

ANALISIS PERBANDINGAN PONDASI BORE PILE DAN PONDASI TAPAK TERHADAP DAYA DUKUNG TANAH PADA PEMBANGUNAN GEREJA INKULTURATIF GBKP BUKIT

Surta Ria Panjaitan¹, Humisar Pasaribu², Suci Grace Baene³

^{1,2,3}Fakultas Teknik, Universitas HKBP Nommensen Medan
email : surta.panjaitan@uhn.ac.id¹, humisar.pasaribu@uhn.ac.id²,
suci.baene@student.uhn.ac.id³

ABSTRAK

Gereja inkulturatif GBKP Bukit adalah gereja yang bertempat di Desa Bukit Kecamatan Dolat Rayat. Jumlah lantai pada proyek pembangunan gedung gereja inkulturatif GBKP Bukit adalah 3 lantai. Jenis pondasi yang digunakan pada pembangunan gereja ini adalah pondasi bore pile. Tujuan penelitian ini ingin merencanakan alternatif lain dengan membandingkan pondasi tapak dan pondasi bore pile dari data sondir. Penelitian ini dilakukan dengan metode pengumpulan data pada pembangunan gereja inkulturatif GBKP Bukit diperoleh berupa data hasil sondir dan gambar-gambar struktur. Hasil perhitungan dan analisa yang telah dihitung maka disimpulkan bahwa berdasarkan tinjauan pada titik kritis P6 diperoleh pondasi bore pile dengan diameter 40 cm, kedalaman 10 m, tiang tunggal, tulangan 7 Ø 13 dan pondasi tapak dengan dimensi 2,2 m, tulangan 12 Ø 10, kedalaman 2 m. Hasil perancangan pondasi dapat disimpulkan bahwa pondasi yang lebih efisien adalah pondasi tapak.

Kata Kunci : daya dukung tanah, pondasi bore pile, pondasi tapak

ABSTRACT

GBKP Bukit inculturative church is a church located in Bukit Village, Bolat Raya District. The number of floors in the GBKP inculturative church building construction project is 3 floors. The type of foundation used in the construction of this church is a bore pile foundation. The purpose of this study was to plan another alternative by comparing tread foundations and bore pile foundations from sondir data. The research was conducted using data collection methods on the construction of GBKP Bukit inculturative church obtained in form of sondir data and structural drawings. The results of calculations and analysis that have been calculated can be concluded that, based on a review at the critical point P6, a bore pile foundation with a diameter of 40 cm, a depth of 10 m, a single pole, reinforcement of 7 Ø 13 and a tread foundation with dimensions of 2.2 m. The results of foundation design can be concluded that a more efficient foundation is the tread foundation.

Keywords : soil bearing capacity, bore pile foundation, tread foundation

PENDAHULUAN

Dalam menentukan jenis pondasi suatu bangunan harus mempertimbangkan keadaan tanah, metode pelaksanaannya di lapangan dan lain sebagainya. Pondasi harus diperhitungkan sedemikian rupa baik dari segi dimensi maupun secara analitis mekanis. Setiap pondasi bangunan perlu direncanakan berdasarkan jenis, kekuatan dan daya dukung tanah tempat berdirinya. Bagi tanah yang stabil dan memiliki daya dukung baik, maka pondasinya juga membutuhkan konstruksi yang sederhana. Jika tanahnya berlapis dan memiliki daya dukung buruk, maka

pondasinya juga harus lebih kompleks. Tujuan dalam penelitian ini meliputi untuk mengetahui daya dukung tanah berdasarkan data sondir yang ada, untuk mengetahui dimensi tulangan pondasi bore pile dan pondasi tapak serta untuk mengetahui pondasi mana yang paling efisien untuk digunakan.

TINJAUAN PUSTAKA

Pondasi merupakan suatu bagian dari konstruksi bangunan yang berfungsi meletakkan bangunan dan meneruskan beban bangunan atas (*upper structure/super structure*) ke dasar tanah yang cukup kuat mendukungnya. Untuk tujuan itu, pondasi bangunan harus diperhitungkan dapat menjamin kestabilan bangunan terhadap berat sendiri, beban-beban berguna dan gaya-gaya luar, seperti tekanan angin, gempa bumi dan lain-lain tanpa mengakibatkan terjadi keruntuhan geser tanah dan penurunan (*settlement*) tanah/pondasi yang berlebihan (Gunawan, 1983).

Dalam Peraturan Pembebanan Indonesia Untuk Gedung (1983), menyatakan bahwa standar daya dukung tanah meliputi :

- a) Tanah keras (lebih dari 5 kg/cm²)
- b) Tanah sedang (2 – 5 kg/cm²)
- c) Tanah lunak (0,5 – 2 kg/cm²)
- d) Tanah amat lunak (0 – 0,5 kg/cm²)

Tiga kriteria yang harus dipenuhi dalam perencanaan suatu pondasi, yaitu :

- a) Pondasi harus ditempatkan dengan tepat, sehingga tidak longsor akibat pengaruh luar;
- b) Pondasi harus aman dari ke longSORan daya dukung tanah, dan
- c) Pondasi harus aman dari penurunan yang berlebihan.

Pondasi *Bored Pile* (Tiang Bor)

Pondasi *bored pile* digunakan apabila tanah dasar yang kokoh mempunyai daya dukung besar terletak sangat dalam yaitu kurang lebih 15 m. Pondasi tiang suatu konstruksi yang mampu menahan gaya orthogonal ke sumbu tiang dengan cara menyerap lenturan. Pondasi tiang dibuat dengan satu kesatuan yang monolit dengan menyatukan pangkal tiang yang terdapat di bawah konstruksi dengan tumpuan pondasi (Nakazawa K dan Sunyono, 1983).

Tahapan-tahapan dalam perhitungan tulangan utama pada pondasi *bored pile* meliputi :

Momen nominal (M_n)

$$M_n = \frac{M_u}{\phi} \tag{1}$$

Dimana :

M_n = Momen nominal yang bekerja

M_u = Momen maksimum yang bekerja pada tiang

φ = Faktor reduksi kekuatan tekan dengan tulangan spiral 0,70

Rasio tulangan (ρ)

$$\rho_{min} = \frac{1,4}{F_y} \quad (2)$$

$$\rho_b = \frac{0,85 \times \beta \times F_{cr}}{F_y} \times \left(\frac{600}{600 + F_y} \right) \quad (3)$$

$$\rho_{maks} = 0,75 (\rho_b) \quad (4)$$

$$\rho = \frac{1}{m} \left(1 - \sqrt{1 - \frac{(2m \times R_n)}{F_y}} \right) \quad (5)$$

$$m = \frac{F_y}{0,85 \times F_{cr}} \quad (6)$$

$$R_n = \frac{M_n}{bd^2} \quad (7)$$

Dimana :

ρ_{min} = Rasio tulangan minimum

ρ_b = Rasio tulangan seimbang (*balance*)

ρ_{maks} = Rasio tulangan maksimum

ρ = Rasio tulangan yang digunakan

Luas tulangan (A_s)

$$A_s = \rho \times b \times d \quad (8)$$

$$A_{stul} = \frac{1}{4} \pi^2 \quad (9)$$

Dimana :

A_s = Luas tulangan yang dipakai

b = Diameter pondasi

d = Lebar efektif pondasi

$A_s \text{ tul}$ = Luas tulangan

Jumlah tulangan (n)

Perhitungan jumlah tiang yang diperlukan pada suatu titik kolom menggunakan beban aksial dengan kombinasi beban DL + LL (beban tak terfaktor). Jumlah tiang yang diperlukan dihitung dengan membagi gaya aksial yang terjadi dengan daya dukung tiang.

$$np = \frac{P}{p_{all}} \quad (10)$$

Dimana :

np = Jumlah tiang

P = Gaya aksial yang terjadi

Pall = Daya dukung ijin tiang

Daya Dukung Terzaghi

Terzaghi dan Peck (1948) melakukan analisis kapasitas daya dukung tanah dengan beberapa anggapan, sebagai berikut :

- 1) Pondasi berbentuk memanjang tak tertingga
- 2) Tanah di bawah dasar pondasi homogen
- 3) Berat tanah di atas dasar pondasi digantikan dengan beban terbagi rata sebesar $P_o = D_f \gamma$, dengan D_f adalah kedalaman dasar pondasi dan γ adalah berat volume tanah di atas dasar pondasi
- 4) Tahanan geser tanah di atas dasar pondasi diabaikan
- 5) Dasar pondasi kasar
- 6) Bidang keruntuhan terdiri dari lengkung spiral logaritma dan linear
- 7) Baji tanah yang berbentuk di dasar pondasi dalam kedudukan elastis dan bergerak sama-sama dengan dasar pondasi
- 8) Pertemuan antara sisi baji dan dasar pondasi membentuk sudut sebesar sudut gesek dalam tanah ϕ
- 9) Berlaku prinsip superposisi. Superposisi yang didapat dari perununan persamaan yaitu jika pengaruh-pengaruh kohesi, beban terbagi rata dan berat volume tanah, semua diperhitungkan.

$$q_u = q_c + q_q + q_\gamma \quad (11)$$

$$q_u = c N_c + P_o N_q + 0,5 \gamma B N_\gamma \quad (12)$$

Dimana :

q_u = Kapasitas daya dukung ultimit untuk pondasi memanjang (kN/m^2)

c = Kohesi (kN/m^2)

D_f = Kedalaman pondasi (m)

B = Berat volume tanah (m)

P_o = D_f

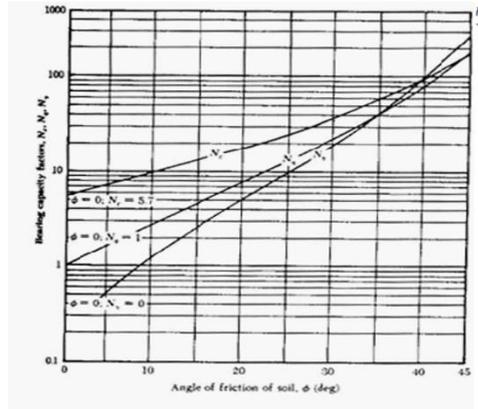
γ = Tekanan overburden pada dasar pondasi (kN/m^2)

Persamaan umum untuk daya dukung ultimit pada pondasi memanjang pada kondisi keruntuhan geser lokal, dinyatakan oleh :

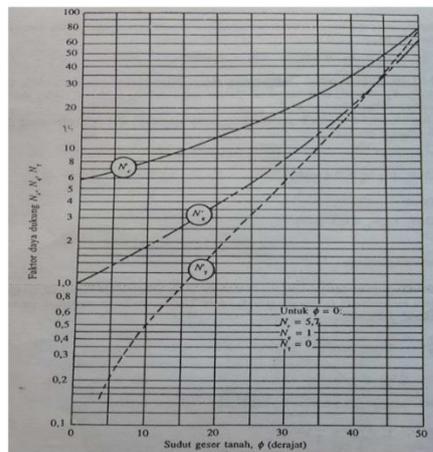
$$q_u = q_c + q_q + q_\gamma \quad (13)$$

$$q_u = \frac{2}{3} c N_c' + P_o N_q' + 0,5 \gamma B N_\gamma' \quad (14)$$

Nilai faktor-faktor kapasitas daya dukung N_c , N_q , N_γ dan N_c' , N_q' , N_γ' dijelaskan berikut.



Gambar 1. Faktor daya dukung untuk keruntuhan geser menyeluruh menurut Terzaghi
(Sumber : Braja M. Das, 1994)



Gambar 2. Faktor daya dukung untuk keruntuhan geser setempat menurut Terzaghi
(Sumber : Braja M. Das, 1994)

Tabel 1. Nilai faktor kapasitas dukung Terzaghi

φ	Keruntuhan geser umum			Keruntuhan geser lokal		
	N _c	N _q	N _γ	N _c '	N _q '	N _γ '
0	5,7	1,0	0,0	5,7	1,0	0,0
5	7,3	1,6	0,5	6,7	1,4	0,2
10	9,6	2,7	1,2	8,0	1,9	0,5
15	12,9	4,4	2,5	9,7	2,7	0,9
20	17,7	7,4	5,0	11,8	3,9	1,7
25	25,1	12,7	9,7	14,8	5,6	3,2
30	37,2	22,5	19,7	19,0	8,3	5,7
34	52,6	36,5	35,0	23,7	11,7	9,0
35	57,8	41,4	42,4	25,2	12,6	10,1
40	95,7	81,3	100,4	34,9	20,5	18,8
45	172,3	173,3	297,5	51,2	35,1	37,7
48	258,3	287,9	780,1	66,8	50,5	60,4
50	347,6	415,1	1153,2	81,3	65,6	87,1

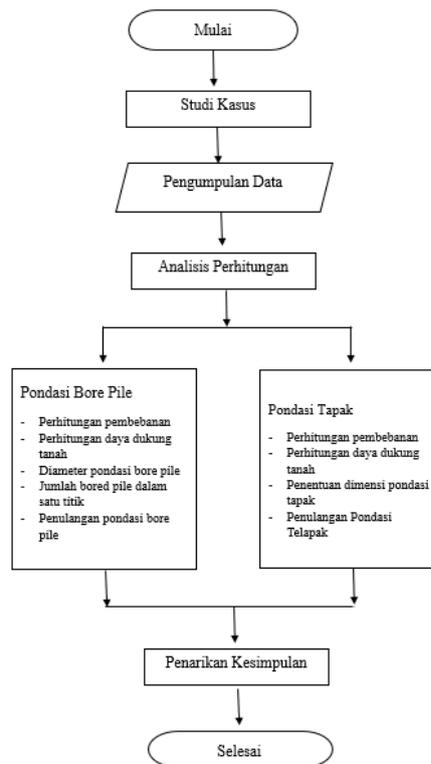
(Sumber : Hardiyatmo, 2002)

METODE PENELITIAN

Lokasi penelitian ini adalah di proyek pembangunan Gereja Inkulturatif GBKP Bukit, Jl. Desa Bukit, Kecamatan Dolat Rayat, Kabajahe, Sumatera Utara yang terdiri dari tiga (3) lantai dengan mengangkat konsep bentuk bangunan rumah adat Karo. Dengan data sebagai berikut :

- Nama proyek : Proyek pembangunan gedung Gereja Inkulturatif GBKP Bukit
- Lokasi : Jl. Desa Bukit, Kec. Dolat Rakyat, Kabajahe, Sumatera Utara
- Pemilik proyek : Gereja Inkulturatif GBKP Bukit
- Kontraktor pelaksana : CV. Artakasih
- Konsultan pengawas : PT. Archa Studio Arsitektur
- Penyelidikan tanah : PT. Parastya Lasgrama
- Jenis konstruksi : Konstruksi gedung
- Lingkup pekerjaan : Struktur
- Jumlah lantai : 3 lantai
- Nilai kontrak : ± 4.852.000.000,00

Untuk melengkapi penelitian ini maka dilakukan sesuai dengan bagan alir penelitian agar tujuan yang telah dipaparkan sebelumnya bisa tercapai.

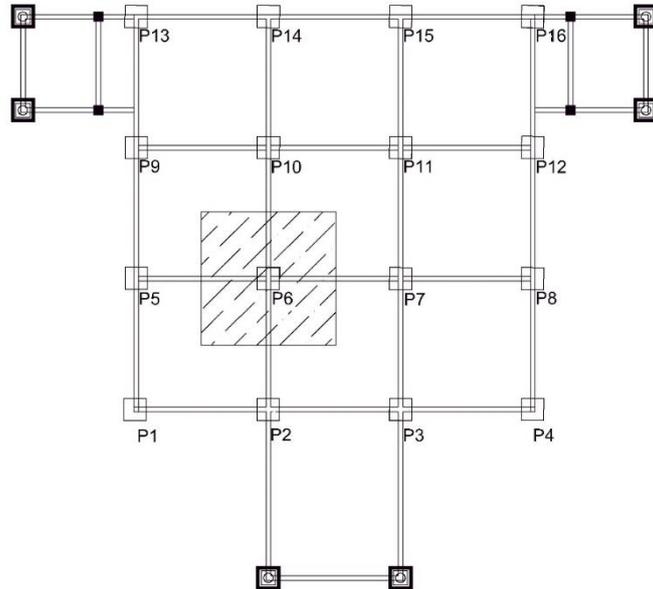


Gambar 3. Bagan alir penelitian

HASIL DAN PEMBAHASAN

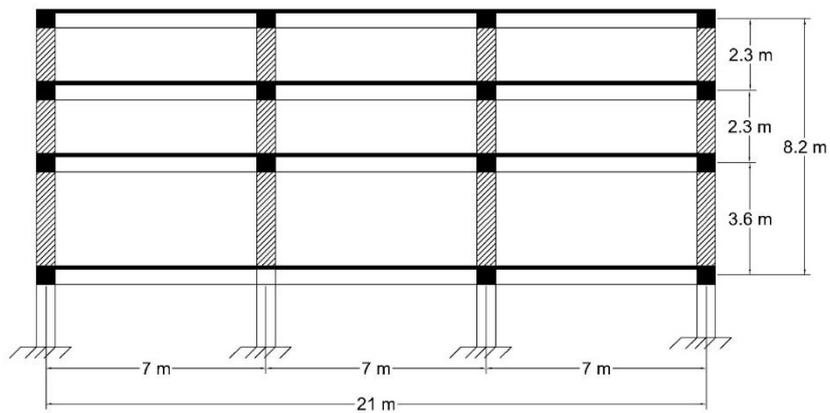
Perhitungan Pembebanan

Beban-belan pada struktur gedung dapat terdiri dari beban mati, beban hidup, beban angin, beban gempa, beban air dan beban khusus lainnya seperti beban getaran mesin, beban kejut listik dan lain-lain.



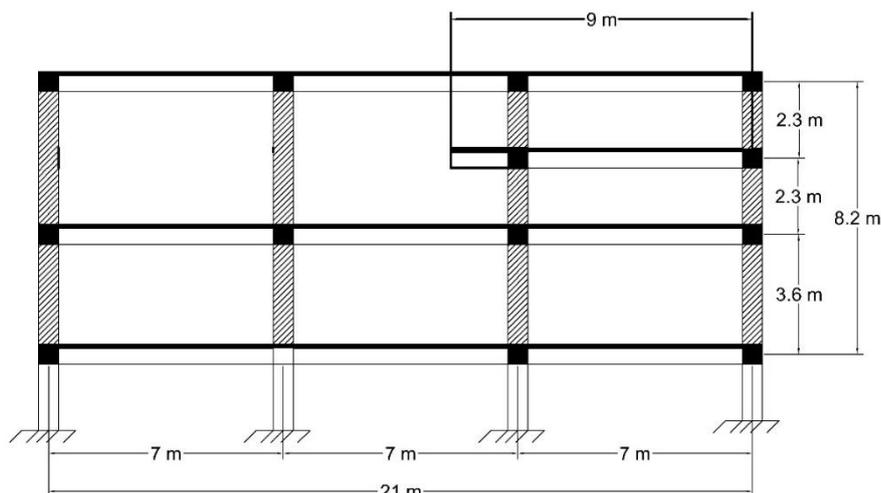
Gambar 4. Tinjauan di titik kritis

(Sumber : hasil analisis, 2023)



Gambar 5. Potongan arah x bangunan

(Sumber : hasil analisis, 2023)



Gambar 6. Potongan arah Y bangunan

(Sumber : hasil analisis, 2023)

Tabel 2. Perhitungan beban mati (P6) dan beban hidup

Beban mati				
- Pelat lantai	=	84 x 0,12 x 2400	=	24.192 kg
- Balok B2 (30/60)	=	14 x 0,3 x 0,6 x 2400	=	6.048 kg
- Balok B2 (25/40)	=	7 x 0,25 x 0,4 x 2400	=	1.680 kg
Beban mati				
- Kolom K2 (D60)	=	8,2 x ($\pi 0,6^2$) x 2400	=	5.564,38 kg
- Plafon	=	84 x 18	=	2.394 kg
- Penutup lantai	=	(49 x 30) + (84 x 28,75)	=	3.885 kg
- M/E	=	84 x 25	=	2.100 kg
Total				= 45.863,38224 kg
Beban hidup				
- Beban hidup (gereja)	=	84 x 400	=	33.600 kg
Total				= 33.600 kg

(Sumber : hasil analisis, 2023)

1. Daya Dukung Pondasi Bore Pile

Daya dukung *bored pile* diperoleh dari daya dukung ujung (*end bearing capacity*) yang diperoleh dari tekanan ujung tiang dan daya dukung geser yang diperoleh dari daya dukung gesek atau gaya adhesi antara *bored pile* dan tanah di sekelilingnya. Panjang pondasi *bored pile* adalah 10 m dan diameter pondasi *bored pile* adalah 40 cm, luas penampang adalah (A_h) 1.256,637 cm² maka daya dukung ujung (Q_b) adalah 238.761,020 kg. Luas selimut tiang (A_s) adalah 125.663,6 dan tahanan dinding (F_s) adalah 0,09792 sehingga daya dukung selimut tiang (Q_s) adalah 12.304,979 kg dan daya dukung ultimit tiang (Q_{ult}) adalah 251.065,819 kg. Untuk faktor aman didapatkan $3,159 > 2,5$ maka dinyatakan Aman untuk menggunakan *bore pile* dengan diameter 40 cm pada kedalaman 10 m. Daya dukung ijin yang diperhitungkan (Q_{all}) adalah 57.412,68291 kg sehingga jumlah pondasi *bore pile* dalam 1 titik dapat direncanakan

menggunakan 1 *bored pile*. Dan daya dukung kelompok *bore pile* terhitung $P < Q_{all}$ yaitu $79.463,382 \text{ kg} < 83.688,606 \text{ kg}$ dinyatakan aman untuk 1 tiang.

Tabel 3. Perbandingan diameter pondasi

Diameter pondasi (cm)	Jumlah pondasi	P (kg)	Q _{all} (kg)	Perbandingan P < Q _{all}
30	2	79.463,382	47.843,90243	Tidak aman
40	1	79.463,382	83.688,60657	Aman
50	1	79.463,382	129.481,679	Aman
60	1	79.463,382	185.223,1199	Aman

(Sumber : hasil analisis, 2023)

Perhitungan Jumlah Tulangan Pondasi

Pile Cap

Jika dimensi atau penampang pondasi ditentukan oleh gaya aksial/berat bangunan yang dipikul masing-masing kolom, maka penulangan pondasi ditentukan oleh gaya momen dan gaya geser yang bekerja pada pondasi tersebut. Untuk menentukan presentasi tulangan kolom menggunakan grafik interaksi kolom maka besaran momen nominal yang bekerja pada tiang (M_u) adalah 249.197 kN.m dan nilai momen yang bekerja (M_n) adalah sebesar 311.496 kN.m. Sedangkan nilai rasio tulangan yang digunakan adalah 0,0022 dengan tulas tulangan (A_s perlu) $8,8 \text{ cm}^2$ dan luas tulangan untuk D13 adalah $1,327 \text{ cm}^2$ maka jumlah tiang yang digunakan (n) adalah 7 tulangan. Sementara itu untuk tulangan atas digunakan D10 dengan jumlah tulangan adalah 5 tulangan.

Tulangan Lentur

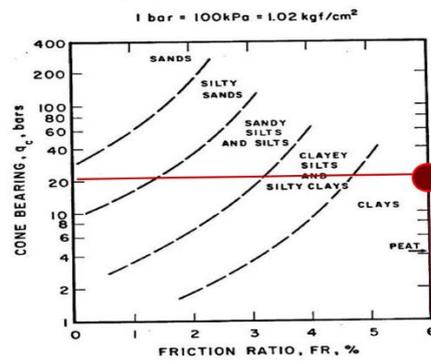
Dengan ϕ adalah faktor reduksi kekuatan tekan dengan tulangan spiral 0,70 maka nilai momen yang bekerja (M_n) adalah 355.995 kN.m. Sementara itu rasio tulangan maksimum (ρ_{max}) adalah 0,0213 dan rasio tulangan yang digunakan (ρ) adalah 0,0047. Dengan tulas tulangan utama D13 (A_s tul) adalah 1.327 cm^2 maka jumlah tulangan (n) adalah 7 tulangan.

Tulangan Geser

Dengan dimensi kolom 60 cm, tebal pondasi 500 mm, tebal selimut beton 75 mm, diameter tulangan 13 mm, mutu beton (f'_c) adalah 26,4 MPa dan tinggi efektif (d) 418,5 mm, maka gaya geser (P) atau V_u pons adalah 1084,220 kn dan keliling bidang kritis geser pons (b_o) $\emptyset V_u$ pons adalah 2724,603 kn maka disimpulkan V_u pons $< \emptyset V_u$ pons adalah aman terhadap gaya geser pons.

2. Daya Dukung Pondasi Tapak

Berdasarkan hasil uji sondir pada titik 2 (S2), nilai q_c pada kedalaman 2,0 m sebesar 20 kg/m^2 dan FR sebesar 6%. Hasil yang didapatkan dari grafik *Schmertmann* dengan menarik garis yang menghubungkan nilai q_c dan FR tersebut menunjukkan bahwa jenis tanah pada kedalaman 2,0 m merupakan tanah lanau.



Gambar 7. Grafik Schmertmann titik 2 (S2)

(Sumber : hasil analisis, 2023)

Tabel 4. Klasifikasi tanah pada titik S2

Kedalaman (m)	q_c (kg/cm ²)	FR (%)	Jenis tanah
0,2	10	5	Lanau
0,4	15	5	Lanau
0,6	10	5	Lanau
0,8	7	5	Lanau
1,0	15	5	Lanau
1,2	20	6	Lanau
1,4	25	7	Lanau
1,6	30	8	Lanau
1,8	32	8	Lanau
2,0	20	6	Lanau

(Sumber : hasil analisis, 2023)

Berdasarkan klasifikasi jenis tanah tersebut, maka dapat disimpulkan sudut geser dalam (Φ) adalah 27° , volume tanah basah (γ) adalah 7 kn/m^3 dan kohesi (c) adalah 7 kn/m^2 , $N_c = 29,24$; $N_q = 15,90$ dan $N_\gamma = 11,60$. Perhitungan daya dukung ultimit (q_u) adalah $553,644 \text{ kN/m}^2$ dan daya dukung izin (q_{izin}) adalah $184/548 \text{ kN/m}^2$, dan nilai tegangan pada tanah adalah sebesar 184.183 kN/m^2 .

Tabel 5. Hasil perhitungan perbandingan dimensi pondasi

B (m)	Daya dukung izin	Tegangan pada tanah	Kontrol
1,5	179.134	368.571	Tidak aman
1,8	182.382	263.286	Tidak aman
2	184.548	217.821	Tidak aman
2,2	186.713	184.183	Aman
2,5	189.961	148.046	Aman

(Sumber : hasil analisis, 2023)

Geser satu arah dan dua arah

Dengan lebar pondasi (B) adalah $2,2 \text{ m}$; tebal pondasi 600 mm ; selimut pondasi 75 mm dan diameter tulangan 13 mm , area efektif geser satu arah $0,6336 \text{ mm}$ dan area efektif geser dua arah

3,603 mm serta tinggi efektif rerata dari pondasi (d) adalah 512 mm maka tegangan tanah ultimit akibat beban terfaktor (V_{ult}) adalah 160.897 kN/m²; maka :

- 1) Gaya geser satu arah terfaktor yaitu V_{ult} adalah 101.944 kN dan ϕV_n adalah 737.912 kN disimpulkan bahwa $V_{ult} < \phi V_n$ 2 (Aman)
- 2) Gaya geser dua arah terfaktor yaitu V_{ult} adalah 579.785 kN dan ϕV_n adalah 2896.0890 kN disimpulkan bahwa $V_{ult} < \phi V_n$ 2 (Aman)

Tulangan Lentur

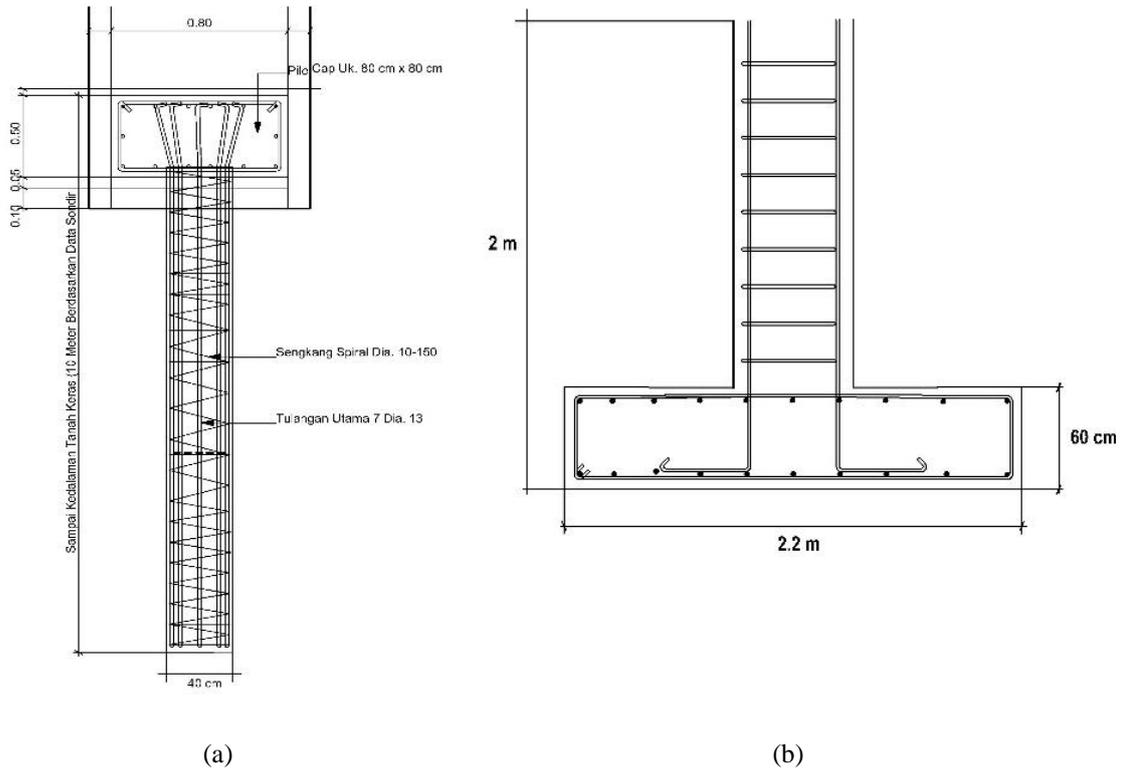
Dengan momen maksimum yang bekerja pada tiang (M_u) 113.271 kN.m; R_n 0,218 dan ρ_{perlu} 0,000731 maka luas tulangan (A_{Sperlu}) adalah 8,234 cm² dan luas tulangan D10 (A_{Stul}) 0,785 cm² dirumuskan jumlah tulangan adalah 12 tulangan.

Perbandingan Dimensi dan Tulangan Pondasi Bored Pile dan Pondasi Tapak

Tabel 6. Perbandingan dimensi dan tulangan pondasi

Titik tinjauan	Pondasi Bored Pile			Pondasi Tapak		
	Diameter (mm)	Jumlah pondasi	Tulangan	B (mm)	Tulangan	Kedalaman (Df)
P1	40	1	7D13	1,5	4D10	2
P2	40	1	7D13	2	8D10	2
P3	30	1	6D13	2	8D10	2
P4	30	1	6D13	1,5	4D10	2
P5	30	1	6D13	2	8D10	2
P6	40	1	7D13	2,2	12D10	2
P7	40	1	7D13	2,2	12D10	2
P8	30	1	6D13	2	8D10	2
P9	40	1	7D13	2,1	12D10	2
P10	30	1	6D13	2	8D10	2
P11	30	1	6D13	2	8D10	2
P12	40	1	7D13	2.1	12D10	2
P13	40	1	7D13	2.1	12D10	2
P14	30	1	6D13	2	8D10	2
P15	30	1	6D13	2	8D10	2
P16	40	1	7D13	2.1	12D10	2

(Sumber : hasil analisis, 2023)



Gambar 8. Pondasi Bored Pile (a) dan Pondasi Tapak (b)

KESIMPULAN

Berdasarkan hasil pembahasan yang diperoleh, maka dapat disimpulkan sebagai berikut :

1. Daya dukung pondasi *bored pile* dan pondasi tapak mampu menahan beban yang bekerja pada bangunan Gereja Inkulturatif GBKP Bukit.
2. Diameter pondasi *bored pile* yaitu 40 cm pada kedalaman 10 m dengan tulangan 7 Ø 13.
3. Lebar pondasi tapak yaitu 2,2 m pada kedalaman 2 m dengan tulangan 12 Ø 10.
4. Pondasi yang efisien yaitu pondasi tapak.

DAFTAR PUSTAKA

- Das, M., Braja. 1994. *Mekanika Tanah II (Prinsip-prinsip Rekayasa Geoteknis) Jilid 1 dan Jilid 2*. Penerbit Erlangga. Jakarta.
- Direktorat Penyelidikan Masalah Bangunan Jalan. 1983. *Peraturan Pembebanan Untuk Gedung*. Bandung.
- Gunawan, R. 1983. *Pengantar Teknik Pondasi*. Penerbit Kanisius (Anggota IKAPI). Yogyakarta.
- Hardiyatmo, H. 2002. *Mekanika Tanah II*. Penerbit Beta Offset. Yogyakarta.
- Nakazawa, K. Sosrodarsono, S. 1983. *Mekanika Tanah dan Teknik Pondasi*. Penerbit PT. Pradya Paramita. Jakarta.
- Terzaghi, K dan Peck, R., B. 1948. *Soil Mechanics in Engineering Practice*. John Wiley and Son. New York.