

ANALISA PERHITUNGAN *PILE – RAFT FOUNDATION* PADA PROYEK THE 18 OFFICE PARK JAKARTA

S. Anaya Nabilla Antari Terenggana

Jurusan Teknik Sipil, Universitas Sriwijaya
(Jl. Raya Prabumulih KM 32 Indralaya, Sumatera Selatan)
E-mail: anayatrenggana@yahoo.com

ABSTRAK

Sebuah struktur bangunan bertingkat tinggi harus memiliki sebuah pondasi yang kokoh yang mampu menopang seluruh beban struktur bangunan tersebut. Oleh karena itu, haruslah dipilih jenis pondasi yang tepat yang mampu menyalurkan beban bangunan ke lapisan tanah pendukung. Raft foundation diketahui mampu menahan beban yang bekerja pada gedung namun memiliki tingkat penurunan yang tinggi. Oleh karena itu, pile – raft foundation dipilih untuk mengatasi masalah penurunan tersebut. Proyek THE 18 OFFICE PARK menggunakan jenis pile – raft foundation. Tujuan dari penulisan ini adalah untuk membuktikan bahwa penurunan yang dihasilkan jika hanya menggunakan raft foundation akan sangat besar, dan diperlukannya jenis pile - raft foundation karena memiliki nilai penurunan yang aman. Hasil analisis perhitungan daya dukung pondasi terdapat perbedaan nilai yang cukup significant. Berdasarkan hasil perhitungan daya dukung untuk raft foundation adalah $207,797 \text{ t/m}^2$ dengan menggunakan metode Terzaghi dan $186,823 \text{ t/m}^2$ dengan menggunakan metode Meyerhof. Penurunan yang terjadi sebesar $118 \text{ mm} > 51 \text{ mm}$ untuk jenis pondasi dangkal. Untuk hasil perhitungan daya dukung pile – raft foundation berdasarkan data sondir adalah $328,95 \text{ ton}$, berdasarkan data SPT $116,996 \text{ ton}$, dan berdasarkan daya dukung ultimit kelompok tiang dengan nilai $E_g = 0,45$ adalah $13162,05 \text{ ton}$. Penurunan yang terjadi pada pile – raft foundation adalah $0,05 \text{ m} < 0,1 \text{ m}$.

Kata Kunci : Raft Foundation, Pile Raft Foundation, Daya Dukung, Penurunan, Terzaghi, Meyerhof

1. PENDAHULUAN

Perkembangan ekonomi di Indonesia khususnya di Daerah Khusus Ibukota Jakarta yang menjanjikan, membuat para investor – investor baik dalam maupun luar negeri berlomba berdatangan ke Jakarta. Selain itu urbanisasi masyarakat Indonesia yang tidak merata dan menganggap daerah ibukota merupakan tempat mereka dapat memperbaiki masa depan membuat mereka datang dan berkumpul di sini. Mengakibatkan kepadatan penduduk terkonsentrasi pada suatu daerah yaitu Jakarta.

Hal – hal tersebut adalah landasan dasar proyek – proyek properti seperti THE 18 OFFICE PARK ini dibuat. Konsep gedung pencakar langit yang memiliki tiga slogan yaitu *spacious, green, and efficient* ini direncanakan akan memiliki empat *basement* dengan kedalaman -14.1 m , Lantai Dasar, *Mezzanine*, Lantai 2 hingga lantai 21, kemudian Lantai *Penthouse* yang merupakan bagian termewah dari seluruh gedung, dan di atasnya merupakan lantai ruang mesin, dan atap dengan ketinggian puncak $+99,69 \text{ m}$.

Sebagai sebuah bangunan gedung pencakar langit yang nantinya berfungsi untuk kantor dan apartement, maka perencanaannya harus dilakukan dengan teliti dan hati-hati tidak hanya untuk struktur bagian atas tetapi juga untuk struktur bagian bawah sebagai penopang gedung tersebut.

Struktur bangunan bawah memikul beban - beban dari bangunan atas dan berat sendiri yang kemudian

disalurkan ke dalam tanah. Dan yang meneruskan beban dari bangunan bawah adalah pondasi, yaitu sistem rekayasa yang berfungsi meneruskan beban yang ditopangnya ditambah beratnya sendiri ke tanah dan batuan yang terletak di bawahnya yang mendukung keseluruhan bangunan gedung. Pertimbangan lain yang harus diperhatikan adalah kondisi lapisan tanah lunak dan kedalaman lapisan tanah keras. Oleh karena itu, harus dipilih jenis pondasi yang mampu menyalurkan beban bangunan ke lapisan tanah pendukung.

Penentuan jenis pondasi untuk struktur bangunan gedung ini dilakukan dengan memilih alternatif pondasi yang efisien, ekonomis dan sesuai dengan kondisi tanah yang ada. Dengan memperhatikan hasil analisa terhadap data tanah dan gaya-gaya yang terjadi, selanjutnya dipilih salah satu jenis pondasi yang paling sesuai. Untuk itu dalam tugas akhir ini akan dibahas mengenai analisa perhitungan pondasi rakit tiang atau biasa disebut *pile - raft foundation* pada pembangunan gedung THE 18 OFFICE PARK.

Tujuan penelitian ini adalah:

1. Menghitung daya dukung *raft foundation* pada *high rise building*.
2. Menghitung penurunan *raft foundation* pada *high rise building*.
3. Menghitung daya dukung dan penurunan *pile – raft foundation* pada gedung THE 18 OFFICE PARK ?

2. TINJAUAN PUSTAKA

2.1. Raft Foundation

Raft foundation atau yang biasa disebut dengan mat foundation adalah bagian bawah struktur yang berbentuk rakit melebar keseluruhan bagian dasar bangunan. Raft foundation biasa digunakan pada tanah dengan daya dukung rendah. Jenis pondasi ini juga sering digunakan jika jarak antar kolom atau beban lain sangat dekat dalam kedua arah sehingga seluruh telapak pondasi bersentuhan. Selain itu jenis pondasi ini bermanfaat untuk mengurangi perbedaan penurunan dalam berbagai tanah.

2.1.1. Perhitungan daya dukung pada raft foundation

Perhitungan daya dukung pada pondasi dangkal dapat menggunakan persamaan:

Analisis Terzaghi

$$q_{ult} = cN_c S_c + qN_q + 0,5 \gamma B N_\gamma S_\gamma \dots\dots\dots (2.1)$$

Analisis Meyerhof

$$q_{ult} = S_c d_c i_c b_c g_c c N_c + S_q d_q i_q b_q g_q q N_q + 0,5 S_\gamma d_\gamma i_\gamma b_\gamma g_\gamma \gamma N_\gamma \dots\dots(2.2)$$

Persamaan Brinch Hansen

$$q_{ult} = \frac{Q_u}{B L'} = S_c d_c i_c b_c g_c c N_c + S_q d_q i_q b_q g_q P_o N_q + S_\gamma d_\gamma i_\gamma b_\gamma g_\gamma 0,5 B' \gamma N_\gamma \dots\dots(2.3)$$

Persamaan Vesic

$$q_{ult} = \frac{Q_u}{B L'} = S_c d_c i_c b_c g_c c N_c + S_q d_q i_q b_q g_q P_o N_q + S_\gamma d_\gamma i_\gamma b_\gamma g_\gamma 0,5 B \gamma N_\gamma \dots\dots (2.4)$$

Dimana :

- q_{ult} = daya dukung ultimit
- c = Kohesi
- D_f = Kedalaman pondasi (m)
- γ = Berat volume tanah (kN/ m³)
- B = Lebar pondasi (m)
- P_o = D_fγ = Tekanan overburden pada dasar pondasi
- N_γ , N_c, N_q = Faktor daya dukung untuk setiap metode
- S_c, S_q, S_γ = Faktor kedalaman pondasi
- i_c, i_q, i_γ = Faktor kemiringan pondasi
- Q_u = Beban vertikal ultimit
- B' , L' = Panjang dan lebar efektif pondasi (m)
- b_c, b_q, b_γ = Faktor – faktor kemiringan dasar
- g_c, g_q, g_γ = Faktor – faktor kemiringan permukaan

2.1.2. Perhitungan Immediate Settlement dan Consolidation Settlement pada Raft Foundation

Perhitungan penurunan segera (*Immediate Settlement*) pada pondasi rakit dapat dihitung menggunakan persamaan berdasarkan Timoshenko & Goodier (1951) :

$$S_i = q_n B \frac{1-\mu^2}{E_s} 1p \dots\dots\dots (2.5)$$

Dimana :

- S_i = Penurunan segera
- q_n = Tekanan pada dasar pondasi netto
- B = Lebar pondasi
- μ = Angka Poisson
- E_s = Modulus elastisitas tanah

I_p =Faktor pengaruh yang tergantung dari kontak pondasi dan kekakuan pondasi

Nilai I_p didapat dari tabel berikut ini :

Tabel 2.1. Nilai I_p persamaan Timoshenko dan Goodier

Bentuk	Fleksibel (I _p)			Kaku	
	Pusat	Sudut	Rata – rata	I _p	I _m
Lingkaran	1,00	0,64	0,85	0,88	
Bujur Sangkar	1,12	0,36	0,95	0,82	3,7
Segi Empat					
L/B = 1,5	1,36	0,68	1,20	1,06	4,12
2,0	1,53	0,77	1,31	1,20	4,38
5,0	2,10	1,05	1,83	1,70	4,82
10,0	2,52	1,26	2,25	2,10	4,93
100,0	3,38	1,69	2,96	3,40	5,06

Sumber : Mekanika Tanah II (Dr. Ir. Harry Christady)

Tabel 2.2. Korelasi N – Spt dan qc dengan modulus elastisitas pada tanah pasir

Subsurface Condition	Penetration Resistance Range N	Friction Angle ø	Poisson Ratio μ	Young's Modulus Range (Es = psi)
Very Loose	0-4	28	0.45	0-440
Loose	4-10	28-30	0.4	440-1100
Medium	10-30	30-36	0.35	1100-3300
Dense	30-50	36-41	0.3	3300-5500
Very Dense	50-100	41-45	0.2	5500-11000

Sumber : Wesley, L.D. ,1997

Skempton dan MacDonald (1956) menyarankan batas penurunan maksimum dan distorsi kekakuan maksimum seperti pada tabel berikut.

Tabel 2.3. Total Penurunan Maksimum yang Diizinkan

Maximum Settlement, S _{T(max)}	
In Sand	32 mm
In Clay	45 mm
Maximum differential settlement ΔS _{T(max)}	
Isolated foundation in sand	51 mm
Isolated foundation in clay	76 mm
Raft in sand	51-76 mm
Raft in clay	76-127 mm

Sumber : Das, 1995

2.2. Pile - Raft Foundation

Katzenbach, Arslan, dan Moormann (2000) mendefinisikan pondasi *pile - raft* sebagai jenis pondasi yang bekerja sebagai struktur komposit dengan memanfaatkan tiga elemen penahan beban, yaitu tiang pancang, pondasi rakit, dan tanah di bawah struktur. Oleh karena ini, sebenarnya terdapat empat jenis interaksi yang terjadi dalam struktur pondasi *pile - raft*. Keempat interaksi tersebut adalah interaksi antar tiang dengan tanah, interaksi antara tiang dengan tiang di sebelahnya, interaksi antara pondasi rakit dengan tanah, dan interaksi antara tiang dengan pondasi rakit.

2.2.1. Daya Dukung Tiang Tunggal

Adapun rumus yang dipakai dalam analisis ini adalah :

Tahanan ujung tiang bor (Qb) dapat dinyatakan oleh persamaan (Hardiyanto, 2003)

$$Q_b = \mu \cdot A_b \cdot N_c \cdot C_b \dots\dots\dots (2.6)$$

Dimana :

- Qb = Tahanan ujung ultimit (Kn)
- μ = Faktor koreksi, dengan $\mu = 0,8$, untuk $d < 1m$, $\mu = 0,75$ untuk $d > 1m$
- A_b = Luas penampang ujung bawah tiang (m²)
- C_b = Kohesi tanah di bawah ujung tiang pada kondisi tak terdrainase (Kn/m²)
- N_c = Faktor daya dukung (N_c = 9)

Analisis ini hanya bisa digunakan pada tanah kohesif saja.

Daya Dukung Bored Pile dari Sondir

Untuk menghitung daya dukung tiang berdasarkan data hasil pengujian sondir dapat dilakukan dengan menggunakan metode *Meyerhof* yang dinyatakan dengan rumus :

$$Q_{ult} = (q_c \times A_p) \dots\dots\dots (2.7)$$

Dimana :

- Q_{ult} = daya dukung tiang
- Q_c = Tahanan ujung sondir
- A_p = Luas penampang tiang

Daya dukung ijin pondasi dinyatakan dengan rumus :

$$Q_{ijin} = \frac{q_c \times A_c}{3} \dots\dots\dots (2.8)$$

Dimana :

- Q_{ijin} = daya dukung ijin pondasi
- q_c = Tahanan ujung sondir
- A_c = Luas penampang tiang

Untuk menghitung daya dukung tiang berdasarkan data hasil pengujian sondir dapat dilakukan dengan menggunakan metode *Aoki De Alencar* yang dinyatakan dengan rumus :

$$Q_b = \frac{q_{ca}(base)}{F_b} \dots\dots\dots (2.9)$$

Dimana :

- q_{ca} (base) = Perlawanan konus rata – rata 1,5D diatas ujung tiang, 1,5D dibawah dibawah ujung tiang
- F_b = Faktor empirik tergantung pada tipe tanah (tabel 2.4)

Tabel 2.4. Faktor empirik Fb

Tipe Tiang Pancang	Fb
Bored Pile	3,5
Baja	1,75
Beton Pratekan	1,75

Sumber : Titi dan Farsakh, 1999

Daya Dukung Bored Pile dari Data SPT

Daya dukung ultimit pada ujung tiang bor pada tanah non - kohesif dinyatakan sebagai berikut :

$$Q_p = q_p \cdot A_p \text{ dan } q_p = 7N \dots\dots\dots (2.10)$$

Dimana :

- Q_p = Daya dukung ultimit pada ujung tiang (ton)
- q_p = Tahanan ujung per satuan luas (ton/ m²)
- A_p = Luas penampang tiang bor (m²)
- C_u = kohesi tanah (ton/m²)
- q_p = 7N (t/m²) untuk N ≤ 60 dan q_p = 400 (t/m²) untuk N > 60

Pada tanah kohesif besarnya tahanan ujung per satuan luas, q_p dapat diambil sebesar 9 kali kuat geser tanah, sedangkan tanah non – kohesif, Reese mengusulkan kolerasi antara nilai q_p dengan N_{spt}.

2.2.2. Daya Dukung Kelompok dan Efisiensi Tiang

Berikut metode – metode untuk perhitungan efisiensi tiang :

1. Converse – Labarre Formula :

$$E_g = 1 - \theta \frac{(n-1)m + (m-1)n}{90mn} \dots\dots\dots (2.11)$$

Dimana :

- E_g = Efisiensi kelompok tiang
- m = Jumlah baris tiang
- n = Jumlah tiang dalam satu baris
- θ = arc tg d/s, dalam derajat
- s = jarak pusat ke pusat tiang
- d = Diameter tiang

2. Metode *Los Angeles Group*

$$E_g = 1 - \frac{D}{s \cdot m \cdot n} \{ m(n-1) + n(m-1) + \sqrt{2} (m-1)(n-1) \} \dots\dots\dots (2.12)$$

Dimana :

- E_g = Efisiensi kelompok tiang
- m = jumlah baris tiang
- n = jumlah tiang dalam satu baris
- S = jarak pusat ke pusat tiang
- D = diameter tiang

Untuk menghitung daya dukung tiang kelompok :

$$Q_g = n \times P_u \times E_g \dots\dots\dots (2.13)$$

Dimana :

- Q_g = Daya dukung tiang kelompok
- n = Jumlah tiang

Pu = Daya dukung tiang tunggal
 Eg = Efisiensi tiang kelompok

2.2.3. Penurunan Pile – Raft Foundation

Persamaan penurunan segera pada pondasi *pile – raft* menurut metode Steinbrenner adalah sebagai berikut :

$$\Delta\sigma = \frac{P}{(B+Z) \times (L+Z)} \times 0,2 \dots\dots\dots (2.14)$$

Dimana :

- P = Beban total (ton)
- L = Panjang luasan beban (m)
- B = Lebar luasan beban (m)
- Z = Kedalaman

Menurut Nurdin (2011), ketentuan batas penurunan maksimum *pile – raft foundation* yang terjadi tidak boleh melebihi 100 mm.

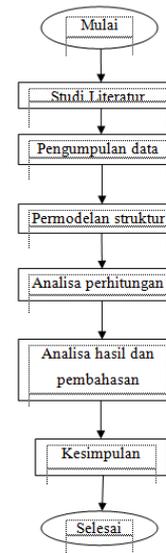
3. METODOLOGI PENELITIAN

Dalam penelitian tugas akhir ini dilakukan di proyek THE 18 OFFICE PARK Jakarta, dengan lingkup permasalahan mengenai perhitungan struktur bawah bangunan yang menggunakan jenis pondasi *pile raft*. Adapun metodologi penelitian diuraikan sebagai berikut.

Data primer yang diperoleh pada studi kasus proyek THE 18 OFFICE PARK berupa pengamatan dan konsultasi secara langsung di lapangan dengan pihak-pihak yang terlibat dalam proyek tersebut, selain itu dokumentasi foto secara langsung kegiatan pelaksanaan turut menjadi data primer. Adapun hasil dokumentasi foto pelaksanaan disertakan dalam lampiran.

Data sekunder yang diperoleh dalam proyek ini meliputi :

- a. Data Tanah
 Data tanah yang diperoleh dan digunakan dalam penulisan laporan akhir ini adalah data SPT dan sondir.
- b. Data Spesifikasi Teknis
 Data spesifikasi teknis berupa data spesifikasi bahan dan material berikut peraturan dan acuan teknis yang digunakan dalam pelaksanaan proyek pembangunan gedung THE 18 OFFICE PARK.
- c. Data Struktur
- d. Data Proyek



Gambar 1. Bagan Alir Penelitian

4. HASIL DAN PEMBAHASAN

4.1. Parameter Tanah Hasil Soil Test

4.1.1. Hasil Uji Laboratorium

Hasil pekerjaan Laboratorium disajikan dalam bentuk tabel parameter tanah dibawah ini :

Tabel 4.1. Nilai parameter tanah pada BH-1

Jenis Pengujian	Satuan	Titik Bor			
		BH-1			
Parameter		4,00 – 4,50	8,50 – 9,00	11,50 – 12,00	16,00 – 16,50
Index Properti					
Water Content (w)	%	60,18	54,00	47,00	49,06
Wet Density (γ sat)	t/m ³	1,446	1,525	1,550	1,634
Dry Density (γ k)	t/m ³	0,903	0,990	1,054	1,096
Specific Gravity		2,581	2,519	2,527	2,535
Triaxial Test					
Cohesion (C)	Kg/cm ²	0,12	0,19	0,14	0,49
Angle of internal Friction (φ)	°	2,80	22,00	22,10	22,20
Atterberg Limit					
Liquid Limit (LL)	%	95,00	57,50	94,50	40,00
Plastic Limit (PL)	%	34,56	15,01	62,14	18,84
Plasticity Index (PI)	%	60,44	42,49	32,36	21,16
Consolidation					
Cv	cm/sec		8,54E-04	8,17E-04	8,43E-04
Cc			0,333	0,834	0,524

Sumber : Summary of Laboratory Result (PT.Pratama Widya)

Tabel 4.2. Nilai parameter tanah pada BH-2

Jenis Pengujian	Satuan	Titik Bor			
		BH-2			
Parameter		4,00 – 4,50	8,50 – 9,00	11,50 – 12,00	16,00 – 16,50
Index Properti					
Water Content (w)	%	68,98	56,59	51,65	57,23
Wet Density (γ sat)	t/m ³	1,724	1,641	1,799	1,699
Dry Density (γ k)	t/m ³	1,020	1,048	1,186	1,081
Specific Gravity		2,519	2,588	2,548	2,586
Triaxial Test					
Cohesion (C)	Kg/cm ²	0,25	0,13	0,46	0,29
Angle of internal Friction (φ)	°	21,40	2,50	19,90	21,30
Atterberg Limit					
Liquid Limit (LL)	%	88,00	73,00	49,00	76,00
Plastic Limit (PL)	%	26,91	55,19	30,19	43,41
Plasticity Index (PI)	%	61,09	17,81	18,81	32,59
Consolidation					
Cv	cm/sec	1,26E-03		9,13E-04	1,47E-03
Cc		0,322		0,361	0,421

Sumber : Summary of Laboratory Result (PT.Pratama Widya)

Tabel 4.3. Nilai parameter tanah pada BH-3

Jenis Pengujian	Satuan	Titik Bor			
		BH-3			
Parameter		7,00 – 7,50	10,00 – 10,50	13,00 – 13,50	17,50 – 18,00
Index Properti					
Water Content (w)	%	51,31	71,17	76,15	48,94
Wet Density (γ sat)	t/m ³	1,454	1,552	1,405	1,487
Dry Density (γ k)	t/m ³	0,961	0,907	0,798	0,998
Specific Gravity		2,512	2,511	2,595	2,573
Triaxial Test					
Cohesion (C)	Kg/cm ²	0,29	0,14	0,21	0,39
Angle of internal Friction (φ)	°	3,30	21,40	0,40	22,80
Atterberg Limit					
Liquid Limit (LL)	%	83,90	78,52	83,00	45,00
Plastic Limit (PL)	%	35,90	38,00	30,89	31,37
Plasticity Index (PI)	%	48,00	40,52	52,11	13,63
Consolidation					
Cv	cm/sec		8,29E-04		8,45E-04
Cc			1,102		0,834

Sumber : Summary of Laboratory Result (PT.Pratama Widya)

4.1.2. Hasil Uji Sondir

Pengujian sondir atau Dutch Cone Penetration Test (DCPT) dilakukan untuk mendapatkan indikasi kekuatan tanah dengan cara menekan batang konus berbentuk kerucut ke dalam tanah yang akan diuji. Pembacaan uji sondir dilakukan setiap interval 20 cm.

Tabel 4.4. Hasil Uji Sondir

No. Sondir	Depth (m)	qc akhir (kg/cm ²)	Tfc (kg/cm)
S.1	23.40	230	2358
S.2	23.60	230	2024
S.3	22.60	220	2143
S.4	17.60	225	1658
S.5	24.60	225	2420
S.6	24.00	220	2298
S.7	18.60	225	1567

Sumber : Laporan Penyelidikan Tanah (PT. Pratama Widya)

4.1.3. Hasil Uji SPT

Pemboran untuk tanah asli dilakukan sebanyak tiga titik dengan kedalaman 60 m dengan menggunakan alat uji SPT. Uji SPT dilakukan dengan interval setiap 2 m. Dari hasil uji SPT untuk tanah asli ditunjukkan pada tabel berikut ini :

Tabel 4.5. Hasil SPT pada BH-1

Kedalaman (m)	Tebal (m)	Material	N-SPT
0-8	8	Clay	14
8-16	8	Silt	13
16-29	13	Silt	>60
29-32	3	Silt	46
32-40	8	Silty Sand	43 ->60
40-47	7	Silty Sand	>60
47-53	6	Silt	32
53-60	7	Gravelly Sand	>60

Sumber : Geologic Drilling Log (PT. Pratama Widya)

Tabel 4.6. Hasil SPT pada BH-2

Kedalaman (m)	Tebal (m)	Material	N-SPT
0-8	8	Clay	9
8-20	12	Silt	16
20-30	10	Silt	>60
30-34	4	Silty Sand	>60
34-47	13	Sand	46 ->60
47-55	8	Silt	44 ->60
55-60	5	Gravelly Sand	>60

Sumber : Geologic Drilling Log (PT. Pratama Widya)

Tabel 4.7. Hasil SPT pada BH-3

Kedalaman (m)	Tebal (m)	Material	N-SPT
0-9	9	Clay	16
9-21	12	Silt	17
21-32	11	Silt	>60
32-44	12	Sand	52 ->60
44-55	11	Silt	26 ->60

Sumber : Geologic Drilling Log (PT. Pratama Widya)

4.2. Daya Dukung pada Raft Foundation

Perhitungan daya dukung pondasi raft dilakukan pada setiap titik lubang bor .

4.2.1. Analisis Terzaghi (1943)

BH.1

$$q_{ult} = cN_c S_c + qN_q + 0,5 \gamma B N_{\gamma} S_{\gamma}$$

karena pondasi berbentuk segi empat maka,

$$q_{ult} = cN_c (1 + 0,3 B/L) + qN_q + 0,5 \gamma B N_{\gamma} (1 - 0,2 B/L)$$

$$q = \gamma \cdot Df = \sum \gamma_i \cdot z_i$$

$$q = \gamma \cdot z_i + \gamma' \cdot z_i + \gamma' \cdot z_i + \gamma' \cdot z_i$$

$$q = (4 \cdot 1,446) + (4,5 \cdot 1,525) + (1 \cdot 1,525) + (2 \cdot (1,550 - 1)) + (4,6 \cdot (1,634 - 1))$$

$$q = 18,268 \text{ t/m}^3$$

$$q_{ult} = cN_c (1 + 0,3 B/L) + qN_q + 0,5 \gamma B N_{\gamma} (1 - 0,2 B/L)$$

$$= 0,049 \text{ t/m}^2 \cdot 20,96 (1 + 0,3 (38/92,3)) + (18,268 \text{ t/m}^3 \cdot 9,73) + (0,5 \cdot 0,634 \text{ t/m}^3 \cdot 38 \text{m} \cdot 7,068 \cdot (1 - 0,2 (38/92,3)))$$

$$= 257,033 \text{ t/m}^2$$

Untuk perhitungan daya dukung menggunakan analisis Terzaghi selanjutnya akan di rekapitulasi pada tabel di bawah ini :

Tabel 4.9. Rekapitulasi Hasil Daya Dukung Analisis Terzaghi

Bore Hole No.	Nilai q (t/m ²)	Qult (t/m ²)
BH-1	18,286	257,033
BH-2	20,735	258,856
BH-3	17,526	207,797

Sumber : Penulis

4.2.2. Analisis Meyerhof (1963)

BH.1

$$q_{ult} = S_c d_c i_c b_c g_c cN_c + S_q d_q i_q b_q g_q qN_q + 0,5 S_{\gamma} d_{\gamma} i_{\gamma} b_{\gamma} g_{\gamma} B \gamma N_{\gamma}$$

$$q_{ult} = S_c d_c i_c b_c g_c cN_c + S_q d_q i_q b_q g_q qN_q + 0,5 S_{\gamma} d_{\gamma} i_{\gamma} b_{\gamma} g_{\gamma} B \gamma N_{\gamma}$$

$$= (1,182 \cdot 1,126 \cdot 1 \cdot 1 \cdot 1 \cdot 0,049 \cdot 17,104) + (1,061 \cdot 1,063 \cdot 1 \cdot 1 \cdot 1 \cdot 18,268 \cdot 7,98) + (0,5 \cdot 1,061 \cdot 1,063 \cdot 1 \cdot 1 \cdot 1 \cdot 38 \cdot 0,634 \cdot 4,207)$$

$$= 222,686 \text{ t/m}^2$$

Untuk perhitungan daya dukung analisis Meyerhof selanjutnya akan di rekapitulasi pada tabel di bawah ini:

Tabel 4.10. Rekapitulasi Hasil Daya Dukung Analisis Meyerhof

Bore Hole No.	Nilai q (t/m ²)	Qult (t/m ²)
BH-1	18,286	222,286
BH-2	20,735	230,825
BH-3	17,526	186,823

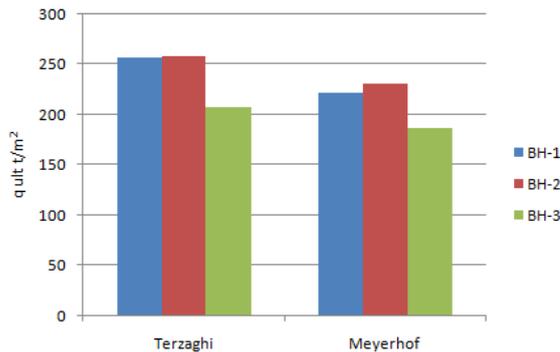
Sumber : Penulis

Hasil perhitungan daya dukung dengan menggunakan dua metode yaitu dengan menggunakan analisis Terzaghi (1943) dan Analisis Meyerhof (1963) adalah sebagai berikut :

Tabel 4.11. Rekapitulasi Perbandingan Analisis Terzaghi dan Meyerhof

Bore Hole No.	Analisis Terzaghi (t/m ²)	Analisis Meyerhof (t/m ²)
1	257,033	222,686
2	258,856	230,825
3	207,797	186,823

Sumber : Penulis



Gambar 2. Perbandingan Hasil Daya Dukung Analisis Terzaghi & Meyerhof

4.3. Pengecekan Beban Atas Terhadap Daya Dukung Raft Foundation

Nilai daya dukung terkecil berdasarkan tabel 4.11. didapatkan pada BH-3 menggunakan Analisis Meyerhof yaitu sebesar 186, 823 t/m². Kemudian nilai q ultimit dibagi dengan SF = 3 untuk mendapatkan nilai q izin.

$$q \text{ izin} = \frac{q \text{ ult}}{3} = \frac{186,823 \text{ t/m}^2}{3} = 62,274 \text{ t/m}^2$$

Beban yang bekerja pada Raft

$$\begin{aligned} \text{Beban Total} &= \\ \Sigma \text{Beban Tower} + \Sigma \text{Beban Podium} &= \\ &= 1985,051 \text{ ton} + 1173,925 \text{ ton} \\ &= 3158,976 \text{ ton} \end{aligned}$$

$$\text{Beban Merata} = \frac{P}{A} = \frac{3158,976 \text{ ton}}{38 \text{ m} \times 92,3 \text{ m}} = 0,903 \text{ ton/m}^2 = qf$$

$$qf < q \text{ izin} = 0,903 \text{ t/m}^2 < 62,274 \text{ t/m}^2$$

Beban yang bekerja pada raft foundation lebih kecil dibandingkan q izin dan raft foundation dinyatakan aman terhadap daya dukung.

4.4. Penurunan Segera (immediate settlement)

Berdasarkan Timoshenko dan Goodier (1951) :

$$Si = q_n B \frac{1-\mu^2}{Es} Ip$$

Diketahui :

$$Qn = 0,903 \text{ t/m}^2$$

$$B = 38 \text{ m}$$

$$\mu = 0,3, \text{ didapat pada tabel 2.2}$$

$$Ip = 1,272, \text{ merupakan hasil interpolasi dari tabel 2.1. Nilai } Ip$$

$$Es = 440 \text{ psi} = 309,32 \text{ t/m}^2, \text{ berdasarkan data N-Spt} = 8$$

$$\begin{aligned} Si &= 0,903 \text{ t/m}^2 \times 38 \text{ m} \times \frac{1-0,4^2}{309,32 \text{ t/m}^2} \times 1,272 \\ &= 0,118 \text{ m} = \mathbf{118 \text{ mm}} \end{aligned}$$

Menurut Skempton dan MacDonald (1956) tabel 2.3. , disarankan batas penurunan maksimum pada raft foundation tidak boleh melebihi nilai 51 mm. Sedangkan penurunan yang dihasilkan bangunan THE 18 OFFICE PARK jika menggunakan raft foundation saja adalah 118 mm > 51 mm. Maka bangunan dinyatakan tidak aman jika menggunakan jenis raft foundation.

4.5. Perhitungan Pile – Raft Foundation

Perhitungan Pile – Raft Foundation meliputi beberapa tahapan perhitungan, perhitungan daya dukung tiang, daya dukung ijin pondasi, penurunan konsolidasi dan juga penurunan segera pada pondasi.

4.5.1. Perhitungan Daya Dukung Tiang Tunggal a. Berdasarkan data sondir

Untuk menghitung daya dukung tiang berdasarkan data hasil pengujian sondir, dilakukan dengan menggunakan metode Meyerhof.

Perhitungan daya dukung pondasi tiang tunggal (Qult) pada S1 :

$$\begin{aligned} Q_{ult} &= q_c \cdot A_p \\ &= 230 \text{ kg/cm}^2 \cdot 7850 \text{ cm}^2 \\ &= 1805500 \text{ kg} = \mathbf{1805,5 \text{ ton}} \end{aligned}$$

Daya dukung ijin pondasi (Qijin) pada S1 :

$$Q_{ijin} = \frac{q_c \cdot A_p}{3}$$

Daya dukung tiang terhadap kekuatan tanah

1. Berdasarkan Data Sondir 1

$$\begin{aligned} Q_{ijin} &= \frac{q_c \cdot A_p}{3} \\ &= (230 \times 7850) / 3 = 601833,33 \text{ kg} \end{aligned}$$

$$= \mathbf{601,83 \text{ ton}}$$

Perhitungan untuk data sondir selanjutnya akan di rekapitulasi pada tabel dibawah ini :

Tabel 4.12. Rekapitulasi daya dukung ultimit dan ijin pondasi untuk setiap titik sondir (Meyerhof)

No. Sondir	qc	Ap (m ²)	Qult (ton)	Qijin (ton)
1	230	0,785	1805,5	601,83
2	230	0,785	1805,5	601,83
3	220	0,785	1727	575,67
4	225	0,785	1766,25	588,75
5	225	0,785	1766,25	588,75
6	220	0,785	1727	575,67
7	225	0,785	1766,25	588,75

Sumber : Penulis

Untuk menghitung daya dukung tiang berdasarkan data hasil pengujian sondir, dilakukan dengan menggunakan metode Aoki De Alencar.

$$\begin{aligned} \text{Rata - rata } q_{ca} &= \frac{230+230+230+230+230+230+230}{7} \\ &= 230 \text{ kg/cm}^2 \end{aligned}$$

$$q_b = \frac{230}{3,5} = 131,43 \text{ kg/cm}^2$$

Daya dukung ujung tiang (Qb)
 $Q_b = A_p \times q_b$
 $= 7850 \text{ cm}^2 \times 131,43 \text{ kg/cm}^2$
 $= 1031725,5 \text{ kg} = \mathbf{1031,73 \text{ ton}}$

Daya dukung ijin
 $Q_{ijin} = \frac{A_p \times q_b}{3} = \frac{1031,73 \text{ ton}}{3}$
 $= \mathbf{349,91 \text{ ton}}$

Selanjutnya, perhitungan daya dukung berdasarkan metode *Aoki De Alencar* akan di rekapitulasi pada tabel berikut :

Tabel 4.13. Rekapitulasi daya dukung ultimit dan ijin pondasi untuk setiap titik sondir (*Aoki De Alencar*)

No. Sondir	qc	Ap (m ²)	Qult (ton)	Qijin (ton)
1	230	0,785	1031,73	349,91
2	230	0,785	1031,73	349,91
3	220	0,785	986,857	328,95
4	225	0,785	1009,286	336,43
5	225	0,785	1009,286	336,43
6	220	0,785	986,857	328,95
7	225	0,785	1009,286	336,43

Sumber : Penulis

b. Berdasarkan data SPT

Perhitungan daya dukung tiang bor per lapisan dari data SPT memakai metode Reese dan Wright dan data diambil pada titik BH-1 pada jenis tanah non – kohesif:

1. Daya dukung ujung pondasi tiang bor (BH-1) pada tanah non – kohesif adalah :

Untuk lapisan tanah kedalaman 32,1 m
 Untuk $N \leq 60$, maka $q_p = 7 N \text{ (t/m}^2\text{)} < 400 \text{ (t/m}^2\text{)}$

$$Q_p = q_p \times A_p$$

$$= 7N \times A_p$$

$$Q_p = q_p \times A_p$$

$$= 378 \times 0,785$$

$$= \mathbf{296,73 \text{ ton}}$$

Selanjutnya perhitungan daya dukung berdasarkan data SPT akan di rekapitulasi pada tabel dibawah ini :

Tabel 4.14. Rekapitulasi Daya Dukung dari data SPT

No. Bore Hole	Depth (m)	N- Spt	Skin Friction (ton)	End Bearing (ton)	Qult (ton)	Qijin (ton)
BH-1	32,1	54	54,26	296,73	296,73	98,91
BH-2	32,1	>60	60,29	314	314	104,67
BH-3	32,1	>60	60,29	314	314	104,67

Sumber : Penulis

4.5.2. Daya Dukung Kelompok Tiang

a. Pada Kelompok Tiang Tower

Parameter – parameter yang akan di pakai dalam perhitungan adalah :

$$d = 1 \text{ m}$$

$$s = 2 \text{ m}$$

$$n = 10$$

$$m = 25$$

Efisiensi Tiang berdasarkan Converse Labarre

$$E_g = 1 - 26,56 \frac{(10-1)25+(25-1)10}{90.25.10}$$

Eg = 0,45

Efisiensi Tiang berdasarkan Los Angeles Group

$$E_g = 1 - \frac{1}{2.25.10} \{ 25 (10 - 1) + 10 (25 - 1) + \sqrt{2} (25 - 1) (10 - 1) \}$$

Eg = 0,54

Menghitung Daya Dukung Kelompok Tiang pada S1 :

$$Q_g = n \times Q_{ijin} \times E_g$$

$$= 250 \times 349,91 \times 0,45$$

$$= 39364,875$$

Hasil perhitungan Q group untuk daya dukung berdasarkan efisiensi tiang akan di rekapitulasi pada tabel 4.15. untuk metode Converse Labarre dan 4.16. untuk metode Los Angeles.

Tabel 4.15. Metode Converse Labarre Eg = 0,45 dengan 250 tiang

No.	Qg (ton)
Sondir	
S1	39364,875
S2	39364,875
S3	37006,875
S4	37848,375
S5	37848,375
S6	37006,875
S7	37848,375
SPT	
BH1	13162,05
BH2	14035,838
BH3	14035,838

Tabel 4.16. Metode Los Angeles $E_g = 0,54$ dengan 250 tiang

No.	Qg (ton)
Sondir	
S1	47237,85
S2	47237,85
S3	44408,25
S4	45418,05
S5	45418,05
S6	44408,25
S7	45418,05
SPT	
BH1	15794,46
BH2	16843,005
BH3	16843,005

Sumber : Penulis

b. Pada Kelompok Tiang Podium

Tipe 3 tiang

$$E_g = 1 - 26,56 \frac{(2-1)^2 + (2-1)^2}{90.2.2} = 0,71$$

Tipe 4 tiang

$$E_g = 1 - 26,56 \frac{(2-1)^2 + (2-1)^2}{90.2.2} = 0,71$$

4.7.2 Perhitungan Penurunan Segera (immediate settlement)

Menghitung penurunan segera dengan menggunakan metode Steinbrenner pada tanah non – kohesif :

$$\Delta\sigma = \frac{P}{(B+Z)(L+Z)} \times 0,2$$

$$\Delta\sigma = \frac{3158,976}{(68\text{ m} + 32,1\text{ m})(92,3\text{ m} + 32,1\text{ m})} \times 0,2$$

$$\Delta\sigma = 0,05\text{ m} < 0,1\text{ m}$$

Batas penurunan pondasi dengan menggunakan jenis pile – raft foundation memenuhi syarat batas maksimum penurunan. Maka dari itu jenis pondasi ini aman untuk digunakan pada gedung THE 18 OFFICE PARK.

4.8. Penulangan Pile – Raft Foundation

Pile – Raft Foundation terbagi menjadi dua bagian yaitu bagian raft yang berfungsi ganda yaitu sebagai pile cap dan juga lantai basement 4 yang akan digunakan sebagai sarana parkir kendaraan. Bagian yang lain yaitu tiang yang berjenis bore pile yang ujung tiangnya berada pada kedalaman -32,1 m.

Perhitungan konstruksi pelat lantai pada proyek gedung The 18 Office park ini meliputi 12 tipe pelat yaitu tipe 1, tipe 2, tipe 3, tipe 4, tipe 5, tipe 6, tipe 7, tipe 8, tipe 10, tipe 11, tipe 12, dengan ukuran yang berbeda, dibawah ini akan dijabarkan contoh perhitungan raft foundation dengan tipe 1 (900x360)cm dan kemudian perhitungan pelat tipe lainnya akan dihitung menggunakan program microsoft excel.

Tabel 4.19. Rekapitulasi Penulangan Raft dengan metode Pelat Satu Arah

Tipe Pelat	Jarak	Momen		D Tulangan Rencana	As Tulangan D22		Jarak	
		Arah x	Arah y		Arah x	Arah y	Arah x	Arah y
1	¼ bentang	493,522	303,248	32	6804	6804	D32-100	D32-100
	½ bentang	368,655	83,2447	32	6804	6804	D32-100	D32-100
2	¼ bentang	152,322	89,9248	32	6804	6804	D32-100	D32-100
	½ bentang	119,288	25,6928	32	6804	6804	D32-100	D32-100
3	¼ bentang	277,606	163,888	32	6804	6804	D32-100	D32-100
	½ bentang	217,402	46,8251	32	6804	6804	D32-100	D32-100
9	¼ bentang	46,8251	163,888	32	6804	6804	D32-100	D32-100
	½ bentang	217,402	277,606	32	6804	6804	D32-100	D32-100
12	¼ bentang	46,8251	168,57	32	6804	6804	D32-100	D32-100
	½ bentang	210,379	277,606	32	6804	6804	D32-100	D32-100

Sumber : Penulis

Tabel 4.20. Rekapitulasi Penulangan Raft dengan metode Pelat Dua Arah

Tipe Pelat	Jarak	Momen		D Tulangan Rencana	As Tulangan D32		Jarak	
		Arah x	Arah y		Arah x	Arah y	Arah x	Arah y
4	¼ bentang	856,231	578,821	32	1852,63	1252,4	D32-400	D32-450
	½ bentang	560,25	158,361	32	1212,22	343,08	D32-450	D32-450
5	¼ bentang	824,519	570,821	32	1784,02	1235,0	D32-450	D32-450
	½ bentang	517,967	158,361	32	1120,73	343,08	D32-450	D32-450
6	¼ bentang	539,108	539,108	32	1166,47	1166,4	D32-450	D32-450
	½ bentang	264,269	264,269	32	571,80	571,80	D32-450	D32-450
7	¼ bentang	1311,1	1001,54	32	2836,84	2167,0	D32-250	D32-250
	½ bentang	764,81	327,776	32	1654,83	709,21	D32-450	D32-450
8	¼ bentang	1125,36	977,865	32	2434,95	2115,8	D32-300	D32-300
	½ bentang	602,743	406,078	32	1304,16	878,63	D32-450	D32-450
10	¼ bentang	223,307	682,327	32	483,17	1476,3	D32-450	D32-450
	½ bentang	521,05	893,229	32	1127,40	1932,6	D32-450	D32-400
11	¼ bentang	1146,54	1146,54	32	2480,78	2480,7	D32-250	D32-250
	½ bentang	562,03	562,03	32	1216,07	1216,0	D32-450	D32-400

Sumber : Penulis

Penulangan pada bagian raft menggunakan besi ulir berdiameter 32. Pada penulangan dengan jenis satu arah jarak antar besi sebesar 100 mm untuk arah x dan arah y. Sedangkan untuk penulangan dengan jenis dua arah jarak antar besi bervariasi dari jarak 250 mm hingga 450 mm.

5. KESIMPULAN

- Hasil perhitungan daya dukung ultimit yang diperoleh dari perhitungan raft foundation berdasarkan data laboratorium adalah sebagai berikut :
 BH – 1 = 257,033 t/m² (Terzaghi) dan 222,686 t/m²(Meyerhof)
 BH – 2 = 258,856 t/m² (Terzaghi) dan 230,825 t/m²(Meyerhof)
 BH – 3 = 207,797 (Terzaghi) dan 186,823 t/m²(Meyerhof)
 Nilai daya dukung ijin ultimit terkecil raft foundation didapat dari titik BH – 3 dengan menggunakan analisis Meyerhof sebesar 62,274 t/m² dan beban total yang bekerja pada raft foundation sebesar 0,903 t/m². Beban total yang bekerja pada raft foundation jauh lebih kecil dibandingkan dengan daya dukung ijin ultimit raft foundation. Berdasarkan hasil tersebut raft foundation aman untuk di gunakan.
- Penurunan segera yang terjadi pada raft foundation adalah 118 mm dimana batas maksimum untuk raft foundation adalah 55 mm. Untuk itu, penurunan yang di hasilkan raft foundation melebihi toleransi.
- Hasil perhitungan daya dukung tiang tunggal ultimit yang diperoleh dari bored pile berdiameter 1 m pada kedalaman 32,1 m

- didapat 328,95 ton (sondir) dan 116,996 (SPT)
4. Hasil perhitungan daya dukung kelompok tiang :
 - a. Pada Tower
Diperoleh daya dukung kelompok tiang terkecil dengan menggunakan efisiensi tiang metode Converse Labarre dengan nilai 13162,05 ton.
 - b. Pada Podium
Untuk kelompok tiang (4 tiang) terkecil diperoleh sebesar 332,996 ton, sedangkan untuk kelompok tiang (3 tiang) terkecil diperoleh sebesar 249,201 ton.
 5. Penurunan segera yang terjadi pada *pile – raft foundation* berdasarkan hasil analisis yaitu $0,05\text{ m} < 0,1\text{m}$. Dimana nilai tersebut dibawah batas aman.
 6. Daya dukung kelompok tiang dan penurunan yang terjadi masih dalam batas yang diijinkan sesuai dengan batas maksimum, maka *pile – raft* aman dan memenuhi syarat – syarat yang diijinkan.
 7. Penulangan yang dipakai pada *pile – raft foundation* menggunakan besi D32 -100 pada penulangan satu arah dan D32 – 250, D32 – 300, D32 – 400, D32 – 450 pada penulangan dua arah.

Nurdin, Muhammad. Iskandar, Rudi. 2011. *Analisis Sistem Pondasi Pile – Raft pada Pembangunan Proyek Siloam Hospital Medan.*

UCAPAN TERIMA KASIH : Ucapan Terima Kasih disampaikan kepada Ibu Ratna Dewi ST, MT selaku Pembimbing dan Bapak Ir. Rozirwan, selaku pembimbing ke dua yang sangat membantu dan membimbing dalam proses penyelesaian penelitian ini.

DAFTAR PUSTAKA.

- Bowles, Joseph E., 1999. *Analisa dan Design Pondasi edisi revisi*. Jilid 2, cetakan ke-4, Erlanga, Jakarta.
- Das, Braja M., 1995. *Principles of Soil Dynamics*, PWS Publishing Company, California
- Gupta, Sharat Candra, 1997. *Raft Foundation: Design and analysis with a practical approach*. New Age International, New Delhi.
- Hardiyatmo, H.C., 2002. *Teknik Pondasi 2, Edisi keempat Jilid 2*, Erlangga, Jakarta.
- Impe, Van, 2011. *Methods of Analysis of Piled Raft Foundations*.
- Natasya, Bianca, 2011. *Studi Pemakaian Pondasi Tiang-Rakit Pada Sebuah Proyek Apartemen Di Jakarta Dengan Menggunakan Metode Konvensional Poulos Dan Plaxis Dua Dimensi*.