

ANALISIS PENURUNAN PADA PONDASI RAKIT JENIS PELAT RATA DENGAN METODE KONVENSIONAL

Olivia Stephani Mentang

S. Balamba, O. B. A. Sompie, A. N. Sarajar

Fakultas Teknik, Jurusan Teknik Sipil, Universitas Sam Ratulangi Manado

email : oliviamentang@yahoo.com

ABSTRAK

Bangunan bertingkat tinggi biasanya dibangun di atas pondasi dalam, seperti pondasi tiang pancang atau pondasi sumuran, tetapi banyak juga yang dibangun di atas pondasi dangkal seperti pondasi rakit. Pondasi ini berupa plat beton besar yang berfungsi meneruskan beban melalui sekumpulan kolom atau dinding ke lapisan tanah di bawahnya. Menurut asumsi kekakuan pondasi dan pengaturan jarak antara kolom atau beban kolom yang berdekatan, pondasi rakit dapat dirancang dengan berbagai metode. Perancangan pondasi rakit pada penelitian ini menggunakan metode Konvensional.

Perancangan dilakukan mulai dari menentukan resultan beban kolom, menghitung beban kolom yang termodifikasi, menghitung tebal pondasi, hingga menghitung gaya dalam di setiap strip yang dibagi menurut arah X dan Y yang kemudian akan menjadi acuan untuk menghitung tulangan pondasi. Selanjutnya dihitung daya dukung tanah menggunakan Analisis Terzaghi, Analisis Meyerhof, Persamaan Brinch Hansen, dan Persamaan Vesic. Sedangkan penurunan tanah khususnya penurunan segera dihitung menggunakan teori dari Timoshenko dan Goodier.

Pondasi rakit dengan beban bangunan dan data tanah yang ada lokasi gedung perkantoran BANK SULUT, Manado, Sulawesi Utara, dapat dirancang dengan metode konvensional karena memenuhi syarat antara lain tebal pondasi (h) = 1.028 m > h_{min} = 0.963 m. Sedangkan perhitungan tulangan berdasarkan momen per satuan lebar maksimum dan minimum yaitu untuk arah X diperoleh momen per satuan lebar maksimum sebesar 26.77 tm/m dan minimum sebesar 25.14 tm/m, serta untuk arah Y momen per satuan lebar maksimum sebesar 26.996 tm/m dan minimum sebesar 25,275 tm/m sehingga untuk arah X dan Y dipakai tulangan yang sama yaitu \emptyset 20 sebanyak 3 buah. Daya dukung tanah (q_{ult}) berdasarkan data N-SPT tanah di lokasi, pada kedalaman 4.528 m (dasar pondasi), menghasilkan q_{ult} terbesar yaitu 1067.743 t/m² dengan metode Vesic. Sedangkan pada lapisan-lapisan di bawahnya yaitu pada kedalaman 5 - 25 m, q_{ult} terus bertambah yakni untuk kedalaman 25 m (tanah keras), q_{ult} terbesar yaitu 7009.431 t/m² dari metode Meyerhof. Melihat q_{ult} hasil perhitungan maka untuk beban kolom total ditambah dengan pondasi, tanah dinilai mampu mendukungnya. Penurunan total yang diperoleh dari setiap lapisan tanah adalah sebesar 4.70 cm.

Kata kunci: pondasi rakit, metode konvensional, daya dukung tanah, penurunan tanah

PENDAHULUAN

Latar Belakang

Umumnya bangunan bertingkat tinggi didukung oleh pondasi dalam, seperti pondasi tiang pancang atau pondasi sumuran. Tetapi banyak juga bangunan bertingkat yang saat ini didukung oleh pondasi dangkal seperti pondasi rakit. Pondasi ini berupa plat beton besar yang berfungsi meneruskan beban melalui

sekumpulan kolom atau dinding ke lapisan tanah di bawahnya.

Pondasi rakit menjadi alternatif pilihan dilihat dari faktor eksternal yaitu proses pelaksanaan yang tidak memberi dampak pada lingkungan sekitar atau bangunan di sekitarnya. Pondasi rakit digunakan bila tanah dasar memiliki daya dukung yang rendah dan/ atau beban kolom yang begitu besar sehingga lebih dari 50% luas bangunan diperlukan untuk mendukung pondasi jika menggunakan pondasi telapak sebar konvensional.

Pondasi rakit lebih ekonomis serta dapat menghemat biaya penggalian dan penulangan beton. Pondasi rakit biasanya juga dipakai untuk ruang-ruang bawah tanah (*basement*) yang dalam, baik untuk menyebarkan beban kolom menjadi distribusi tekanan yang lebih seragam dan untuk memberikan lantai buat ruang bawah tanah yang seringkali diman-faatkan sebagai tempat parkir atau ruang penyimpanan utilitas. Keuntungan khusus untuk ruang bawah tanah yang berada pada atau di bawah MAT (Muka Air Tanah) ialah karena merupakan penyekat air.

Perilaku dari pondasi terutama bergantung pada sifat-sifat fisik serta kondisi tanah di bawah permukaan. Pada tanah dengan daya dukung rendah lebih beresiko mengalami penurunan yang besar, hal ini pun yang akan menjadi penentu pondasi yang direncanakan baik atau tidak. Perencanaan pondasi rakit tentunya juga dilakukan dengan mempertim-bangkan besarnya beban yang harus dipikul, teknologi yang tersedia dan biaya yang ekonomis untuk membuat pondasi tersebut mengingat pelaksanaannya memerlukan galian terbuka, juga apabila jenis struktur yang dipikul mungkin memerlukan persyaratan khusus.

Ada beberapa metode yang dapat digunakan dalam perencanaan pondasi rakit. Metode-metode tersebut terbagi menurut asumsi kekakuan pondasi, pengaturan jarak antara kolom atau beban kolom yang berdekatan, melihat juga tekanan yang terjadi pada tanah. Dengan mengasumsi kondisi pondasi rakit yang sangat kaku maka metode perencanaan pondasi rakit yang hendak digunakan adalah metode konvensional.

Rumusan Masalah

Berdasarkan uraian di atas, maka perlu dilakukan analisis perencanaan struktur pondasi rakit dan kemudian dihitung daya dukung serta penurunan tanah di bawahnya.

Batasan Masalah

Untuk penelitian ini dibatasi masalah sebagai berikut :

- Pondasi rakit jenis pelat rata, dengan bahan beton bertulang
- Pembebanan bersifat aksial statis

- Perencanaan struktur pondasi rakit menggunakan metode konvensional dengan mengasumsi kondisi pondasi yang sangat kaku
- Data tanah tinjauan adalah tanah berpasir, lokasi gedung perkantoran BANK SULUT, Manado, Sulawesi Utara
- Data beban bangunan yang digunakan adalah gedung perkantoran BANK SULUT, Manado, Sulawesi Utara.
- Metode yang digunakan untuk menghitung daya dukung tanah adalah:
 - Metode Terzaghi
 - Metode Meyerhof
 - Metode Hansen
 - Metode Vesic
- Metode yang digunakan untuk menghitung penurunan tanah adalah metode Timoshenko Goodier (penurunan segera)

Tujuan Penelitian

Tujuan penelitian ini adalah:

- a. Untuk merancang struktur pondasi rakit dengan metode konvensional.
- b. Untuk menghitung daya dukung dan penurunan tanah akibat pembebanan struktur bangunan dan pondasi.

Manfaat Penelitian

Dengan adanya penelitian ini dapat diperoleh manfaat antara lain:

1. Manfaat teoritis, diharapkan penulisan ini dapat digunakan untuk perkembangan ilmu pengetahuan teknik sipil, khususnya di bidang pondasi rakit.
2. Manfaat praktis, sebagai tambahan informasi untuk praktisi maupun akademisi di bidang pondasi rakit.

LANDASAN TEORI

Pondasi Rakit

Pondasi rakit (*raft foundation* atau *mat foundation*), termasuk jenis pondasi dangkal, berwujud slab beton yang besar dan luas yang berfungsi meneruskan beban melalui sekumpulan kolom atau dinding ke lapisan tanah dibawahnya (Das, 1993). Pondasi rakit dapat digunakan bilamana tanah dasar mempunyai daya dukung rendah dan atau harus mendukung beban kolom yang besar.

Perancangan dengan Metode Konvensional Kaku (Conventional Rigid Method)

Metode ini digunakan pada kondisi berikut:

- Pondasi rakit sangat kaku
- Pengaturan jarak antara kolom atau beban kolom yang berdekatan tidak boleh lebih dari 20%
- Jarak antara kolom harus lebih kecil dari $1.75 / \beta$, dimana

$$\beta = \sqrt[4]{\frac{B_1 k}{4 E_f I_f}} \quad (1)$$

dengan,

k = modulus reaksi tanah dasar

B_1 = lebar pondasi

E_f = modulus elastisitas dari material pondasi

I_f = momen inersia dari pondasi
 $= (1/12) B_1 h^3$

h = tebal pondasi

Menurut ACI Committee 436 (1966), perancangan pondasi rakit harus direncanakan dengan Metode Konvensional jika jarak kolom dalam strip kurang dari pada $1.75/\beta$.

Dalam Metode Konvensional, pondasi rakit dianggap sangat kaku, *soil pressure* (tegangan kontak) terdistribusi secara linier dan resultan tegangan kontak berhimpit dengan resultan beban kolom

Tahapan perhitungan Metode Konvensional dapat dilakukan sebagai berikut :

- a. Menentukan letak resultan beban kolom (Q) terhadap sumbu-sumbu plat pondasi rakit (yaitu e_x dan e_y)
- b. Menghitung tegangan kontak yang terjadi pada tanah di bawah masing-masing kolom, dengan menggunakan persamaan:

$$q = \frac{Q}{A} \pm \frac{M_y \cdot x}{I_y} \pm \frac{M_x \cdot y}{I_x} \quad (2)$$

dengan,

q = tegangan kontak yang terjadi

Q = jumlah beban kolom

A = luas pondasi

M_y = momen terhadap sumbu $y = Q \cdot e_x$

M_x = momen terhadap sumbu $x = Q \cdot e_y$

I_y = momen inersia terhadap sumbu y

I_x = momen inersia terhadap sumbu x

x = absis kolom yang bersangkutan terhadap sumbu x pondasi

y = absis kolom yang bersangkutan terhadap sumbu y pondasi

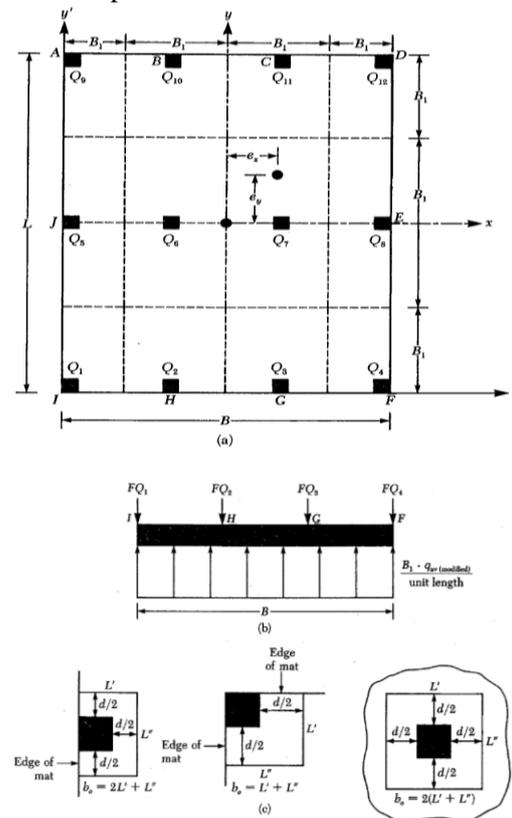
e_x = eksentrisitas beban dalam arah sumbu x

e_y = eksentrisitas beban dalam arah sumbu y

- c. Bandingkan nilai tegangan kontak (q) yang dihitung dalam langkah (b) dengan kapasitas daya dukung tanah (q_{ult}), memenuhi syarat terhadap faktor keamanan (SF) atau tidak
- d. Membagi pondasi rakit dalam beberapa strip, baik arah sumbu x maupun sumbu y (lihat gambar 1a)

Misalkan lebar setiap strip adalah B' .

- e. Gambarkan diagram lintang (V) dan diagram momen (M) untuk setiap strip, baik arah sumbu x maupun arah sumbu y . Sebagai contoh, dianalisis strip terbawah dalam arah x pada Gambar 1a. Pada strip ini terdapat kolom I – H – G – F.



Gambar 1. Perencanaan Pondasi Rakit dengan Metode Konvensional (Das, 1995)

Tegangan kontak rata-rata dapat dihitung sebagai :

$$q_{av} \approx \frac{q_I + q_F}{2} \quad (3)$$

dengan,

q_I dan q_F adalah tegangan kontak di titik I dan F, yang dihitung dari langkah (b)

Reaksi tanah total = $q_{av} \cdot B_1$.

Total beban kolom = $Q_1 + Q_2 + Q_3 + Q_4$ (4)

Jumlah beban kolom pada strip akan tidak sama dengan $q_{av} \cdot B_1 \cdot B$, karena lintang antara strip yang berdekatan/berbatasan tidak ikut dalam perhitungan. Oleh karena itu, reaksi tanah dan beban kolom perlu disesuaikan.

$$Q_{av} = \text{Beban rata - rata} \\ = \frac{q_{av} \cdot B_1 \cdot B + (Q_1 + Q_2 + Q_3 + Q_4)}{2} \quad (5)$$

Tegangan kontak tanah yang dimodifikasi:

$$q_{av} (\text{modifikasi}) = q_{av} \left(\frac{Q_{av}}{q_{av} \cdot B_1 \cdot B} \right) \quad (6)$$

Faktor modifikasi beban kolom adalah:

$$F = \frac{Q_{av}}{Q_1 + Q_2 + Q_3 + Q_4} \quad (7)$$

Maka susunan beban kolom yang baru:

$$Q_1 = FQ_1 \quad Q_2 = FQ_2 \\ Q_3 = FQ_3 \quad Q_4 = FQ_4$$

dan beban terbagi rata baru = $q_{av} \cdot L$
Selanjutnya diagram lintang dan diagram momen dapat digambar. Langkah ini diulangi untuk semua strip dalam arah x dan y.

- f. Menghitung tebal pondasi rakit.
Periksa kolom dengan beban terbesar yang terletak di tepi pondasi rakit
Menurut ACI Code 318-77 dapat menggunakan rumus

$$U = b_o \cdot d \left[\phi (0.34) \sqrt{f'_c} \right] \quad (8)$$

dengan,

- U = faktor beban kolom (MN)
= beban kolom kritis x *load factor*
 b_o = dapat dilihat pada gambar perencanaan pondasi rakit, tergantung pada lokasi kolom (m)
d = tinggi efektif pondasi rakit (m)
 ϕ = faktor reduksi (0,85)
 f'_c = kuat tekan beton pada umur 28 hari (MN/m²)

Tebal pondasi rakit (h) diperoleh dengan rumus sebagai berikut:

$$h = d + \text{diameter tulangan} + \text{selimut beton} \quad (9)$$

- g. Dari diagram momen semua strip, baik dalam arah x maupun y, dapat diperoleh momen maksimum positif dan momen maksimum negatif per satuan lebar, yaitu:

$$M' = \frac{M}{B_1} \quad (10)$$

- h. Menghitung luas tulangan baja per satuan lebar untuk perkuatan positif dan negatif dalam arah x dan y.

Digunakan rumusan :

$$M_u = (M')(Load\ factor) \\ = \phi \cdot A_s \cdot f_y \left(d - \frac{a}{2} \right) \quad (11)$$

$$a = \frac{A_s \cdot f_y}{0.85 f'_c \cdot b} \quad (12)$$

dimana,

- A_s = luas tulangan per satuan lebar
 f_y = tegangan izin tarik baja
 M_u = faktor momen
 b = lebar plat per satuan lebar
 a = jarak tulangan
 ϕ = faktor reduksi (0,85)

Dari rumusan (11) dan (12) dapat dihitung luas tulangan A_s , sehingga dengan diameter tulangan tertentu dapat dihitung jarak tulangannya.

Kapasitas Daya Dukung

Pondasi rakit hanyalah merupakan pondasi yang lebar. Oleh karena itu, hitungan-hitungan kapasitas dukung, sama seperti hitungan kapasitas dukung pondasi telapak. Dipakai beberapa metode sebagai berikut.

Analisis Terzaghi

$$q_u = cN_c + p_o N_q + 0,5 \gamma B N_\gamma \quad (13)$$

Analisis Meyerhof

$$q_u = s_c d_c i_c c N_c + s_q d_q i_q q N_q + s_\gamma d_\gamma i_\gamma 0,5 B' \gamma N_\gamma \quad (14)$$

Persamaan Brinch Hansen

$$q_u = \frac{Q_u}{B'L'} = s_c d_c i_c b_c g_c c N_c + s_q d_q i_q b_q g_q p_o N_q + s_\gamma d_\gamma i_\gamma b_\gamma g_\gamma 0,5 B' \gamma N_\gamma \quad (15)$$

Persamaan Vesic

$$q_u = \frac{Q_u}{B'L'} = s_c d_c i_c b_c g_c c N_c + s_q d_q i_q b_q g_q p_o N_q + s_\gamma d_\gamma i_\gamma b_\gamma g_\gamma 0,5 B_\gamma N_\gamma \quad (16)$$

dengan :

- q_u = kapasitas dukung ultimit
 c = kohesi
 D_f = kedalaman pondasi (m)
 γ = berat volume tanah (m)
 B = lebar pondasi
 p_o = $D_f \gamma$ = tekanan *overburden* pada dasar pondasi
 N_γ, N_c, N_q = faktor kapasitas dukung untuk setiap metode
 s_c, s_q, s_γ = faktor bentuk pondasi
 d_c, d_q, d_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

Penurunan Pondasi Rakit

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

Tabel 1. Total Penurunan Maksimum dan Penurunan Diferensial yang Diizinkan

Maximum settlement, $S_{T(max)}$	
In sand	32 mm
In clay	45 mm
Maximum differential settlement $\Delta S_{T(max)}$	
Isolated foundation in sand	51 mm
Isolated foundation in clay	76 mm
Raft in sand	51-76 mm
Raft in clay	76-127 mm
Maximum angular distortion, β_{max}	1/300

Sumber: Das, 1995

Hitungan Penurunan

Penurunan (*settlement*) pondasi yang terletak pada tanah berbutir halus yang jenuh dapat dibagi menjadi 3 komponen, yaitu: penurunan segera (*immediate settlement*), penurunan konsolidasi primer, dan penurunan konsolidasi sekunder. Penurunan total adalah jumlah dari ketiga komponen penurunan tersebut. Dalam skripsi ini penurunan tanah dihitung dengan menggunakan teori dari Timoshenko dan Goodier (1951) untuk penurunan segera.

Rumus penurunan segera (*Immediately Settlement*) dikembangkan berdasar teori dari Timoshenko dan Goodier (1951) sebagai berikut:

$$S_i = qB \frac{1-\mu^2}{E_s} I_w \quad (17)$$

dengan :

S_i = Penurunan segera
 q = Besarnya tegangan kontak
 B = Lebar pondasi
 I_p = Faktor pengaruh yang tergantung dari bentuk pondasi dan kekakuan pondasi
 μ = Angka poisson
 E_s = Modulus elastisitas tanah

Besarnya tegangan kontak berubah akibat bertambah dalamnya tinjauan, sehingga q menjadi:

$$\Delta\sigma = \frac{q_0 \times B \times L}{(B+z)(L+z)} \quad (18)$$

Rumus 17. menjadi:

$$S_i = \Delta\sigma B \frac{1-\mu^2}{E_s} I_w \quad (19)$$

Dimana:

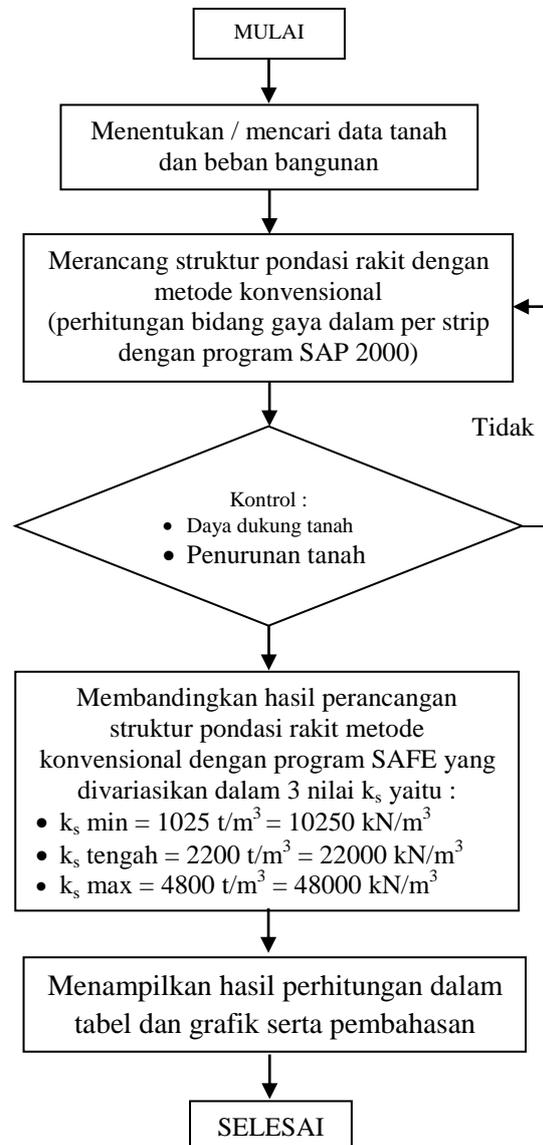
$\Delta\sigma$ = penambahan tegangan rata-rata sesuai kedalaman tinjauan (t/m^2)

q_0 = beban pada pondasi

z = penambahan lebar daerah tekan pada pondasi sesuai kedalaman tinjauan

METODOLOGI PENELITIAN

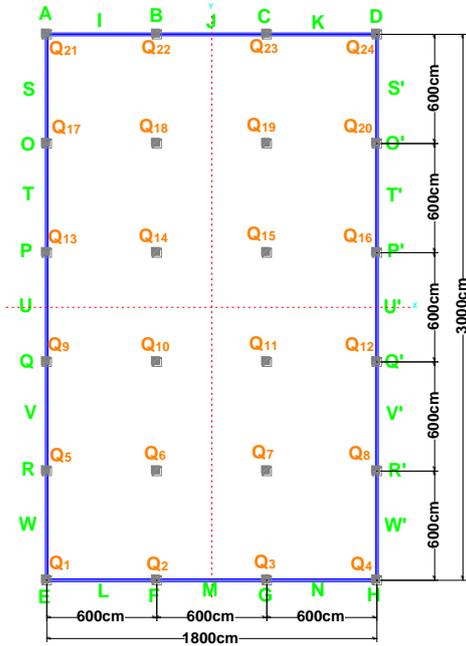
Bagan Alir Penelitian



HASIL DAN PEMBAHASAN

Denah Pondasi Rakit

Denah pondasi rakit dan kolom-kolom gedung perkantoran BANK SULUT seperti pada gambar.



Gambar 2. Denah Pondasi Rakit dan Kolom-kolom

Analisis Struktur Pondasi Rakit dengan Metode Konvensional

Direncanakan pondasi rakit pada kedalaman 3,5m di bawah tanah, menggunakan metode konvensional kaku dengan tahapan perhitungan sebagai berikut:

Untuk melihat apakah pondasi rakit dapat dirancang menggunakan metode konvensional kaku, maka harus memenuhi syarat berikut:

$$k_s \text{ min} = 1025 \text{ t/m}^3 = 10250 \text{ kN/m}^3$$

$$k_s \text{ max} = 4800 \text{ t/m}^3 = 48000 \text{ kN/m}^3$$

$$\text{Syarat jarak antar kolom} \leq \frac{1,75}{\beta}$$

$$6 \leq \frac{1,75}{\beta}$$

$$\beta = 0,3$$

$$0,3 = \sqrt[4]{\frac{30 \cdot 1025}{4 \cdot 2229405,75 \cdot \frac{1}{12} \cdot 30 \cdot h^3}}$$

$$h^3 = \frac{30 \cdot 1025}{4 \cdot 2229405,75 \cdot \frac{1}{12} \cdot 30 \cdot 0,30^4}$$

$$h_{\text{min}} = 0,575 \text{ m}$$

$$0,3 = \sqrt[4]{\frac{30 \cdot 4800}{4 \cdot 2229405,75 \cdot \frac{1}{12} \cdot 30 \cdot h^3}}$$

$$h^3 = \frac{30 \cdot 4800}{4 \cdot 2229405,75 \cdot \frac{1}{12} \cdot 30 \cdot 0,30^4}$$

$$h_{\text{min}} = 0,963 \text{ m}$$

Tabel 2. Pembagian Strip untuk Arah X dan Y

No.	Arah X	Arah Y
1	E-W-H-W'	E-L-A-I
2	W-V-W'-V'	L-M-I-J
3	V-U-V'-U'	M-N-J-K
4	U-T-U'-T'	N-H-K-D
5	T-S-T'-S'	
6	S-A-S'-D	

Perhitungan tegangan kontak pada setiap titik untuk strip E-W-H-W' adalah:

Tabel 3. Perhitungan Tegangan Kontak Pada Setiap Titik

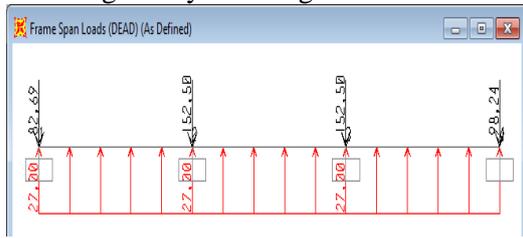
Titik	x (m)	y (m)	q (t/m ²)
1	-9	-15	8,565
2	-3	-15	8,565
3	3	-15	8,565
4	9	-15	8,565
5	-9	-9	8,565
6	-3	-9	8,565
7	3	-9	8,565
8	9	-9	8,565
9	-9	-3	8,565
10	-3	-3	8,565
11	3	-3	8,565
12	9	-3	8,565
13	-9	3	8,565
14	-3	3	8,565
15	3	3	8,565
16	9	3	8,565
17	-9	9	8,565
18	-3	9	8,565
19	3	9	8,565
20	9	9	8,565
21	-9	15	8,565
22	-3	15	8,565
23	3	15	8,565
24	9	15	8,565

Karena beban-beban kolom simetris maka tegangan kontak pada setiap titik untuk setiap strip sama.

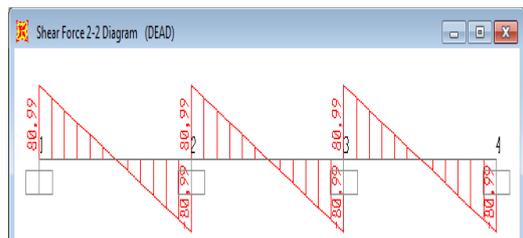
Jumlah beban kolom pada strip tidak sama dengan reaksi tanah total. Oleh karena

itu, reaksi tanah dan beban perlu disesuaikan.

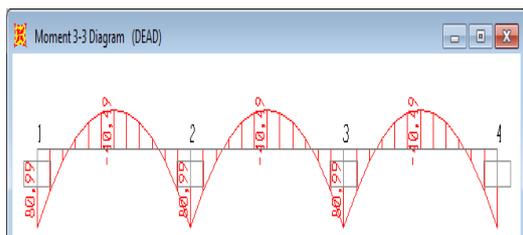
Perhitungan Gaya Lintang dan Momen:



Gambar 3a Tampilan Pembebanan Struktur Strip E-W-H-W' (SAP2000)



Gambar 3b Tampilan Diagram Lintang Strip E-W-H-W' (SAP2000)



Gambar 3c Tampilan Diagram Momen Strip E-W-H-W' (SAP2000)

Tabel 4. Hasil Perhitungan Gaya Dalam untuk Strip E-W-H-W' (SAP2000)

Frame	Station	V2	M3
Text	m	Tonf	Tonf-m
1	0	80,988	80,988
1	1,5	40,494	-10,1235
1	3	1,457E-13	-40,494
1	4,5	-40,494	-10,1235
1	6	-80,988	80,988
2	7,5	40,494	-10,1235
2	9	1,457E-13	-40,494
2	10,5	-40,494	-10,1235
2	12	-80,988	80,988
3	13,5	40,494	-10,1235
3	15	1,457E-13	-40,494
3	16,5	-40,494	-10,1235
3	18	-80,988	80,988

Selanjutnya, diperoleh hasil-hasil yang ditunjukkan pada tabel dan gambar berikut ini:

Tabel 5a Beban Termodifikasi Arah X

Strip	Nomor Kolom	Beban Terbagi Rata q (t/m)	Beban Kolom / Terpusat Q _m (t)
E-W-H-W'	1	26,996	82,689
	2		152,502
	3		152,502
	4		98,241
W-V-W'-V'	5	50,549	162,063
	6		292,878
	7		292,878
	8		162,063
V-U-V'-U'	9	50,928	166,081
	10		292,273
	11		292,273
	12		166,081
U-T-U'-T'	13	50,928	166,081
	14		292,273
	15		292,273
	16		166,081
T-S-T'-S'	17	50,549	162,063
	18		292,878
	19		292,878
	20		162,063
S-A-S'-D	21	26,996	98,241
	22		152,502
	23		152,502
	24		82,689

Tabel 5b Beban Termodifikasi Arah Y

Strip	Nomor Kolom	Beban Terbagi Rata q (t/m)	Beban Kolom / Terpusat Q _m (t)
E-L-A-I	1	26,806	83,225
	5		153,023
	9		158,023
	13		158,023
	17		153,023
L-M-I-J	2	50,278	163,470
	6		294,522
	10		296,174
	14		296,174
	18		294,522
M-N-J-K	22	50,278	163,470
	3		163,470
	7		294,522
	11		296,174
	15		296,174
N-H-K-D	19	26,806	294,522
	23		163,470
	4		98,877
	8		153,023
	12		158,023
	16	26,806	158,023
	20		153,023
	24		83,225

f. Menghitung tebal pondasi rakit berdasarkan $Q_{max} = 289.6256$ ton

$$\begin{aligned} \text{Tebal pondasi} &= d + \text{diameter tulangan} + \\ &\quad \text{tebal selimut beton} \\ &= 0.928 + 0.025 + 0.075 \\ &= 1.028 \text{ m} \\ h_{\min} &= 0.963 \text{ m} < 1.028 \text{ m} \\ &\quad \dots \text{ OK!} \end{aligned}$$

g. Dari diagram momen semua strip, baik dalam arah x maupun y, dapat diperoleh momen maksimum positif dan momen maksimum negatif per satuan lebar, ditabelkan sebagai berikut:

h. Tabel 6a Momen Maksimum Positif dan Momen Maksimum Negatif Per Satuan Lebar Arah Sumbu Y

STRIP	M _{max} (+) (tm)	M _{max} (-) (tm)	M per sat. lebar (tm)
E-W-H-W'	80,988	40,494	26,996
W-V-W'-V'	151,647	75,824	25,275
V-U-V'-U'	152,784	76,392	25,464
U-T-U'-T'	152,784	76,392	25,464
T-S-T'-S'	151,647	75,824	25,275
S-A-S'-D	80,988	40,494	26,996

Tabel 6b Momen Maksimum Positif dan Momen Maksimum Negatif Per Satuan Lebar Arah Sumbu X

STRIP	M _{max} (+) (tm)	M _{max} (-) (tm)	M per sat. lebar (tm)
E-L-A-I	80,318	40,159	26,77
L-M-I-J	150,834	75,417	25,14
M-N-J-K	150,834	75,417	25,14
N-H-K-D	80,318	40,159	26,77

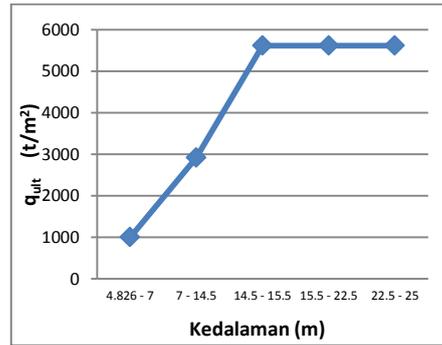
i. Menghitung luas tulangan baja per satuan lebar untuk perkuatan positif dan negatif dalam arah X dan Y

Tabel 7 Penulangan Arah X dan Y

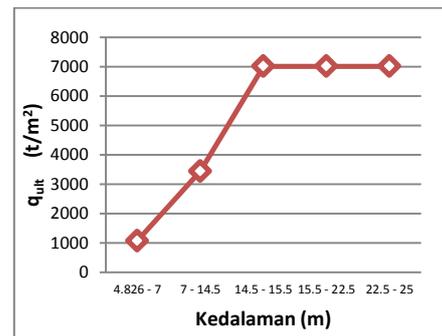
	Momen Per Satuan Lebar Maksimum	Momen Per Satuan Lebar Minimum	Penulangan
Arah X	26.77 tm/m (E-L-A-I dan N-H-K-D)	25.14 tm/m (M-N-J-K dan L-M-I-J)	Ø 20 sebanyak 3 buah
Arah Y	26.996 tm/m (E-W-H-W' dan S-A-S'-D)	25.275 tm/m (W-V-W'-V' dan T-S-T'-S')	Ø 20 sebanyak 3 buah

Menghitung Kapasitas Daya Dukung Tanah

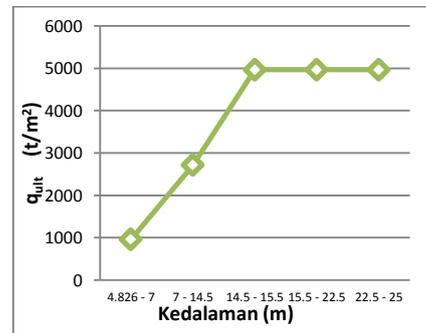
Dengan metode yang sama, perhitungan daya dukung untuk beberapa lapisan hingga kedalaman 25 m (tanah keras) ditampilkan dalam tabel dan grafik sebagai berikut:



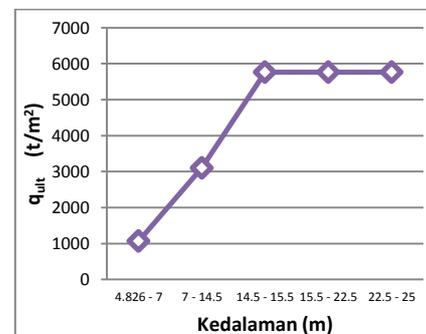
Gambar 4a Grafik Hubungan Daya Dukung Pondasi Rakit Metode Terzaghi dan Kedalaman Tanah



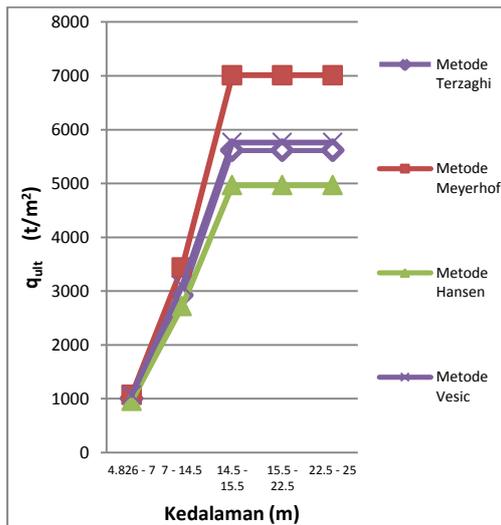
Gambar 4b Grafik Hubungan Daya Dukung Pondasi Rakit Metode Meyerhof dan Kedalaman Tanah



Gambar 4c Grafik Hubungan Daya Dukung Pondasi Rakit Metode Hansen dan Kedalaman Tanah



Gambar 4d Grafik Hubungan Daya Dukung Pondasi Rakit Metode Vesic dan Kedalaman Tanah

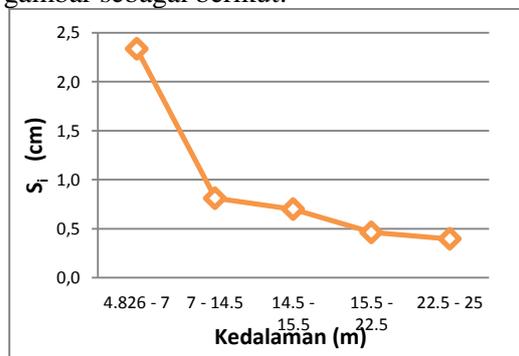


Gambar 5 Grafik Hubungan Kedalaman Tanah dan Daya Dukung Pondasi Rakit

Hasil perhitungan daya dukung tanah untuk tiap lapisan tanah dengan menggunakan keempat metode tersebut menunjukkan bahwa semakin besar kedalaman tanah maka semakin besar nilai daya dukung tanah sehingga tanah semakin kuat dalam memikul beban yang berasal dari pondasi. Daya dukung terbesar pada kedalaman 14.5 m diperoleh dengan metode Meyerhof yaitu sebesar 7009.431 t/m². Diperoleh hasil yang sama untuk kedalaman 14.5 m sampai 25 m karena data tanah yang sama.

Menghitung Besar Penurunan yang Terjadi

Perhitungan penurunan segera untuk beberapa lapisan hingga kedalaman 25 m (tanah keras) ditampilkan dalam grafik pada gambar sebagai berikut:



Gambar 6 Grafik Hubungan Penurunan Segera dan Kedalaman Tanah

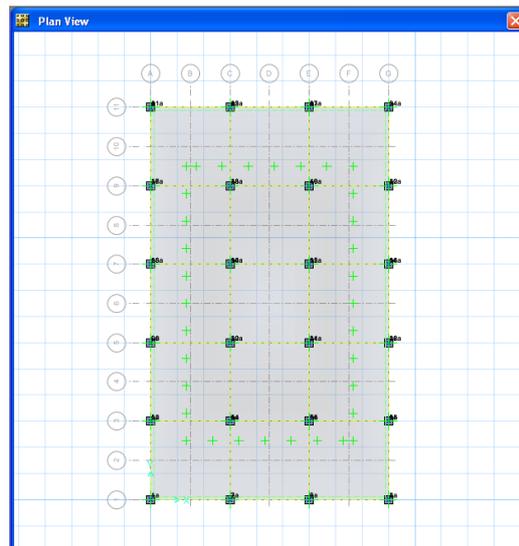
Hasil perhitungan penurunan segera untuk tiap lapisan tanah menunjukkan bahwa semakin besar kedalaman, penurunan

yang terjadi semakin kecil. Walaupun tekanan pada dasar pondasi terus bertambah seiring dalamnya tinjauan, penurunan justru semakin kecil. Hal ini disebabkan karena jenis tanah yang semakin dalam semakin padat, dan sistem pembebanan yang terjadi secara menyeluruh ke luasan pondasi. Dapat dilihat bahwa untuk menopang beban bangunan dan beban pondasi, jenis dan kepadatan tanah dibawahnya juga sangat menentukan.

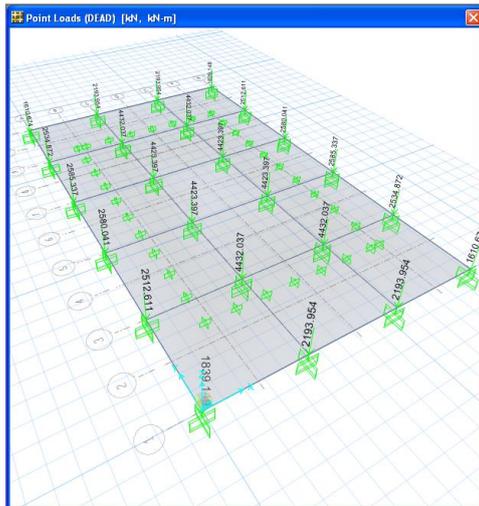
Jumlah penurunan yang terjadi yaitu sebesar 4.70 cm, berdasarkan Tabel 1 hasil perhitungan tersebut melebihi batas penurunan yang disarankan untuk pondasi rakit yaitu 3.2 cm. Selain disebabkan oleh jenis tanah yang tergolong mudah mengalami penurunan, penurunan yang besar juga disebabkan oleh besarnya tegangan kontak dari bangunan dan pondasi yang membebani tanah.

Perbandingan antara Hasil Perancangan Pondasi Rakit Metode Konvensional dan Program SAFE

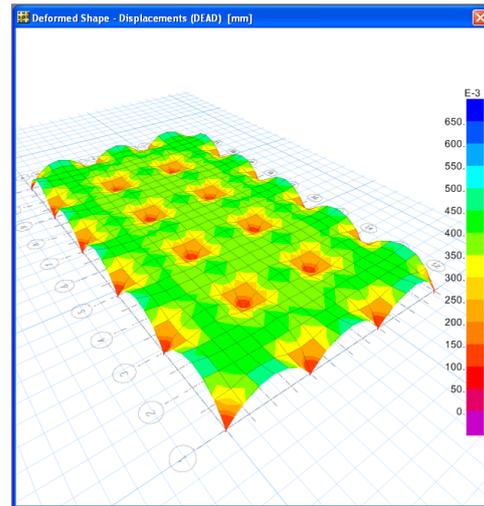
Berikut ini hasil perancangan struktur pondasi rakit menggunakan program SAFE yang divariasikan menurut nilai k_s yaitu k_s min = 1025 t/m³ = 10250 kN/m³ dan k_s max = 4800 t/m³ = 48000 kN/m³, serta nilai k_s di antara diambil 22000 kN/m³.



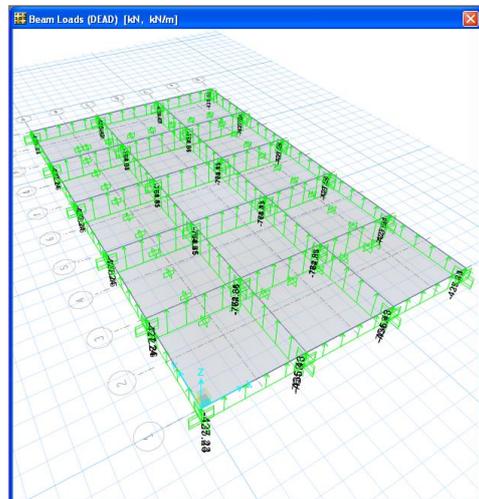
Gambar 7 Tampilan Atas Denah Pondasi Rakit dan Kolom-kolom (SAFE)



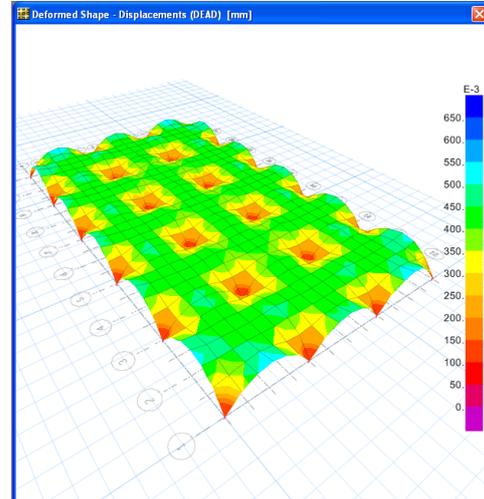
Gambar 8 Tampilan 3D Pondasi Rakit dengan Beban Kolom Termodifikasi (SAFE)



Gambar 10b Pondasi Rakit Kondisi Terdeformasi $k_s = 22000 \text{ kN/m}^3$ (SAFE)

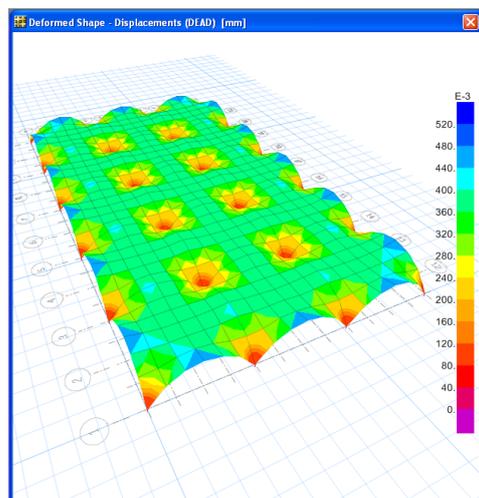


Gambar 9 Tampilan 3D Pondasi Rakit dengan Beban Terbagi Rata Termodifikasi (SAFE)

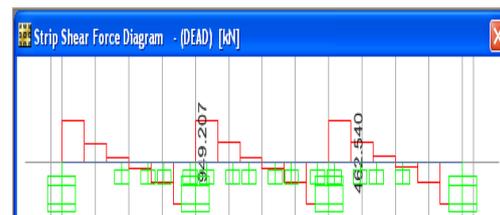


Gambar 10c Pondasi Rakit Kondisi Terdeformasi $k_s = 10250 \text{ kN/m}^3$ (SAFE)

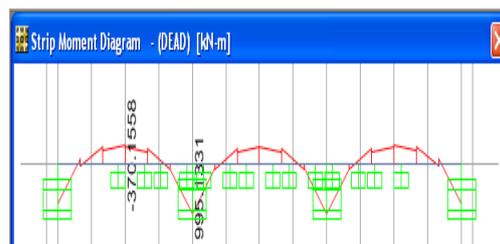
Hasil perhitungan dari Program SAFE.



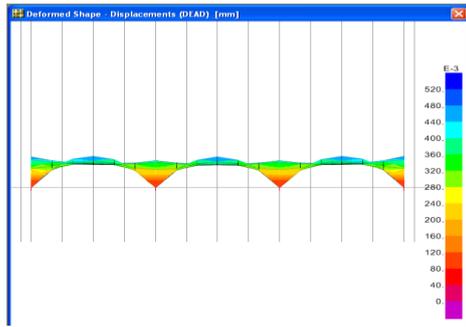
Gambar 10a Pondasi Rakit Kondisi Terdeformasi $k_s = 48000 \text{ kN/m}^3$ (SAFE)



Gambar 11a Tampilan Diagram Lintang Strip E-W-H-W' $k_s = 48000 \text{ kN/m}^3$ (SAFE)



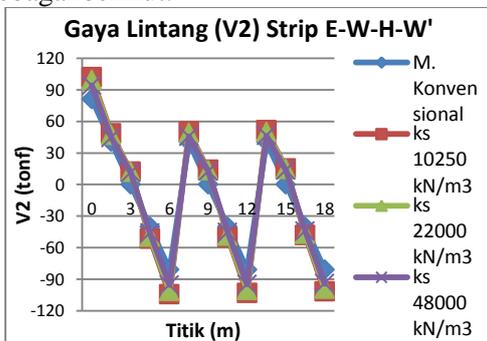
Gambar 11b Tampilan Diagram Momen Strip E-W-H-W' $k_s = 48000 \text{ kN/m}^3$ (SAFE)



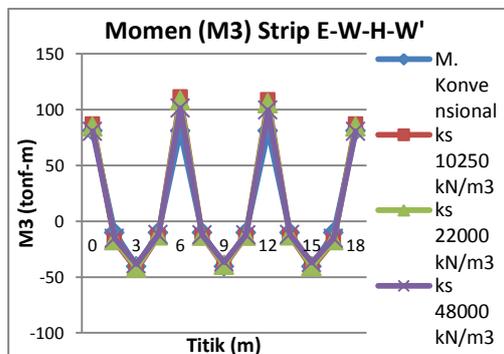
Gambar 11c Tampilan Kondisi Terdeformasi Strip E-W-H-W' $k_s = 48000 \text{ kN/m}^3$ (SAFE)

Hasil analisis dengan program SAFE dapat dilihat pada Gambar 10 yang menampilkan kondisi secara menyeluruh pondasi rakit yang terdeformasi dengan berbagai variasi nilai k_s . Gambar 11 menampilkan diagram lintang, diagram momen dan kondisi terdeformasi dari strip E-W-H-W'.

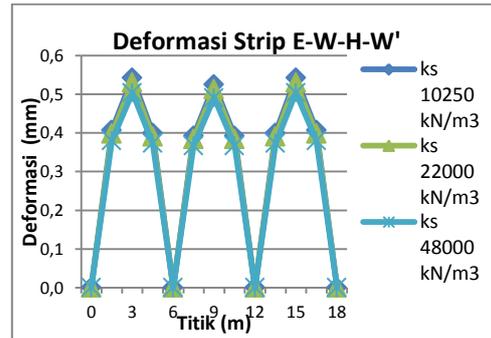
Selanjutnya untuk $k_s = 22000 \text{ kN/m}^3$ dan 10250 kN/m^3 perhitungan menggunakan program SAFE dilakukan dengan cara yang sama seperti pada $k_s = 48000 \text{ kN/m}^3$, sehingga hasil perbandingan dengan metode Konvensional untuk strip E-W-H-W' adalah sebagai berikut.



Gambar 12a Grafik Perbandingan Gaya Lintang (V2) Pondasi Rakit Metode Konvensional dengan Program SAFE untuk Strip E-W-H-W'



Gambar 12b Grafik Perbandingan Momen (M3) Pondasi Rakit Metode Konvensional dengan Program SAFE untuk Strip E-W-H-W'



Gambar 12c Grafik Perbandingan Deformasi Pondasi Rakit Metode Konvensional dengan Program SAFE untuk Strip E-W-H-W'

Berdasarkan hasil perbandingan tersebut dapat dilihat, bahwa perhitungan pondasi rakit menggunakan Program SAFE menghasilkan gaya lintang dan momen yang lebih besar dibandingkan dengan perhitungan menggunakan Metode Konvensional. Hal ini dikarenakan perbedaan fungsi penggunaan parameter modulus reaksi tanah dasar (k_s).

Dalam analisis perancangan pondasi rakit Metode Konvensional, k_s dipakai hanya untuk menentukan syarat tebal minimum pondasi yang diizinkan, dan tidak dipakai dalam perhitungan pembebanan dalam setiap strip. Sedangkan dalam analisis menggunakan program SAFE, selain pembebanan struktur dan pondasi, sifat tanah di dasar pondasi turut diperhitungkan dengan memasukkan nilai k_s .

Nilai k_s kemudian dapat kita lihat pengaruhnya lewat perbandingan yang disajikan diatas, dimana nilai k_s divariasikan menurut nilai maksimum, medium dan minimum sesuai data yang ada. Didapatkan bahwa semakin besar nilai k_s maka semakin kecil gaya lintang, momen dan deformasi yang diperoleh.

PENUTUP

Kesimpulan

1. Pondasi rakit dengan beban bangunan dan data tanah gedung BANK SULUT, Manado, dapat dirancang dengan metode konvensional karena memenuhi syarat antara lain tebal pondasi (h) = 1.028 m yang lebih besar dari $h_{min} = 0.963 \text{ m}$.
2. Daya dukung tanah (q_{ult}) dibawah pondasi rakit berdasarkan data N-SPT tanah lokasi gedung BANK SULUT, pada kedalaman 4.528m.

3. Penurunan total yang diperoleh dari setiap lapisan tanah adalah sebesar 4.70 cm.
4. Hasil yang diperoleh menggunakan program SAFE lebih besar dibandingkan dengan hasil hitungan menggunakan metode konvensional.
2. Pondasi rakit dapat ditopang dengan pondasi tiang pancang untuk mendukung tiap kolom sehingga pun dapat mengurangi potensi penurunan tanah dibawahnya.
3. Diperlukan data tanah yang pasti untuk menghindari kurang akuratnya perhitungan.

Saran

1. Untuk mengatasi masalah tanah dengan potensi penurunan yang besar, hendaknya dilakukan stabilisasi sebelum pembangunan.
4. Penggunaan Program SAFE dalam perancangan pondasi rakit dapat menjadi alternatif yang memudahkan kinerja seorang perancang pondasi.

DAFTAR PUSTAKA

- Bowles E. Joseph, 1982. *Foundation Analysis and Design*, Third Edition, McGraw-Hill Book Company, Japan.
- Bowles E. Joseph, 1983. *Analisis dan Disain Pondasi*, Jilid 1, Penerbit Erlangga, Jakarta.
- Das, Braja M., 1993. *Principles of Soil Dynamics*, PWS-KENT Publishing Company, Canada.
- Das, Braja M., 1995. *Principles of Foundation Engineering*, PWS Publishing Company, California.
- Das, Braja M., 2006. *Principles of Geotechnical Engineering*, Fifth Edition, Nelson A Division Of Thomson Canada Limited, Canada.