

ANALISIS PENURUNAN BANGUNAN PONDASI TIANG PANCANG DAN RAKIT PADA PROYEK PEMBANGUNAN APARTEMEN SURABAYA CENTRAL BUSINESS DISTRICT

Fachridia Luthfiani, Ilham Nurhuda^{*)}, Indrastono Dwi Atmanto^{*)}

Departemen Teknik Sipil, Fakultas Teknik, Universitas Diponegoro
Jl. Prof Soedarto, Tembalang, Semarang. 50275, Telp.: (024) 7474770, Fax.: (024) 7460060

ABSTRAK

Perencanaan pondasi membutuhkan ketelitian yang berhubungan dengan sifat dan karakteristik tanah. Pondasi harus mampu memikul beban sampai batas aman yang telah ditentukan, hingga batas beban maksimum yang mungkin terjadi. Tujuan analisa ini untuk menghitung secara manual daya dukung dan penurunan bangunan dengan sistem pondasi tiang kelompok, memberikan alternatif desain perbaikan pondasi, menghitung dengan bantuan *software* SAP2000 daya dukung dan penurunan yang terjadi pada bangunan dengan sistem pondasi rakit, serta membandingkan kedua nilai penurunan bangunan pada Proyek Apartemen Surabaya Central Business District. Analisa kapasitas daya dukung tiang pancang dihitung berdasarkan data SPT dengan menggunakan metode Meyerhof (1976) dan Vesic (1977) untuk daya dukung ujung tiang serta metode λ , α dan β untuk daya dukung friksi tiang. Sedangkan kapasitas daya dukung rakit menggunakan rumus Braja M. Das. Penurunan bangunan dengan pondasi sistem tiang kelompok dihitung secara manual dan menggunakan *software* SAP2000, sedangkan penurunan pada bangunan sistem pondasi rakit dihitung menggunakan bantuan *software* SAP2000. Hasil penurunan bangunan dengan sistem pondasi tiang pancang menunjukkan hasil yang sangat besar sehingga perlu dilakukan desain ulang menggunakan pondasi rakit yang menurut hasil analisa menunjukkan angka penurunan yang berada pada interval batas aman.

Kata kunci: Tiang Pancang, Rakit, Kapasitas Daya Dukung, Penurunan, SAP 2000

ABSTRACT

Design foundation needs precision calculation related to the properties and characteristics of the soil. Foundation must be able to support the design load. The purpose of this research was to determine the bearing capacity and settlement value of the building foundation of group pile system, and to give alternative design foundation. The analysis of the bearing capacity of piles was calculated based on SPT data using the method of Meyerhof (1976) and Vesic (1977). For skin friction pile, the calculation was conducted using the method of λ ,

^{*)}Penulis Penanggung Jawab

α and β . The bearing capacity of raft foundation was calculated using Braja M. Das formula. The settlement of the building with group pile system was calculated both manually and using SAP2000 program. The settlement of group piles system were found to be very large, thus need to be redesigned with raft foundation. The settlement of the building with raft foundation was calculated using SAP2000 program.

Keywords: *Pile, Mat, Bearing Capacity, Settlement, SAP2000*

PENDAHULUAN

Pekerjaan pondasi merupakan pekerjaan paling utama pada sebuah pekerjaan proyek konstruksi. Pemilihan pondasi tergantung pada besarnya beban yang bekerja dan jenis tanahnya. Pada Proyek Pembangunan Apartemen Surabaya Business District menggunakan sistem pondasi tiang kelompok yang bekerja pada tanah keras dan lunak, pondasi yang bekerja pada tanah lunak perlu dikaji ulang kemampuan daya dukung tiang dan besarnya penurunan yang terjadi. Selanjutnya apabila pondasi tersebut menghasikan penurunan yang sangat besar, maka perlu adanya alternatif desain dan perhitungan penurunannya. Alternatif desain pondasi ini menggunakan sistem pondasi rakit.

Maksud dan tujuan:

1. Menghitung secara manual daya dukung dan penurunan sebuah gedung dengan sistem pondasi tiang kelompok.
2. Menentukan alternatif desain pondasi yang dapat bekerja dengan baik pada tanah lunak.
3. Menghitung dengan bantuan *software* SAP2000 daya dukung dan penurunan sebuah gedung dengan sistem pondasi rakit.
4. Membandingkan nilai penurunan yang dihasilkan dari perhitungan kedua pondasi.

Lokasi proyek berada di Jalan Kramat Kali, Menganti, Wiyung, Surabaya.

Batasan masalah pada perhitungan:

1. Kombinasi pembebanan yang digunakan pada perhitungan numerik struktur atas adalah beban mati, beban hidup dan beban gempa.
2. Perhitungan daya dukung ujung tiang dihitung menurut Meyerhof dan Vesic.
3. Perhitungan daya dukung friksi tiang menggunakan metode Vijayvergiya dan Focht (λ), β , α .
4. Perhitungan penurunan tiang kelompok dihitung berdasarkan kondisi tanah lunak, yaitu penurunan konsolidasi.
5. Penurunan pondasi kelompok tiang dihitung secara manual dan dimodelkan dengan SAP2000.
6. Penurunan pondasi rakit tidak dihitung secara manual, tetapi dimodelkan dengan SAP2000.
7. Beban pada pemodelan SAP2000 untuk pondasi rakit adalah reaksi dari tumpuan-tumpuan yang diperoleh dari pemodelan SAP2000 struktur atas.

STUDI PUSTAKA

Perhitungan manual daya dukung dan penurunan sistem pondasi kelompok tiang meliputi perhitungan:

1. Kapasitas daya dukung tiang pancang yang terdiri dari kapasitas daya dukung ujung tiang dan kapasitas daya dukung friksi tiang.

- a. Kapasitas daya dukung ujung tiang

- Kapasitas daya dukung ujung tiang menurut Meyerhof (1976)

$$Q_p = 9 c_u A_p$$

dimana:

Q_p = tahanan ujung *ultimate* (kN)

A_p = luas penampang tiang (m^2)

c_u = *undrained cohesion* (kN/ m^2)

untuk perhitungan nilai c_u dapat dihitung dengan rumus

$$c_u = 4 \text{ N-SPT}$$

- Kapasitas daya dukung ujung tiang menurut Vesic (1977)

$$Q_p = A_p c_u N_c$$

dimana:

Q_p = tahanan ujung *ultimate* (kN)

N_c = faktor daya dukung dapat dilihat pada Tabel 1

c_u = kohesi

A_p = luas penampang tiang (m^2)

Tabel 1 Nilai N_c berdasar I_{tr} dengan $\phi = 0$ menurut Vesic (Braja M. Das, 2011)

I_{tr}	10	20	40	60	80	100	200	300	400	500
N_c	6.97	7.90	8.82	9.36	9.75	10.04	10.97	11.51	11.89	12.19

Untuk menentukan nilai I_{tr} dapat dilihat pada Tabel 2

Tabel 2 Perkiraan-perkiraan untuk nilai I_{tr} (Bowles, 1991)

Jenis tanah	I_{tr}
Pasir	75-150
Lumpur	50-75
Lempung	150-250

- b. Kapasitas daya dukung friksi tiang

- Kapasitas daya dukung friksi tiang metode λ

$$f_{av} = \lambda (\sigma_o + 2c_u)$$

dimana:

σ_o = tekanan vertikal efektif rata-rata dari ujung tiang bawah sampai permukaan tanah (kN/m²)

c_u = kohesi rata-rata sepanjang tiang (kN/m²)

λ = koefisien tak berdimensi dapat dilihat pada Tabel 3

Tabel 3 Variasi nilai koefisien λ dengan kedalaman tiang (Braja M. Das, 2011)

Kedalaman tiang (m)	0	5	10	20	25	30
λ	0.5	0.336	0.245	0.173	0.150	0.136

Total daya dukung friksi

$$Q_s = p L f_{av}$$

dimana:

Q_s = daya dukung friksi

p = luas permukaan efektif yang bekerja, dihitung sebagai keliling

L = pertambahan panjang yang tertanam untuk setiap lapisan tanah

f_{av} = tahanan friksi tiang

- Kapasitas daya dukung friksi tiang metode α

$$f = \alpha c_u$$

dimana:

α = faktor adhesi

$$= C \left(\frac{\sigma_o}{c_u} \right)^{0.45}$$

C = 0.4 – 0.5 untuk bor pile dan ≥ 0.5 untuk tiang pancang

Total daya dukung friksi

$$Q_s = \sum f p L$$

dimana:

Q_s = daya dukung friksi

p = luas permukaan efektif yang bekerja, dihitung sebagai keliling

L = pertambahan panjang yang tertanam untuk setiap lapisan tanah

f = tahanan friksi tiang

- Kapasitas daya dukung friksi tiang metode β

$$f = (1 - \sin \phi_R) \tan \phi_R \sigma_o \text{ (normal consolidation)}$$

$$f = (1 - \sin \phi_R) \tan \phi_R \sqrt{OCR} \sigma_o \text{ (over consolidation)}$$

dimana:

ϕ_R = sudut gesek dalam terdrainase lempung, antara 20° sampai 30°

OCR = *overconsolidated ratio*

Total daya dukung friksi

$$Q_s = \sum f p L$$

dimana:

Q_s = daya dukung friksi

p = luas permukaan efektif yang bekerja, dihitung sebagai keliling

L = pertambahan panjang yang tertanam untuk setiap lapisan tanah

f = tahanan friksi tiang

2. Kapasitas daya dukung maksimum kelompok tiang yang dipengaruhi oleh nilai efisiensi kelompok tiang dan jumlah tiang pada kelompok tiang

- a. Efisiensi grup tiang

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

dimana:

E_g = efisiensi grup pile

θ = arc tan d/s dalam derajat

n = banyak baris

m = banyaknya kolom

d = diameter dari tiang

s = *spacing* (jarak antar tiang)

- b. Kapasitas daya dukung maksimum grup tiang

$$Q_{ug} = Q_{ut} n E_g$$

dimana:

Q_{ug} = kapasitas daya dukung maksimum grup tiang

E_g = efisiensi grup tiang

n = banyak tiang

Q_{ut} = kapasitas daya dukung maksimum satu tiang

3. Distribusi pembebanan pondasi tiang kelompok yang dipengaruhi oleh beban aksial yang bekerja pada tiang, momen arah x dan y serta momen inersia dari kelompok tiang.

$$P = \frac{V}{n} \pm \frac{M_y x}{\Sigma x^2} \pm \frac{M_x y}{\Sigma y^2}$$

dimana:

P = beban aksial tiang

V = beban vertikal total tiang

n = banyak tiang dalam grup

M_x, M_y = momen pada arah sumbu x dan sumbu y

x, y = jarak dari tiang terhadap sumbu x dan y

$\Sigma x^2, \Sigma y^2$ = momen inersia dari kelompok tiang

4. Analisa gaya lateral yang dipengaruhi oleh faktor aman terhadap keruntuhan ultimit dan defleksi yang terjadi akibat beban yang bekerja harus dalam batas toleransi.

- a. Menghitung gaya lateral (H_u) untuk tanah kohesi, tiang panjang, fixed head

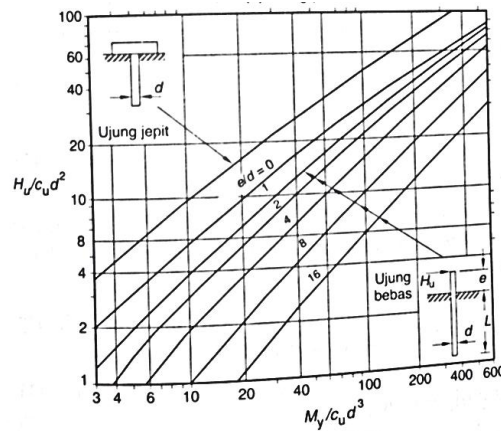
$$H_u = \frac{2 M_u}{1.5B + \frac{0.5H_u}{9 C_u B}}$$

dimana:

H_u = Gaya lateral

B = lebar penampang tiang

- b. Mencari momen *ultimate* menggunakan grafik *Broms*



Gambar 1 Tahanan lateral ultimit (Broms, 1964)

- c. Daya dukung ijin group lateral

$$Q_{u \text{ group ijin}} = Q_u E_g n$$

dimana:

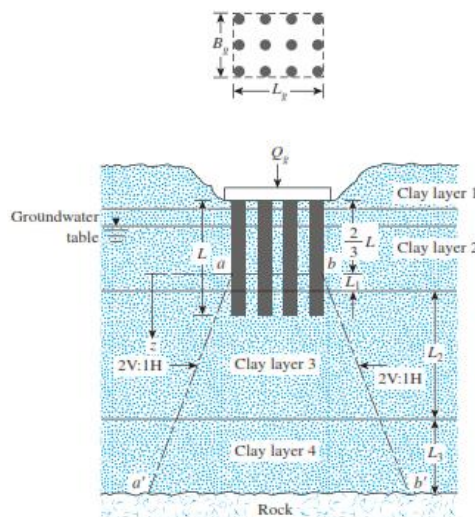
$Q_{u \text{ group ijin}}$ = gaya lateral ijin *group pile*

Q_u = gaya lateral ijin *single pile*

E_g = *group efficiency*

n = jumlah tiang pancang *pile cap*

5. Penurunan konsolidasi pondasi kelompok tiang dihitung berdasarkan penelitian Terzaghi dan Peck yang menganggap tanah bagian 2/3 panjang tiang tidak mudah mampat dan penyebaran beban pondasi dianggap berawal dari 2/3 panjang tiang ke arah bawah.



Gambar 2 Penurunan tiang kelompok pada tanah lempung (Das, 2011)

$$\Delta \sigma = \frac{Q_g}{(B_g + z)(L_g + z)}$$

dimana:

$\Delta\sigma$ = tambahan tegangan vertikal ditengah-tengah lapisan yang ditinjau

L_g = panjang tiang

B_g = lebar tiang kelompok

z = jarak dari $z = 0$ ke tengah lapisan tanah

Rumus penurunan konsolidasi dari setiap lapisan yang disebabkan oleh tegangan yang meningkat adalah

$$S_c = \frac{H}{1+e_0} C_c \text{Log} \frac{\sigma_0 + \Delta\sigma}{\sigma_0}$$

dimana:

H = tebal lapisan tanah

e_0 = void ratio

C_c = compression index

σ = tegangan efektif sebelum penerapan beban ditengah lapisan

$\Delta\sigma$ = tambahan tegangan vertikal ditengah-tengah lapisan yang ditinjau

6. Pondasi rakit merupakan bagian bawah struktur yang berfungsi meneruskan beban bangunan ke tanah dibawahnya. Pondasi direncanakan untuk membatasi penurunan sampai jumlah yang dapat ditoleransi. Daya dukung pondasi ini dihitung berdasar teori Braja M. Das adalah

$$q_{all} = \left(\frac{qu}{FS} \right) = \frac{5,14}{FS} c_u \left(1 + \frac{0,195 B}{L} \right) \left(1 + 0,4 \left(\frac{Df}{B} \right) \right)$$

dimana:

q_{all} = daya dukung terpakai

FS = *safety factor*

c_u = nilai kohesi

B = lebar pondasi

L = panjang pondasi

Df = kedalaman

Analisa numerik penurunan pondasi sistem tiang kelompok menggunakan *software* SAP2000 diawali dengan menentukan nilai *spring constant* yang telah diajukan oleh Bowles untuk tanah lempung yang tidak dipengaruhi oleh kedalaman.

$$k = \frac{1.3 E_s}{(1-\mu_s^2)} \left[\frac{E_s D^4}{E_p I_p} \right]^{1/12}$$

dimana:

k = subgrade reaction

μ_s = poisson ratio

E_s = secant modulus tanah

D = diameter tiang

E_p = modulus elastisitas tiang

I_p = inersia tiang

Sedangkan pada sistem pondasi rakit menggunakan teori dari Bowles yang mengacu pada besarnya daya dukung dan jenis tanah yang bekerja pada bawah pondasi.

$$k = 120 \times q_{all}$$

dimana:

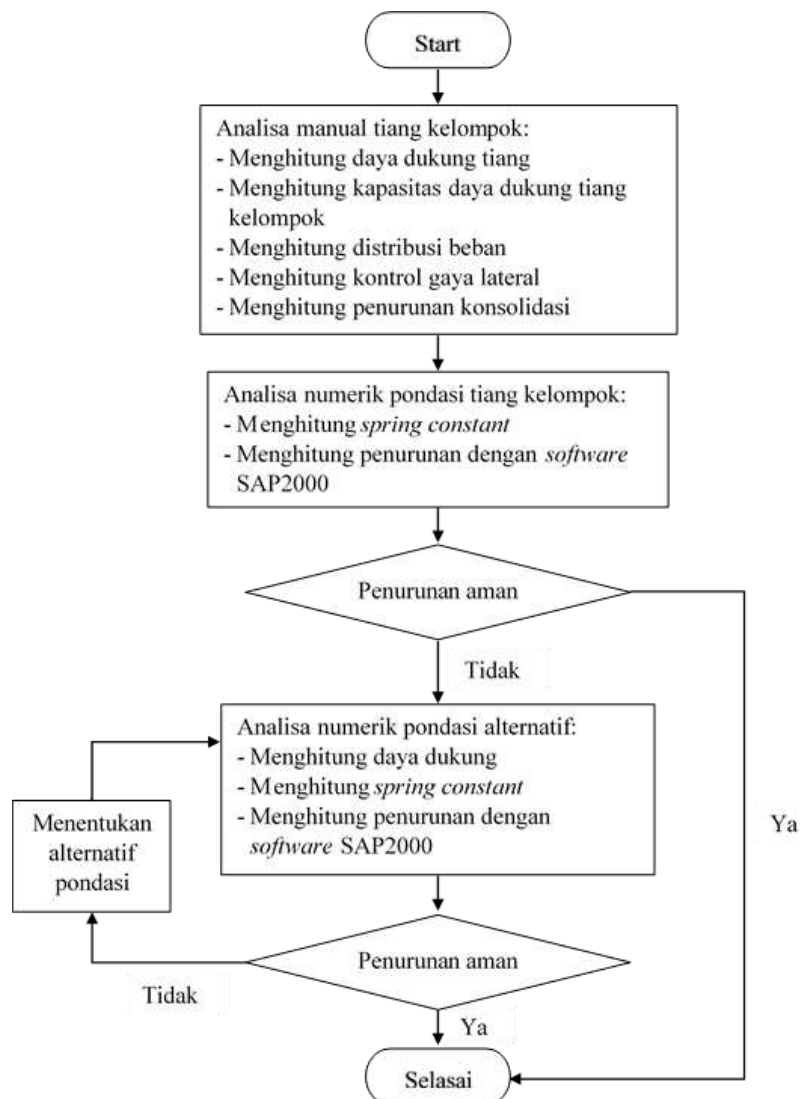
k = subgrade reaction

SF = safety factor

q_{all} = daya dukung ijin tanah

METODOLOGI

Langkah-langkah perhitungan daya dukung dan penurunan bangunan dapat dilihat pada Gambar 3. Sistem pondasi yang dihitung adalah pondasi tiang kelompok dengan kedalaman 17,5 m dan rakit dengan dimensi 20x23 m. Perhitungan dilakukan secara manual dan dengan bantuan *software* SAP2000.



Gambar 3 Metode analisa

ANALISA DAN PEMBAHASAN**Analisa Manual****a. Kapasitas daya dukung tiang pancang**

- Daya dukung ujung tiang

Menurut Meyerhof

$$Q_p = 9 c_u A_p = 96,145 \text{ kN}$$

Menurut Vesic

$$Q_p = A_p c_u N_c = 117,190 \text{ kN}$$

Daya dukung ujung terpakai = 106,668 kN

- Daya dukung friksi tiang

Metode λ

$$\begin{aligned} f_{av} &= \lambda (\sigma_o + 2c_u) \\ &= 61,845 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} Q_s &= p L f_{av} \\ &= 2039,026 \text{ kN} \end{aligned}$$

Metode α

$$\begin{aligned} f &= \alpha c_u \\ &= 24,572 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} Q_s &= \Sigma f p L \\ &= 6425,892 \text{ kN} \end{aligned}$$

Metode β

$$\begin{aligned} f &= (1 - \sin \phi_R) \tan \phi_R \sqrt{OCR} \sigma_o \\ &= 2,889 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} Q_s &= \Sigma f p L \\ &= 1212,849 \text{ kN} \end{aligned}$$

Daya dukung friksi terpakai = 3225,922 kN

- Daya dukung ultimate = 106,668 kN + 3225,922 kN = 3332,590 kN
- Daya dukung ijin = 3332,590 kN / 2,5 = 1333,036 kN

b. Efisiensi kelompok tiang

$$\begin{aligned} E_g &= 1 - \theta \frac{(n-1)m + (m-1)n}{90 m n} \\ &= 0,481 \end{aligned}$$

Tabel 4 Hasil perhitungan efisiensi tiang kelompok

Jenis Pilecap	PSW-2A	PC-14	PC-24A	PC-12	PC-13	PC-24	PC-13B	PC-16
Eg	0,481	0,506	0,516	0,557	0,518	0,533	0,518	0,518

c. Daya dukung kelompok tiang

$$Q_{ug} = Q_{ut} \cdot n \cdot E_g = 42349,269 \text{ kN}$$

Tabel 5 Hasil perhitungan kapasitas daya dukung kelompok tiang

Jenis PC	PSW-2A	PC-14	PC-24A	PC-12	PC-13	PC-24	PC-13B	PC-16
n	66	14	22	11	13	24	13	14
Q _{ug}	42349,269	9435,667	15140,066	6501,611	6943,377	13626,863	8974,820	7818,090

d. Distribusi beban kelompok tiang

$$Q_{um} = \frac{V}{n} \pm \frac{M_y x}{\Sigma x^2} \pm \frac{M_x y}{\Sigma y^2}$$

$$= 1678,257 \text{ kN}$$

Tabel 6 Hasil perhitungan distribusi beban kelompok tiang

Jenis PC	PSW-2A	PC-14	PC-24A	PC-12	PC-13	PC-24	PC-13B	PC-16
Q _{um}	1678,25	1414,346	1702,681	1599,172	1405,750	1551,787	1430,401	1428,337

Berdasarkan daya dukung ijin yang diperoleh dari perhitungan selanjutnya, yaitu sebesar 1333,036 kN maka tiang tidak aman untuk memikul beban. Tiang harus diperdalam agar mampu memikul beban dengan tahanan friksinya.

e. Analisa gaya lateral

- Menghitung gaya lateral

$$H_u = \frac{2 M_u}{1,5B + \frac{0,5H_u}{9 C_u B}} = 401,121 \text{ kN}$$

- Mencari momen *ultimate*

$$\frac{H_u}{C_u b^2} = 11,142 \text{ kemudian nilai tersebut diplot pada grafik Broms pada Gambar 1 dan}$$

$$\text{diperoleh nilai } \frac{M_u}{C_u b^3} = 11 \text{ sehingga diperoleh}$$

$$M_u = 237,6 \text{ kNm}$$

- Daya dukung ijin group lateral

$$\frac{M_m}{C_u b^3} = \frac{255}{100 \cdot 0,6^3} = 11,806 \text{ kemudian nilai tersebut diplot pada grafik Broms pada}$$

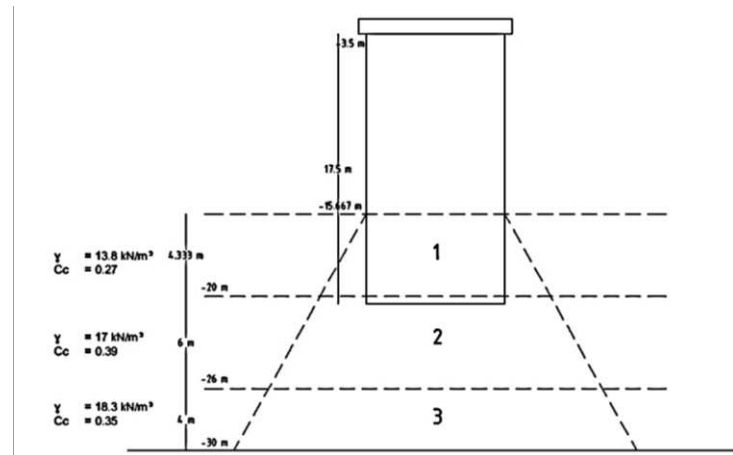
$$\text{Gambar 1 dan diperoleh nilai } = 11, \text{ sehingga } H_u = 396 \text{ kN}$$

$$H_u \text{ ijin} = H_u E_g \cdot n = 12580,537 \text{ kN}$$

Tabel 7 Hasil kontrol gaya lateral

Jenis PC	PSW-2A	PC-14	PC-24A	PC-12	PC-13	PC-24	PC-13B	PC-16
Hu ijin	12580,537	2803,018	4497,602	2427,377	2666,116	5062,323	2666,116	2871,202
Lateral	9157,993	346,043	705,801	263,779	264,974	541,194	260,426	286,735
Keterangan	aman	aman	aman	aman	aman	aman	aman	aman

f. Penurunan bangunan dengan pondasi tiang kelompok



Gambar 4 Penurunan konsolidasi pondasi tiang kelompok

Berat total = 120674,132 kN

$$\Delta\sigma = \frac{Qg}{(Bg+z)(Lg+z)} = 806,159 \text{ kN/m}^2$$

$$\sigma_o = \sum \gamma h = 231,552 \text{ kN/m}^2$$

$$\Delta Sc = \frac{H}{1+eo} Cc \text{ Log } \frac{\sigma_o + \Delta\sigma}{\sigma_o} = 0,448 \text{ m}$$

Tabel 8 Resume perhitungan penurunan pada PSW-2A

Lapisan	L m	h m	z m	$\Delta\sigma$ kN/m ²	eo	Cc	σ_o kN/m ²	ΔSc m
1 (17.834)	8.4	4.333	2.167	806.159	1.08	0.33	231.552	0.448
2 (23)	8.4	6	7.333	396.738	0.87	0.27	312.450	0.308
3 (28)	8.4	4	12.333	239.197	1.15	0.39	400.050	0.148
Total penurunan								0.904

Tabel 9 Resume besarnya penurunan

Jenis Pilecap	PSW-2A	PC-14	PC-24A	PC-12	PC-13	PC-24	PC-13B	PC-16
Penurunan (m)	0,904	0,485	0,632	0,495	0,448	0,635	0,507	0,472

g. Daya dukung pondasi rakit

$$q_{all} = \left(\frac{qu}{FS} \right) = \frac{5,14}{FS} c_u \left(1 + \frac{0,195 B}{L} \right) \left(1 + 0,4 \left(\frac{Df}{B} \right) \right)$$

$$= 468,829 \text{ kN/m}^2$$

Analisa Numerik**a. Pondasi tiang kelompok**Analisa *spring constant*

$$k_v = \frac{1.3 E_s}{(1-\mu_s^2)} \left[\frac{E_s D^4}{E_p I_p} \right]^{1/12} = \frac{1.3 \cdot 12325}{(1-0.4^2)} \left[\frac{12325 \cdot 0.6^4}{30277632 \cdot 0.00636} \right]^{1/12}$$

$$= 12794,365 \text{ kN/m}^3$$

$$k_h = 2 k_v = 2 \times 12794,365 = 25588,73 \text{ kN/m}^3$$

Hasil analisa numerik dengan *software* SAP2000 menunjukkan nilai penurunan seperti pada Tabel 10 berikut

Tabel 10 Penurunan terbesar pada analisa tiang pancang

Joint	2	389	390	197	310	317	617	3	849
U3 (m)	-0,630	-0,610	-0,600	-0,570	-0,550	-0,532	-0,510	-0,500	-0,480

Hasil perhitungan diatas menunjukkan penurunan yang sangat besar dan melebihi batas aman, sehingga perlu adanya desain ulang pondasi tersebut. Dilakukan desain ulang dengan desain pondasi rakit.

b. Pondasi rakit

$$k = 120 \times q_{all} = 120 \times 476,21 \text{ kN/m}^3$$

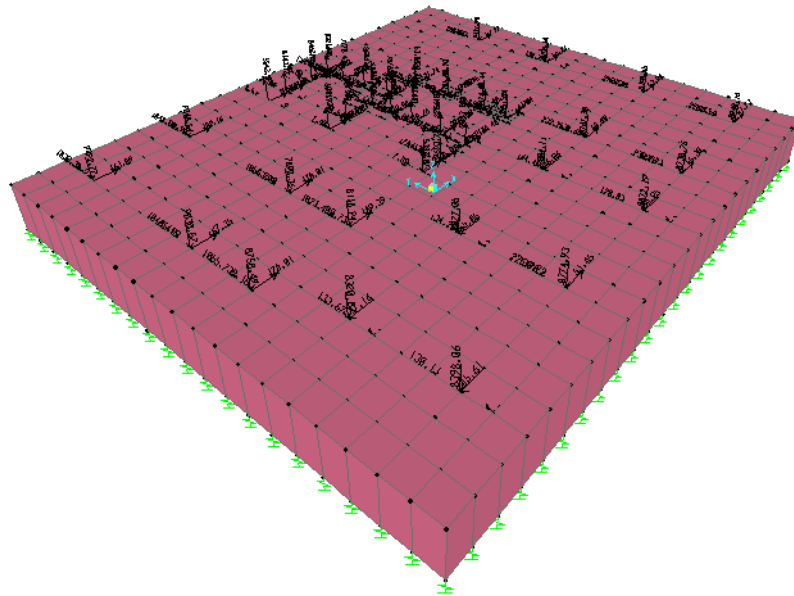
$$= 57152,54 \text{ kN/m}^3$$

$$\text{Simpul tengah} = 57152,54 \text{ kN/m}^3$$

$$\text{Simpul sisi} = 28576,27 \text{ kN/m}^3$$

$$\text{Simpul sudut} = 14288,134 \text{ kN/m}^3$$

Pemodelan



Gambar 5 Model pondasi dengan *spring constant*

Hasil analisa numerik dengan *software* SAP2000 menunjukkan nilai penurunan seperti pada Tabel 11 berikut

Tabel 11 Penurunan terbesar pada analisa pondasi rakit

Joint	81	77	73	968	81	65	1	3	975
U3 (m)	-0,081	-0,075	-0,068	-0,061	-0,057	-0,052	-0,049	-0,049	-0,040

Batas aman penurunan yang diijinkan untuk pondasi rakit pada tanah lempung adalah 65-100 mm. Berdasarkan hasil analisa numerik dengan SAP2000 menunjukkan penurunan terbesar adalah 81 mm. Nilai tersebut masih berada dalam interval batas aman penurunan, sehingga penurunan pondasi ini cukup aman.

KESIMPULAN

Berdasarkan hasil penelitian dan analisi data, dapat diambil kesimpulan sebagai berikut:

1. Daya dukung tiang pancang dengan kedalaman 17,5 meter tidak mampu menahan beban struktur atas, sehingga tiang pancang perlu diperdalam dengan kedalaman minimal 1/5 tinggi total bangunan.
2. Kemampuan menahan gaya lateral untuk *single pile* maupun *group pile* lebih besar dibandingkan dengan gaya lateral yang bekerja pada struktur tersebut.
3. Hasil analisa penurunan bangunan dengan pondasi kelompok tiang menunjukan nilai yang sangat besar, yaitu 63 cm. Sehingga perlu adanya desain ulang pondasi.
4. Penurunan pondasi rakit ukuran 20 x 23 m menunjukkan pondasi mampu memikul beban dengan penurunan yang kecil, yaitu 8,1 cm.

DAFTAR PUSTAKA

- Bowles, J. E., 1991, *Analisa dan Desain Pondasi*, Edisi Keempat Jilid 1, Erlangga, Jakarta.
- Bowles, J. E., 1993, *Analisa dan Desain Pondasi*, Edisi Keempat Jilid 2, Erlangga, Jakarta.
- Das, Braja M., 1998, *Mekanika Tanah I*, Erlangga, Jakarta.
- Das, Braja M., 2011, *Principles of Foundation Engineering*, Cengage Learning, Stamford.
- Hardiyatmo, Hary Christady., 2010, *Analisis dan Perencanaan Pondasi 1*, Gama Press, Yogyakarta.
- Hardiyatmo, Hary Christady., 2010, *Analisis dan Perencanaan Pondasi 2*, Gama Press, Yogyakarta.
- Sardjono, 1984, *Pondasi Tiang Pancang*, Sinar Wijaya, Surabaya.
- Testana Engineering, 2015, *Laporan Akhir Penyelidikan Tanah*, Testana Engineering, Surabaya.