

ANALISIS FONDASI TIANG RAKIT YANG MENYATU DI SUATU BANGUNAN YANG MEMILIKI TRIBUN DAN TOWER

Teja Laksmiana¹ dan Aniek Prihatiningsih²

¹Program Studi Sarjana Teknik Sipil, Universitas Tarumanagara, Jl. Letjen S. Parman No.1 Jakarta
teja_laksmiana@yahoo.com

²Program Studi Sarjana Teknik Sipil, Universitas Tarumanagara, Jl. Letjen S. Parman No.1 Jakarta
aniekp@ft.untar.ac.id

Masuk: 16-01-2020, revisi: 29-04-2020, diterima untuk diterbitkan: 14-05-2020

ABSTRACT

Foundation is a part of an engineering changes system that continuing load supported by the load itself into the land/ground and rocks that located underneath. High level building are usually built using deep foundation likely : bore pile or stake pile, but there are also high level building that are built on raft foundation that is one of shallow foundation. Function of Raft foundation is to spread out the load from land structure underneath that consist of widespread single plate, and support structure load upward (Aratus, 2004). Building are usually have tower and podium side which the load is different. The aims of this study are for comparison the settlement happen on flexible raft pile foundation in accordance with the load that are borne by themselves. If the load that are borne bigger than tower, therefore the settlement which happen are also bigger compared with the settlement on podium area. the reduction in the length of the pile obtained also differ between the tower and the podium so that savings can be made in terms of cost.

Keywords: raft foundation; pile foundation; settlement; flexible; piled raft

ABSTRAK

Fondasi merupakan bagian dari suatu sistem rekayasa yang meneruskan beban yang ditopang serta beratnya sendiri ke dalam tanah dan batuan yang terletak di bawahnya. Bangunan bertingkat tinggi biasanya dibangun menggunakan fondasi dalam seperti tiang bor atau tiang pancang, tetapi ada juga bangunan bertingkat tinggi yang dibangun di atas fondasi rakit yang merupakan salah satu dari fondasi dangkal. Fondasi rakit berfungsi untuk menyebarkan beban dari struktur tanah di bawahnya yang terdiri dari pelat tunggal yang meluas, yang mendukung beban struktur di atasnya. Bangunan gedung biasanya memiliki bagian tower dan podium yang bebannya berbeda. Tujuan dari studi ini adalah untuk membandingkan penurunan yang terjadi pada fondasi tiang rakit fleksibel sesuai dengan beban yang dipikulnya. Apabila beban yang di pikul lebih besar seperti tower maka penurunan yang terjadi juga lebih besar, dibandingkan dengan penurunan pada daerah podium. Selain dibandingkan penurunannya panjang tiang yang didapat juga berbeda antara bagian tower dan podium sehingga dapat dilakukan penghematan dari segi biaya.

Kata kunci: fondasi rakit; fondasi tiang; penurunan; fleksibel; tiang rakit

1. PENDAHULUAN

Fondasi adalah bangunan struktur yang berada pada susunan paling bawah suatu bangunan, fondasi merupakan bagian dari suatu sistem rekayasa yang meneruskan beban yang ditopang serta beratnya sendiri ke dalam tanah dan batuan yang terletak di bawahnya (Bowles, 1988). Dalam pemilihan jenis fondasi ada banyak faktor yang menentukan, antara lain beban yang direncanakan, jenis tanah, dan biaya. Ada berbagai macam jenis fondasi yaitu fondasi dangkal dan fondasi dalam, salah satu fondasi dangkal adalah fondasi rakit yang umumnya digunakan dalam bangunan. Fondasi rakit adalah pelat beton besar yang digunakan untuk mengantarai permukaan (*interface*) dari satu atau lebih kolom dalam beberapa garis atau jalur dengan permukaan tanah (Surjandari, 2007). Tetapi, apabila fondasi ini mengalami penurunan yang melebihi batas ijin, biasanya akan digabungkan dengan fondasi dalam yaitu fondasi tiang. Fondasi tiang biasanya akan ditambahkan di bawah fondasi rakit dan menjadi fondasi tiang rakit yang bertujuan untuk mengurangi penurunan agar tidak melebihi batas ijin. Pada penelitian ini fondasi rakit yang digunakan adalah elastis. Bangunan gedung biasanya memiliki daerah tower dan podium seperti Menara Jakarta atau Taman Anggrek, beban pada bagian tower lebih besar dari pada bagian podium, sehingga penurunan yang terjadi pada fondasi tiang rakit yang memikul bagian tower lebih besar dari pada bagian podium. Selain itu apabila perbedaan penurunan antara podium

dan *tower* tidak memenuhi syarat, tiang di bagian podium dapat di buat lebih pendek sehinga penurunan pada daerah podium lebih dalam yang membuat daerah tower dan podium turun berbarengan, selain itu dapat dilakukan penghematan dari segi biaya. Pada penelitian ini diameter tiang yang digunakan sama, hanya membedakan panjang tiang. Beban yang dihitung hanya beban aksial, tidak menghitung aksial dan momen. Tidak menghitung pembesian tiang bor. Tujuan pada penelitian ini adalaah membandingkan nilai penurunan dan kedalaman tiang yang digunakan pada fondasi tiang rakit Mengetahui daya dukung pada fondasi tiang rakit.

Pengertian fondasi rakit

Fondasi rakit adalah pelat beton besar yang digunakan untuk mengantarai permukaan (*interface*) dari satu atau lebih kolom di dalam beberapa garis atau jalur dengan tanah dasar (Surjandari, 2007). fondasi rakit merupakan salah satu jenis dari fondasi dangkal, berupa fondasi telapak sebar (*spread foating*) atau fondasi rakit (*raft foundation*) yang berfungsi untuk menyebarkan beban dari struktur ke tanah di bawahnya yang terdiri dari pelat tunggal yang meluas, yang mendukung beban struktur diatasnya (Aratua, 2004). Sebuah fondasi rakit boleh digunakan di mana tanah dasar mempunyai daya dukung yang rendah atau beban yang begitu besar, sehingga lebih dari 50 persen dari luas, ditutupi oleh fondasi telapak secara konvensional. fondasi rakit boleh ditopang oleh tiang pancang atau tiang bor. Fondasi rakit akan ditambah tiang apabila penurunan yang terjadi pada fondasi melebihi batas ijin.

Daya dukung fondasi rakit

Metode untuk menghitung kapasitas daya dukung fondasi rakit yang digunakan pada skripsi ini yaitu metode Terzaghi (1943) dengan asumsi keruntuhan geser menyeluruh, dengan persamaan:

$$q_{ult} = c \times N_c \times S_c + q \times N_q + 0.5 \times \gamma \times B \times N_\gamma \times S_\gamma \quad (1)$$

dengan q_{ult} = Daya Dukung Metode Terzaghi, c = Kohesi, N_c = Faktor Kapasitas Daya Dukung Terzaghi, S_c = Faktor Bentuk Fondasi, q = *Effective Overburden Pressure*, N_q = Faktor Kapasitas Daya Dukung Terzaghi, γ = Berat Jenis Tanah, B = Lebar Alas Fondasi, N_γ = Faktor Kapasitas Daya Dukung Terzaghi, S_γ = Faktor Bentuk Fondasi.

Tabel 1. Faktor bentuk fondasi

<i>For</i>	<i>Strip</i>	<i>Round</i>	<i>Square</i>
S_c	1,0	1,3	1,3
S_γ	1,0	0.6	0.8

(Sumber: Bowles, 1997)

Tabel 2. Faktor kapasitas daya dukung terzaghi

ϕ , deg	N_c	N_q	N_γ	K_{py}
0	5,7	1	0	10,8
5	7,3	1,6	0,5	12,2
10	9,6	2,7	1,2	14,7
15	12,9	4,4	2,5	18,6
20	17,7	7,4	5	25
25	25,1	12,7	9,7	35
30	37,2	22,5	19,7	52
34	52,6	36,5	36	
35	57,8	41,4	42,4	82
40	95,7	81,3	100,4	141
45	172,3	173,3	294,5	298
48	258,3	287,9	780,1	
50	347,5	415,1	1153,2	800

(Sumber: Bowles, 1997)

Tabel 1 dan 2 digunakan untuk mencari koefisien yang dibutuhkan dalam menghitung daya dukung fondasi rakit berdasarkan bentuk fondasi dan kondisi tanah.

Daya dukung fondasi tiang

Tipe fondasi tiang yang akan digunakan dalam penelitian ini adalah tiang bor dan Persamaan yang digunakan untuk menghitung daya dukung pada secara umum yang dihitung menggunakan metode Reese & Wright (1977) dan Coyle and Castello (1981) adalah :

$$Q_u = Q_p + Q_s - W_p \quad (2)$$

dengan Q_u = daya dukung ultimit tiang, Q_p = daya dukung ultimit ujung tiang, Q_s = daya dukung ultimit selimut tiang, W_p = berat fondasi tiang

Analisis daya dukung ujung tiang

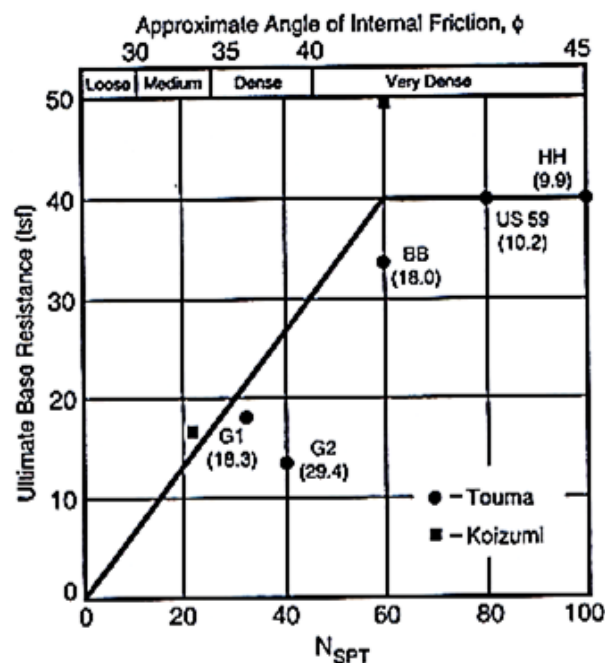
Persamaan yang digunakan untuk menghitung daya dukung ujung tiang pada penelitian adalah metode Reese & Wright (1977) dan Coyle and Castello (1981) :

- Reese & Wright (1977)

$$Q_p = \frac{A \times q_p}{F_k} \quad (3)$$

dengan A = luas penampang tiang bor, F_k = faktor keamanan, q_p = tahanan ujung per satuan luasan

Untuk tanah kohesif, besar tahanan ujung per satuan luas dan q_p , diambil sebesar 9 kali kuat geser tanah. Sedangkan untuk tanah non-kohesif, Reese mengusulkan korelasi antara q_p dengan N_{spt} seperti pada Gambar 1

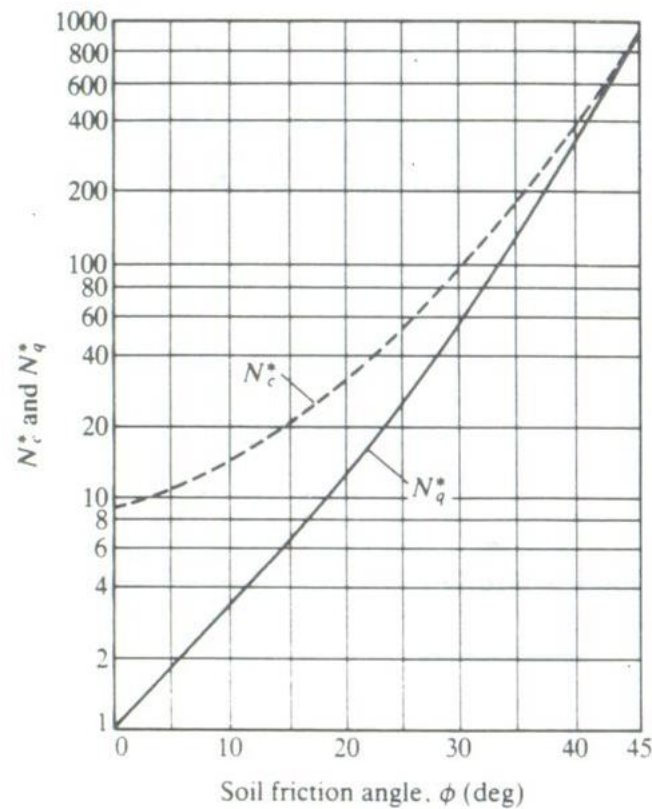


Gambar 1. Tahanan ujung ultimit pada tanah non-kohesif (Sumber: Reese & Wright, 1977)

-Coyle and Castello (1981) :

$$Q_p = \frac{q \times N_q \times A}{F_k} \quad (4)$$

dengan q = tegangan vertikal efektif di ujung tiang, A = luas penampang tiang bor, F_k = faktor keamanan, N_q = faktor kapasitas dukung, Untuk nilai N_q didapat dari korelasi seperti pada gambar 2



Gambar 2. Faktor daya dukung ujung N_c dan N_q (Sumber: Meyerhof, 1976)

Analisis daya dukung selimut tiang

Persamaan yang digunakan untuk menghitung daya dukung selimut tiang pada penelitian ini adalah metode Reese & Wright (1997) dan Coyle and Castello (1981).

- Reese & Wright (1997)

$$Q_s = f_s \times L \times p / F_k \quad (5)$$

dengan f_s = gesekan selimut tiang, L = panjang tiang, p = keliling penampang tiang

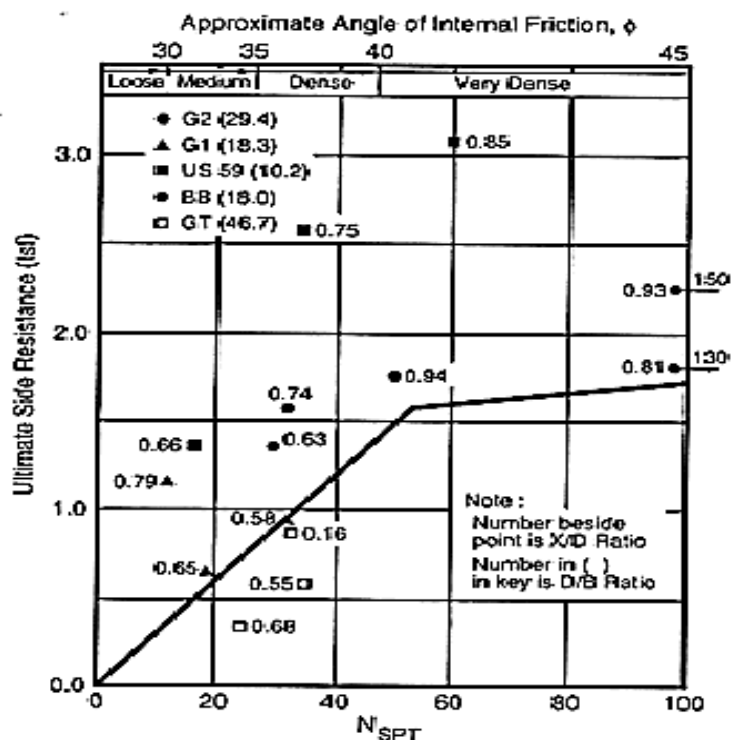
Gesekan selimut tiang persatuan luas tiang (f_s) dipengaruhi oleh jenis tanah dan parameter kuat geser tanah (S_u). Untuk tanah kohesif digunakan rumus:

$$f_s = \alpha \times c_u \quad (6)$$

dengan α = faktor adhesi, c_u = Kohesi tanah

Berdasarkan penelitian Reese, faktor adhesi (α) dapat diambil sebesar 0,55.

Pada tanah non-kohesif, nilai f_s dapat diperoleh dari korelasi langsung dengan N_{spt} seperti pada Gambar 3



Gambar 3. Hubungan tahanan selimut ultimit terhadap nspt pada tanah non-kohefif
(Sumber: Reese & Wright, 1997)

- Coyle and Castello (1981) :

$$Q_s = \frac{K \times \sigma_o' \times \tan \delta' \times p \times L}{FK} \quad (7)$$

dengan K= koefisien berdasarkan material, σ_o' = rata-rata tekanan efektif overburden = sudut geser tiang-tanah = 0.8ϕ , δ' = sudut geser tiang-tanah = $0.8 \times \phi$, L = panjang tiang (m), p = keliling penampang tiang (m)

Tabel 3. Penentuan nilai K dan δ

Material tiang	δ	Nilai K	
		D_r rendah	D_r tinggi
Baja	20°	0,5	1,0
Beton	$3/4.\phi$	1,0	2,0
Kayu	$2/3.\phi$	1,5	4,0

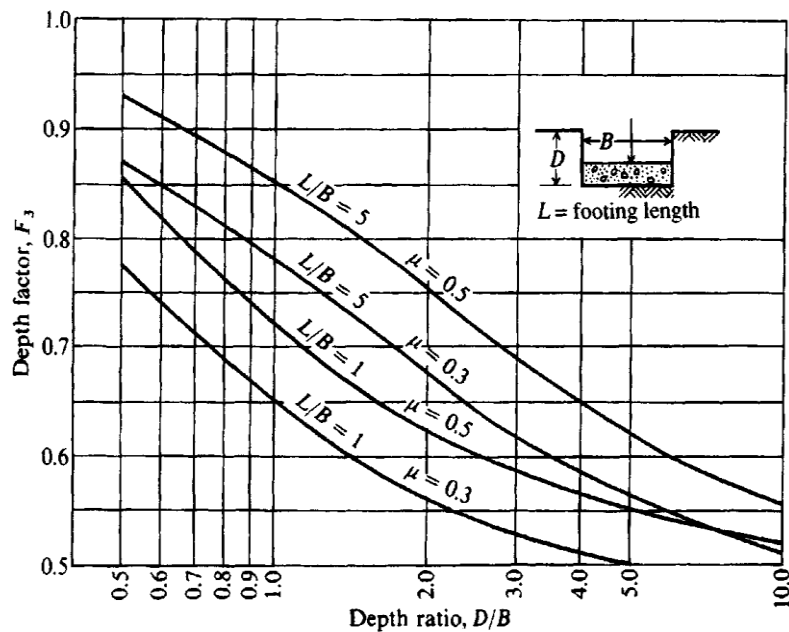
(Sumber: Tomlinson, 1986 dalam Manual Pondasi Tiang, 2017)

Penurunan elastis

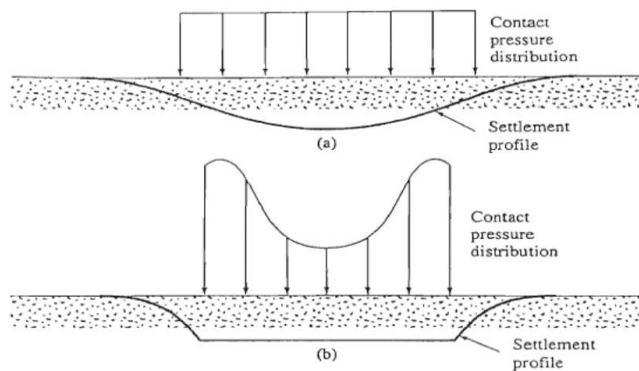
Persamaan yang digunakan untuk mendapatkan penurunan elastis pada penelitian ini merupakan persamaan yang dianjurkan oleh Steinbrenner:

$$S_e = q_o \times B' \times \frac{1-\mu^2}{E_s} \times \left(I_1 + \frac{1-2\mu}{1-\mu} \times I_2 \right) \times I_f \quad (8)$$

dengan S_e = penurunan elastasis [m], q_o = tegangan pada dasar lapisan tanah [kN/m^2], B' = ukuran paling minim fondasi [m], μ , E_s = parameter tanah elastis, I_1 , I_2 , I_f = faktor pengaruh dari perbandingan L'/B' , H dan D dapat dilihat pada (Bowless, 1997:5).



Gambar 4. Faktor pengaruh I_f akibat kedalaman fondasi (Sumber: Bowless, 1997:5)



Gambar 5. Penurunan pada fondasi dangkal a. Flexible Foundation b. Rigid Foundation.

$B' = B/2$ untuk penurunan pada tengah fondasi $= B$ untuk tepi fondasi I_i , $L' = L/2$ untuk penurunan pada tengah fondasi $= L$ untuk tepi fondasi I_i , $N = H/B'$, $M = L/B$

Penurunan konsolidasi primer

Persamaan primer dibagi menjadi dua, yaitu terkonsolidasi normal (NC) dan terkonsolidasi berlebih (OC). Konsolidasi normal (NC) (Terkonsolidasi secara normal), dimana tegangan efektif overburden saat ini merupakan tegangan maksimum yang pernah dialami oleh tanah selama dia ada. Konsolidasi berlebih (OC), dimana tegangan efektif overburden saat ini lebih kecil daripada tegangan yang pernah dialami oleh tanah tersebut. Tegangan efektif overburden maksimum yang pernah dialami sebelumnya dinamakan tegangan prakonsolidasi. (*preconsolidation pressure / PC*) (Coduto, 2001:2).

Untuk terkonsolidasi normal:

$$S_p = \frac{C_c \times H}{1 + e_o} \times \log \left(\frac{p'_o + \Delta P}{p'_o} \right) \quad (9)$$

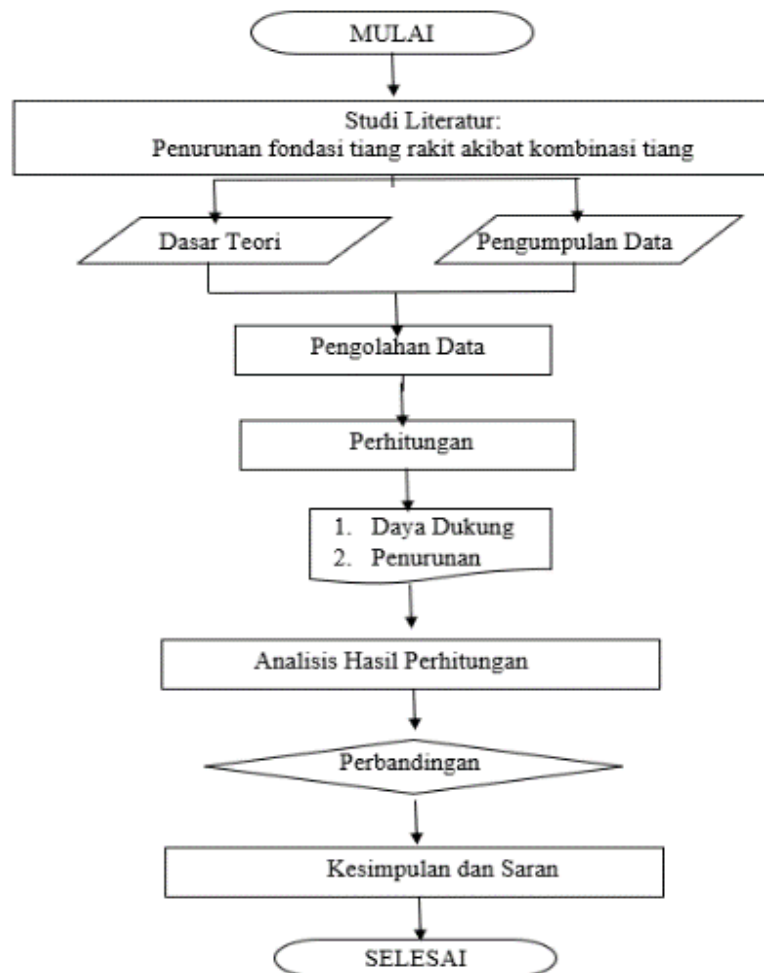
Untuk terkonsolidasi berlebih:

$$S_p = \frac{C_s \times H}{1 + e_o} \times \log \left(\frac{p'_o + \Delta P}{p'_o} \right) \quad (10)$$

dengan S_p = penurunan konsolidasi primer [m], C_c = index kompresi, C_s = *swelling index*, H = tebal lapisan [m], e_o = *initial void ratio*, p'_o = tegangan efektif [kN/m^2], ΔP = tegangan pada lapisan ketika terbebani [kN/m^2]

2. METODE PENELITIAN

Pada bab ini akan dibahas mengenai tahapan yang akan dilakukan dalam penulisan skripsi ini yang akan dijelaskan melalui diagram alir penelitian.

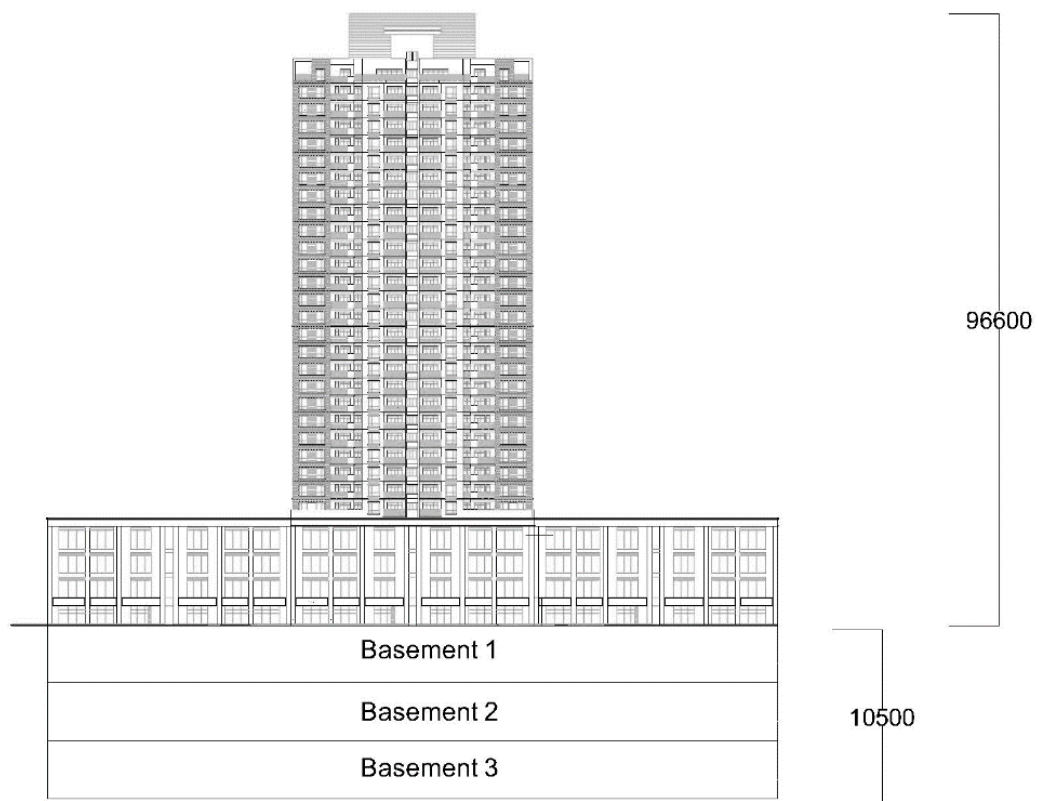


Gambar 6. Diagram alir metode penelitian

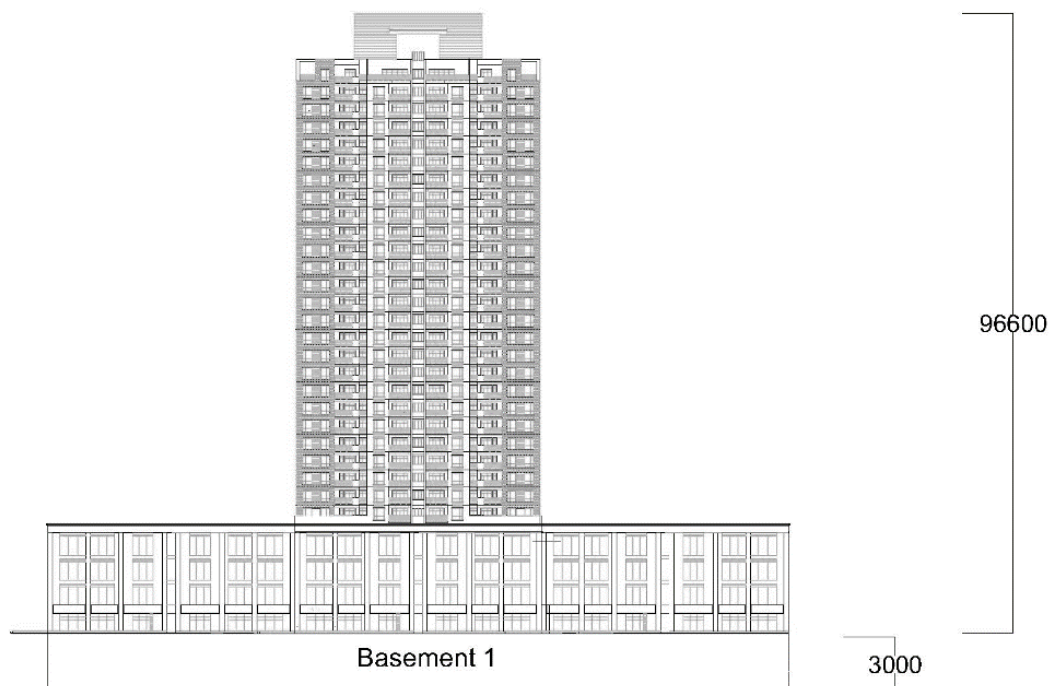
3. HASIL DAN PEMBAHASAN

Asumsi beban bangunan

Perhitungan berat bangunan yaitu dengan menghitung volume total dari bangunan lalu dikalikan dengan berat jenis beton



Gambar 7. Bentuk bangunan dengan basement yang akan dihitung pada tanah lempung



Gambar 8. Bentuk bangunan dengan basement yang akan dihitung pada tanah pasir

Perhitungan pada penelitian ini menggunakan 2 data tanah yaitu tanah lempung dan tanah pasir, pada tanah lempung diasumsikan bangunan memiliki basement sampai kedalaman 10,5 m dan pada tanah pasir kedalaman basement sampai 3 m yang bentuk bangunannya dapat dilihat pada gambar 7 dan gambar 8.

Tabel 4. Asumsi berat bangunan

Jenis Beban	Berat (kN)
Berat Tower	3637712,73
Berat Podium	689131,91
Berat Basement 1	395403,56
Berat Basement 2	112972,45
Berat Podium + Basement 1 – Berat Galian	824824,27
Berat Podium + Basement 2 – Berat Galian	708024,36
Berat Tower + Basement 1 – Berat Galian	3773405,09
Berat Tower + Basement 2 – Berat Galian	3656605,18
Berat Total + Basement 1 – Berat Galian	5423053,63
Berat Total + Basement 2 – Berat Galian	5072653,90

Pada penelitian ini berat bangunan didapat dari volume bangunan yang akan dihitung lalu dikalikan dengan berat jenis beton yang hasilnya dapat dilihat di tabel 4.

Berat Jenis Beton yang digunakan = $2400 \text{ kg/m}^3 = 23.5359 \text{ kN/m}^3$

Daya dukung fondasi rakit

Nilai daya dukung fondasi rakit diperoleh dengan menggunakan rumus 1 Pada diperoleh kapasitas daya dukung fondasi rakit yang diperoleh pada tanah lempung sebesar $15965,34 \text{ kN/m}^2$ di kedalaman 13 m dan sebesar $20343,615 \text{ kN/m}^2$ di kedalaman 5,5 m pada tanah pasir.

Daya dukung fondasi tiang

Dari hasil analisis dengan rumus yang dikemukakan oleh Reese and Wright (1997) dan Coyle and Castello (1981) diperoleh daya dukung masing tiang yang hasilnya dapat dilihat pada Tabel 5.

Tabel 5. Kapasitas daya dukung tiang

Diameter Bor Pile (m)	Daya Dukung (kN)	
	Pada Tanah Lempung 30 m (kN)	Pada Tanah Pasir 30 m (kN)
1	3.709,66	3.987,93

Distribusi beban

Distribusi beban dalam penelitian ini mengacu dari SNI 8460:2017 Persyaratan Perancangan Geoteknik. Pada pasal 9.4.5 Ayat B dinyatakan “Dalam mendesain penulangan fondasi tiang-rakit kondisi terkritik antara kombinasi 75% beban diterima fondasi rakit dan 25% diterima oleh fondasi tiang dan kombinasi 25% beban diterima fondasi rakit dan 75% diterima oleh fondasi tiang. Pada perhitungan jumlah tiang dan penurunan, distribusi beban dibagi menjadi dua kombinasi. Kombinasi pertama adalah beban yang diterima fondasi rakit sebesar 75% dan fondasi tiang sebesar 25%, dan kombinasi kedua adalah beban diterima fondasi rakit sebesar 25% dan fondasi tiang sebesar 75%.

Jumlah tiang

Dari hasil analisis dengan kombinasi masing-masing distribusi dan penambahan kedalaman tiang, semakin dalam tiang umumnya nilai kapasitas tiang juga lebih besar, karena kapasitas tiang yang lebih besar maka jumlah tiang yang dibutuhkan untuk menahan bangunan lebih sedikit karena jumlah tiang didapat dari berat total bangunan yang akan ditahan dibagi dengan kapasitas tiang tersebut. Hasil dari jumlah tiang yang dibutuhkan dapat dilihat pada Tabel 6 dan 7 untuk tanah lempung dan Tabel 8 dan 9 untuk tanah pasir. Jumlah tiang didapat dari total beban yang di tanggung oleh tiang di bagi dengan daya dukung tiang.

Tabel 6. Jumlah tiang kombinasi 1 pada tanah lempung

Kedalaman (m)	Panjang Tiang (m)	Kapasitas Tiang (kN)	Jumlah Tiang
19,00	6,00	1.807,50	907
20,00	7,00	1.965,26	834
21,00	8,00	2.386,91	687
22,00	9,00	2.596,51	631
23,00	10,00	2.674,16	613
24,00	11,00	2.857,83	574
25,00	12,00	2.804,00	585
26,00	13,00	2.941,03	558
27,00	14,00	3.157,22	519
28,00	15,00	3.309,79	495
29,00	16,00	3.541,54	463
30,00	17,00	3.709,66	442

Tabel 7. Jumlah tiang kombinasi 2 pada tanah lempung

Kedalaman (m)	Panjang Tiang (m)	Kapasitas Tiang (kN)	Jumlah Tiang
19,00	6,00	1.807,50	2407
20,00	7,00	1.965,26	2214
21,00	8,00	2.386,91	1823
22,00	9,00	2.596,51	1676
23,00	10,00	2.674,16	1627
24,00	11,00	2.857,83	1523
25,00	12,00	2.804,00	1552
26,00	13,00	2.941,03	1479
27,00	14,00	3.157,22	1378
28,00	15,00	3.309,79	1315
29,00	16,00	3.541,54	1229
30,00	17,00	3.709,66	1173

Tabel 8. Jumlah tiang kombinasi 1 pada tanah pasir

Kedalaman (m)	Panjang Tiang (m)	Kapasitas Tiang (kN)	Jumlah Tiang
19,00	13,00	1.187,98	1306
20,00	14,00	1.246,46	1244
21,00	15,00	2.568,10	604
22,00	16,00	2.719,07	571
23,00	17,00	2.947,04	527
24,00	18,00	3.175,01	489
25,00	19,00	2.216,76	700
26,00	20,00	2.475,48	627
27,00	21,00	2.580,15	601
28,00	22,00	2.707,94	573
29,00	23,00	2.797,21	555
30,00	24,00	3.987,93	389

Tabel 9. Jumlah tiang kombinasi 2 pada tanah pasir

Kedalaman (m)	Panjang Tiang (m)	Kapasitas Tiang (kN)	Jumlah Tiang
19,00	13,00	1.187,98	3441
20,00	14,00	1.246,46	3279
21,00	15,00	2.568,10	1592
22,00	16,00	2.719,07	1504
23,00	17,00	2.947,04	1387
24,00	18,00	3.175,01	1288
25,00	19,00	2.216,76	1844
26,00	20,00	2.475,48	1651
27,00	21,00	2.580,15	1584
28,00	22,00	2.707,94	1510
29,00	23,00	2.797,21	1462
30,00	24,00	3.987,93	1025

Panjang tiang

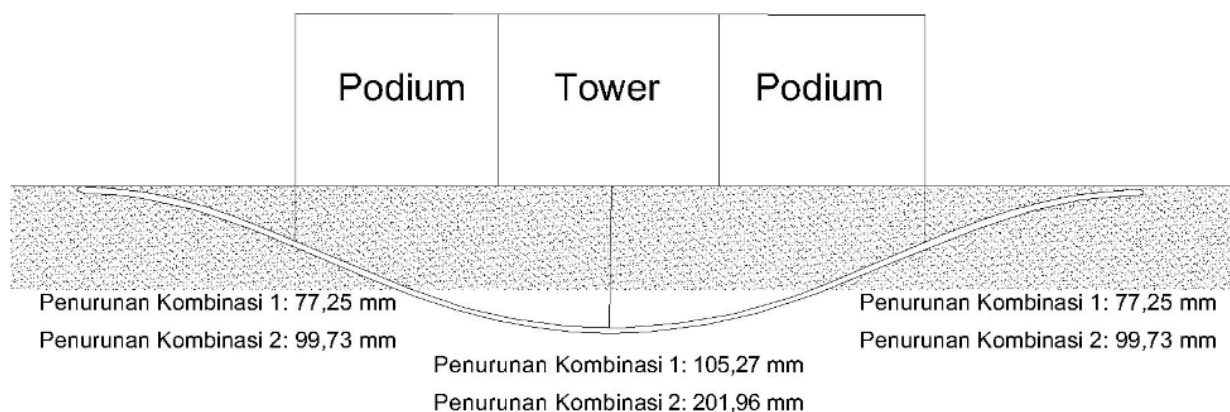
Dari hasil analisis daya dukung tiang, dan jumlah tiang maka panjang tiang yang telah memenuhi syarat jarak antar tiang sebesar 2,5 D dapat dilihat pada Tabel 10.

Tabel 10. Panjang tiang yang digunakan

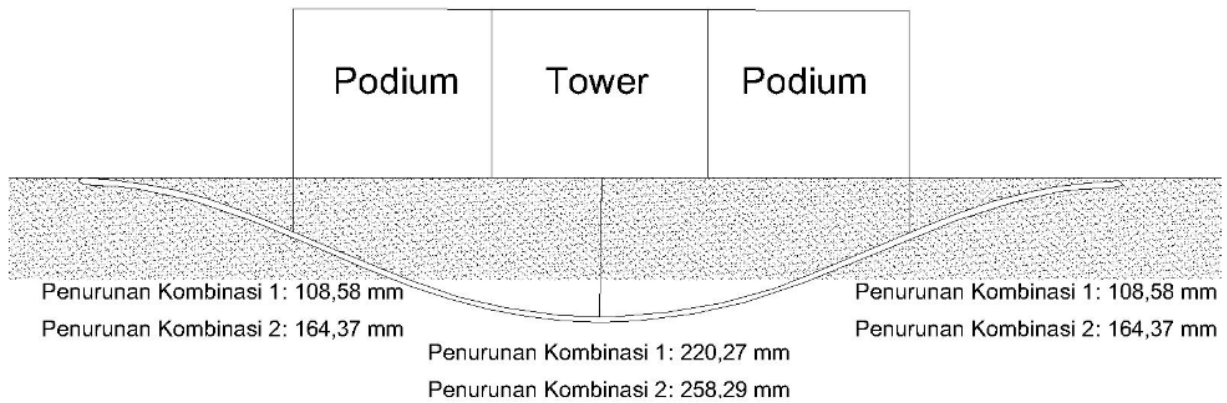
Kombinasi	Panjang Tiang (m)	
	Tanah Lempung	Tanah Pasir
Tahap 1	8.00	15.00
Tahap 2	29.00	31.00

Penurunan

Penurunan yang terjadi pada fondasi tiang rakit untuk tanah lempung dan pasir dapat dilihat pada Gambar 9 dan gambar 10.



Gambar 9. Total penurunan saat bagian tower dan podium menyatu pada tanah lempung



Gambar 10. Total penurunan saat bagian tower dan podium menyatu pada tanah pasir

Karena fondasi rakit yang digunakan pada penelitian ini elastis, maka penurunan yang terjadi berbeda antara sisi fondasi dan tengah fondasi yang perbedaannya dapat dilihat pada Gambar 5 dan hasilnya dapat dilihat pada Gambar 9 dan 10.

Perhitungan tahap dua

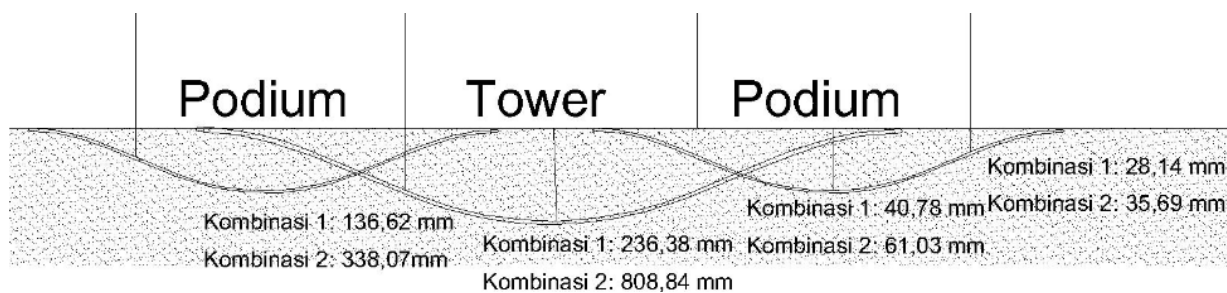
.Perhitungan selanjutnya adalah membuat pagian tower dan podium terpisah sehingga memikul beban masing- masing yang hasilnya dapat dilihat pada Tabel 11, Gambar 11 dan Gambar 12.

Tabel 11. Perbandingan panjang tiang

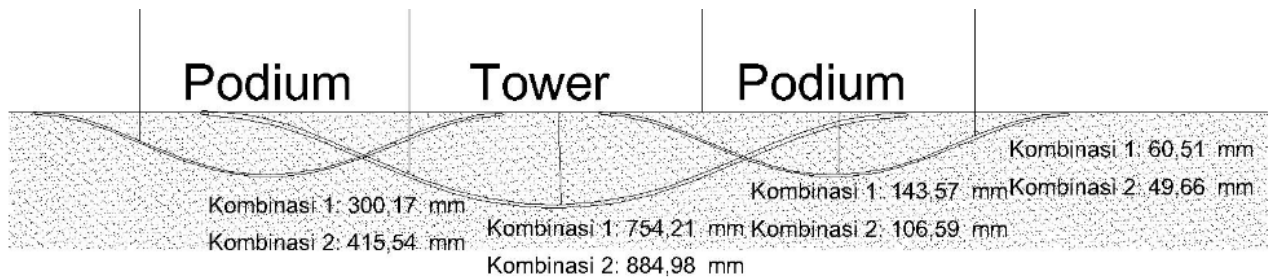
	Panjang Tiang (m)			
	lempung		Pasir	
	podium	tower	podium	tower
Perhitungan	Kombinasi 1			
Tahap 1	8		15	
Tahap 2	2	19	13	24
	Kombinasi 2			
Tahap 1	29		31	
Tahap 2	11	52	15	56

Penurunan tahap 2

Penurunan yang terjadi pada fondasi tiang rakit untuk tanah lempung dan pasir dapat dilihat pada Gambar 11 dan gambar 12.



Gambar 11. Total penurunan saat bagian tower dan podium dipisah pada tanah lempung perhitungan tahap dua



Gambar 12. Total penurunan saat bagian tower dan podium dipisah pada tanah pasir perhitungan tahap dua

Pada penurunan tahap 2 bagian fondasi rakit pada tower dan podium terpisah sehingga penurunan yang terjadi pada bagian tower dan podium berbeda. Bentuk penurunan dan hasil dapat dilihat pada gambar 11 dan gambar 12.

4. KESIMPULAN DAN SARAN

Kesimpulan

Berdasarkan hasil analisis dan perhitungan, ada beberapa hal yang disimpulkan. Kesimpulan yang diperoleh sebagai berikut:

1. Penurunan yang terjadi pada kombinasi beban rakit 75% tiang 25% lebih kecil pada tanah lempung, tetapi penurunan yang terjadi pada tanah pasir dengan kombinasi beban rakit 25% tiang 75% lebih besar. Hal ini terjadi karena tiang menahan beban yang lebih besar sehingga tiang akan bertambah panjang dan membuat penurunan yang terjadi lebih besar.
2. Pada kombinasi beban rakit 25% tiang 75% panjang tiang yang digunakan sebesar 31 m, dan pada kombinasi 75% tiang 25% panjang tiang yang digunakan sebesar 8 m pada tanah lempung. Hal ini disebabkan pada kombinasi rakit 25% tiang 75% tiang di asumsikan menerima beban lebih besar sehingga tiang lebih panjang untuk memenuhi daya dukungnya.
3. Penurunan yang terjadi pada tanah pasir lebih besar daripada tanah lempung. Pada tanah pasir penurunan bagian tengah fondasi dengan kombinasi takit 75% tiang 25% sebelum dipisah sebesar 566.95 mm, sedangkan pada tanah lempung sebesar 159.79 mm. Hal ini terjadi karena pada tanah pasir memiliki lapisan lensa yang membuat penurunan yang terjadi lebih besar.
4. Setelah bagian podium dan tower dipisah panjang tiang di bagian podium berkurang dan bagian tower bertambah, hal ini disebabkan karena berat pada bagian tower tidak di distribusikan ke podium sehingga dapat dilakukan penghematan.
5. Penghematan juga dapat dilakukan pada bagian rakit, karena pada bagian podium beban yang diterima lebih kecil sehingga ketebalan fondasi yang digunakan juga dapat berkurang.

Saran

Berdasarkan perhitungan ada beberapa saran yang dapat dilakukan berikut:

1. Agar perhitungan lebih akurat maka disarankan untuk mengecek secara 3 dimensi.
2. Ukuran fondasi rakit di bagian tower dapat di bedakan dari bagian podium untuk mengurangi penurunan yang besar setelah bagian tower dan podium dipisah.
3. Bagian fondasi di bagian tower dan podium dapat di disain sendiri-sendiri setelah dipisah.

DAFTAR PUSTAKA

- Aratua, L. *Bahan Kuliah Mekanika Tanah*. UNIMED, 2004.
- Bowles, Joseph E. *Foundation Analysis and Design 5th Edition*, Illinois: The Mac Graw-Hill Companies, 1997.
- Coduto, Donald P. *Foundation Design Principle and Practice 2nd Edition*, Pomona: Prentice Hall, 2001.
- Coyle, Harry M., dan Reno R. Castello. "New Design Correlations for Piles in Sand". *Journal of Geotechnical and Engineering Division*, Vol. 107, No. 7, 1981, pp. 965-986.
- Meyerhof, G. G., "Bearing capacity and settlement of pile foundations". *Journal of the Geotechnical Engineering Division*, Vol. 102, No. 3, 1976, pp. 195-228.
- Reese, Lymon C., et al. *Drilled Shaft Manual*. U. S. Dept. of Transportation, Federal Highway Administration, Offices of Research and Development, Implementation Division, 1977.
- Surjandari, N. S. "Analisa Penurunan Pondasi Rakit Pada Tanah Lunak". *Jurnal Gema Teknik*, No.2, 2007, pp. 17-21.

Terzaghi, K. *Theoretical Soil Mechanics*. Wiley, 1943.

Tomlinson, P. B. *The Botany Of Mangroves*. Cambridge University Press, 1986.

Universitas Katolik Parahyangan Pascasarjana Magister Teknik Sipil. *Manual Pondasi Tiang*, ed. 5. Bandung: Program Pascasarjana Magister Teknik Sipil UNPAR, 2017.