

DESAIN PONDASI TIANG RAKIT DENGAN METODE POULOS DAN SOFTWARE PLAXIS

I Nyoman Sutarja, I Wayan Redana, dan I Made Putra Dwityagana

Program Studi Magister Teknik Sipil Universitas Udayana

Email : nsutarja_10@yahoo.com

ABSTRAK

Di Bali, khususnya daerah Kuta banyak terdapat lapisan tanah lunak dengan kedalaman tanah keras jauh dari permukaan tanah. Diperlukan desain pondasi yang memadai agar tidak terjadi penurunan tanah. Penelitian ini bertujuan untuk menghasilkan alternatif desain pondasi tiang-rakit dengan menggunakan metode manual Poulos dan software Plaxis. Metode manual Poulos menggunakan metode trial and error dengan variasi dimensi penampang tiang, panjang tiang, dan jumlah tiang. Hasil penelitian ini menunjukkan konfigurasi desain final dari alternatif pondasi tiang rakit ini memiliki ketebalan rakit 0,30 meter dan tiang pile berukuran 25x25 cm² sepanjang 7 meter dengan jumlah 20 buah. Dari konfigurasi ideal ini diperoleh penurunan tanah hasil perhitungan dengan Metode Poulos sebesar 6,53 cm, sedangkan dengan software Plaxis sebesar 6,92 cm. Persentase mobilisasi kapasitas ultimat sistem tiang dengan metode Poulos sebesar 52%, sedangkan dengan menggunakan software Plaxis sebesar 56,5%. Persentase beban yang ditanggung oleh sistem tiang dengan metode Poulos sebesar 79,83%, sedangkan dengan software Plaxis sebesar 80,24%.

Kata kunci: *desain pondasi, pondasi tiang rakit, metode poulos, plaxis*

DESIGN OF RAFT-PILE FOUNDATION BY POULOS METHOD AND SOFTWARE PLAXIS

ABSTRACT

In Bali, especially Kuta area there are many layers of soft soil with hard soil depth far from the surface of the land. Sufficient foundation design is required to avoid soil degradation. This research aims to produce alternative pole-raft foundation design using Poulos manual method and Plaxis software. Poulos manual method using trial and error method with variation dimension cross section of pile, pile length, and number of piles. The results of this study show the final design configuration of the alternative foundation of this raft pile has a thickness of 0.30 meters raft and 25x25 cm² pile along the 7 meters with 20 pieces. From this ideal configuration obtained the calculation of soil yield calculation by Poulos method of 6,53 cm, while with Plaxis software of 6,92 cm. Percentage mobilization of ultimate capacity of pole system with Poulos method by 52%, while using Plaxis software 56,5%. The percentage of load borne by the pole system by Poulos method is 79,83%, while with Plaxis software 80,24%.

Kata kunci: *foundation design, raft-pile foundation, poulos methode, plaxis*

1. PENDAHULUAN

Tanah lunak merupakan jenis tanah yang mendominasi sebagian besar wilayah di Indonesia. Jenis tanah ini memiliki perilaku yang khas, sehingga sebagian besar konstruksi yang berdiri pada tanah ini akan menemui beberapa kendala seperti penurunan tanah yang tinggi dan laju konsolidasi yang tinggi. Banyak daerah di Bali, misalnya di daerah Kuta yang memiliki lapisan tanah lunak dengan kedalaman tanah keras jauh dari permukaan tanah. Studi kasus yang diangkat dalam penelitian ini, jalan beton ruas Kuta-Banjar Taman, tanah kerasnya baru ditemui pada kedalaman 8-10 meter dari permukaan tanah. Kondisi seperti ini menyebabkan pilihan penggunaan tiang pancang guna memenuhi kebutuhan daya dukung untuk mampu mengatasi konsolidasi yang terjadi. Desain struktur yang bisa digunakan sebagai perkuatan tanah dasar adalah pondasi yang merupakan kombinasi antara tiang dengan pondasi rakit, atau biasa disebut sebagai *raft piled* (pondasi tiang rakit). Adanya penambahan tiang pada pondasi rakit akan membantu pondasi rakit dalam mengatasi masalah penurunan yang terjadi pada tanah. Dengan memanfaatkan tahanan friksi tiang, penurunan yang terjadi pada tanah akan dapat diminimalisasi. Adanya kombinasi kinerja antara komponen pondasi rakit, tiang pancang, dan lapisan tanah membuat jenis pondasi tiang-rakit ini efektif untuk mengurangi penurunan total dan penurunan differensial yang terjadi pada keseluruhan struktur. Komponen rakit diharapkan tetap dapat menahan beban dengan tingkat keamanan yang cukup, sementara komponen tiang lebih berperan dalam mengatasi penurunan tanah. Metode yang dijadikan acuan dalam mendesain pondasi tiang rakit ini adalah metode Poulos. Metode Poulos dipilih karena membahas tentang interaksi antara plat rakit, tiang pancang, dan tanah dasar. Kalkulasi dari metode Poulos ini bersifat manual. Dalam menghitung desain pondasi tiang rakit, dapat juga dengan menggunakan bantuan *software finite element*, yaitu Plaxis.

2. TINJAUAN PUSTAKA

Metode yang dijadikan acuan dalam mendesain pondasi tiang rakit ini adalah metode Poulos. Konsep desain dengan metode Poulos dapat dilihat pada persamaan dibawah ini.

2.1 Estimasi Kapasitas Geoteknik Ultimate

1. Daya dukung ultimat komponen rakit

$$P_{ur} = K_1 N_r \text{ (kPa)} \quad (2.1)$$

dimana :

- P_{ur} = daya dukung ultimate komponen rakit
- N_r = NSPT rata-rata sepanjang kedalaman 1,5 kali lebar komponen rakit
- K_1 = faktor korelasi untuk komponen rakit (Tabel 2.1)

2. Daya dukung ultimate komponen tiang

a. Tahanan friksi ultimate tiang

$$f_s = 2,8N_s + 10 \text{ (kPa)} \quad (2.2)$$

dimana :

- f_s = tahanan friksi ultimat tiang
- N_s = NSPT rata-rata sepanjang tiang

b. Tahanan ujung ultimate tiang

$$f_b = K_2 N_b \text{ (kPa)} \quad (2.3)$$

dimana :

- f_b = tahanan ujung ultimat tiang
- N_b = N_{SPT} di dekat ujung tiang
- K_2 = faktor korelasi untuk komponen tiang (Tabel 2.1)

Tabel 2.1 Faktor korelasi K1 dan K2 untuk daya dukung ultimate

Jenis Tanah	K1	K2 (DP*)	K2 (NDP**)
Pasir	90	325	165
Lanau Berpasir	80	205	115
Lanau Berlempung	80	165	100
Lempung	65	100	80

Catatan: * Displacement Piles ** Non-Displacement Piles

Sumber: *The Standard Penetration Test: State-of-the-Art Report* (Decourt, 1989)

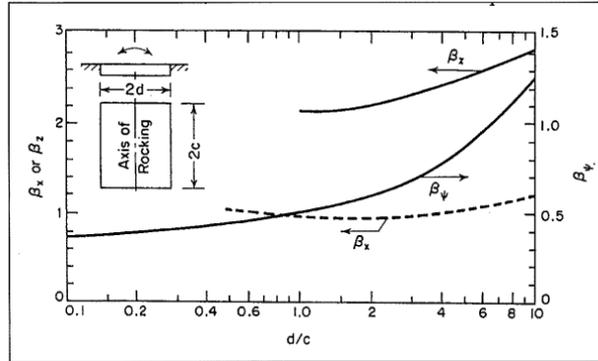
2.2 Estimasi Perilaku Hubungan Beban-Penurunan dari Pondasi Tiang- Rakit

1. Perhitungan kekakuan komponen rakit (K_r)

$$K_r = \frac{G_s}{(1-\nu_s)} \beta_z \sqrt{4cd} \quad (2.4)$$

dimana :

- Kr = kekakuan komponen rakit
- Gs = modulus geser tanah rata-rata hingga kedalaman ujung tiang
- β_z = koefisien berdasarkan dimensi rakit, c dan d (Gambar 2.1)



Gambar 2.1 Koefisien β_x , β_z , dan β_ψ untuk pondasi segiempat
 Sumber: Design of Piled Raft Foundation on Soft Ground (Tan dan Chow, 2004)

2. Perhitungan kekakuan komponen tiang (K_p)

$$K_p = \frac{P}{s} = G_L r_o \frac{\frac{4\eta}{(1-\nu)\xi} + \rho \frac{2\pi \tanh(\mu L)}{\zeta} \frac{L}{\mu L} \frac{L}{r_o}}{1 + \frac{1}{\pi\lambda} \frac{4\eta}{(1-\nu)\xi} \frac{L}{\mu L} \frac{L}{r_o}} \quad (2.5)$$

$$\zeta = \ln\left(\frac{r_m}{r_o}\right) = \ln\left(\frac{2,5\rho(1-\nu)L}{r_o}\right) \quad (2.6)$$

Persamaan di atas mengandung beberapa koreksi, yaitu:

a. Koreksi untuk diameter tiang yang tidak seragam (*under-reamed pile*)

$$\eta = \frac{r_b}{r_o} \quad (2.7)$$

b. Koreksi untuk tiang *end-bearing* (tiang friksi $\xi = 1$)

$$\zeta = \frac{G_L}{G_b} \quad (2.8)$$

c. Koreksi untuk heterogenitas modulus tanah

$$\rho = \frac{G_{avg}}{G_L} \quad (2.9)$$

d. Koreksi untuk rasio kekakuan tiang terhadap tanah

$$\lambda = \frac{E_p}{G_L} \quad (2.10)$$

e. Koreksi untuk kompresibilitas tiang

$$\mu L = \frac{L}{r_o} \sqrt{\frac{2}{\zeta\lambda}} \quad (2.11)$$

Besar kekakuan grup tiang adalah:

$$K_{p-sys} = K_p \sqrt{n_p} \quad (2.12)$$

dimana :

- K_p = kekakuan satu tiang tunggal
- K_{p-sys} = kekakuan grup tiang
- P = besar beban yang diaplikasikan pada rakit

- s = penurunan akibat beban yang diaplikasikan
- L = panjang tiang
- r_o = radius tiang
- G_L = modulus geser tanah pada kedalaman ujung tiang (sama dengan G_b)
- G_{avg} = modulus geser tanah rata-rata sepanjang tiang
- E_p = modulus Young tiang
- ν = angka Poisson tanah
- n_p = jumlah tiang

3. Perhitungan kekakuan sistem pondasi tiang-rakit
 Kekakuan sistem pondasi tiang-rakit dihitung dengan menggunakan Persamaan 2.13.

$$K_{pr} = \frac{1 - 0,6 \left(\frac{K_r}{K_p} \right)}{1 - 0,64 \left(\frac{K_r}{K_p} \right)} K_p \quad (2.13)$$

4. Perhitungan pembagian proporsi beban antara komponen tiang dengan komponen rakit
 5. Perhitungan beban pada titik A di kurva tri-linear Poulos. Beban pada titik A yaitu sebesar P_1 .
 6. Pembentukan kurva beban-penurunan tri-linear Poulos
 a. Untuk $P \leq P_1$

$$S = \frac{P}{K_{pr}} \quad (2.14)$$

dimana :

- P = beban vertikal yang bekerja
- S = penurunan yang terjadi
- K_{pr} = kekakuan aksial dari sistem pondasi tiang-rakit

b. Untuk $P > P_1$

$$S = \frac{P}{K_{pr}} + \frac{P - P_1}{K_r} \quad (2.15)$$

dimana :

- P = beban vertikal yang bekerja
- P_1 = beban saat system tiang berada pada fase plastis
- S = penurunan yang terjadi
- K_{pr} = kekakuan aksial dari sistem pondasi tiang-rakit
- K_r = kekakuan aksial dari sistem komponen rakit

3. METODE

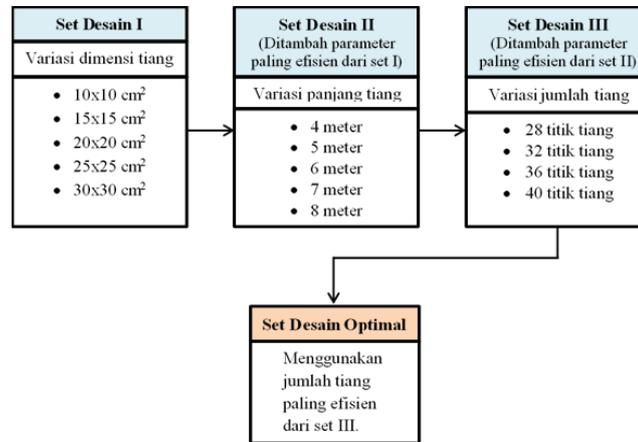
3.1 Urutan Desain dengan Metode Konvensional Poulos

Hal pertama yang harus dilakukan setelah seluruh data beban diperoleh adalah mengestimasi kapasitas sistem pondasi tiang-rakit terhadap beban-beban struktural tersebut. Nilai-nilai yang digunakan untuk menghitung daya dukung dari komponen rakit dan komponen tiang diperoleh dari korelasi yang dibuat oleh Decourt (1989). Korelasi tersebut dibuat dengan dasar nilai NSPT. Hal kedua yang dilakukan yaitu menentukan Estimasi Perilaku Hubungan Beban-Penurunan dari Pondasi Tiang-Rakit. Terdapat enam langkah untuk menghitung besarnya penurunan tanah diantaranya, Perhitungan kekakuan komponen rakit (K_r), Perhitungan kekakuan komponen tiang (K_p), Perhitungan kekakuan sistem pondasi tiang-rakit, Perhitungan pembagian proporsi beban antara komponen tiang dengan komponen rakit, Perhitungan beban pada titik A di kurva tri-linear Poulos, perhitungan beban-penurunan tri-linear Poulos.

Pada dasarnya, perhitungan desain manual dengan metode Poulos ini adalah untuk memperkirakan tebal komponen rakit dan jumlah tiang yang dibutuhkan agar syarat penurunan maksimum yang diperbolehkan dapat tercapai di dalam batas keamanan yang diizinkan. Di samping itu, tentu harus ditetapkan terlebih dahulu berapa dimensi dan ukuran tiang yang diinginkan. Desain ini dilakukan dengan menggunakan metode konvensional Poulos. Proses desain merupakan proses coba-coba (*trial and error*) sehingga memang diperlukan kepekaan dan justifikasi yang baik atas pengaruh berbagai dimensi dan aspek dari komponen pondasi terhadap kinerja sistem pondasi tersebut dalam menahan beban.

Dibuat beberapa set desain di mana masing-masing set desain tersebut berisi sebuah variabel yang divariasikan dari konfigurasi awal di mana rakit setebal 0,30 meter digunakan pada semua set desain. Variabel-

variabel yang divariasikan adalah ukuran tiang, panjang tiang, dan jumlah tiang dalam sebuah konfigurasi sistem pondasi. Perbedaan kinerja sistem pondasi akibat perbedaan variabel inilah yang akan dianalisis selanjutnya. Langkah-langkah dalam perhitungan *trial and error* metode Poulos ini dapat dilihat pada Gambar 3.1.



Gambar 3.1 Urutan desain *trial and error* perhitungan manual metode Poulos

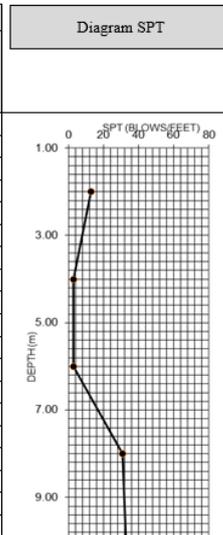
4. HASIL DAN PEMBAHASAN

4.1 Kalibrasi hasil N_{SPT}

Dalam pemodelan desain juga memerlukan parameter tanah, salah satunya data N_{SPT} . Menurut *ASTM D-4633* setiap alat uji *SPT* yang digunakan harus dikalibrasi tingkat efisiensi tenaganya dengan menggunakan alat ukur *strain gauges* dan aselerometer, untuk memperoleh standar efisiensi tenaga yang lebih teliti. Hasil koreksi N_{SPT} dapat dilihat pada Tabel 4.1, dimana hasil koreksi N_{SPT} ini nantinya akan dipakai parameter dalam proses desain.

Tabel 4.1 Hasil koreksi N_{SPT} lapangan

Dalam (m)	Jumlah Pukulan (Uji SPT)				Berat Volume Total (kN/m ³)	Koreksi Pengaruh Energi N_m					N_{60} (pukulan /30 cm)
	N_1 (pukul an/15 cm)	N_2 (pukul an/15 cm)	N_3 (pukul an/15 cm)	N_m (pukul an/30 cm)		C_N	C_E	C_B	C_R	C_S	
1.00	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12
2.00	1	2	12	14	13.56	1.50	0.80	1.00	0.75	1.00	13
3.00					13.56						
4.00	2	1	2	3	13.56	1.26	0.80	1.00	0.80	1.00	3
5.00					13.56						
6.00	1	2	2	4	13.56	1.09	0.80	1.00	0.85	1.00	3
7.00					13.56						
8.00	14	18	23	41	13.56	0.96	0.80	1.00	0.95	1.00	31
9.00					13.56						
10.00	50			50	13.56	0.86	0.80	1.00	0.95	1.00	33



4.2 Pembebanan

Beban struktur yang diperhitungkan rinciannya sebagai berikut :

A. Berat sendiri

Berat sendiri adalah berat struktur itu sendiri termasuk berat bahan dan bagian jalan yang merupakan elemen struktural, ditambah dengan elemen nonstruktural yang dianggap tetap.

B. Beban mati tambahan

Beban mati tambahan (superimposed dead load), adalah berat seluruh bahan yang menimbulkan suatu beban yang merupakan elemen non-struktural, dan mungkin besarnya berubah selama umur jalan. Jalan yang dianalisis harus mampu memikul beban tambahan seperti :

- 1) Penambahan lapisan aspal (overlay) di kemudian hari

2) Genangan air hujan jika sistim drainase tidak bekerja dengan baik

C. Beban hidup (beban truk)

Terdapat beban hidup dalam lalu lintas yaitu beban truk. Pembebanan truk terdiri atas kendaraan truk *semi-trailer* yang mempunyai susunan dan berat gandar. Berat dari tiap-tiap gandar disebarakan menjadi 2 beban merata sama besar yang merupakan bidang kontak antara roda dengan permukaan lantai. Jarak antara 2 gandar tersebut bisa diubah-ubah dari 4,0 m sampai dengan 9,0 m untuk mendapatkan pengaruh terbesar pada arah memanjang jalan.

D. Beban hidup tambahan (gaya rem)

Pengaruh pengereman dari lalu-lintas diperhitungkan sebagai gaya dalam arah memanjang, dan dianggap bekerja pada jarak 1.80 m di atas lantai jalan.

E. Perhitungan Kombinasi Beban

Beban total terfaktor yang digunakan dalam perencanaan harus dihitung dengan menggunakan persamaan sebagai berikut :

$$Q = \sum \gamma_i Q_i \tag{4.1}$$

Tabel 4.2 Kombinasi beban

No	Jenis beban	Faktor beban
1	Berat sendiri	1,10
2	Beban mati tambahan	1,10
3	Beban hidup (beban truk)	1,10
4	Gaya rem	1,10

Kombinasi beban seperti Tabel 4.2. diatas akan digunakan untuk memperoleh total beban yang bekerja seluas plat rakit. Rangkuman pembebanan dengan menggunakan ETABS dapat dilihat pada Tabel 4.3. berikut.

Tabel 4.3 Nilai beban masing-masing jenis beban

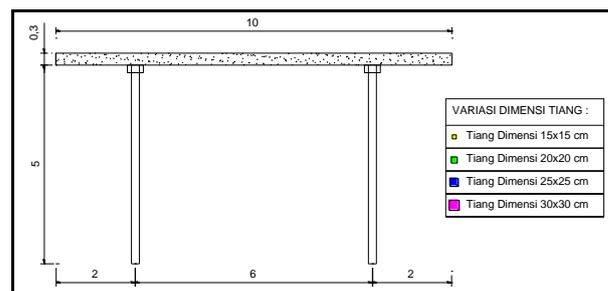
No	Jenis beban	Beban (MN)
1	Berat sendiri	5,02
2	Beban mati tambahan	1,40
3	Beban hidup (beban truk)	8,36
4	Gaya rem	0,26
Total beban		15,01

Dari Tabel 4.3. dapat dilihat nilai total beban yang bekerja seluas plat rakit yaitu sebesar 15,00 kN/m². Nilai ini nantinya akan dipakai parameter total beban pada perhitungan manual pondasi tiang rakit Metode Poulos.

4.3 Perhitungan desain manual Poulos

4.3.1 Set desain 1: pengaruh dimensi penampang tiang terhadap kinerja pondasi

Dalam set Desain 1, analisis dilakukan terhadap kinerja pondasi akibat ukuran tiang yang berbeda-beda. Sistem pondasi memiliki tebal komponen rakit yang sama, yaitu sebesar 0,30 meter. Sementara itu, tiang yang digunakan berjumlah 16 buah dengan panjang tiang sebesar 5 meter seperti yang terlihat pada Gambar 4.1. Hasil analisis yang diperoleh dari set Desain 1 ini kemudian akan digunakan sebagai tambahan justifikasi mengenai desain final yang terbaik.



Gambar 4.1 Variasi dimensi penampang tiang yang akan direncanakan

Seperti terlihat pada Gambar 4.1, besar penurunan rata-rata yang terjadi menjadi semakin kecil seiring dengan bertambah besarnya ukuran tiang. Akan tetapi, berdasarkan analisis yang telah dilakukan, diperoleh hasil bahwa pada set Desain 1 ini tidak diperoleh sebuah konfigurasi sistem pondasi yang dapat memenuhi syarat besar penurunan maksimum, yaitu sebesar 7 cm. Bahkan, pada tiang berukuran 30x30 cm² sekalipun, penurunan yang terjadi masih lebih besar dari 7 cm.

Tabel 4.4 Detail Beban vs Penurunan

P (MN)	0	5	10	15	20	21.70	25	30	35
s (cm)	0.00	3.37	6.74	9.68	13.37	14.63	17.06	20.75	24.44

Perhitungan Proporsi Beban

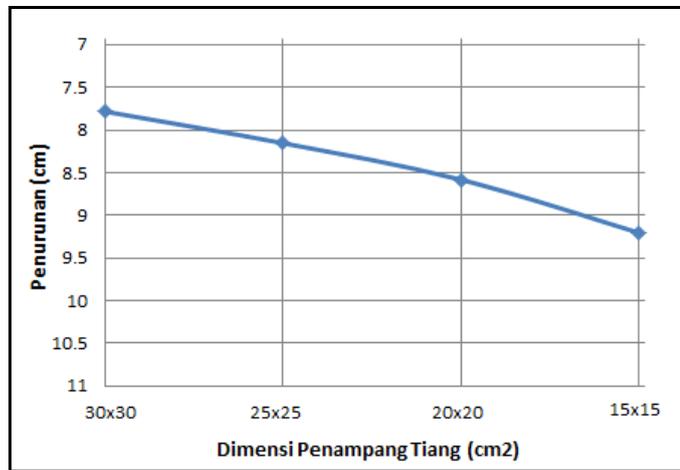
$$P_{up} = n_p (P_s + P_b) = 10.27 \text{ MN}$$

$$P_p = \beta_p P = 7.10 \text{ MN}$$

$$P_r = P - P_p = 7.90 \text{ MN}$$

Persentase Mobilisasi Kapasitas Tiang Saat Beban Bekerja

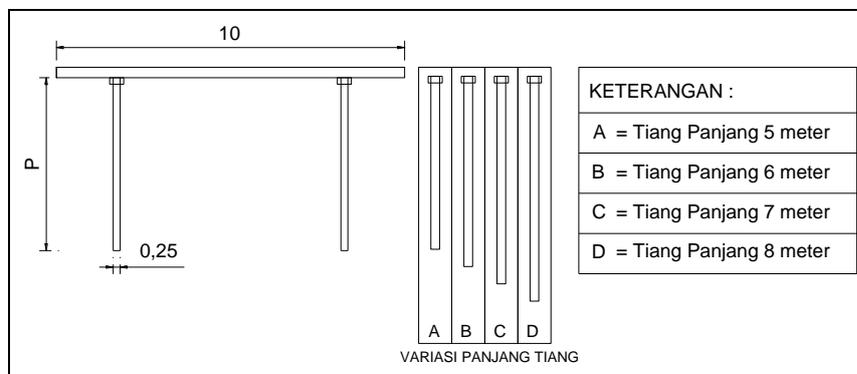
Persentase (%) = 69%



Gambar 4.2 Pengaruh dimensi penampang tiang terhadap penurunan

4.3.2 Set desain 2: pengaruh panjang tiang terhadap kinerja pondasi

Dalam set Desain 2, analisis dilakukan terhadap kinerja pondasi akibat panjang tiang yang berbeda-beda. Sistem pondasi memiliki tebal komponen rakit yang sama, yaitu sebesar 0,30 meter. Tiang yang digunakan berjumlah 16 buah dengan dimensi penampang tiang 25x25 cm² dan panjang tiang yang bervariasi. Variasi tiang dapat digambarkan seperti Gambar 4.3 dibawah. Perhitungan manual Poulos dengan panjang tiang 5 meter diuraikan sebagai berikut.



Gambar 4.3 Variasi panjang tiang yang akan direncanakan

Tabel 4.5 Detail Beban vs Penurunan

P (MN)	0	5	10	15	20	24.94	25	30	35	40
s (cm)	0.00	2.76	5.52	8.29	10.13	13.78	13.82	16.57	21.20	24.90

Perhitungan proporsi beban

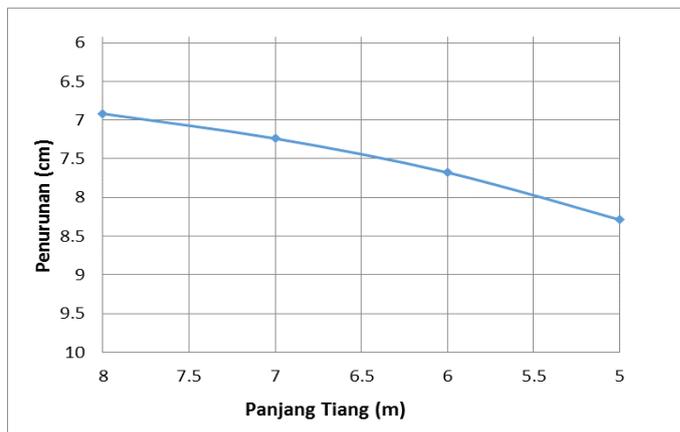
$$P_{up} = n_p (P_s + P_b) = 15.58 \text{ MN}$$

$$P_p = \beta_p P = 10.41 \text{ MN}$$

$$P_r = P - P_p = 4.59 \text{ MN}$$

Persentase Mobilisasi Kapasitas Tiang Saat Beban Bekerja

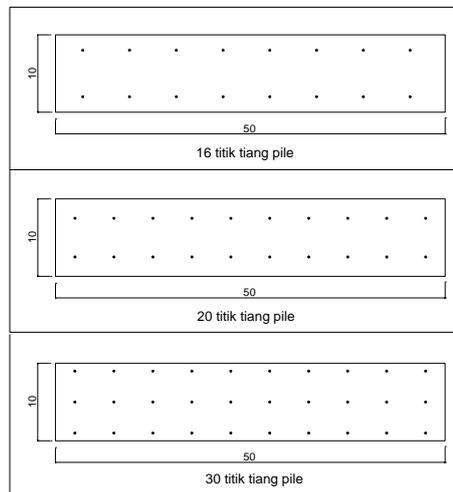
Persentase (%) = 67%



Gambar 4.4 Pengaruh panjang tiang terhadap penurunan untuk dimensi penampang tiang 25x25 cm²

4.3.3 Set desain 3: pengaruh jumlah tiang terhadap kinerja pondasi

Dalam set Desain 3 ini, analisis dilakukan terhadap kinerja pondasi akibat jumlah tiang yang berbeda-beda. Sistem pondasi memiliki tebal komponen rakit yang sama, yaitu sebesar 0,30 meter. Sementara itu, tiang yang digunakan adalah tiang dengan ukuran 25x25 cm². Untuk memperoleh desain yang optimal, maka dilakukan perbandingan desain dengan jumlah tiang yang berbeda-beda untuk beberapa panjang tiang. Set Desain 3 ini dilakukan untuk sistem tiang dengan panjang 5 meter, 6 meter, 7 meter, dan 8 meter di mana pada masing-masing panjang tiang tersebut, jumlah tiang divariasikan seperti pada Gambar 4.5.



Gambar 4.5 Variasi konfigurasi jumlah dan jarak tiang pile

Tabel 4.6 Detail Beban vs Penurunan

P (MN)	0	5	10	15	20	25	29.03	30	35	40
s (cm)	0.00	2.50	5.00	7.50	10.00	11.54	14.52	15.00	18.92	22.61

Perhitungan proporsi beban

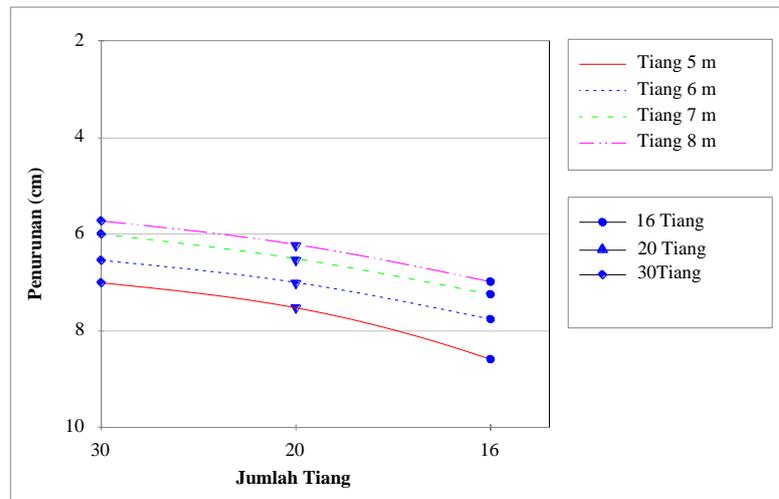
$$P_{up} = n_p (P_s + P_b) = 19.61 \text{ MN}$$

$$P_p = \beta_p P = 11.26 \text{ MN}$$

$$P_r = P - P_p = 3.74 \text{ MN}$$

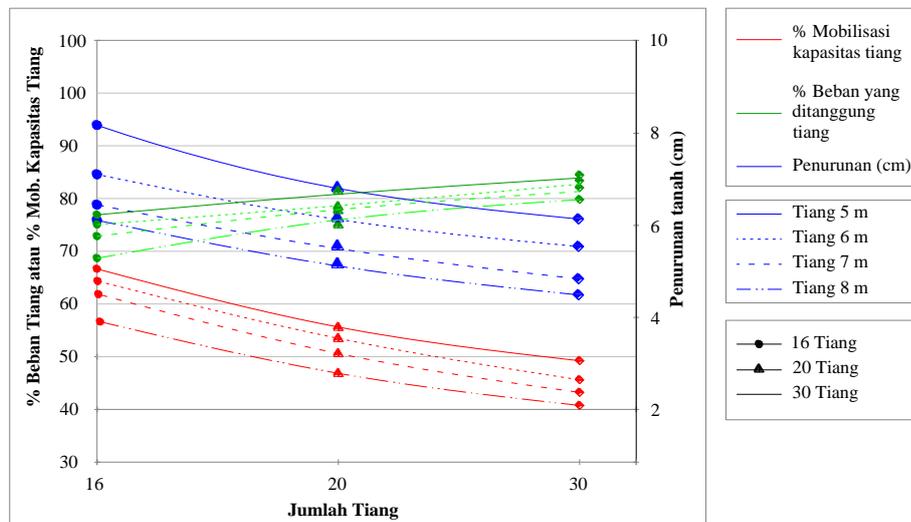
Persentase Mobilisasi Kapasitas Tiang Saat Beban Bekerja

Persentase (%) = 67%



Gambar 4.6 Pengaruh jumlah tiang terhadap penurunan

Berdasarkan Gambar 4.7, dapat diketahui bahwa persentase mobilisasi kapasitas tiang menurun dengan signifikan seiring dengan bertambahnya jumlah tiang dan panjang tiang. Sebaliknya, persentase beban yang ditanggung oleh tiang justru meningkat meskipun dalam laju yang tidak signifikan. Sementara itu, penurunan yang terjadi pun sudah pasti memiliki trend yang menurun. Gambar 4.7 ini dapat digunakan sebagai alat bantu untuk menetapkan desain final yang akan dimodelkan nantinya.



Gambar 4.7 Perbandingan persentase beban yang ditanggung tiang, persentase mobilisasi kapasitas tiang, dan penurunan untuk jumlah tiang yang berbeda

4.3.4 Hasil desain metode Poulos

Berdasarkan seluruh pertimbangan tersebut, maka dipilih konfigurasi pondasi tiang-rakit untuk desain final di mana ketebalan rakit adalah 0,30 meter dan tiang berukuran 25x25 cm² sepanjang 7 meter dengan jumlah 20 buah.

Tabel 4.7 detail Beban vs Penurunan

P (MN)	0	5	10	15	20	25	28.90	30	35
s (cm)	0.00	2.18	4.35	6.53	8.71	10.88	12.58	13.37	16.98

Perhitungan proporsi beban

$$P_{up} = n_p(P_s + P_b) = 23.08 \text{ MN}$$

$$P_p = \beta_p P = 11.97 \text{ MN}$$

$$P_r = P - P_p = 3.03 \text{ MN}$$

Persentase Mobilisasi Kapasitas Tiang Saat Beban Bekerja

Persentase (%) = 52%

4.4 Analisis dengan perangkat lunak Plaxis 2 dimensi

4.4.1 Sifat-sifat material

Setelah menggambarkan geometri dan memasukkan kondisi batas, sifat material untuk klaster-klaster tanah dan obyek geometri lainnya harus dimasukkan dalam kumpulan data. Sifat dari *interface* termasuk dalam kumpulan data untuk tanah (kumpulan data material *Soil & Interfaces*). Selain itu kumpulan data untuk jenis kumpulan data *Plate* perlu dibuat untuk *Raft* dan *Pile*.

Tabel 4.8 Detail parameter tanah dalam pemodelan PLAXIS

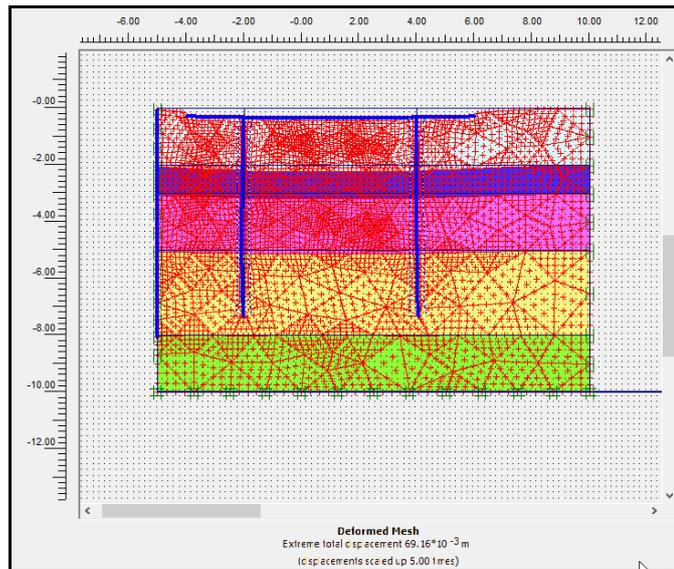
PARAMETER	SATUAN	LAPIS 1	LAPIS 2	LAPIS 3	LAPIS 4	LAPIS 5
Kedalaman	m	0-2	2-3	3-5	5-8	8-10
Model material	-	MC	MC	MC	MC	MC
Tipe perilaku	-	Drained	Drained	Drained	Drained	Drained
Berat isi tanah di atas MAT (γ_{sat})	kN/m ²	14.5	15.2	16.5	16	17.5
Berat isi tanah di bawah MAT (γ_{unsat})	kN/m ²	15	16	17	16.5	17.5
Indeks plastisitas	-	45%	52%	56%	46%	30%
Koef. Conductivity Hydraulic (K_x)	m/hari	0.000864	0.0864	0.00864	0.0864	0.864
Koef. Conductivity Hydraulic (K_y)	m/hari	0.000864	0.0864	0.00864	0.0864	0.864
Modulus Young (E_{ref})	kN/m ²	3250	6500	7800	5850	65000
Poisson ratio (ν)	-	0.35	0.35	0.35	0.35	0.35
Kohesi (c_{ref})	kN/m ²	17	25	36	30	85
Sudut geser (ϕ)	°	22	21	21	22	25
Sudut dilatasi (Ψ)	°	0	0	0	0	0
Modulus Geser (G)	kN/m ²	1138	2275	2730	2048	22750

Tabel 4.9 Sifat-sifat material untuk dinding diafragma (pelat)

Parameter	Nilai	Satuan
Plat Rakit		
EA	7050000	kN/m ²
EI	52875	kN/m ²
w	7.20	kN/m ²
v	0.2	
Pile		
EA	52796.36	kN/m ²
EI	206.24	kN/m ²
w	52.5	kN/m ²
v	0.2	

4.4.2 Hasil analisis model

Berikut ini akan dipaparkan hasil analisis dengan menggunakan PLAXIS Versi 8.2. Pada Gambar 4.8 dijelaskan mengenai ilustrasi hasil penurunan tanah.



Gambar 4.8 Output Plaxis Berupa Hasil Penurunan

4.4.3. Hasil analisis untuk komponen rakit

Pada Tabel 4.10 merupakan output analisis untuk komponen rakit dari perangkat lunak PLAXIS Versi 8.2. Adapun profil penurunan di bawah rakit dapat dilihat pada Gambar 4.8, sementara *mesh* terdeformasi, distribusi gaya geser, dan momen lentur rakit dapat dilihat pada bagian Lampiran.

Tabel 4.10 Hasil Penurunan di Bawah Rakit

Penurunan Rata-Rata (cm)			Perbedaan Penurunan (cm)			
Batas	Deformasi Maks.	Ket.	Batas	Deformasi Min.	Δ Penurunan	Ket.
7	6,92	√	5	4,51	2,41	√

4.4.4 Hasil analisis untuk komponen tiang

Berikut ini merupakan hasil analisis untuk komponen tiang dari perangkat lunak PLAXIS Versi 8.2. Pada Tabel 4.11 menguraikan tentang kinerja aksial tiang.

Tabel 4.11 Kinerja aksial tiang

No.	Tiang Baris ke-	Kinerja Aksial (MN/m)				
		Kapasitas Tiang	Aksial Maks.	Ket.	% Mobilisasi Kapasitas	Beban per Baris
1	1	1,546	0,916	√	59%	6,02
2	2	1,546	0,830	√	54%	6,02
Total Beban yang Ditanggung Sistem Tiang (MN)						12,04
% Beban yang Ditanggung Sistem Tiang						80,24%

5. SIMPULAN DAN SARAN

5.1 Simpulan

Simpulan yang diperoleh dari penelitian mengenai studi pemakaian pondasi tiang-rakit ini adalah:

1. Konfigurasi desain final dari alternatif pondasi tiang rakit ini memiliki ketebalan rakit 0,30 meter dan tiang pile berukuran 25x25 cm² sepanjang 7 meter dengan jumlah 20 buah.
2. Penurunan tanah hasil perhitungan dengan Metode Poulos sesuai desain final adalah sebesar 6,53 cm, sedangkan hasil perhitungan dengan software Plaxis sesuai desain final adalah sebesar 6,92 cm. Persentase mobilisasi kapasitas ultimat sistem tiang dengan metode Poulos sebesar 52%, sedangkan dengan menggunakan software Plaxis sebesar 56,5%. Persentase beban yang ditanggung oleh sistem tiang dengan metode Poulos sebesar 79,83%, sedangkan dengan software Plaxis sebesar 80,24%.

Adapun perbedaan antara hasil perhitungan manual Poulos dengan software Plaxis dapat dituangkan dalam tabel 5.1 berikut :

Tabel 5.1 Perbandingan hasil desain metode Poulos dengan software Plaxis

Metode yang digunakan	Penurunan tanah (cm)	% Mobilisasi kapasitas tiang	% Beban yang ditanggung tiang
Metode Poulos	6,53	52%	79,83%
Software Plaxis	6,92	56,5%	80,24%
Selisih	0,39	4,5%	0,41%

Secara umum, pemodelan yang dibuat dalam PLAXIS Versi 8.2 secara umum telah merepresentasikan konfigurasi dan parameter tanah yang menjadi dasar asumsi pada tahap desain manual Poulos.

5.2 Saran

Berdasarkan hasil penelitian yang telah dilakukan, maka terdapat beberapa saran yang dapat dilakukan sebagai bentuk pengembangan pengetahuan mengenai pondasi tiang-rakit selanjutnya.

1. Input pembebanan pada software Plaxis masih menggunakan konversi dari beban 3 dimensi ke beban 2 dimensi. Hendaknya analisis menggunakan software Plaxis dilakukan dengan analisis tiga dimensi sehingga hasil yang diperoleh pun akurat dan presisi.

DAFTAR PUSTAKA

- Chow, H., & Small, J. C. (2005). *Behaviour of piled rafts with piles of different lengths and diameters under vertical loading*. Geotechnical Special Publication No. 130-142, Geo-Frontiers, Austin, USA, pp. 841-855.
- Franke, E., El-Mossallamy, Y., & Wittmann, P. (2000). Calculation methods for raft foundations in Germany. In J. A. Hamsley (Ed.). *Design applications of raft foundations* (pp. 283-322). London: Thomas Telford Publishing.
- Griffiths, D.V., Clancy, P., & Randolph, M. F. (1991). *Research report No. G:1034: Piled raft foundation analysis by finite elements*. Nedlands: Department of Civil and Resource Engineering, University of Western Australia.
- Horikoshi, K., & Randolph, M. F. (1996). *Research report No. G:1179: A contribution to optimum design of piled rafts*. Nedlands: Department of Civil and Resource Engineering, University of Western Australia.
- Katzenbach, R., Arslan, U., & Moormann, C. (2000). Piled raft foundation projects in Germany. In J. A. Hamsley (Ed.). *Design applications of raft foundations* (pp. 323-391). London: Thomas Telford Publishing.
- Poulos, H. G. (2001). *Methods of analysis of piled raft foundations*. A report prepared on behalf of technical committee, TC18 on piled foundations, International Society of Soil Mechanics and Geotechnical Engineering.
- Redana, I Wayan. 2010. *Teknik Pondasi*. Denpasar: Udayana University Press.
- Redana, I Wayan. 2011. *Mekanika Tanah*. Denpasar: Udayana University Press.
- Thaher, M., & Jessberger, H. L. (1991). *Investigation of the behaviour of pile-raft foundations by centrifuge modelling*. Proc. 10th European Conference on Soil Mechanics and Foundation Engineering, Vol. 2, pp. 597-603.
- Viggiani, C. (2001). *Analysis and design of piled foundations*. 1st Arrigo Croce Lecture, Rivista Italiana de Geot., 1/2001: 47-75.
- Wesley, L. D. (1977). *Mekanika tanah*. Jakarta: Badan Penerbit Pekerjaan Umum.