

Analisis Daya Dukung dan Penurunan Fondasi Rakit dan Tiang Rakit pada Timbunan di Atas Tanah Lunak

NAUFAL ZAID, YUKI ACHMAD YAKIN

Jurusan Teknik Sipil, Institut Teknologi Nasional
e-mail: copallzaid@gmail.com

ABSTRAK

Tanah lempung memiliki tegangan geser dan permeabilitas yang rendah, oleh karena itu tanah lempung tersebut harus diperbaiki terlebih dahulu sebelum digunakan sebagai landasan konstruksi agar diperoleh daya dukung yang baik. Perbaikan tanah dengan melakukan perkuatan dapat dilakukan. Analisis daya dukung dan penurunan Fondasi rakit dan tiang rakit pada timbunan di atas tanah lunak dengan melakukan pemodelan menggunakan metode elemen hingga. Variasi pada fondasi rakit yaitu tebal pondasi rakit. Pada Fondasi tiang rakit variasi yang digunakan yaitu ukuran penampang tiang, tinggi tiang, jarak antar tiang, dan tebal fondasi rakit. Tebal rakit pada Fondasi rakit mempengaruhi kapasitas daya dukung dan penurunan. Tinggi tiang dan jarak antar tiang berpengaruh pada kapasitas daya dukung dan penurunan pada fondasi tiang rakit. Hasil perbandingan antara fondasi rakit dan tiang rakit menunjukkan bahwa adanya tiang pada fondasi tiang rakit dapat menambah kapasitas daya dukung dan memperkecil penurunan.

Kata kunci: daya dukung, penurunan, fondasi rakit, fondasi tiang rakit, metode elemen hingga, metode Terzaghi, metode Hein & Lee, metode Randolph.

ABSTRACT

Clay has low shear stress and permeability, therefore clay soil must be repaired before being used as the basis for construction to obtain good bearing capacity. Soil improvement by using reinforcement can be done. Capacity analysis and settlement of raft foundation and pile raft foundation on soft soil by performing modeling using finite element method. Variations on the raft foundation is thickness of raft foundation. In the pile raft foundation variations used are cross-sectional size of pile, pile height, space of pile, and thickness of raft foundation. Thickness of raft foundation affect to bearing capacity and settlement. Pile height and the space of pile affect to bearing capacity and settlement of pile raft foundation. Comparison between raft foundation and pile raft foundation showed that their pile at the pile raft foundation can increase the bearing capacity and minimalizer settlement.

Keywords: bearing capacity, settlement, raft foundation, pile raft foundation, finite element method, Terzaghi method, Hein & Lee method, Randolph method.

1. PENDAHULUAN

Tanah merupakan dasar suatu struktur dari semua bangunan teknik sipil. Konstruksi yang kuat dan memiliki umur pakai yang relatif panjang dapat diwujudkan tidak hanya dipengaruhi oleh daya dukung yang tinggi sebagai dasar dari konstruksi. Sebelum melakukan pembangunan perlu adanya perencanaan pondasi dengan mempertimbangkan kondisi tanah. Tanah yang berada di bawah suatu konstruksi harus dapat memikul beban yang ada di atasnya tanpa mengalami kegagalan geser (*shear failure*) dan penurunan (*settlement*). Jenis tanah lempung memiliki beberapa sifat yang kurang menguntungkan bagi suatu konstruksi. Tanah lempung memiliki tegangan geser dan permeabilitas yang rendah oleh karena itu tanah tersebut harus diperbaiki terlebih dahulu, sebelum digunakan sebagai landasan konstruksi agar memperoleh daya dukung yang lebih baik yaitu dengan perbaikan tanah secara perkuatan (*preloading*).

Pada Tugas Akhir ini akan dilakukan analisis kapasitas daya dukung dan penurunan fondasi rakit dan tiang rakit pada timbunan diatas tanah tanah lunak dengan pemodelan menggunakan PLAXIS 2D AE dan metode analisis. Tugas akhir ini merupakan studi kasus dari proyek Delta Mahakam dan penelitian dengan menambah ukuran penampang tiang, tebal rakit, tinggi tiang dan jarak antar tiang.

Manfaat dari penelitian ini yaitu untuk untuk mengetahui seberapa besar pengaruh ukuran penampang tiang, tebal rakit, tinggi tiang, dan jarak antar tiang terhadap daya dukung dan penurunan dengan pemodelan melalui program PLAXIS 2D AE dan metode analisis.

2. TINJAUAN PUSTAKA

2.1 Fondasi Rakit

Fondasi rakit adalah suatu telapak gabungan yang mencakup seluruh luasan yang ada di bawah bangunan dan mendukung seluruh dinding dan kolom. Apabila beban bangunan sangat besar atau tekanan tanah yang diizinkan begitu kecil sehingga telapak individual akan mencakup lebih dari sebagian luasan bangunannya. Biasanya fondasi rakit dirancang dalam bentuk pelat beton bertulang yang rata. Beban ke bawah pada fondasi rakit ialah beban dari masing-masing kolom atau dinding.

2.2 Fondasi Tiang Rakit

Fondasi tiang rakit adalah suatu sistem fondasi yang bekerja sebagai konstruksi komposit yang terdiri dari tiga elemen pendukung, yaitu tiang, rakit, dan tanah. Rakit mendistribusikan beban total dari struktur, S_{tot} , sebagai tegangan kontak, yang dinyatakan R_{rakit} dan sebagian kepada n tiang yang dinyatakan ΣR_{tiang} . Kondisi yang paling menguntungkan untuk menerapkan sistem ini adalah ketika suatu fondasi rakit dapat memberikan daya dukung yang cukup tetapi penurunan atau perbedaan penurunan yang terjadi masih melampaui batas-batas yang diijinkan.

2.3 Daya Dukung Fondasi Rakit

Metode untuk menghitung kapasitas daya dukung fondasi rakit yang digunakan didalam Tugas Akhir ini yaitu metode Terzaghi dengan asumsi keruntuhan geser menyeluruh, dengan persamaan:

$$q_u = c * N_c + q * N_q + 0.5 * B * N_\gamma \quad \dots (1)$$

Analisis Daya Dukung dan Penurunan Fondasi Rakit dan Tiang Rakit
pada Timbunan di Atas Tanah Lunak

dimana:

c = Kohesi (kN/m²)

B = Lebar alas Fondasi (m)

q = $\gamma \cdot D_f$ = *Efectedive overburden Pressure*

N_c, N_q, N_γ = Faktor –faktor kapasitas daya dukung Terzaghi

**Tabel 1. Faktor Daya Dukung Terzaghi
untuk Kondisi *General Shear Failure***

ϕ	N_c	N_q	N_γ	ϕ	N_c	N_q	N_γ
0	5,7	1,00	0,00	26	27,09	14,21	9,84
1	6,00	1,10	0,01	27	29,24	15,90	11,60
2	6,30	1,22	0,04	28	31,61	17,81	13,70
3	6,62	1,35	0,06	29	34,24	19,98	16,18
4	6,97	1,49	0,10	30	37,16	22,46	19,13
5	7,34	1,64	0,14	31	40,41	25,28	22,65
6	7,73	1,81	0,20	32	44,04	28,52	26,87
7	8,15	2,00	0,27	33	48,09	32,23	31,94
8	8,60	2,21	0,35	34	52,64	36,50	38,04
9	9,09	2,44	0,44	35	57,75	41,44	45,41
10	9,61	2,69	0,56	36	63,53	47,16	54,36
11	10,16	2,98	0,69	37	70,01	53,80	65,27
12	10,76	3,29	0,85	38	77,50	61,55	78,61
13	11,41	3,63	1,04	39	85,97	70,61	95,03
14	12,11	4,02	1,26	40	95,66	81,27	115,31
15	12,86	4,45	1,52	41	106,81	93,85	140,51
16	13,68	4,92	1,82	42	119,67	108,75	171,99
17	14,60	5,45	2,18	43	134,58	126,50	211,56
18	15,12	6,04	2,59	44	151,95	147,74	261,60
19	16,56	6,70	3,07	45	172,28	173,28	325,34
20	17,69	7,44	3,64	46	196,22	204,19	407,11
21	18,92	8,26	4,31	47	224,55	241,80	512,84
22	20,27	9,19	5,09	48	258,28	287,85	650,67
23	21,75	10,23	6,00	49	298,71	344,63	831,99
24	23,36	11,4	7,08	50	347,50	415,14	1.072,80
25	25,13	12,72	8,34				

2.4 Daya Dukung Fondasi Tiang Rakit

Metode untuk menghitung kapasitas daya dukung fondasi rakit yang digunakan didalam Tugas Akhir ini yaitu metode Hain & Lee (1978) dan Lee (1993) dimana perkiraan awal jumlah fondasi tiang yang dibutuhkan dapat dicapai dengan mengasumsikan bahwa jika fondasi tiang memikul beban sebesar ξ dari beban kerja, dengan faktor keamanan F_{pr} , maka jumlah tiang yang dibutuhkan dapat diperkirakan dengan menggunakan persamaan:

$$N_t = \frac{\xi * P * F_p}{P_1 * \eta} \quad \dots (2)$$

dimana:

N_t = jumlah tiang

ξ = proporsi beban yang dipikul oleh fondasi tiang

- P = beban rencana fondasi
- F_p = faktor Keamanan yang diinginkan
- P_1 = daya dukung ultimit tiang tunggal
- η = efisiensi kelompok tiang

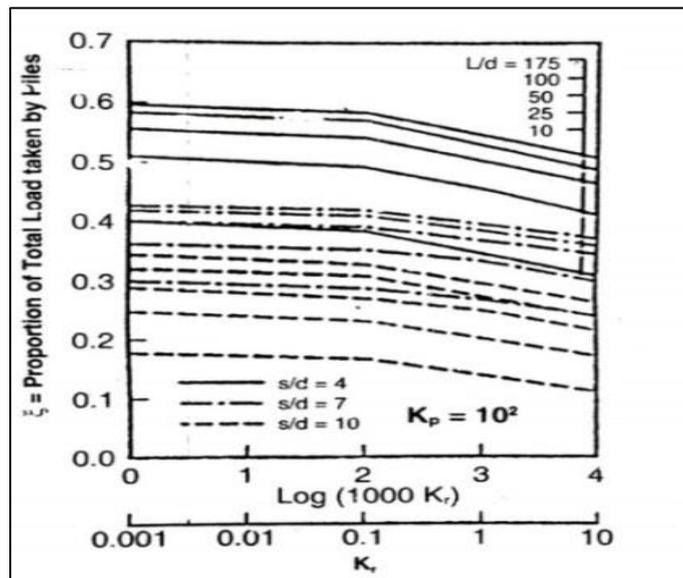
Untuk mencari nilai ξ didapat dari **Gambar 1** atau **Gambar 2** yang sebelumnya menggunakan rumus:

$$K_r = \frac{4 * E_r * t_r^3 * B * (1 - v_s^2)}{3 * \pi * E_s * L^4} \quad \dots (3)$$

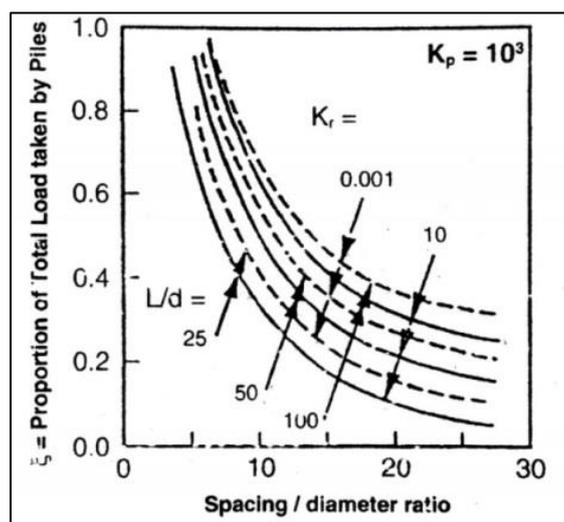
$$K_p = \frac{E_p}{E_s} \quad \dots (4)$$

dimana:

- E_r = modulus elastisitas fondasi rakit
- T_r = ketebalan fondasi rakit
- B = lebar fondasi rakit
- L = panjang fondasi rakit
- E_s = modulus elastis tanah (diasumsikan konstan)
- v_s = angka poisson lapisan tanah
- E_p = modulus elastisitas fondasi tiang
- s = jarak antar tiang
- d = diameter fondasi tiang



Gambar 1. Relatively Compressible Piles ($K_p = 10^2$)
(sumber: Lee, 1993)



Gambar 2. Moderately Stiff Piles ($K_p = 10^3$)
(sumber: Hain & Lee, 1978)

2.5 Penurunan Seketika (*Immediately settlement*)

Penurunan seketika adalah penurunan yang langsung terjadi begitu pembebanan bekerja atau dilaksanakan, biasanya terjadi berkisar antara 0 – 7 hari pada tanah lanau, pasir dan tanah liat yang mempunyai derajat kejenuhan $S_r < 90\%$.

$$s_i = q * B * \frac{1-\mu^2}{E_s} * I_w \quad \dots (5)$$

dimana:

- q = besarnya tegangan kontak
- B = lebar fondasi
- I_w = faktor pengaruh yang tergantung dari bentuk dan kekakuan fondasi
- μ = angka *poisson ratio*
- E_s = sifat elastisitas tanah

2.6 Penurunan Pada Tiang Rakit

Pada analisa penurunan kelompok tiang pada umumnya menggunakan asumsi satu dari dua hal ekstrim berikut :

1. Pile cap sangat kaku sehingga semua tiang turun bersamaan dan tidak ada perbedaan
2. Pile cap fleksibel, sehingga distribusi beban pada tiang diketahui, pada kasus ini perbedaan penurunan dalam satu kelompok dihitung dan mengabaikan efek adanya rakit.

$$\frac{\Delta S}{S_{av}} = f \quad \text{untuk } R > 4 \quad \dots (6)$$

$$\frac{\Delta S}{S_{av}} = \frac{fR}{4} \quad \text{untuk } R \leq 4 \quad \dots (7)$$

Dimana $f = 0.3$ untuk posisi tengah pile cap ke tengah tepid an $0,5$ posisi tengah pile cap ke ujung pile cap.

$$R = \left(\frac{n * s}{L} \right)^{0.5} \quad \dots (8)$$

dimana:

n = jumlah tiang

s = jarak antara tiang

L = panjang tiang

3. ANALISIS DATA

3.1 Pengumpulan Data

Data-data yang digunakan untuk tugas akhir ini berupa data parameter tanah dan data parameter fondasi diperoleh dari proyek delta Mahakam dan diperoleh dari parameter yang direkomendasikan oleh Mayerhof (1956), Terzaghi & Peck (1967), dan Bowles (1997).

3.2 Pemodelan Pondasi Dengan Menggunakan Program PLAXIS 2D

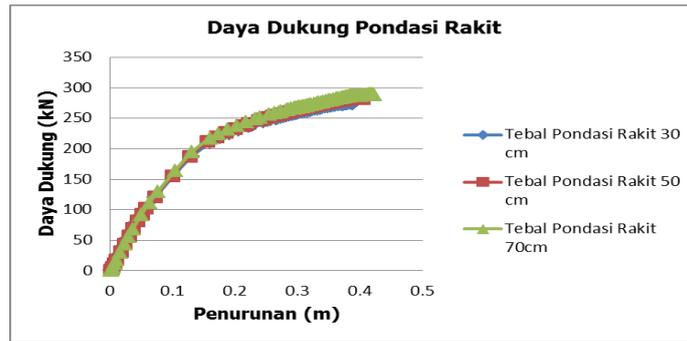
Setelah mendapatkan data parameter tanah dan data Fondasi untuk studi kasus diatas, selanjutnya dilakukan pemodelan dengan bantuan program PLAXIS 2D yang dilakukan dengan metode elemen hingga. Dan hasil dari metode ini berupa kapasitas daya dukung pondasi dan penurunan yang terjadi. Tahapan analisis pada tugas akhir ini dapat dilihat pada **Gambar 4**.

Tabel 2. Data Parameter Tanah

No	Nama	γ_{unsat} kN/m ³	γ_{sat} kN/m ³	E kN/m ²	ν	ϕ °	c kN/m ²	k_x m/hari	k_y m/hari
1	<i>Medium dense Sand</i>	19	20	45.000	0,3	50	4	0,00015	0,00015
2	<i>Soft clay</i>	16	16,5	3.000	0,4	10	15	0,00007	0,00007
3	<i>Sand Lenses</i>	17	18	10.000	0,35	10	10	0,0005	0,0005
4	<i>Sand mixtures</i>	18	19	15.000	0,35	10	30	0,0005	0,0005

Tabel 3. Data Parameter Beton

Nama	γ_{unsat} kN/m ³	γ_{sat} kN/m ³	E kN/m ²	ν
Beton	24	24	19.149.255,86	0,2



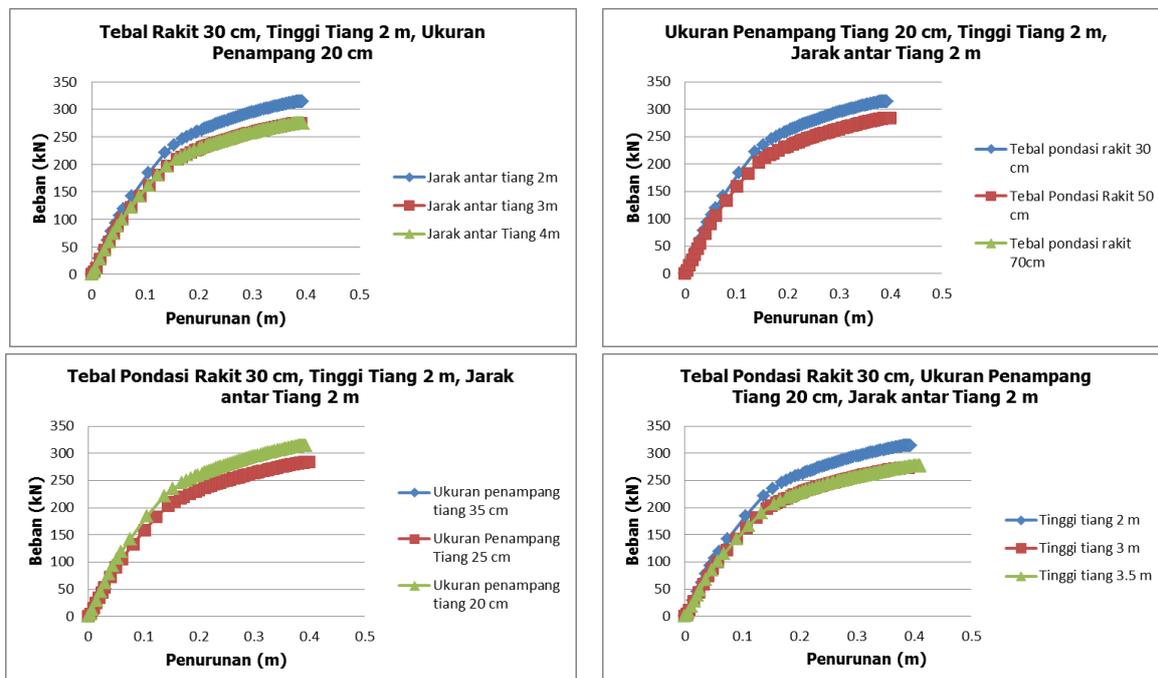
Gambar 4. Grafik hubungan penurunan dan beban pada fondasi rakit

Tabel 4. Rekapitulasi Daya Dukung Fondasi Rakit

Tebal Pondasi Rakit (cm)	Daya Dukung (kN)
30	89,76
50	90,91
70	92,164

3.3 Analisis Daya Dukung Fondasi Tiang Rakit Metode Elemen Hingga

Analisis daya dukung pondasi tiang rakit metode elemen hingga dilakukan pada timbunan di atas tanah lunak. Variasi ukuran penampang tiang digunakan adalah tiang diameter 20 cm, 25 cm, dan 35 cm. Variasi tebal rakit yang digunakan adalah 30 cm, 50 cm, dan 70 cm. Variasi Tinggi tiang yang digunakan adalah 2 m, 3 m, dan 3,5 m. Variasi jarak antar tiang yang digunakan adalah 2 m, 3 m, dan 4 m. Grafik hubungan penurunan dan beban dapat dilihat pada **Gambar 5**. Daya dukung diperoleh dengan batasan penurunan yang diizinkan yaitu sebesar 5 cm. Rekapitulasi hasil analisis daya dukung lateral Fondasi tiang rakit dapat dilihat pada **Tabel 5**.



Gambar 5. Grafik hubungan penurunan dan beban fondasi tiang rakit

Tabel 5. Daya Dukung Fondasi Tiang Rakit

Ukuran Penampang Tiang (cm)	Jarak antar Tiang (m)	Tinggi Tiang (m)	Tebal fondasi Rakit (cm)	Daya Dukung (kN)
20	2	2	30	102,24
20	3	2	30	89,48
20	4	2	30	86,59

Hasil dari metode elemen hingga menunjukkan bahwa jarak antar tiang, menambah panjang tiang, memperbesar ukuran penampang dan menambah tebal fondasi rakit tidak terlalu berpengaruh pada kapasitas daya dukung fondasi rakit dapat dilihat daya dukung terbesar pada ukuran penampang 20 cm, jarak antar tiang 2m, tinggi tiang 2m dan tebal fondasi rakit 30 cm yaitu sebesar 102.24 kN.

3.4 Perbandingan Metode Elemen Hingga dan Metode Terzaghi

Hasil analisis dengan metode elemen hingga akan dibandingkan dengan metode Terzaghi. Hasil analisis dari kedua metode tersebut sama jika tebal fondasi rakit semakin tebal maka kapasitas daya dukung semakin besar, hal tersebut dapat dilihat pada **Tabel 6**.

Tabel 6. Perbandingan Daya Dukung analisis Elemen Hingga dan Metode Terzaghi

Tebal Pondasi Rakit (cm)	Daya Dukung Metode elemen Hingga (kN)	Daya Dukung Metode Terzaghi (kN)
30	89,76	36,12
50	90,91	42,36
70	92,164	49,56

3.5 Perbandingan Metode Elemen Hingga dan Metode Hain & Lee

Hasil analisis dengan metode elemen hingga akan dibandingkan dengan metode Hain & Lee dan dibahas. Hasil analisis dari kedua metode tersebut tidak terlalu jauh berbeda. Kapasitas daya dukung terbesar metode elemen hingga yaitu pada jarak antar tiang 2 m dengan nilai 102.24 kN dikarenakan jumlah tiang lebih banyak. kapasitas daya dukung terbesar metode Hain & Lee yaitu pada jarak antar tiang 4 m dengan nilai 155.28 kN. Perbandingan antara kedua metode tersebut dapat dilihat pada **Tabel 7**.

Tabel 7. Perbandingan Metode Elemen HInggA dan Metode Hain & Lee

Ukuran Penampang Tiang (cm)	Jarak antar Tiang (m)	Tinggi Tiang (m)	Tebal Pondasi Rakit (cm)	Daya Dukung Metode Elemen Hingga (kN)	Daya Dukung Metode Hain & Lee (kN)
20	2	2	30	102,24	64,32
20	3	2	30	89,48	67,01
20	4	2	30	86,59	69,87

3.6 Penurunan Pondasi Rakit Elemen Hingga

Analisis penurunan fondasi rakit metode elemen hingga dilakukan pada timbunan di atas tanah lunak. Variasi ukuran tebal rakit yang digunakan adalah 30cm, 50cm, dan 70cm. Beban dari data studi kasus digunakan untuk menganalisis penurunan menggunakan metode elemen hingga. Hasil dari metode elemen hingga menunjukkan bahwa memperbesar ukuran tebal rakit maka penurunan yang terjadi semakin kecil karena, pondasi rakit semakin kaku. Dapat dilihat pada **Tabel 8**.

Tabel 8. Hasil Penurunan Metode Elemen Hingga

Tebal Pondasi Rakit (cm)	Penurunan Metode Elemen Hingga (m)
30	0,0155
50	0,0159
70	0,0163

3.7 Penurunan Pondasi Tiang Rakit Metode Elemen Hingga

Analisis penurunan fondasi tiang rakit metode elemen hingga dilakukan pada timbunan di atas tanah lunak. Variasi ukuran penampang tiang digunakan adalah tiang diameter 20 cm, 25 cm, dan 35 cm. Variasi tebal rakit yang digunakan adalah 30 cm, 50 cm, dan 70 cm. Variasi Tinggi tiang yang digunakan adalah 2 m, 3 m, dan 3,5 m. Variasi jarak antar tiang yang digunakan adalah 2 m, 3 m, dan 4 m. Beban dari data studi kasus digunakan untuk menganalisis penurunan menggunakan elemen hingga. Hasil dari metode elemen hingga menunjukkan bahwa jarak antar tiang semakin renggang penurunan yang terjadi semakin kecil, dapat dilihat pada **Tabel 9**.

Tabel 9. Hasil Penurunan Metode Elemen Hingga

Ukuran Penampang Tiang (cm)	Jarak antar Tiang (m)	Tinggi Tiang (m)	Tebal Pondasi Rakit (cm)	Penurunan (m)
20	2	2	30	0,0119
20	3	2	30	0,0115
20	4	2	30	0,0112

3.8 Perbandingan Penurunan Metode Elemen Hingga dan Metode Analisis

Hasil analisis dengan metode elemen hingga akan dibandingkan dengan metode analisis. Hasil dari kedua analisis tersebut berbeda. Hasil metode elemen hingga semakin tebal fondasi rakit maka semakin kecil penurunan sedangkan, metode analisis semakin tebal fondasi rakit maka semakin besar penurunannya. Hasil perbandingan dapat dilihat pada **Tabel 10**.

Tabel 10. Perbandingan Penurunan

Tebal Pondasi Rakit (cm)	Penurunan Metode Elemen Hingga (m)	Penurunan Metode Analisis (m)
30	0,0155	0,0187
50	0,0159	0,0191
70	0,0163	0,0121

3.9 Perbandingan Penurunan Metode Elemen Hingga dan Metode Randolph

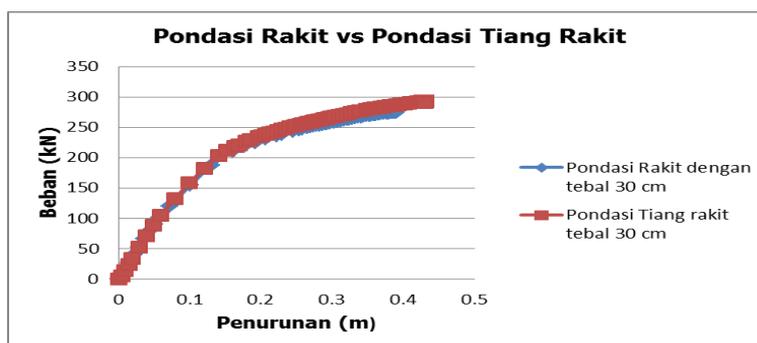
Hasil analisis dengan metode elemen hingga akan dibandingkan dengan metode Randolph. Hasil dari kedua analisis tersebut sama bahwa semakin renggang jarak antar tiang penurunan semakin kecil. Hasil perbandingan dapat dilihat pada **Tabel 11**.

Tabel 11. Perbandingan Penurunan

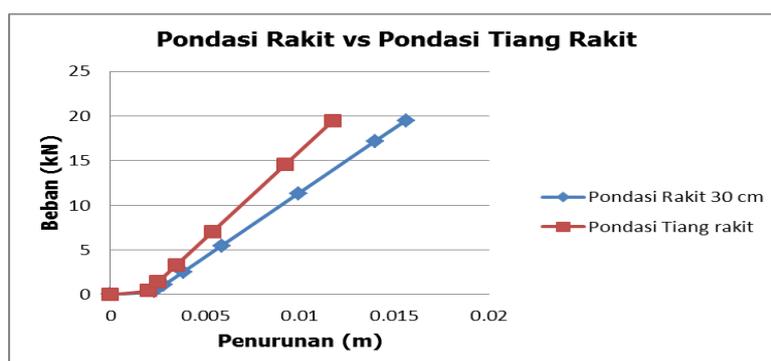
Jarak antar tiang (m)	Tinggi tiang (m)	Penurunan Metode Elemen Hingga (m)	Penurunan Metode Randolph (m)
2	2	0,0119	0,0111
	3	0,0124	0,0126
	3.5	0,0128	0,0146
3	2	0,0117	0,0102
	3	0,0119	0,0125
	3.5	0,0123	0,0136
4	2	0,0114	0,0104
	3	0,0117	0,0129
	3.5	0,0122	0,0142

3.10 Perbandingan Fondasi Rakit dan Fondasi Tiang Rakit

Pada studi kasus ini dilakukan perbandingan daya dukung dan penurunan fondasi rakit dan tiang rakit. Hasil perbandingan daya dukung dapat dilihat pada **Gambar 6** dan hasil perbandingan penurunan dapat dilihat pada **Gambar 7**. Hasil menunjukkan bahwa menambah tiang pada fondasi rakit dapat meningkatkan daya dukung dan memperkecil penurunan.



Gambar 6. Perbandingan daya dukung



Gambar 7. Perbandingan penurunan

4. KESIMPULAN

1. Tebal fondasi rakit berpengaruh terhadap peningkatan kapasitas daya dukung dan penurunan.
2. Pada fondasi tiang rakit menambah besar ukuran penampang, menambah tinggi tiang, mempertebal pondasi rakit dan menambah jarak antar tiang tidak terlalu berpengaruh pada kapasitas daya dukung fondasi tiang rakit.
3. Pada fondasi tiang rakit penurunan yang terjadi dipengaruhi oleh tinggi tiang dan jarak antar tiang, jarak antar tiang berpengaruh terhadap penurunan diakibatkan jumlah tiang yang lebih banyak.
4. Perbedaan hasil metode elemen hingga dan metode Terzaghi pada kapasitas daya dukung fondasi rakit disebabkan oleh asumsi yang dipakai.
5. Perbedaan hasil metode elemen hingga dan metode Hain & Lee pada kapasitas daya dukung fondasi tiang rakit disebabkan oleh proporsi beban yang dipikul oleh fondasi tiang dan efisiensi kelompok tiang.
6. Perbedaan hasil metode elemen hingga dan metode analisis pada penurunan disebabkan oleh asumsi angka *poisson ratio* dan nilai kekakuan pondasi.
7. Perbedaan hasil metode elemen hingga dan metode Randolph pada penurunan disebabkan karena pada metode Randolph ukuran penampang tiang dan tebal pondasi rakit tidak diperhitungkan dan nilai koreksi rigiditas.
8. Perbandingan antara pondasi rakit dan tiang rakit menunjukkan bahwa adanya tiang dalam fondasi rakit dapat meningkatkan kapasitas daya dukung dan memperkecil penurunan.

DAFTAR RUJUKAN

- Das, B.M. (1985). Mekanika Tanah (Prinsip-Prinsip Rekayasa Geoteknis) Jilid 1. Jakarta: Erlangga.
- Das, B.M. (1990). Shallow Foundation Bearing Capacity and Settlement Jilid 6. New York: Wiley & Sons.
- Plaxis (2013) AE. (2013) Tutorial Manual 2013. Netherland: Plaxis BV
- Universitas Katolik Parahyangan. (2013). Manual Pondasi Tiang Edisi 4. Program Doktor dan Magister Teknik Sipil. Bandung: Jurusan Teknik Sipil Universitas Katolik Parahyangan.