

**ANALISA PERBANDINGAN PERENCANAAN STRUKTUR ANTARA
PONDASI *BORE PILE* DENGAN PONDASI TIANG PANCANG
(STUDI KASUS PADA PROYEK GEDUNG DPRD BALI)**

*Ir. I Made Sudarma, MT, Ida Bagus Indramanik, ST., MT.
A.A Putu Ambara Putra, ,
Jurusan Teknik Sipil, Fakultas Teknik, Universita Ngurah Rai,
Denpasar Bali*

ABSTRAK

Pondasi merupakan bagian dari suatu sistem rekayasa yang meneruskan beban yang ditopang serta beratnya sendiri ke dalam tanah dan batuan yang terletak dibawahnya. Pemilihan pondasi sangat penting dalam struktur bangunan yaitu untuk dapat menahan beban dari bangunan itu sendiri dan beban hidup yang ada di dalam gedung itu serta beban gempa yang direncanakan agar tak mengalami keruntuhan struktur. Adapun objek penelitiannya yaitu pekerjaan struktur pondasi Proyek Gedung Baru DPRD Provinsi Bali yang berlokasi di Jalan Kusuma Atmaja Renon dengan tinggi bangunan 9,75 meter yang dibangun pada tahun 2015. Hasil tes tanah lapangan dan di laboratorium didapat lapisan tanah keras terdapat pada kedalaman 7 meter, sehingga digunakan pondasi dalam yang menggunakan 2 alternatif yaitu pondasi *bore pile* dan pondasi tiang pancang. Tujuan penelitian ini untuk mendapatkan perbandingan perencanaan pondasi tiang pancang dan *bore pile* menggunakan bahan, beban dan dimensi yang sama pada proyek gedung DPRD Bali.

Analisa yang dilakukan yaitu membandingkan perencanaan pondasi tiang pancang dengan pondasi *bore pile*, sehingga dari perencanaan didapat dimensi dan jumlah titik pancang dan titik bor. Perencanaan pondasi tiang dihitung secara manual menggunakan beberapa metode sesuai dengan peraturan-peraturan yang telah ditetapkan. Tahapan perhitungan dimulai dengan informasi perencanaan struktur, gaya-gaya yang bekerja pada pondasi, penentuan dimensi tiang, perhitungan jumlah tiang pondasi, efisiensi kelompok tiang kontrol terhadap beban vertikal yang bekerja, kontrol terhadap beban horizontal yang bekerja, penulangan tiang pancang, penentuan pondasi dan penulangan pile cap.

Dari hasil analisa, jumlah pondasi tiang pancang lebih sedikit dibandingkan dengan analisa pondasi *bore pile* dengan pembebanan, mutu bahan dan karakteristik tanah sama. Dengan jumlah tiang pancang penampang persegi yaitu 4 tiang untuk satu pile cap sedang *bore pile* dengan penampang lingkaran didapat 6 tiang bor untuk satu pile cap.

Kata Kunci : Pondasi Tiang Pancang, Pondasi Bore Pile

I. PENDAHULUAN

Pondasi merupakan bagian dari suatu sistem rekayasa yang meneruskan beban yang ditopang serta beratnya sendiri ke dalam tanah dan batuan yang terletak dibawahnya (Bowles : 1988). Pemilihan pondasi sangat penting dalam struktur bangunan yaitu untuk dapat menahan beban dari bangunan itu sendiri dan beban hidup yang ada didalam gedung itu serta beban gempa yang direncanakan agar tak mengalami keruntuhan struktur. Objek penelitian ini adalah pekerjaan struktur Pondasi Proyek Gedung Baru DPRD Provinsi Bali yang berlokasi di Jalan Kusuma Atmaja Renon dengan tinggi bangunan 9,75 meter yang dibangun pada tahun 2015. Hasil tes tanah lapangan dan di laboratorium didapat lapisan tanah keras terdapat pada kedalaman 7 meter. Sehingga digunakan pondasi dalam dimana terdapat 2 alternatif pondasi yaitu pondasi *bore pile* dan pondasi tiang pancang.

Permasalahan yang timbul yaitu jenis pondasi apakah yang paling cocok, jika menggunakan bahan, beban dan dimensi yang sama pada proyek gedung DPRD Bali. Tujuan dari membandingkan perencanaan pondasi, dapat digunakan sebagai alternatif di lapangan yaitu antara penggunaan pondasi tiang pancang atau pondasi *bore pile* yang sesuai dengan kondisi proyek tersebut.

II. TINJAUAN PUSTAKA

Istilah pondasi digunakan dalam teknik sipil untuk mendefinisikan suatu konstruksi bangunan yang berfungsi sebagai penopang bangunan dan meneruskan beban bangunan di atasnya (*supper structure*) ke lapisan tanah yang cukup kuat daya dukungnya. Pondasi harus memenuhi dua syarat dasar yaitu:

- Faktor keamanan terhadap keruntuhan geser (*shear failure*) dari tanah pendukung harus memadai.
- Penurunan pondasi dapat terjadi dalam batas toleransi dan penurunan sebagian (*differential settlement*) tidak boleh mempengaruhi fungsi struktur.

Tiang Dukung Ujung dan Tiang Gesek

Ditinjau dari cara mendukung beban, tiang dapat dibagi menjadi 2 (dua) macam (Hardiyatmo, 2002), yaitu :

1. Tiang dukung ujung (*end bearing pile*) adalah tiang yang kapasitas dukungnya ditentukan oleh tahanan ujung tiang. Umumnya tiang dukung ujung berada dalam zone tanah yang lunak yang berada di atas tanah keras.
2. Tiang gesek (*friction pile*) adalah tiang yang kapasitas dukungnya lebih ditentukan oleh perlawanan gesek antara dinding tiang dan tanah disekitarnya. Tahanan gesek dan pengaruh konsolidasi lapisan tanah dibawahnya diperhitungkan pada hitungan kapasitas tiang.

Kapasitas Daya Dukung

Kapasitas Daya Dukung Pondasi Tiang *Bore Pile* dari hasil SPT *Standard Penetration Test* adalah sejenis percobaan dinamis dengan memasukkan suatu alat yang dinamakan split spoon ke dalam tanah.

Tahanan ujung ultimit tiang (Qb) dihitung dengan persamaan:

$$Q_b = A_b \cdot f_b \dots\dots\dots(2.1)$$

Tahanan gesek dinding tiang (Qs) dihitung dengan persamaan:

$$Q_s = A_s \cdot f_s \dots\dots\dots(2.2)$$

Kapasitas daya dukung ultimit tiang (Qu) adalah jumlah dari tahanan ujung ultimit tiang (Qb) dan tahanan gesek dinding tiang (Qs) antara sisi tiang dan tanah di sekitarnya dinyatakan dalam persamaan berikut ini (*Hardiyatmo, 2010*):

$$Q_u = Q_b + Q_s = A_b \cdot f_b + A_s \cdot f_s \dots\dots\dots(2.3)$$

Keterangan:

- Qb = Tahanan ujung ultimit tiang
- Qs = Tahanan gesek dinding tiang
- Ab = Luas ujung tiang bawah
- As = Luas selimut tiang
- Fb = Tahanan ujung satuan tiang
- fs = Tahanan gesek satuan tiang

Kapasitas Ijin Pondasi Tiang

Besarnya kapasitas fondasi tiang haruslah cukup menjamin terhadap beban yang mungkin bekerja. Untuk keperluan tersebut kapasitas yang diijinkan pada saat desain tidaklah sebesar kapasitas ultimat (Qu), melainkan sebesar Qa (kapasitas ijin fondasi). Besarnya kapasitas ijin didefinisikan sebesar Qu dibagi dengan suatu nilai kemanan (safety factor) yang disimbolkan dengan SF. Besarnya nilai SF 2,5 sampai 3.

Kapasitas Dukung Kelompok Tiang

Dalam pelaksanaan jarang dijumpai pondasi yang hanya terdiri dan satu tiang saja, tetapi terdiri dan kelompok tiang. Teori membuktikan dalam daya dukung kelompok tiang geser tidak sama dengan daya dukung tiang secara individu dikalikan jumlah tiang dalam kelompok, melainkan akan lebih kecil karena adanya faktor efisiensi.

Tabel 1. Faktor reduksi tiang pancang

Jenis Pondasi	Sumber kekuatan	ϕ	Sifat beban
Tiang pancang	Geser + ujung	0,55-0,75	Tekan aksial
	Geser saja	0,55-0,70	Tekan/Tarik aksial
	Ujung saja	0,55-0,70	Tekan aksial

Sumber: SNI-03-1726-2003-Perenc-Tahan-Gempa-pada-Gedung

a. Jumlah Tiang

Penentuan jumlah tiang didasarkan pada beban tetap yang bekerja pada fondasi dan kapasitas dukung ijin.

$$n = \frac{P}{Qa} \dots\dots\dots(2.4)$$

Dengan :

- n : Jumlah tiang
- P : Beban total (ton)
- Qa : Kapasitas dukung ijin tiang (ton)

b. Efisiensi Kelompok Tiang

Efisiensi kelompok tiang (reduksi/ penyusutan kapasitas kelompok tiang) dihitung dengan rumus : (sumber : H.C. Hardiyatmo, 2001)

Formula Converse – Labarre

$$E_{ffn} = 1 - \frac{\phi}{90} \left[\frac{(n-1)m+(m-1)n}{m.n} \right] \dots\dots\dots(2.5)$$

Dengan :

- Eg = Efisiensi kelompok tiang
- m = Jumlah baris tiang
- n' = Jumlah tiang dalam satu baris
- θ = arc tg d/s (derajat)
- s = Jarak antar pusat tiang (m)
- d = Diameter tiang (m)

a. Pmax yang Terjadi Pada Tiang Akibat Pembebanan

$$P = \frac{V}{n} \pm \frac{Mx.y}{\Sigma y^2} \pm \frac{My.x}{\Sigma x^2} \dots\dots\dots(2.6)$$

Dimana :

- P = beban max yang diterima satu tiang
- n = jumlah tiang
- M_x = Momen yang bekerja tegak lurus sumbu X
- M_y = Momen yang bekerja tegak lurus sumbu Y
- X_{max} = Absis Max (jarak terjauh) tiang ke pusat berat kelompok tiang
- Y_{max} = Kordinat Max (jarak terjauh) tiang ke pusat berat kelompok tiang
- N_x = Banyak tiang dalam satu baris arah sumbu X
- N_y = Banyak tiang dalam satu baris arah sumbu Y
- Σy^2 = Jumlah Kuadrat jarak arah Y (*absis – absis*) tiang
- Σx^2 = Jumlah Kuadrat jarak arah X (*ordinat - ordinat*) tiang
- P_{maks} = didapat dari hasil output SAP 2000 versi 14.0.

Perhitungan Daya Dukung Vertikal Tiang Pancang

Perhitungan dilakukan dengan cara berdasarkan perhitungan analitis atau empirik yang rational atau melalui uji beban langsung.

Metode Broms (1964) dianggap metode yang lebih teliti dalam hal menghitung defleksi tiang. Dengan rumus :

$$\beta = \left(\frac{k_h D}{4 E_p I_p} \right)^{1/4} \dots\dots\dots(2.7)$$

Dimana :

- k_h = berat volume tanah
- D = Lebar tiang persegi
- I_p = Momen *Inersia*
- E_p = $4.700 \times \sqrt{f'c'}$
- y_o = Perpindahan lateral yang terjadi
- $= \frac{H \cdot \beta}{K_h D}$

Kontrol Gaya Horisontal

1. Kontrol Daya Dukung Horisontal Akibat Tekanan Tanah

Perhitungan menurut *Foundation of Structure oleh Dunham*, tiang akan terjepit sempurna pada kedalaman (L_d) = 1/4 s/d 1/3 L_p .

Dimana :

- L_d = kedalaman titik jepitan dari muka tanah
- L_p = panjang tiang yang masuk tanah
- B = lebar *poer*
- Maka $L_a = L_p - L_d$ (2.8)

Gaya horizontal yang diijinkan (H_{ult})

$$\Sigma M_1 = 0$$

$$H_{ult} \cdot L_h - P_{tot} \cdot L_z = 0 \dots\dots\dots(2.9)$$

Tiang akan mampu menahan beban horizontal jika H yang terjadi lebih kecil dari H_{ult} , sehingga tidak diperlukan tiang pancang miring.

Perencanaan Pondasi Tiang Bor (*Bor Pile*)

Jumlah Tiang yang Diperlukan

Perhitungan jumlah tiang yang diperlukan pada suatu titik kolom menggunakan beban *aksial* dengan beban kombinasi beban DL (*Dead Load*) + LL (*Live Load*) (*beban terfaktor*).

Jumlah tiang yang di perlukan dihitung dengan membagi gaya aksial yang terjadi dengan daya dukung tiang.

$$N_p = \frac{P}{P_{all}} \dots\dots\dots(2.10)$$

Di mana :

- N_p = jumlah tiang
- P = gaya aksial yang terjadi
- P_{all} = daya dukung ijin tiang

Efisiensi Kelompok Tiang

Perhitungan jumlah tiang saja masih belum cukup, karena daya dukung kelompok tiang bukanlah berarti daya dukung satu tiang dikalikan dengan jumlah tiang. Hal ini karena *intervensi* (tumpang tindihnya) garis – garis tegangan dari tiang – tiang yang berdekatan (*group action*). Pengurangan daya dukung kelompok tiang yang disebabkan oleh *grup action* ini biasanya dinyatakan dalam suatu angka efisiensi.

Perhitungan efisiensi kelompok tiang berdasarkan rumus *Converse – Labbarre* dari *Uniform Building Code AASHTO* adalah :

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

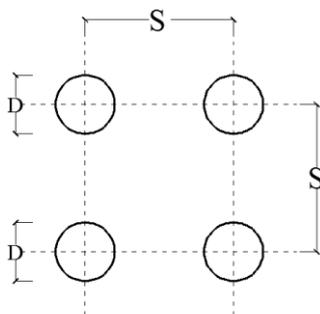
Dimana :

- E_g = efesiensi kelompok tiang
- θ = arc tg (D/s)(derajat)
- D = ukuran penampang tiang
- s = jarak antar tiang (as ke as)
- m = jumlah tiang dalam satu kolom
- n = jumlah tiang dalam satu baris

Daya dukung vertikal kelompok tiang = E_g x jumlah pile x daya dukung ijin tiang. Daya dukung kelompok tiang harus > gaya aksial yang terjadi

Jarak antar Tiang Kelompok

Berdasarkan pada perhitungan daya dukung tanah oleh Dirjen Bina Marga Departemen P.U.T.L disyaratkan :



$$S1 \geq 2,5 D$$

$$S2 \geq 3 D$$

Dimana :

S = Jarak Antar Tiang.

D = Diameter Tiang.

a. End Bearing Pile

Persamaan yang digunakan untuk menentukan daya dukung tanah terhadap tiang adalah :

$$\text{Rumus : } Q_{sp} = \frac{qc \times Ab}{Fb} \dots\dots\dots(2.12)$$

Dengan :

- Q_{sp} : Daya dukung yang diijinkan untuk sebuah tiang tunggal (kg)
- qc : Tahanan Konus pada Ujung Tiang, diambil rata – rata dari nilai *konus* (C_w) pada kedalaman $4x\phi$ di atas dan $4x\phi$ di bawah ujung tiang. (kg/cm²)
- Ab : Luas penampang ujung tiang (cm²)
- Fb : Faktor keamanan (di ambil : 3)
- Fs : Faktor Keamanan (diambil : 5)
- Σ ijin beton : Tegangan ijin beton yang dikehendaki kalau beban maksimum bekerja = Q_{sp}

b. Friction Pile

Persamaan daya dukung yang diijinkan terhadap tiang adalah :

$$\text{Rumus : } Q_{sp} = \frac{c \times U}{Fs} \dots\dots\dots(2.13)$$

Dengan :

- c : Tahanan Gesek (*clef*) Total Sepanjang tiang (kg/cm)
- U : Keliling Tiang (cm)
- Fb : Faktor keamanan (di ambil : 3)
- Fs : Faktor Keamanan (diambil : 5)
- σ ijin beton : Tegangan ijin beton yang di kehendaki kalau beban maksimum bekerja = Qsp

c. End bearing And Friction Pile

Jika perhitungan tiang pancang didasarkan terhadap tahanan ujung dan hambatan pelekat, persamaan daya dukung yang diijinkan adalah :

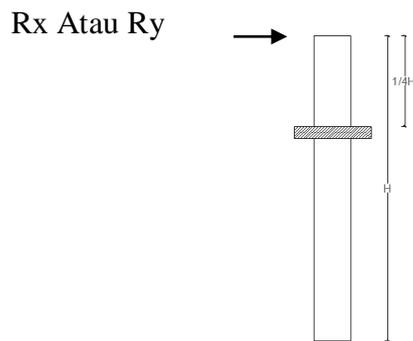
$$\text{Rumus : } Q_{sp} = \frac{qc \times Ab}{Fb} + \frac{c \times U}{Fs} \dots\dots\dots(2.14)$$

Dengan :

- Q_{sp} : Daya dukung yang diijinkan untuk sebuah tiang tunggal (kg)
- qc : Tahanan Konus Pada Ujung Tiang, diambil rata – rata dari nilai konus (Cw) pada kedalaman $4x\phi$ di atas dan $4x\phi$ di bawah ujung tiang. (kg/cm2)
- Ab : Luas penampang ujung tiang (cm2)
- c : Tahanan Gesek (*clef*) Total Sepanjang tiang (kg/cm)
- U : Keliling Tiang (cm)
- Fb : Faktor keamanan (di ambil : 3)
- Fs : Faktor Keamanan (diambil : 5)
- σ ijin beton: Tegangan ijin beton yang di kehendaki kalau beban maksimum bekerja = Qsp

Penulangan Bore Pile

Bore pile dianggap sebagai balok konsol yang terjepit sepanjang 1/4H. Beban *bore pile* diambil dari reaksi perletakan dari SAP Rx atau Ry dipilih yang terbesar. Untuk Dmax diambil dari Rx atau Ry dipilih yang terbesar.



Gambar 2.11 Gaya pada tiang bore pile

• **Tulangan Pokok**(2.15)

- As = p.b.d
- As 1% = Luas penampang bored pile x 1%
- Luas $\emptyset = 3,14 \times 0,25 \times \emptyset^2$

$$n = \frac{A_s}{A_s \emptyset 19}$$

• **Tulangan Geser**(2.16)

$$V_u = \frac{D_{max}}{b \cdot d}$$

$V_u < \emptyset V_c$ → menggunakan tulangan geser minimum

$V_u > \emptyset V_c$ → perlu tulangan geser

$V_u < \emptyset v_{smax}$ → penampang OK

$$V_s = V_u - \emptyset V_c$$

$$A_{s \text{ opt}} = \frac{V_s \cdot b \cdot y}{\emptyset f_y}$$

$$\text{Luas } \emptyset = 3,14 \times 0,25 \times \emptyset^2$$

$$\text{Jumlah Tulangan (n)} = \frac{A_{s \text{ opt}}}{2 \cdot A_s \emptyset 10}$$

$$A_{s \text{ min}} = \frac{b \cdot y}{3 \cdot f_y}$$

$$\text{Luas } \emptyset = 3,14 \times 0,25 \times \emptyset^2$$

$$\text{Jumlah Tulangan (n)} = \frac{A_{s \text{ min}}}{2 \cdot A_s \emptyset 10}$$

$S = 100/n$ (Apabila $A_{s \text{ opt}} < A_{s \text{ Min}}$, Maka dipasang tulangan geser minimum)

Pile Cap

Susunan tiang di buat simetris sehingga pusat berat kelompok tiang dan pusat berat *pile capter* letak pada suatu garis vertikal. Jarak antara tiang di usahakan sedekat mungkin untuk menghemat *pile cap*, tetapi jika pondasi memikul beban momen, maka jarak tiang perlu di perbesar yang berarti menambah atau memperbesar tahanan momen.

Geser (shear)

a. Geser satu arah

$$V_c = \frac{1}{6} \sqrt{f'c} \cdot b \cdot d'$$

Dengan :

V_c : gaya geser

B : panjang menampang keliling kritis geser satu arah

d = tebal efektif pile cap

= tebal poer – (Tebal decking + $\frac{1}{2} \times \emptyset$ tulangan) (2.17)

Atau :

Gaya geser total terfaktor yang bekerja pada penampang kritis adalah :

$$V_u = P_u \text{ WG} \dots\dots\dots(2.18)$$

Kuat geser beton

$$V_c = \left(\frac{1}{6} \sqrt{f'c}\right) b_w d \dots\dots\dots(2.19)$$

$$\phi V_n = \phi V_c$$

$$\text{Maka : } V_u < \phi V_c \quad \dots\dots\dots(2.20)$$

b. Geser dua arah

V_c diambil nilai terkecil dari persamaan berikut ini :

$$V_c = \frac{1}{12} = \left[2 + \frac{4}{\beta_c} \sqrt{f'c \cdot b_0 \cdot d'} \right] \quad \dots\dots\dots (2.21)$$

$$V_c = \frac{1}{12} = \left[\frac{as \cdot d'}{b_0} + 2 \sqrt{f'c \cdot b \cdot d'} \right] \quad \dots\dots\dots (2.22)$$

$$V_c = \frac{1}{3} = \sqrt{f'c \cdot b \cdot d'} \quad \dots\dots\dots (2.23)$$

Dengan :

- B_c : rasio sisi panjang terhadap sisi pendek dari beban terpusat yang bekerja atau bidang reaksi.
- as : faktor untuk jenis kolom.
- b_0 : panjang penampang keliling penampang kritis dua arah.

Atau :

$$B = \text{lebar kolom} + (1/2d)^2$$

Gaya geser total terfaktor bekerja pada penampang kritis adalah

$$V_u = P_u (W^2 - B^2) \quad \dots\dots\dots (2.24)$$

Kuat geser beton adalah

$$V_c = \left(1 + \frac{2}{\beta_c} \right) (2\sqrt{f'c}) b_0 d \quad \dots\dots\dots (2.25)$$

Tetapi nilai tersebut tidak boleh lebih besar dari :

$$V_c = (4\sqrt{f'c}) b_0 d \quad \dots\dots\dots (2.26)$$

Karena $\beta_c = 1$ kuat geser maksimum akan menjadi : $V_u < \phi V_c$

c. Penulangan Pondasi

1. Perhitungan beban pondasi

$$\text{Beban plat} = b_x \cdot b_w \cdot \text{Tebal plat} \cdot \partial \text{ beton} \quad \dots\dots\dots (2.27)$$

$$\text{Beban pondasi} = \text{Beban plat}$$

$$P. \text{ total} = P_u + \text{Beban pondasi}$$

2. Penulangan pondasi

a. Menghitung momen lentur akibat beban terfaktor dengan rumus :

$$M_u \text{ plat (Lx)} = \text{Gaya}(P_u) \cdot \text{jarak tiang} + \text{momen}$$

$$M_u = 2 \cdot \frac{P}{4} \cdot s - \frac{1}{2} \cdot q' \cdot B'^2 \quad \dots\dots\dots (2.28)$$

b. Menghitung luas tulangan minimum dengan rumus :

$$A_{st} = \rho_{\min} \cdot L_x \cdot dx \quad \dots\dots\dots (2.29)$$

c. Menghitung jumlah tulangan (n)

$$n = \frac{A_{s \min}}{\text{Luas tulangan}} \quad \dots\dots\dots (2.30)$$

d. Jarak antar tulangan

$$S = \frac{L_x \text{ atau } L_y}{\text{Luas tulangan}} \quad \dots\dots\dots (2.31)$$

III. METODE PENELITIAN

Tahapan perencanaan pondasi tiang pancang merupakan tahap perhitungan secara manual dengan menggunakan beberapa metode sesuai dengan peraturan-peraturan yang telah ditetapkan. Tahapan perhitungan dimulai dengan informasi perencanaan struktur, gaya-gaya yang bekerja pada pondasi, penentuan dimensi tiang, perhitungan jumlah tiang pondasi, efisiensi kelompok tiang kontrol terhadap beban vertikal yang bekerja, kontrol terhadap beban horizontal yang bekerja, penulangan tiang pancang, penentuan pondasi dan penulangan pile cap.

IV. ANALISA DAN HASIL

Untuk mendapatkan data tanah di lapangan secara langsung dilakukan pengujian SPT dan sondir. dimana jumlah titik pengujian SPT (*boring*) sebanyak 1 titik dan pengujian *sondir* sebanyak 3 titik. Dari sample tanah didapat data tanah meliputi Berat Isi Tanah (γ)=1.628, Kohesi (C)= 0.080, Sudut Geser (ϕ) = 12.80, Faktor Daya Dukung ($N_c = 11.45$, $N_\gamma = 1.9$, $N_g = 3.65$).

Kapasitas tiang tunggal berdasarkan kedalaman penetrasi tiang yaitu 7 m. Untuk jenis tiang yang digunakan adalah penampang tiang persegi empat yang terdiri dari berbagai ukuran atau dimensi dari masing-masing tiang.

Tabel 2. Daya Dukung Ijin Pondasi Tiang Tunggal dengan Penampang Persegi Kedalaman Penetrasi Tiang 7 Meter

Dimensi Tiang P=L (cm)	15	20	25	30	35	40	45	50
4 x L (cm)	60	80	100	120	140	160	180	200
Qc (kg/cm ²)	168.57	154.44	141.82	138.46	136.67	131.18	126.32	122.86
Ab (cm ²)	225	400	625	900	1225	1600	2025	2500
U (cm)	60.0	80.0	100	120	140	160	180	200.
C (kg/cm ²)	516	516	516	516	516	516	516	516
Q_{sp} (Ton)	19	29	40	54	70	86	104	123
Sijin beton (kg/cm ²)	84	72	64	60	57	54	51	49

Sumber : Hasil Analisa Konsultan Perencana

Rumus :

$$Q_{sp} = \frac{qc \times Ab}{Fb} + \frac{c \times U}{Fs}$$

- Q_{sp}** : Daya dukung yang di ijinakan untuk sebuah tiang tunggal (kg)
- qc** : Tahanan Konus Pada Ujung Tiang, diambil rata – rata dari nilai konus(Cw) pada kedalaman 4xL di atas dan 4xL di bawah ujung tiang. (kg/cm²)
- Ab** : Luas penampang ujung tiang (cm²)
- c** : Tahanan Gesek (clef) Total Sepanjang tiang (kg/cm)
- U** : Keliling Tiang (cm)
- Fb** : Faktor keamanan (di ambil : 3)
- Fs** : Faktor Keamanan(di ambil : 5)

σ ijin beton : Tegangan ijin beton yang dikehendaki kalau beban maksimum bekerja = Q_{sp}

Dari data Sondir dapat diketahui bahwa tanah keras letaknya berada pada kedalaman 7 m, sehingga rencana dipakai pondasi dalam yaitu pondasi tiang pancang (data hasil sondir dapat dilihat pada lampiran).

Dengan data diatas direncanakan tiang pancang beton bertulang precast dengan data-data sebagai berikut :

- Mutu beton (f'_c) = 25 MPa
- Mutu baja (f'_y) = 400 MPa

Diperoleh data-data sebagai berikut :

Untuk beban diperoleh berdasarkan Data Sekunder (Perhitungan hasil analisa beban bangunan oleh Konsultan Perencana dengan program SAP) sebagai berikut:

- P_u = 201166 kg
- M_x = 1123 kgm
- M_y = 144 kgm
- H_x = 141,5 kg
- H_y = 1093,2 kg

Direncanakan dimensi poer 190 x 190 cm dan tebal poer (t) 80 cm , ρ beton 2,4 ton/m³, jarak antar tiang $2,5d \leq s \leq 3d$, dimensi tiang pancang 30 x 30 cm

Perencanaan kelompok tiang (*Pile Group*):

$$\begin{aligned} \Sigma V &= P + (\text{Berat Poer}) \\ &= 201.166 + (1,9 \times 1,9 \times 0,8 \times 2400) \\ &= 208.097 \text{ kg} \end{aligned}$$

Jumlah Tiang yang diperlukan :

$$n = \frac{\Sigma V}{Q_{sp}} = \frac{208.097}{54.000} = 3,85 \text{ buah tiang}$$

$$= 4 \text{ buah tiang}$$

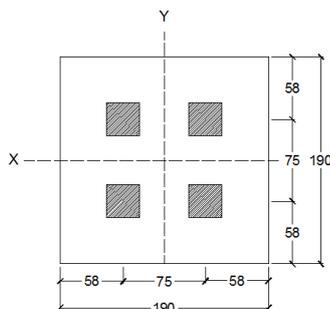
(2.4)

$$\text{Gaya pada tiap tiang} = \frac{208.097}{4}$$

$$= 52.024,25 \text{ kg} < Q \text{ ijin } 54.000 \text{ kg} \dots \text{ OK}$$

Efisiensi Kelompok Tiang

Perhitungan jumlah tiang yang diperlukan seperti yang dijelaskan masih belum sempurna karena daya dukung kelompok tiang bukanlah berarti daya dukung satu tiang dikalikan dengan jumlah tiang. Hal ini karena intervensi (tumpang tindihnya) garis-garis tengahnya dari tiang-tiang yang berdekatan (*group action*).



Jarak antar tiang (s) diambil dengan persyaratan :

$$\begin{aligned} &= 2.5.D \leq s \leq 3.D \\ &= 2.5 \times 30 \leq s \leq 3 \times 30 \\ &= 75 \leq s \leq 90 \end{aligned}$$

Dipakai $s = 75 \text{ cm}$

Tebal poer = 80 cm

Gambar 4.2 Jarak Antar Tiang

Perhitungan efisiensi kelompok tiang berdasarkan rumus converse – lababarre dari *uniform Building Code* AASHTO yaitu:

$$E_{ffn} = 1 - \frac{\phi}{90} \left[\frac{(n-1)m + (m-1)n}{m.n} \right] \quad (2.5)$$

Dimana:

$$\begin{aligned} \phi &= \arctan \frac{D}{S} \\ &= \arctan \frac{30}{75} = 21,80 \\ E_{ffn} &= 1 - \frac{21,80}{90} \times \left[\frac{(2-1) \times 2 + (2-1) \times 2}{2 \times 2} \right] \\ &= 0,76 \end{aligned}$$

Jadi daya dukung vertikal kelompok tiang adalah :

$$\begin{aligned} &= E_{ffn} \times \text{Jumlah Tiang} \times \text{Daya Dukung Ijin Tiang} \\ &= 0,76 \times 4 \times 54.000 \\ &= 164.160 \text{ kg} \end{aligned}$$

$$P_{\text{maks}} = \frac{\sum V}{n} \pm \frac{Mx \cdot y}{nx \cdot \sum y^2} \pm \frac{My \cdot x}{ny \cdot \sum x^2} \quad (2.6)$$

$$P_{\text{maks}} = \frac{208.097}{4} + \frac{2.329.996 \cdot 0,375}{2.05625} + \frac{284.8162 \cdot 0,375}{2.05625}$$

$$\begin{aligned} P_{\text{maks}} &= 52.025,25 + 776,66 + 94,94 \\ &= 52.896,85 \text{ kg} < Q_{sp} = 54.000 \text{ kg} \dots (\text{OK}) \end{aligned}$$

Penulangan Tiang Pancang

Penulangan tiang pancang dihitung berdasarkan kebutuhan pada waktu pengangkatan, dengan tinjauan terhadap dua cara pengangkatan

Tabel 4.4. Table Hasil M_{maks} dan D_{maks}

	Pengangkatan 2 Tempat (A)	Pengangkatan 1 Tempat (B)
M_{maks}	2,312 kNm	4,121 kNm
D_{maks}	5,979 kN	6,197 kN

Sumber : Hasil Analisa Pengangkatan Tiang

Perencanaan Pondasi Bore Pile

Diperoleh data-data sebagai berikut :

Kapasitas tiang tunggal berdasarkan tes kedalaman penetrasi tiang yaitu 7 m. Untuk jenis tiang yang digunakan adalah penampang tiang lingkaran diameter 30 cm yang menyesuaikan dengan keadaan lapangan.

Tabel 3. Daya Dukung Ijin Pondasi Tiang Tunggal dengan Penampang Lingkaran Kedalaman Penetrasi Tiang 7 Meter

Diamensi Tiang P=L (cm)	15	20	25	30	35	40	45	50
4 x Ø (cm)	60	80	100	120	140	160	180	200
Qc (kg/cm ²)	168.57	154.44	141.82	138.46	136.67	131.18	126.32	122.86
Ab (cm ²)	225	400	625	900	1225	1600	2025	2500
U (cm)	176,71	314,16	490,87	706,86	962,11	1256,66	1590,43	1963,50
C (kg/cm ²)	516	516	516	516	516	516	516	516
Q_{sp} (Ton)	15	23	31	42	55	68	82	97
Sijin beton (kg/cm²)	84	72	64	60	57	54	51	49

Sumber : Hasil Analisa Konsultan Perencana

Perencanaan kelompok tiang (*Pile Group*):

$$\begin{aligned}\Sigma V &= P + (\text{Berat Poer}) \\ &= 201.166 + (2,1 \times 1,35 \times 0,8 \times 2400) \\ &= 206.609,2 \text{ kg}\end{aligned}$$

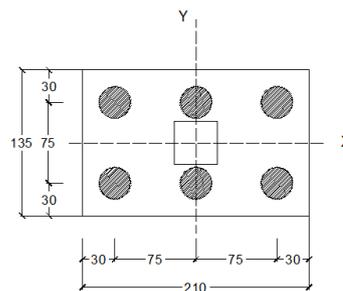
Jumlah Tiang yang diperlukan :

$$\begin{aligned}n &= \frac{\Sigma V}{Q_{sp}} = \frac{206.609,2}{42.000} = 4,91 \text{ buah tiang} \\ &= 6 \text{ buah tiang}\end{aligned}$$

$$\begin{aligned}\text{Gaya pada tiap tiang} &= \frac{206.609}{6} \\ &= 34.682,83 \text{ kg} < Q \text{ ijin } 42.000 \text{ kg} \dots \text{OK}\end{aligned} \tag{2.10}$$

Efisiensi Kelompok Tiang

Perhitungan jumlah tiang yang diperlukan seperti yang dijelaskan masih belum sempurna karena daya dukung kelompok tiang bukanlah berarti daya dukung satu tiang dikalikan dengan jumlah tiang. Hal ini karena intervensi (tumpang tindihnya) garis-garis tengahnya dari tiang-tiang yang berdekatan (*group action*).



Gambar 4.2 Jarak Antar Tiang

Jarak antar tiang (*s*) diambil dengan persyaratan :

$$\begin{aligned}&= 2.5.D \leq s \leq 3.D \\ &= 2.5 \times 30 \leq s \leq 3 \times 30 \\ &= 75 \leq s \leq 90\end{aligned}$$

Dipakai *s* = 75 cm

Tebal poer = 80 cm

Perhitungan efisiensi kelompok tiang berdasarkan rumus *converse – lababarre* dari *uniform Building Code AASHTO* yaitu:

$$E_{ffn} = 1 - \frac{\phi}{90} \left[\frac{(n-1)m + (m-1)n}{m.n} \right] \quad (2.11)$$

Dimana:

$$\begin{aligned} \phi &= \text{arc tan } \frac{D}{s} \\ &= \text{arc tan } \frac{30}{75} = 21,80 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} E_{ffn} &= 1 - \frac{21,80}{90} \times \left[\frac{(2-1) \times 3 + (3-1) \times 2}{3 \times 2} \right] \\ &= 0,72 \end{aligned}$$

Jadi daya dukung vertikal kelompok tiang adalah :
 $= E_{ffn} \times \text{Jumlah Tiang} \times \text{Daya Dukung Tiang}$
 $= 0,72 \times 6 \times 42.000$
 $= 181.440 \text{ kg}$

$$\begin{aligned} P_{\text{maks}} &= \frac{\sum V}{n} \pm \frac{Mx \cdot y}{nx \cdot \sum y^2} \pm \frac{My \cdot x}{ny \cdot \sum x^2} \quad (2.6) \\ P_{\text{maks}} &= \frac{206.609}{6} + \frac{2.329.996 \cdot 0,75}{2.2,25} + \frac{284.8162 \cdot 0,375}{2.0,8437} \\ P_{\text{maks}} &= 35.144,46 \text{ kg} \\ &= 35.144,46 \text{ kg} < Q_{sp} = 42.000 \text{ kg... (OK)} \end{aligned}$$

Tabel 4.7 Rekapitulasi Hasil Perhitungan Tiang Pancang

Jenis Tiang	Dimensi (m)	Jumlah Tiang per Pile Cap	Dimensi Poer (m)	Tulangan Tiang	Tulangan Pile Cap
Tiang Pancang	0,30 x 0,30	4	1,9 x 1,9 x 0,8	8 D12 Ø8 - 150	D16 - 150 D20 - 120
Bore Pile	0,30	6	2,1 x 1,35 x 0,8	4D16 Ø10 - 150	D20 - 220 D20 - 150

Sumber : Hasil analisa tiang pancang dan bore pile

IV. KESIMPULAN DAN SARAN

Kesimpulan

Dari hasil analisa didapatkan bahwa berdasarkan karakteristik tanah, pembebanan gedung dan mutu bahan yang sama pada proyek yang ditinjau, jumlah pondasi tiang pancang pada setiap *pile cap*nya lebih sedikit (4 buah) jika dibandingkan dengan pondasi *bore pile* (6 buah/*pile cap*).

Saran

1. Sebaiknya untuk perencanaan sebuah pondasi yang baik diusahakan kelengkapan dari pada hasil pengujian tanah baik dari hasil uji laboratorium maupun lapangan.

2. Untuk mendapatkan dimensi pondasi yang efektif dan efisien sebaiknya pengujian dilakukan pada masing-masing titik penempatan pondasi.
3. Tetap diperhatikan fungsi bangunan, data tanah, beban yang bekerja pada setiap joint pondasi, peraturan SNI Beton yang sudah ada dan kondisi lapangan sekitar proyek untuk perencanaan pondasi sebelum melaksanakan analisis perhitungan struktur pondasi.
4. Sebaiknya dapat dicoba perencanaan berbagai jenis pondasi pondasi yang lainnya yang dapat memudahkan pelaksanaan di lapangan serta menghemat biaya dan waktu, seperti pondasi rakit, jaring laba-laba dan lain-lain.

DAFTAR PUSTAKA

- [1] Bowles, J. E., 1991 *Analisis dan Desain Pondasi Pondasi*, Edisi keempat Jilid 1, Erlangga, Jakarta.
- [2] Braja M. Das, 1994. “Mekanika Tanah (Prinsip-Prinsip Rekayasa Geoteknis)” Jilid II, Erlangga, Jakarta ;
- [3] Dipohusudo, Istimawan., Departemen Pekerjaan Umum RI .2003. *Struktur Beton Bertulang Berdasarkan SK. SNI T – 15 – 1991 – 03*.
- [4] Hardiyatmo, H. C., 1996, *Teknik Pondasi 1*, PT. Gramedia Pustaka Utama, Jakarta.
- [5] Hardiyatmao, H. C ., 2002, *Teknik Pondasi 2*, Edisi Kedua, Bets Offset, Yogyakarta.
- [6] Joseph E. Bowles, 1983. “Analisa dan Desain Pondasi” Jilid I, Erlangga, Jakarta;
- [7] Joseph E. Bowles, 1984. “Sifat-sifat Fisis dan Geoteknis Tanah”, Erlangga, Jakarta;
- [8] Redana, I Wayan (1993) *Prilaku pasir dan lempung pad uji kekutan geser dengan direct shear*, udayana university, J., No 38, Okt – 1993
- [9] Redana, I Wayan (2010) *Teknik Pondasi*, Udayana University Press, Denpasar;
- [10] SNI – 03 – 2847 – 2002. “Tata Cara Perhitungan Struktur Beton untuk Bangunan Gedung”
- [11] SNI – 03 – 3436 – 2002. “Perhitungan Analisa Harga Satuan Untuk Pekerjaan Borongan Pondasi Bored Pile ”
- [12] (SNI 2836 : 2008). “Analisa Harga Satuan Untuk Pekerjaan Pondasi ”
- [13] Tata Cara Perhitungan Struktur Beton untuk Bangunan Gedung 2002, *Faktor Reduksi Kekuatan SNI 03-2847-2002*.
- [14] Yayasan Lembaga Penyelidikan Masalah Bangunan 1983. *Peraturan Pembebanan Indonesia Untuk Gedung 1983*
- [15] Sipil USM, Wordpress, <https://sipilusm.wordpress.com/2010/03/08/perhitungan-pondasi/> (diakses pada 1 Mei tahun 2016)