaitu Pondasi Tiang Pancang dan Pondasi *Bore pile*.

Penelitian ini bermaksud adalah untuk menganalisa optimalisasi struktur pondasi tangki dengan menggunakan pondasi tiang pancang dan pondasi *bore pile* dari beberapa dimensi pondasi. Adapun tujuan penelitian adalah untuk mengetahui daya dukung pondasi dalam yang optimal agar menghasilkan efisiensi biaya pelaksanaan yang digunakan pada kedua konstruksi pondasi tersebut.

### Batasan Masalah

Berdasarkan identifikasi masalah diatas, maka perlu adanya pembatasan masalah sebagai berikut :

1. Equipment yang ditinjau pada Proyek Pengembangan Pondok Makmur adalah *Crude Oil Storage Tank*.
2. *Crude Oil Storage Tank*, dengan ukuran :
  - a. Diameter = 10,67 m
  - b. Tinggi Plat Tangki = 8,84 m
  - c. Ketebalan Pl. Cangkang = 6,10 mm
  - d. Spesifik Gravity Cairan = 6,97 kN/m<sup>3</sup>
3. Pondasi yang digunakan pondasi tiang pancang dan pondasi bore pile, dengan dimensi tiang bervariasi.
4. Tidak menghitung konfigurasi dan dimensi baut angkur.
5. Material pondasi terbuat dari beton bertulang.
6. Tidak menghitung penurunan pondasi.
7. Program *software* yang digunakan adalah Excel 2010.

## STUDI PUSTAKA

### Daya Dukung Pondasi

a. Daya dukung pondasi tiang dan pondasi *bore pile* pada tanah kohesif

➤ Tahanan ujung tiang ultimit :

$$Q_p = 9c_u A_p$$

Dimana,

$A_p$  = luas penampang tiang (m<sup>2</sup>)

$c_u$  = kohesi undrained (kN/m<sup>2</sup>)

➤ Tahanan ujung gesek ultimit :

$$Q_s = \alpha c_u p x L_i$$

Dimana,

$\alpha$  = koefisien adhesi antara tiang dan tanah

$c_u$  = kohesi undrained (kN/m<sup>2</sup>)

$p$  = keliling tiang (m)

$L_i$  = panjang lapisan tanah (m)

b. Daya dukung pondasi pada tanah granuler.

❖ Tiang pancang

• Tahanan ujung ultimit

$$Q_p = 400 \bar{N} - SPT x A_p$$

Dimana,

$Q_p$  = tahanan ujung ultimit (kN)

$A_p$  = luas penampang tiang pancang (m<sup>2</sup>)

$L_b$  = kedalaman penyelidikan tanah dilapangan (m)

$D$  = diameter tiang pancang (m)

• Tahanan gesek ultimit

$$Q_s = 2xN - SPT x p x L_i$$

Dimana,

$L_i$  = panjang lapisan tanah (m)

$p$  = keliling tiang (m)

❖ Borepile

• Tahanan ujung ultimit

$$Q_p = 70xN - Spt x A_p$$

• Tahanan gesek ultimit

$$Q_s = 1xN - SPT x p x L_i$$

### Tiang Menahan Gaya Tarik ke Atas

Untuk menghitung kapasitas tarik tiang pancang digunakan metode Coyle dan Castello (1981), dengan rumus di bawah ini.

$$T_u = \frac{Q_s}{5} + 0.9W_{tiang}$$

Sedangkan untuk borepile menggunakan metode O'Neill dan Reese (1989) yaitu,

$$f_s(tarik) = 0.75 f_s(tekan)$$

### Faktor Aman Pondasi

Beberapa peneliti menyarankan faktor aman yang tidak sama untuk tahanan gesek dinding dan tahanan ujung. Kapasitas ijin dinyatakan dalam persamaan sebagai berikut :

$$Q_a = \frac{Q_b}{3} + \frac{Q_s}{1,5}$$

### Kapasitas Dukung, Efisiensi Kel. Tiang dan Jarak Tiang

Dalam menentukan daya dukung group, Kristel (1967) mengusulkan nilai efisiensi, seperti disajikan dalam Tabel 1 di bawah ini.

Tabel 1 Faktor efisiensi kelompok tiang pada tanah lempung ( $d = \text{diameter tiang}$ ) (Karisel, 1967)

Kerapatan relatif ( $D_r$ )	Faktor efisiensi ( $E_g$ )
$10d$	1
$8d$	0,95
$6d$	0,90
$5d$	0,85
$4d$	0,75
$3d$	0,65
$2,5d$	0,55

### Tiang Menahan Beban Lateral

#### a. Menentukan kriteria tiang

Kriteria tiang pendek atau panjang ditentukan berdasarkan nilai R atau T yang ditunjukkan dalam tabel di bawah ini.

Tabel 3 Ketentuan tiang pendek, panjang

Jenis Tiang	Modulus Tanah	
	Kakau (Pendek)	$L \leq 2 T$
Elastis (panjang)	$L \geq 4 T$	$L \geq 0.35 R$

Dimana nilai T di peroleh dari rumus di bawah ini

$$T = \sqrt[5]{\frac{EI}{\eta_h}} = \text{(dalam satuan panjang)}$$

#### b. Menentukan beban lateral izin akibat defleksi tiang ujung jepit dengan metode Brom's

- modulus rekasi subgrade horizontal :

$$k_h = \eta_h \left( \frac{z}{d} \right)$$

- Mencari faktor tak berdimensi  $\beta L$  :

$$\beta = \left( \frac{k_h d}{4E_p I_p} \right)^{1/4}$$

- Untuk tiang ujung jepit, defleksi tiang di permukaan tanah :

$$y_o = \frac{H\beta}{k_h d}$$

- Gaya H maksimum didasarkan pada defleksi toleransi 6 mm ;

$$H = \frac{y_o k_h d}{\beta}$$

$$f = H_u / (9c_u d)$$

- Menentukan  $M_y$  (momen beban lateral tiang)

$$H_u = \frac{2M_y}{3d/2 + f/2}$$

$$M_y = \frac{H_u(3d/2 + f/2)}{2}$$

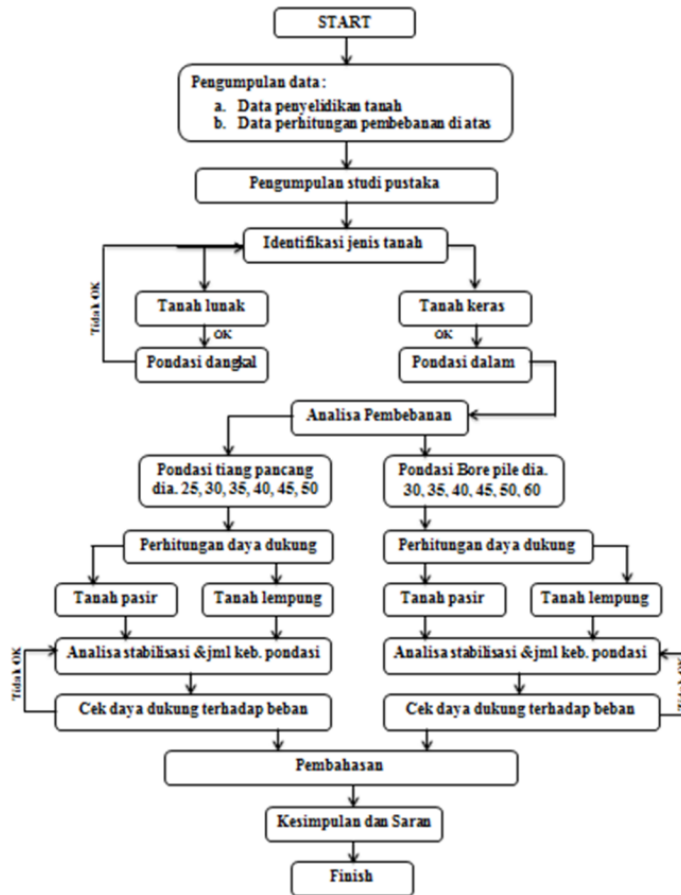
- Momen maksimum yang harus ditahan oleh tiang, bila tanah didesak ke arah horisontal oleh tiang sampai tanahnya runtuh

$$M_{mak} = H_u (e + 1.5d + 0.5f)$$

Syarat :  $M_{mak} > M_y$  maka aman. Jadi keruntuhan tiang dinyatakan aman.

### METODOLOGI PENELITIAN

Metoda penelitian disampaikan dengan langkah-langkah seperti diagram alir yang susunannya seperti di bawah ini.



Gambar 1. Diagram Alir Penelitian

### HASIL DAN PEMBAHASAN

#### Data Perhitungan

Pada perhitungan pondasi (pondasi tiang pancang dan pondasi *bore pile*) menggunakan data yang sama, baik itu profil dan karakteristik teknis tanahnya maupun pembebanan yang bekerja pada struktur pondasi tangki pada proyek Pondok Makmur ini.

#### Profil dan Karakteristik Tanah

Karakter susunan lapisan lapisan tanah pada analisa pondasi ini di dominasi lapisan berbutir halus dengan nilai karakteristiknya seperti pada tabel di bawah ini.

Tabel 4 Nilai Startifikasi dan Parameter Tanah Pada BH-2

Kedalaman	Jenis Tanah	N-SPT	cu	$\phi$	Eu	v
(m)			kN/m <sup>2</sup>	%	kN/m <sup>2</sup>	
0.00 - 3.50	Fill material Clayey silt	3	15	20	2700	0.35
3.50 - 4.50	Silty Clay	4	20	25	10000	0.40
4.50 - 6.00	Sandy Silt	4	20	27	10000	0.35
6.00 - 16.00	Silty Clay	2	10	15	5000	0.40
16.00 - 17.00	Sandy Silt	3	15	26	7500	0.40
17.00 - 21.20	Silty Clay	4	20	25	10000	0.40
21.20 - 32.40	Silty Clay	15	75	98	37500	0.40
32.40 - 33.40	Sandy	35	175	40.5	12500	0.30

**Data Pembebanan****Beban Aksial**

D	Berat Pondasi	5.913,42 kN
D <sub>E</sub>	Berat Kosong	324,87 kN
D <sub>O</sub>	Berat Opeasional	6.383,6 kN
D <sub>T</sub>	Berat Test	8.858,28 kN

**Beban Lateral**

W <sub>x</sub>	Gaya angin arah X	36,21 kN
W <sub>y</sub>	Gaya angin arah Y	36,21 kN
E <sub>ex</sub>	Geser dasar kosong X	72,08 kN
E <sub>ey</sub>	Geser dasar kosong Y	72,08 kN
E <sub>ox</sub>	Geser dasar opera. X	1.105,48 kN
E <sub>oy</sub>	Geser dasar opera. Y	1.105,48 kN

**Momen Guling**

M <sub>wx</sub>	akibat angin X	235,88 kN
M <sub>wy</sub>	akibat angin Y	235,88 kN
M <sub>Eex</sub>	akibat EQ kosong X	346,27 kN
M <sub>Eey</sub>	akibat EQ kosong Y	346,27 kN
M <sub>Eox</sub>	akibat EQ operasional X	5.861,4kN
M <sub>Eoy</sub>	akibat EQ operasional Y	5.861,4kN

Beban-beban yang sudah didapat, untuk beban tiang dan desain pondasi kemudian dianalisa ke dalam kombinasi beban, seperti kombinasinya pada table di bawah ini.

Tabel 5 Kombinasi beban tidak terfaktor

LC	Description or Formula	Axial	Horizontal (kN)		Moment (kN.m)	
		(kN)	Hx	Hy	Mx	My
Kondisi Kosong						
LC 2-1	(D + D <sub>E</sub> )	6.238.3				
LC 2-2	(D + D <sub>E</sub> ) + W	6.238.3	36.21	36.21	235.88	235.88
LC 2-3	(D + D <sub>E</sub> ) + 0.7*E	6.238.3	41.04	41.04	197.17	197.17
Kondisi Operasional						
LC 2-4	(D + D <sub>O</sub> )	12.297.0				
Kondisi Operasional + Angin						
LC 2-5	(D + D <sub>O</sub> ) + W	12.297.0	36.21	36.21	235.88	235.88
Kondisi Operasional + Gempa Bumi						
LC 2-6	(D + D <sub>O</sub> ) + 0.7*E	12.297.0	655.55	655.55	3.540.76	3.540.76
Kondisi Tes						
LC 2-7	(D + D <sub>T</sub> )	14.771.7				
LC 2-8	(D + D <sub>T</sub> ) + W/3	14.771.7	10.03	10.03	65.34	65.34

**Daya Dukung Tiang****Daya Dukung Tiang Pancang**

Dalam penelitian ini direncanakan beberapa dimensi tiang pancang, yaitu 25 cm, 30 cm, 35cm, 40 cm, 45 cm, 50 cm (berbentuk lingkaran) dengan nilai daya dukungnya dari hasil analisa seperti tabel.

Gesekan kulit negatif yang terjadi diambil  $\frac{2}{3} \times (-) 24 \text{ m} = (-)16 \text{ m}$ .

Tabel 6 Tahanan ijin tiang pancang

Kedalaman	Dimensi Tiang	Tahanan Ijin
(m)	(cm)	(kN)
32	○ 25	92.33
	○ 30	113.45
	○ 35	135.45
	○ 40	158.34
	○ 45	182.10
	○ 50	206.76

**Daya Dukung Bore Pile**

Dalam penelitian ini direncanakan beberapa dimensi *bore pile*, yaitu 30 cm, 35 cm, 40 cm, 45 cm, 50 cm, 60 cm (berbentuk lingkaran) dengan nilai daya dukungnya dari hasil analisa seperti tabel.

Tabel 7 Tahanan ijin *bore pile*

Kedalaman	Dimensi Tiang	Tahanan Ijin
(m)	(cm)	(kN)
32	○ 30	139.63
	○ 35	165.99
	○ 40	193.24
	○ 45	221.37
	○ 50	250.38
	○ 60	311.06

**Daya dukung Aksial Tarik**

Untuk daya dukung Tarik dari hasil perhitungan untuk tiang pancang dan tiang bor disampaikan hasilnya pada tabel di bawah ini.

Tabel 8 Tahanan tarik tiang pancang

Kedalaman	Dimensi Tiang	Tahanan Ijin
(m)	(cm)	(kN)
32	○ 25	91.16
	○ 30	119.56
	○ 35	151.36
	○ 40	186.55
	○ 45	225.12
	○ 50	267.09

Tabel 9 Tahanan tarik *bore pile*

Kedalaman	Dimensi Tiang	Tahanan Ijin
(m)	(cm)	(kN)
32	○ 30	139.19
	○ 35	162.39
	○ 40	185.59
	○ 45	208.78
	○ 50	231.98
	○ 60	278.38

**Daya Dukung Lateral Tiang**

Untuk daya dukung Lateral Tiang ( $H_u$ ) dari hasil perhitungan untuk tiang pancang dan tiang bor di sampaikan hasilnya pada tabel di bawah ini.

Tabel 10  $H_u$  tiang pancang

Kedalaman	Dimensi Tiang	$H_u$
(m)	(cm)	(kN)
32	25	40.32
	30	48.38
	35	56.45
	40	64.51
	45	72.57
	50	80.64

Tabel 11  $H_u$  Bore pile

Kedalaman	Dimensi Tiang	$H_u$
(m)	(cm)	(kN)
32	○ 30	48.38
	○ 35	56.45
	○ 40	64.51
	○ 45	72.57
	○ 50	80.64
	○ 60	96.77

### Efisiensi dan Daya Dukung Kelompok Tiang

Dengan jarak tiang 6d dan faktor efisiensi 0,9. Maka daya dukung kelompok tiang dapat ditabelariskan seperti di bawah ini.

Tabel 12 Daya dukung kelompok tiang pancang dan jumlah tiang

Dia. Tiang	Eg	Daya Dukung Kelompok	Cek thdp. Beban Aksial	Penambahan pondasi	Jml. Pondasi	Daya Dukung Kelompok	Cek thdp. Beban Aksial
25	0.9	13,294.53	FAIL	18	178	14,790.19	OK
30	0.9	13,396.64	FAIL	14	145	14,838.41	OK
35	0.9	13,294.53	FAIL	13	122	14,867.80	OK
40	0.9	13,437.04	FAIL	9	104	14,780.74	OK
45	0.9	13,458.43	FAIL	8	90	14,804.27	OK
50	0.9	13,480.61	FAIL	7	80	14,828.67	OK

Tabel 13 Daya dukung kelompok *bore pile* dan jumlah tiang

Dia. Tiang	Eg	Daya Dukung Kelompok	Cek thdp. Beban Aksial	Penambahan pondasi	Jml. Pondasi	Daya Dukung Kelompok	Cek thdp. Beban Aksial
30	0.9	13,294.53	Fail	13	118	14,875.32	OK
35	0.9	13,294.53	Fail	11	100	14,922.77	OK
40	0.9	13,468.45	Fail	8	85	14,815.29	OK
45	0.9	13,493.77	Fail	7	75	14,843.14	OK
50	0.9	13,519.88	Fail	6	66	14,871.87	OK
60	0.9	13,294.53	Fail	7	54	15,183.90	OK

### Cek terhadap momen yang bekerja

Pengecekan penambahan beban tekan bisa dihitung dengan menggunakan kombinasi pembebanan, dengan terlebih dahulu mencari  $Z_{px}$  dan  $Z_{py}$ , hasil dari pengecekan di sampaikan pada table dibawah.

Tabel 14 Cek terhadap beban bekerja

Dia. Tiang	Daya Dukung Kelompok	Cek thdp. Beban Aksial	Dia. Tiang	Daya Dukung Kelompok	Cek thdp. Beban Aksial
25	14813.95	OK	30	14808.72	OK
30	14806.20	OK	35	14802.94	OK
35	14800.65	OK	40	14798.34	OK
40	14796.32	OK	45	14795.00	OK
45	14793.14	OK	50	14792.34	OK
50	14790.62	OK	60	14788.67	OK



**Pembahasan.**

Dari hasil analisa yang telah disampaikan pada tabel-tabel di atas, kemudian dilakukan pengelompokan Daya Dukung Tekan, Tarik dan Lateral, dilanjutkan dengan kebutuhan jumlah tiang dan melakukan analisa biaya, kesemuanya untuk tiang Pancang dan tiang Bor, resume pembahasan dalam bentuk tabel dan grafik di bawah ini.

a. Daya Dukung Pondasi

Tabel 15 Daya dukung tiang pancang

Kedalaman	Dimensi Tiang	Kapabilitas Daya Dukung		
		Tekan	Tarik	Lateral
(m)	(cm)	(kN)	(kN)	(kN)
32	○ 25	92.33	91.16	40.32
	○ 30	113.45	119.56	48.38
	○ 35	135.45	151.36	56.45
	○ 40	158.34	186.55	64.51
	○ 45	182.10	225.12	72.57
	○ 50	206.76	267.09	80.64

Tabel 16 Daya dukung bore pile

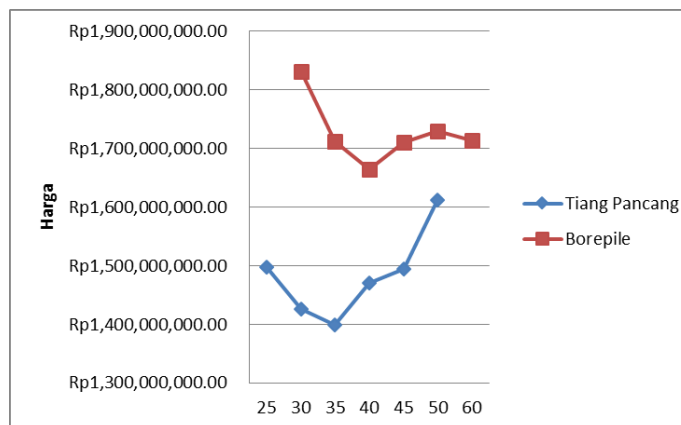
Kedalaman	Dimensi Tiang	Kapabilitas Daya Dukung		
		Tekan	Tarik	Lateral
(m)	(cm)	(kN)	(kN)	(kN)
32	○ 30	139.63	139.19	48.38
	○ 35	165.99	162.39	56.45
	○ 40	193.24	185.59	64.51
	○ 45	221.37	208.78	72.57
	○ 50	250.38	231.98	80.64
	○ 60	311.06	278.38	96.77

b. Jumlah tiang pancang

Tabel 17 Jumlah pondasi

Dia. Tiang	Jumlah Pondasi	
	Tiang pancang	Borepile
(cm)	(bh)	(bh)
25	178	-
30	145	118
35	122	100
40	104	85
45	90	75
50	80	66
60	-	54

c. Rencana biaya



Gambar 2 Grafik Rencana Biaya atas variasi dimensi tiang

Melihat Gambar 2 tersebut, harga maksimum sistim tiang pancang sebesar Rp.1.612.400.000 untuk dimensi 50, sedangkan harga minimum sistim tiang pancang sebesar Rp.1.398.730.000 untuk dimensi 35. Harga maksimum sistim borepile sebesar Rp. 1.831.360.000 untuk dimensi 30, sedangkan harga minimum sistim borepile sebesar Rp. 1.664.640.000 untuk dimensi 40. Dengan demikian harga biaya sistim pondasi tiang pancang lebih murah dibanding dengan biaya sistim pondasi borepile. Karena harga minimum tiang pancang lebih kecil dari pada harga minimum borepile.

## SIMPULAN

1. Dari hasil pembahasan, bahwa daya dukung ijin pondasi *bore pile* lebih besar dari pondasi tiang pancang, hal ini tidak sesuai gambaran di lapangan, dikarenakan faktor adhesinya untuk tanah lunak lebih besar.
2. Dari hasil pembahasan, terjadi adanya ketidakefektifan terhadap kekuatan tiang pada perencanaan akibat material tiang jauh lebih besar dari kemampuan tanah. Hal ini dikarenakan nilai N-SPT di ujung tiang masih rendah dan data penyelidikan tanah hanya sampai di kedalaman 33 m, sementara ujung tiang berada di kedalaman 32 m.
3. Dari hasil analisa bahwa gaya angin dan gaya gempa yang bekerja pada struktur pondasi tangki ini, tidak terlalu berpengaruh pada kapasitas dukung tiang.
4. Dari hasil pembahasan, disain pondasi yang paling optimal adalah tiang pancang diameter 35 cm dengan daya dukung pondasi yang lebih dominan dalam perencanaan adalah aksial tekan sebesar 135,45 kN dan jumlah tiang pancang sebanyak 122 buah dengan biaya pelaksanaan sebesar Rp. Rp.1.398.730.00,-. Karena harga tersebut lebih kecil dari pada harga minimum borepile diameter 40 dengan biaya pelaksanaan sebesar Rp. 1.664.640.000.

## SARAN

1. Bagi peneliti selanjutnya, bisa melakukan penelitian lebih lanjut mengenai analisis *settlement* (penurunan) pondasi dalam.
2. Bagi peneliti selanjutnya yang akan menganalisis daya dukung pondasi akibat pengaruh beban gempa yang lebih besar, bisa melakukan penelitian dengan menggunakan tumpuan spring (pegas).

## DAFTAR PUSTAKA

- API-650 (2009), *Seismic Analysis of Steel Liquid Storage Tank*
- Bowles, J.E. (1996), *Foundation Analysis Design*, McGraw-Hill Kogakusha, Ltd., Tokyo, Japan.
- Broms, B. B. (1964), *The Lateral Resistance of Pile in Cohesive Soil*, Journal of The Soil Mechanics Divisions, ASCE, Vol. 90, No. SM2, pp.27-63.
- Broms, B. B. (1964), *The Lateral Resistance of Pile in Cohesive Soil*, Journal of The Soil Mechanics Divisions, ASCE, Vol. 90, No. SM2, pp.123-156.
- Coduto, D.P., " *Foundation Design Principles and Practies* " , 2nd edition.
- Coyle, H. M. and Castello, R.R. (1981), *New Design Correlatons for Pile in Sand*, ASCE journal of The Geotechnical Eng. Div. Vol. 107, No. GT&, pp, 965-986.
- Coyle, H. M. and Reese, L.C., *Load Transfer of Axially loaded in Clay*, JSMFD, ASCE, Vol. 92, SM2, March, pp.1-26.
- Das, Braja M. (2007), *Principles of Foundation Engineering 7th Edition*, Stamford : Global Engineering.