

Analisa *Negative skin friction* pada Pondasi Bor Pile Akibat Tanah Timbunan ***Analysis of Negative skin friction on Foundation Due to Embankment***

Zeinatum Nisa¹, Arief Alihudien², Pujo Priyono³

¹ Mahasiswa Program Studi Teknik Sipil, Fakultas Teknik, Universitas Muhammadiyah Jember
Email: znisa6925@gmail.com

² Dosen Fakultas Teknik, Universitas Muhammadiyah Jember
Email: ariefalihudien@unmuhjember.ac.id

³ Dosen Fakultas Teknik, Universitas Muhammadiyah Jember
Email: pujopriyono@unmuhjember.ac.id

Abstrak

Pembangunan konstruksi memerlukan pondasi yang kuat untuk menopang beban, namun sering terjadi masalah *negative skin friction* yang menyebabkan tiang tertarik ke bawah akibat penambahan beban tanah timbunan di atas tiang bor pile. Penelitian ini bertujuan untuk menganalisis pengaruh *negative skin friction* pada pondasi bor pile akibat tanah timbunan pada pembangunan Rusunawa Pondok Pesantren Nurul Qarnain Jember. Metodologi penelitian menggunakan metode kuantitatif dengan jenis penelitian eksperimental, untuk analisis pembebanan struktur menggunakan aplikasi bantu program SAP2000 v22, dengan perhitungan daya dukung tiang menggunakan pendekatan metode Meyerhoff, metode Reese & Wright, dan metode Terzaghi dan Peck, serta menghitung *negative skin friction* (Q_{neg}) untuk mengetahui seberapa besar pengaruh beban gaya gesek dinding negatif terhadap tiang bor pile kedalaman 4 meter. Hasil analisis menunjukkan bahwa *negative skin friction* dapat mengurangi kapasitas daya dukung pondasi bor pile sebesar 19% akibat tanah timbunan setinggi 5,5 m dengan penurunan tanah sebesar 0,229 m. Nilai daya dukung grup tiang bor pile (P_{Max}) tanpa dipengaruhi *negative skin friction* didapatkan sebesar 85,94 kN, sedangkan dipengaruhi *negative skin friction* (Q_{neg}) didapatkan sebesar 167,127 kN. Desain tiang bor pile telah memenuhi persyaratan keamanan dan keandalan, dan dapat digunakan untuk menahan daya dukung beban bangunan.

Kata Kunci: *Negative Skin Friction*; Pondasi Bor Pile; Rusunawa; Tanah Timbunan.

Abstract

Construction development requires a strong foundation to support the load, but there is often a *negative skin friction* problem that causes the pile to pull down due to the additional load of backfill soil above the pile drill. This study aims to analyse the effect of *negative skin friction* on the pile drill foundation due to backfill soil in the construction of Nurul Qarnain Jember Islamic Boarding School Flats. The research methodology uses quantitative methods with experimental research types, for structural loading analysis using the SAP2000 v22 application program, with the calculation of the bearing capacity of the pile using the Meyerhoff method approach, the Reese & Wright method, and the Terzaghi and Peck method, and calculating *negative skin friction* (Q_{neg}) to find out how much influence the negative wall friction load has on the pile drill pile depth of 4 meters. The analysis results show that *negative skin friction* can reduce the bearing capacity of pile foundation by 19% due to 5.5 m high backfill soil with 0.229 m soil settlement. The group bearing capacity of the bored pile (P_{max}) without being affected by *negative skin friction* was found to be 85.94 kN, while affected by *negative skin friction* (Q_{neg}) was found to be 167.127 kN. The design of bored pile has met the safety and reliability requirements, and can be used to withstand the load bearing capacity of the building.

Keywords: *Negative Skin Friction*; Drill Pile Foundation; Flat; Backfill Soil.

1. PENDAHULUAN

Seiring dengan berkembangnya teknologi konstruksi yang meningkat secara signifikan. Hal ini memungkinkan pembangunan infrastruktur yang lebih besar, kompleks, dan tinggi. Namun, pembangunan tersebut juga memerlukan dasar pondasi yang memiliki cukup daya dukung dan lebih stabil untuk menopang beban struktur yang lebih besar (Sagita et al., 2020).

Rancang desain pondasi memiliki karakteristik perencanaan yang berbeda pula tergantung pada jenis dan karakteristik tanah pada lokasi perencanaan bangunan. Analisis tanah harus dilakukan untuk menghasilkan gambaran yang jelas mengenai *index properties dan engineering properties* dari tanah. Hasil dari pengujian tanah akan menentukan desain pondasi yang diperlukan untuk mendapatkan nilai daya dukung pondasi yang sesuai untuk menahan beban yang bekerja (Kacapuri, 2020).

Pondasi bor pile merupakan salah satu jenis pondasi dalam yang dipakai pada penelitian ini, dikarenakan dapat menopang beban bangunan lantai lebih dari satu, fleksibilitas dalam desain dan konstruksi. Pondasi bor pile juga dapat digunakan pada tanah dengan karakteristik lunak, berpasir dan memiliki lapisan tanah keras yang dalam. Serta dapat bekerja sangat efektif dimana dinding pondasi akan bersentuhan langsung dengan lapisan tanah yang akan menambah tingkat kekuatan untuk menahan beban (Jawa et al, 2020).

Pondasi memiliki kelebihan dan kelemahan tersendiri, salah satu permasalahan yang sering terjadi yaitu *negative skin friction* atau gaya penurunan dimana tiang tertarik ke bawah akibat tiang pondasi turun relative terhadap tiang, penyebab terjadinya penurunan tanah sekitar tiang yaitu mengalami pemampatan tanah akibat beban tanah timbunan di atasnya sehingga tanah bergerak ke bawah. Gaya gesekan antara tiang bor pile dengan tanah dapat menambah beban pada tiang bor pile dan mengurangi daya dukungnya, kondisi ini dapat terjadi pada struktur tanah lunak, berpasir dan dalamnya lapisan tanah yang keras. Penurunan ini memiliki batas ketentuan apakah pondasi masih layak atau tidak untuk menahan beban.

Bahan studi untuk penelitian ini dilakukan pada proyek pembangunan Rusunawa Pondok Pesantren Nurul Qarnain Jember, yang bertujuan untuk menganalisis pengaruh *negative skin friction* yang terjadi akibat tanah timbunan pada pondasi bor pile. Penelitian ini berfokus pada elemen struktur pondasi dalam jenis bor pile.

2. TINJAUAN PUSTAKA

Berikut adalah tinjauan pustaka yang relevan dengan penelitian ini, yang membahas tentang konsep dan teori yang terkait dengan pengaruh tanah timbunan terhadap *negative skin friction* pada pondasi bor pile.

A. Pembebanan Struktur

Faktor penting dalam merancang struktur bangunan adalah pembebanan. Tentunya dalam merancang struktur, mengidentifikasi beban-beban yang bekerja pada struktur sangat perlu diperhatikan. Sebab suatu struktur bangunan dikatakan stabil dan kokoh apabila mampu menahan beban-beban lateral (beban angin dan beban gempa) dan beban gravitasi (beban mati dan beban hidup) (Sopiyanto et al., 2023).

a. Beban Mati

Beban mati merupakan berat total semua bagian bangunan gedung yang bersifat tetap termasuk: berat dinding, lantai, atap, plafon, tangga, dinding partisi tetap, finishing, dan komponen arsitektur (SNI 1727:2020 pasal 3.1).

b. Beban Hidup

Beban hidup mengacu pada beban yang disebabkan oleh pengguna dan penghuni bangunan gedung atau struktur lain (SNI 1727:2020 pasal 4.1).

c. Beban Angin

Beban angin adalah semua beban yang bekerja pada gedung atau bagian gedung yang disebabkan oleh selisih tekanan udara. Dalam merencanakan beban angin mengikuti SNI 1727:2020.

d. Beban Gempa

Beban gempa mengacu pada semua beban statik ekuivalen yang bekerja pada gedung atau bagian yang menirukan pengaruh dari gerakan tanah akibat gempa itu.

B. Analisa Struktur dengan SAP2000 v22

Perhitungan analisa struktur digunakan untuk mendapatkan informasi mengenai respons pembebanan, momen, dan gaya geser. Data yang dimasukkan meliputi informasi mengenai balok, kolom, pelat, pembebanan, kombinasi pembebanan, serta respons spektrum gempa. Kombinasi pembebanan yang digunakan yaitu (SNI 1727:2020):

1. $1,4D$ (1)
2. $1,2D + 1,6L$ (2)
3. $1,2D + 1L + 1DX + 0,3DY$ (3)
4. $1,2D + 1L + 0,3DX + 1DY$ (4)
5. $0,9D + 1DX + 0,3DY$ (5)
6. $0,9D + 0,3DX + 1DY$ (6)

Perencanaan bangunan gedung dan nongedung menggunakan analisa gempa SNI 1726:2019, sangat penting untuk melakukan pertimbangan gempa rencana. Gempa rencana mengacu pada gempa dengan Tingkat keparahan yang diperkirakan akan terjadi selama umur struktur bangunan 50 tahun, dengan probabilitas terlampaui sebesar 20%.

Berikut langkah-langkah menghitung gempa rencana:

- a. Menentukan kategori risiko bangunan gedung dan nongedung untuk beban gempa dan factor keutamaan gempa
- b. Klasifikasi situs untuk menentukan kriteria desain seismic mencakup factor yang memperkuat pada bangunan.
- c. Menentukan letak penelitian pada peta wilayah gempa, yaitu: peta gempa maksimum sumber, peta respon spektrum percepatan pada periode pendek (S_s), dan peta respon spektrum percepatan pada periode 1,0 detik (S_1).
- d. Menentukan factor koefisien situs F_a dan F_v untuk menghitung respons spectral percepatan gempa, serta menghitung parameter respons untuk spectral desain periode pendel (S_{DS}) dan pada periode 1 detik (S_{D1})
- e. Menentukan kategori desain seismic (KDS) yang dirancang untuk menentukan pendetailan struktur yang telah mencukupi persyaratan sebanding dengan intensitas.
- f. Menentukan Faktor R, C_r , dan Ω_o untuk sistem penahan gaya gempa

- g. Menentukan periode fundamental pendekatan (T_a) berada pada batas bawah periode dan batas atas periode. Pendekatan dilakukan untuk menganalisis dinamik terhadap model struktur yang menghitung massa, kekakuan, dan redaman struktur.
- h. Menentukan skala factor keutamaan gempa pada bangunan yang diteliti.

C. Timbunan

Timbunan adalah proses penambahan volume material serupa atau material lain dengan tujuan meratakan permukaan yang sebelumnya berlubang atau meningkatkan elevasi permukaan untuk mencapai kondisi permukaan yang lebih baik. Kegagalan yang sering terjadi dapat berupa longsor atau settlement yang terlalu besar pada tanah timbunan, serta longsor pada sisi timbunan. Selain itu, kegagalan juga dapat terjadi pada sub-grade pondasi timbunan, dimana tanah pondasi menjadi terlalu lunak sehingga daya dukungnya terhadap beban timbunan menjadi kecil, mengakibatkan settlement yang terlalu besar (Alwie et al., 2020).

Pada pemilihan tanah timbunan, harus mempertimbangkan kondisi tanah dasar agar nilai kekuatan geser yang dihasilkan memenuhi syarat minimum untuk perhitungan faktor keamanan. Tanah timbunan yang dipilih harus sesuai dengan karakteristik tanah dasar, sehingga memiliki kekuatan geser yang memadai untuk memenuhi persyaratan faktor keamanan yang ditetapkan

1. Penurunan Konsolidasi Primer

Penambahan beban pada suatu permukaan tanah dapat menyebabkan lapisan tanah di bawahnya mengalami pemampatan (penurunan tanah). Penurunan tanah dapat terjadi pada struktur tanah lunak, berpasir dan dalamnya lapisan tanah yang keras. Meskipun membutuhkan waktu yang lama, tetapi penurunan tanah memiliki dampak yang signifikan. Persamaan yang akan digunakan untuk mencari besar penurunan adalah:

$$S = \sum \frac{C_c H}{1+e_0} \log \left(\frac{\sigma'_{v0} + \Delta \sigma}{\sigma'_{v0}} \right) \quad (7)$$

dimana:

S = Settlement

C_c = Compression index

e_0 = void ratio
 σ'_{v0} = tekanan efektif overburden
 $\Delta\sigma$ = penambahan beban vertical

D. Analisa Daya Dukung Tiang

Analisis kemampuan daya dukung tiang dilakukan untuk menghitung kapasitas tiang dalam menahan beban akibat *negative skin friction* dan memastikan keamanan struktur bangunan, serta meminimalkan risiko kerusakan dan meningkatkan kinerja struktur secara keseluruhan.

1. Beban Maksimum Tiang Kelompok

Sekelompok tiang grup dibentuk untuk menahan beban struktur bangunan yang berlantai lebih dari satu. Tiang grup dihubungkan oleh sebuah kepala tiang (*poer*) dan di berikan beban vertical, horizontal, dan momen, maka besarnya beban vertical ekuivalen dapat dihitung menggunakan rumus yang dikemukakan oleh Tomlinson:

$$P_{max} = \frac{V}{n} \pm \frac{M.x}{\sum x^2} \pm \frac{M.y}{\sum y^2} \quad (8)$$

dimana:

P_{max} = Beban maksimum yang diterima satu tiang bor pile

n = Jumlah tiang dalam group

M = Total momen

e = Jarak antara titik potong R pada dasar pile cap dengan *neutral axis* dari group tiang

x, y = Jarak antara sebuah tiang dengan sumbu netral group tiang. Nilai x, y positif bila arahnya sama dengan arah e , *vice versa*.

2. Daya Dukung Ujung Pondasi Bor pile Data SPT

Menggunakan persamaan metode Reese & Wright (1977):

$$Q_p = A_p \cdot q_p \quad (9)$$

dimana:

Q_p = Daya dukung ujung

A_p = Luas penampang bor pile

q_p = Tahanan ujung persatuan luas

Reese & Wright(1977) mengusulkan korelasi antara q_p dan N-SPT seperti terlihat pada Gambar berikut ini.

- Untuk $N < 60$, maka $q_p = 7N \text{ (ton/m}^2\text{)} < 400 \text{ (ton/m}^2\text{)}$
- Untuk $N > 60$, maka $q_p = 400 \text{ (ton/m}^2\text{)}$

3. Daya Dukung Selimut Bor pile (*Skin Friction*) Data SPT

Rumus perhitungan juga menggunakan metode Reese & Wright (1977). Dengan persamaan:

$$Q_s = f_s \cdot L \cdot p \quad (10)$$

dimana:

f = Tahanan satuan skin friction

L = Panjang lapisan tanah

p = Keliling tiang

Q_s = Daya dukung selimut tiang

$f_s = 0,32 \cdot N\text{-SPT}$

Pada tanah non kohesif

- Untuk $N < 53$ maka $f = 0,32 \text{ N (ton/m}^2\text{)}$
- Untuk $53 < N < 100$ maka f diperoleh dari korelasi langsung dengan N-SPT (Reese & Wright, 1977)

4. Kapasitas Beban Ultimit Tiang (Q_{ult})

Kapasitas daya dukung ultimet (Q_{ult}) dapat dihitung dengan persamaan :

$$Q_u = Q_p + Q_s \quad (11)$$

dimana:

Q_u = Kapasitas daya dukung ultimit

Q_p = Daya dukung ujung tiang

Q_s = Daya dukung selimut tiang

5. Beban yang Diijinkan (Q_{all})

Faktor keamanan harus diperhitungkan untuk mendapatkan total beban yang diijinkan setiap tiang. Faktor keamanan digunakan untuk memperhitungkan ketidakpastian dalam perhitungan dan factor-faktor lain yang dapat mempengaruhi kinerja tiang bor pile. Persamaan untuk menghitung beban yang diijinkan yaitu:

$$Q_{all} = \frac{Q_u}{FS} \quad (12)$$

dimana:

Q_{all} = Kapasitas beban yang diijinkan untuk tiap tiang bor pile

Q_u = Daya dukung ujung tiang

FS = faktor keamanan (2,5 – 4)

6. Penurunan Tiang Bor pile Tunggal

Menurut metode Vesic (1977) dengan mengusulkan metode semi-empiris, dan empiris. Dapat dilihat pada persamaan 13 dibawah ini :

$$S_e = S_{e1} + S_{e2} + S_{e3} \quad (13)$$

dimana:

S_{e1} = Penurunan tubuh tiang

- Se2 = Penurunan tiang akibat beban di puncak tiang
 Se3 = Penurunan akibat beban yang tersalur di sepanjang tiang

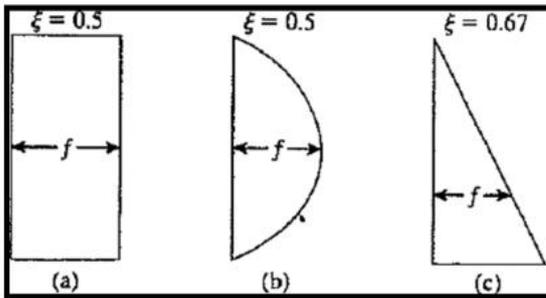
Perhitungan penurunan tubuh tiang dapat dikalkulasi memakai persamaan 8:

$$Se1 = \frac{(Q_{wp} + \xi \cdot Q_{ws})L}{A_p \cdot E_p} \quad (14)$$

dimana:

- Q_{wp} = Berat yang ditopang oleh pile head saat sedang beroperasi
 Q_{ws} = Dalam kondisi kerja normal, beban yang dibawa oleh tahanan gesek
 L = Panjang tiang
 A_p = Luas Permukaan
 E_p = Modulus elastisitas bahan tiang
 ξ = (0,5 – 0,67)

Nilai ξ akan bergantung pada distribusi resistensi lempengan f sepanjang selimut tiang. Jika seragam atau parabola, maka nilai ξ = 0,5 (pada Gambar 1a dan 1b). Sedangkan untuk distribusi segitiga ξ = 0,67 (Gambar 1c) (Muhsshin & Ika Putra, 2021)



Gambar 1. Jenis Distribusi Tahanan Kemul Sepanjang Tiang.

Sumber : Bowles, 1993

Tabel 1 Nilai Koefisien Empiris (C_p)

Tipe Tanah	Tiang bore pile	Tiang Bor
Sand (dense to loose)	0,02 - 0,04	0,09 - 0,18
Clay (stiff to soft)	0,02 - 0,03	0,03 - 0,06
Silt (dense to loose)	0,03 - 0,05	0,09 - 0,12

Sumber: Das, 1995

Menghitung nilai Se2 dapat dilihat pada persamaan 15:

$$Se2 = \frac{Q_{wp} \cdot C_p}{D \cdot q_p} \quad (15)$$

$$\text{Nilai } q_p = \frac{Q_{wp}}{A_p}$$

Perhitungan Se3 didapatkan persamaan 16:

$$Se3 = \frac{Q_{wp} \cdot C_s}{L \cdot q_p} \quad (16)$$

Dalam persamaan ini C_s = empiris konstan

$$C_s = (0,93 + 0,16 \frac{\sqrt{L}}{D} \cdot C_p)$$

7. Penurunan Grup Tiang Bor pile

Pada analisis pondasi tiang, kapabilitas beban yang diijinkan pada setiap tiang ditentukan oleh kriteria persyaratan penurunan yang berlaku. Penurunan tiang dapat terjadi jika beban yang ditopang tiap tiang lebih dari tahanan ujung tiang, akan tetapi jika beban yang di topang tiap tiang kurang dari atau sama dengan tahanan ujung tiang maka penurunan sangat rendah terjadi. Rumus perhitungan penurunan grup tiang dengan metode Vesic dapat dilihat pada persamaan 17:

$$S_g = S_e \sqrt{\frac{B_g}{D}} \quad (17)$$

dimana:

- S_g = Penurunan tiang grup
 S_e = Penurunan pondasi tiang tunggal
 B_g = Lebar grup tiang
 D = Diameter tiang

8. Penurunan yang diijinkan

Penurunan yang diijinkan pada konstruksi tergantung dari beberapa aspek seperti: tipe, tinggi, fungsi bangunan, ukuran bangunan, dan kecepatan kemerosotan serta penyebarannya. Penurunan maksimal bisa diprediksi dengan akurasi maksimal, biasanya dengan menetapkan hubungan antara penurunan diijinkan dengan penurunan maksimal, pada persamaan 18.

$$S_{total} \leq S_{ijin} \quad (18)$$

$$S_{ijin} = 10\%D \quad (19)$$

dimana:

- S = Penurunan
 D = Diameter Tiang

9. Efisiensi Tiang Kelompok

Efisiensi tiang kelompok adalah perbandingan antara kapasitas dukung kelompok tiang dengan kapasitas dukung tiang tunggal. Efisiensi tiang kelompok digunakan untuk menentukan seberapa efektif suatu kelompok tiang dapat menopang beban yang diberikan (Chandra et al., 2018). Berikut

persamaan metode menurut *Converse-Labarre Formula* untuk mencari nilai efektif tiang kelompok :

$$Eg = 1 - \theta \frac{(n-1)m+(m-1)n}{90 \times m \times n} \quad (20)$$

dimana:

- Eg = efisiensi kelompok
 $Q_{g(u)}$ = Kapasitas daya dukung ultimate tiang kelompok
 Q_u = Kapasitas daya dukung ultimate tiang
 m/n = Jumlah tiang

10. Daya Dukung Berlandaskan Bahan

Perancangan struktur, daya dukung berlandaskan bahan harus diperhitungkan untuk memastikan bahwa struktur dapat menopang beban yang diberikan dengan aman dan efektif. Daya dukung ijin pondasi dinyatakan dengan persamaan 21:

$$P_{\text{tiang}} = A_p \times 0,25 \times f'c \quad (21)$$

dimana:

- A_{tiang} = Luas permukaan tiang
 $f'c$ = Mutu beton
 σ_b = Tegangan tekan tiang terhadap penumbukan

11. Daya Dukung Ijin Pondasi Tiang Bor pile menurut data CPT(*cone penetration test*)

Daya dukung pada pondasi tiang ditentukan oleh dua hal, yaitu: unsur perlawanan tanah di ujung tiang dan unsur letakan lateral tanah di sekeliling tiang. Pondasi di letakkan pada suatu kedalaman keras. Daya dukung tiang harus di tinjau berdasarkan kekuatan bahan dan kekuatan tanah tempat penelitiab. Hasil daya dukung menentukan yang akan dipakai sebagai daya dukung ijin tiang. (Ifandiarto, n.d.)

$$Q_{\text{ijin}} = \frac{qc \times A_p}{3} + \frac{JHL \times K}{5} \quad (22)$$

dimana:

- Q_{ijin} = Kapasitas daya dukung ijin pondasi
 qc = Tahanan ujung sondir
 A_p = Luas penampang tiang
 JHL = Jumlah hambatan lekat
 K = Keliling tiang

12. Daya Dukung Tiang Bor pile Grup

Nilai daya dukung tiang bore pile grup didapatkan dengan memakai faktor efisiensi tiang pada persamaan 23 (Hardiyatmo, 2015)

$$Q_g = E_g \cdot n \cdot Q_{\text{ult}} \quad (23)$$

dimana:

- Q_g = Daya dukung tiang grup
 E_g = Efisiensi grup tiang
 n = Jumlah tiang dalam grup
 Q_{ult} = Daya dukung tiang tunggal

13. *Negative skin friction*(Q_{neg})

Ketika terdapat tiang pondasi berada di bawah tanah timbunan yang cukup tebal dan berada di atas tanah kompresibel, fenomena yang dapat terjadi adalah penurunan tiang akibat berat timbunan yang menyebabkan peningkatan tekanan air pori dalam tanah. Hal ini mengakibatkan konsolidasi tanah di sekitar tiang, dan sebagai akibatnya, timbul gesekan antara permukaan tiang dengan tanah yang bergerak ke bawah. Gaya geser yang bekerja ke arah bawah ini disebut gesekan negatif (*negative skin friction*). Terkait dengan penyebab penurunan tanah gesekan negative akan meningkat seiring dengan adanya gerakan rekatif antara selimut tiang, meliputi profil tanah dan elevasi muka air tanah, distribusi penurunan tanah akan mengalami perubahan. Nilai *negative skin friction* dapat dicari dengan menggunakan rumus dari metode Terzaghi-Perck, pada persamaan 24:

$$Q_{\text{neg}} = \frac{1}{n} [2D(L+B)cu + BLH \gamma] \quad (24)$$

dimana:

- Q_{neg} = Gaya gesek dinding (*negative skin friction*)
 n = Jumlah kumpulan tiang
 D = Kedalaman tinag sampai pada titik netral
 L = Panjang area grup tinag
 B = Lebar area grup tiang
 Cu = Kohesi tak terdrainase rata-rata lempengan

Syarat terjadi *negative skin friction* yaitu:

1. Permukaan tanah mengalami penurunan lebih dari 100 mm
2. Penurunan pada tanah lebih besar dari 10 m setelah pemancangan tiang
3. Tinggi timbunan yang ditempatkan pada permukaan tanah eksisting lebih dari 2,0 m
4. Ketebalan dari lapisan tanah lunak yang kompresibel lebih dari 10 m
5. Tiang dengan panjang lebih dari 25 m

3. METODE PENELITIAN

Metodologi penelitian menggunakan metode kuantitatif dengan jenis penelitian eksperimental, untuk analisa pembebanan struktur menggunakan aplikasi bantu program SAP2000 v22, dengan perhitungan daya dukung tiang menggunakan pendekatan metode Meyerhoff, metode Reese & Wright, dan metode Terzaghi dan Peck, serta menghitung *negative skin friction* (Q_{neg}) untuk mengetahui seberapa besar pengaruh beban gaya gesek dinding negatif terhadap tiang bor pile

Rumah susun dengan tipe barak mini dengan tinggi 3 lantai menjadi sasaran studi kasus pada penelitian ini. Berlokasi pada proyek pembangunan Rusunawa Pondok Pesantren Nurul Qarnain Jember, Jl, Imam Sukarto No.60, Krajan, Balet Baru, Kec.Sukowono, Kabupaten Jember, Jawa Timur 68194. Secara geologis lokasi penelitian seperti yang ditampilkan pada Gambar 2.



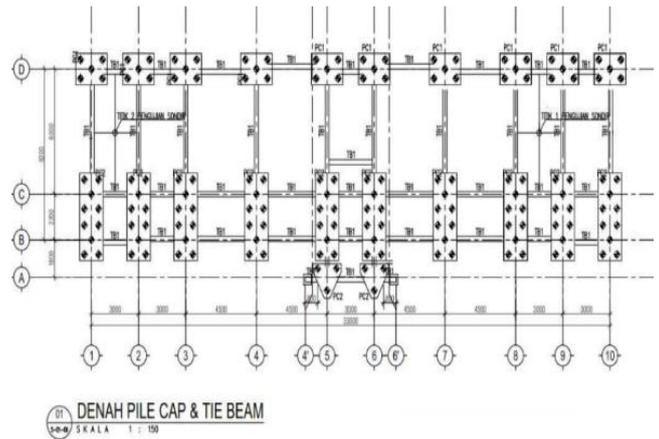
Gambar 2. Lokasi Pembangunan Rumah Susun, Ponpes Nurul Qarnain, Sukowono, Jember.

Sumber: Google Earth, 2024

Data Umum;

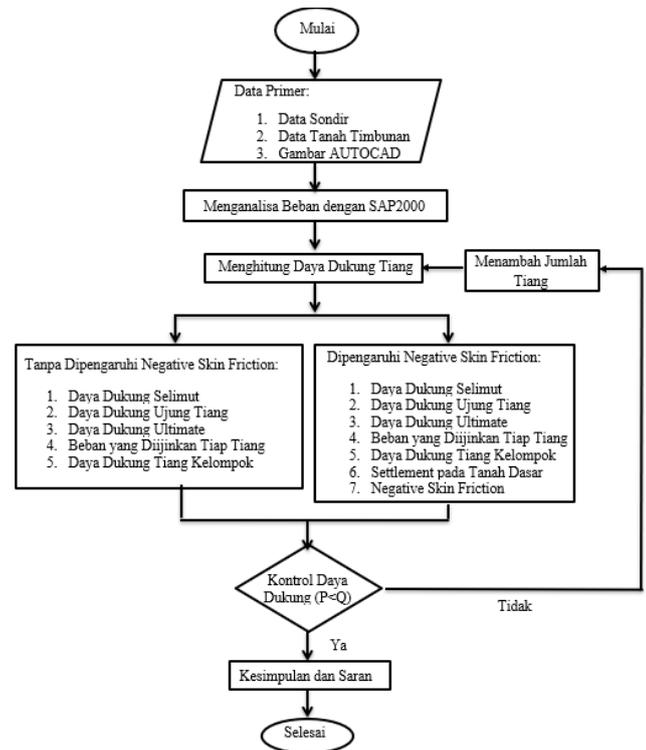
1. Proyek : Rumah Susun Type Barak Mini 3 Lantai
2. Lokasi : Kec. Sukowono, Kab. Jember, Jawa Timur
3. Koordinat Lokasi : 8.0150122,113.7300911,11.75
4. Fungsi Bangunan : Gedung Penginapan
5. Luas Bangunan : 270,6 meter
6. Jumlah Lantai : 3 lantai

Denah pondasi bor pile yang ditinjau dapat dilihat pada Gambar 3. Diketahui panjang bangunan 33meter dan lebar bangunan 8,2 meter.



Gambar 3. Denah Pile Cap yang Ditinjau
 Sumber: Hasil Penelitian, 2024

Penelitian ini menggunakan diagram alir sebagai alat bantu untuk memvisualisasikan metode penelitian, ditunjukkan pada Gambar 4.



Gambar 4. Diagram Alir Penelitian.
 Sumber: Data Penelitian, 2024

4. ANALISA DAN PEMBAHASAN

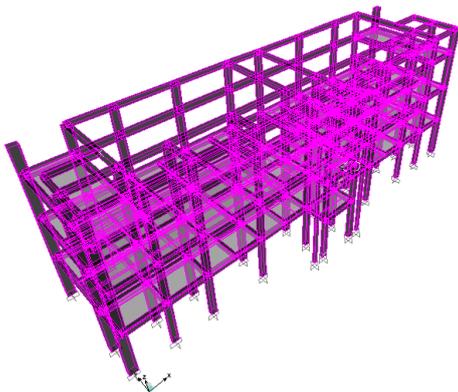
A. Analisa Struktur dengan SAP2000 v22

Analisis struktur bangunan menggunakan program bantu aplikasi SAP2000 v22 dilakukan untuk mengetahui besarnya beban pada

Pembangunan RUSUN Pondok Pesantren Nurul Qarnain. Langkah awal dari penelitian dimana output dari program SAP2000 v22 dipakai untuk melakukan perhitungan secara manual di excel.

Rusunawa Nurul Qarnain memiliki lantai 3 bertempat di kec. Sukowono kab. Jember, dilakukan analisis secara kesuluran pada struktur baik pada beban lateral (beban angin dan beban gempa) dan beban gravitasi (beban mati dan beban hidup). Dimensi kolom, balok, plat, dan data material diinput ke SAP2000 v22 sesuai dengan spesifikasi dan ukuran yang tertera gambar AutoCAD.

Pada analisa pembebanan dilakukan penginputan pembebanan umum dan gempa pada SAP2000 v22, dari hasil analisis didapatkan output berupa gaya aksial, momen, gaya geser dan lainnya. Berikut hasil struktur pada aplikasi SAP2000 v22 yang ditunjukkan oleh Gambar 5.



Gambar 5. Struktur Pembangunan Rusunawa Pondok Pesantren Nurul Qarnain SAP2000
 Sumber: Hasil Penelitian, 2024

B. Pengolahan Data Excel

1. Data CPT dari lapangan

Proyek Pembangunan Gedung Rusunawa Nurul Qarnain Sukowono Jember, dilakukan 2 Cone Penetrometer Test (CPT) dan uji kepadatan tanah urug menggunakan DCP. Pengujian tersebut dilakukan pada area proyek dengan titik yang sudah ditentukan sebelumnya.

Dari data hasil lapangan, meskipun tidak melakukan pengujian SPT seperti pada penelitian terdahulu yang di tinjau untuk mendapatkan klasifikasi jenis tanah. Penulis dapat melakukan analisis klasifikasi jenis tanah

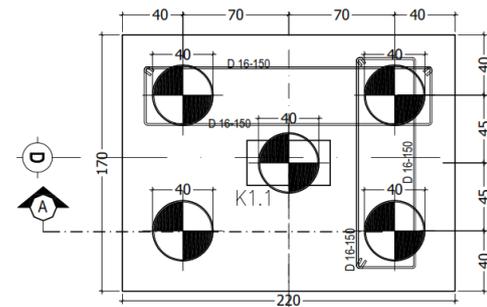
menggunakan data sondir. Pada penelitian ini mengkonversi data tanah SPT dengan korelasi N-SPT.

2. Data Output SAP2000

Pondasi pada pembangunan rusunawa memiliki 3 tipe yang berbeda-beda dalam jumlah tiang setiap grup kelompok tiang, denah bor pile dapat dilihat pada Gambar 6, 7, & 8 sesuai tipe masing-masing. Maka dalam peneliti ini terdapat nilai momen yang berbeda sesuai 3 tipe pondasi yang didapat dari aplikasi SAP2000. Berikut data output yang didapatkan:

➤ Pondasi PC 169

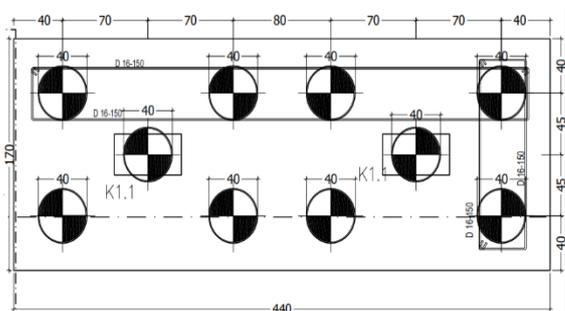
F1	= 3152,87 kgf = 30,92 kN
F2	= -971,2 kgf = -9,52 kN
F3	= 39211,9 kgf = 384,5 kN
M1	= 1268,8 kgf-m = 12,4 kN-m
M2	= 6620,1 kgf-m = 64,9 kN-m
M3	= 13,63 kgf-m = 0,13 kN-m



Gambar 4. Susunan Grup Tiang PC 169
 Sumber: Hasil Penelitian, 2024

➤ Pondasi PC 110

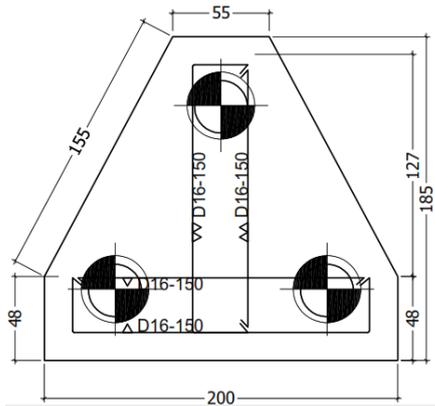
F1	= 3120,66 kgf = 30,6 kN
F2	= 897,1 kgf = 8,79 kN
F3	= 56364 kgf = 552,8 kN
M1	= -932,3 kgf-m = -9,14 kN-m
M2	= 6511,4 kgf-m = 63,9 kN-m
M3	= 13,1 kgf-m = 0,12 kN-m



Gambar 5. Susunan Grup Tiang PC 110
 Sumber: Hasil Penelitian, 2024

➤ Pondasi PC 07

- F1 = 1481,8 kgf = 14,5 kN
- F2 = 104,9 kgf = 1,03 kN
- F3 = 15127,4 kgf = 148,4 kN
- M1 = -129,6 kgf-m = -1,27 kN-m
- M2 = 3294,6 kgf-m = 32,3 kN-m
- M3 = 10,69 kgf-m = 0,10 kN-m



Gambar 6. Susunan Grup Tiang PC 07
 Sumber: Hasil Penelitian, 2024

C. Analisa Daya Dukung Tiang Bor Pile

Analisis daya dukung tiang dilakukan untuk menghitung kemampuan tiang untuk menahan beban akibat *negative skin friction* dan memastikan keamanan struktur bangunan.

1. Beban Maksimum Tiang Kelompok

$$P_{max} = \frac{V}{n} \pm \frac{M.x}{\Sigma x^2} \pm \frac{M.y}{\Sigma y^2}$$

$$\Sigma x^2 = 2 \times -x_a^2 + 2 \times -x_b^2 + 2 \times x_c^2 + 2 \times x_d^2 = 1,96$$

$$\Sigma y^2 = 2 \times -y_a^2 + 2 \times -y_b^2 + 2 \times y_c^2 + 2 \times y_d^2 = 0,81$$

$$V = V_p + F3 = (l x p x t x \gamma_c) + F3 = 48,41 + 384,54 = 432,96 \text{ kN}$$

$$P_{max} = \frac{V}{n} \pm \frac{M.x}{\Sigma x^2} \pm \frac{M.y}{\Sigma y^2} = \frac{432,96}{5} \pm \frac{-45,44}{1,96} \pm \frac{0,06}{0,81} = 109,85$$

Perhitungan diatas diperoleh beban maksimum (P_{max}) pada tipe 169 pondasi bor pile sebesar 109,85.

Tabel 4. 1Nilai P_{max} pada Pondasi PC 169

No Pile	M2	M3	x	y	M.x	M.y	Pv
1			-0,7	0,45	-45,4	0,06	109,85
2			0,7	0,45	45,4	0,06	63,48
3	64,9	0,13	0,0	0,00	0,00	0,00	86,59
4			-0,7	-0,45	-45,4	-0,06	109,70
5			0,7	-0,45	45,4	-0,06	63,33

Sumber: Hasil Penelitian, 2024.

Dari perhitungan diatas pada tipe 169 pondasi bor pile didapat beban maksimum (P_{max}) sebesar 109,85 kN , maka dikatakan masih memenuhi dari Q_{ijin} sebesar 399,168 kN (Aman).

Tabel 2. Nilai P_{max} pada Pondasi PC 110

No Pile	M2	M3	x	y	M.x	M.y	Pv
1			-1,80	0,45	-114,9	0,06	69,3
2			-0,40	0,45	-25,54	0,06	66
3			1,80	0,45	114,94	0,06	60,8
4			0,40	0,45	25,54	0,06	64,1
5	63,86	0,13	-1,10	0,00	-70,24	0,00	67,5
6			1,10	0,00	70,24	0,00	62,4
7			-1,80	-0,45	-114,9	-0,06	69,1
8			-0,40	-0,45	-25,54	-0,06	65,8
9			1,80	-0,45	114,9	-0,06	60,7
10			0,40	-0,45	25,54	-0,06	64

Sumber: Hasil Penelitian, 2024.

Perhitungan pada tipe 110 pondasi bor pile didapat beban maksimum (P_{max}) sebesar 69,3 kN , maka dikatakan masih memenuhi dari Q_{ijin} sebesar 359,869 kN (Aman).

Tabel 3. Nilai P_{max} pada Pondasi PC 07

No Pile	M2	M3	x	y	M.x	M.y	Pv
1			-0,60	-0,63	-19,39	-0,07	78,7
2	32,31	0,10	0,60	-0,63	19,39	-0,08	51,7
3			0,00	0,63	0,00	0,08	65,6

Sumber: Hasil Penelitian, 2024.

Pengolahan data diatas pada tipe 110 pondasi bor pile didapat beban maksimum (P_{max}) sebesar 78,7 kN , maka dikatakan masih memenuhi dari Q_{ijin} sebesar 543,173 kN (Aman).

2. Menghitung Daya Dukung Ujung Tiang (Q_p) pada Data SPT

a.) Menentukan nilai tahanan ujung persatuan luas (q_p) terlebih dahulu.

$$q_p = 7 \cdot N = 7 \cdot 11,43 = 80,01 \text{ (ton/m}^2\text{)}$$

b.) Menentukan Q_p

$$Q_p = A_p \cdot q_p$$

$$\begin{aligned} &= 0,1257 \cdot 80,01 \\ &= 10,057 \text{ ton} \\ &= \mathbf{98,63 \text{ kN}} \end{aligned}$$

Nilai daya dukung ujung tiang berdasarkan data SPT pada pondasi bor pile didapatkan sebesar 98,63 kN.

3. Menghitung Daya Dukung Selimut Tiang (Q_s) pada Data SPT

a) Langkah awal yaitu mencari tahanan satuan skin friction (f_s).

$$\begin{aligned} f_s &= 0,32 \cdot N\text{-SPT} \\ &= 0,32 \cdot 11,43 \\ &= 3,66 \end{aligned}$$

b) Menentukan Daya Dukung Selimut Tiang (Q_s).

$$\begin{aligned} Q_s &= \sum f_s \cdot p \cdot L \\ &= 3,66 \times 0,1257 \times 4 \\ &= 1,838 \text{ ton} \\ &= \mathbf{18,035 \text{ kN}} \end{aligned}$$

Pengolahan data diperoleh nilai daya dukung selimut berdasarkan data SPT pada pondasi bor pile sebesar 18,035 kN.

4. Kapasitas Beban Ultimit Tiang (Q_{ult}) pada Data SPT

Menghitung kemampuan tiang untuk menahan beban maksimum sebelum mengalami kerusakan atau kegagalan.

$$\begin{aligned} Q_{ult} &= Q_p + Q_s \\ &= 10,057 + 1,838 \\ &= 11,896 \text{ ton} \\ &= \mathbf{118,96 \text{ kN}} \end{aligned}$$

Kapasitas beban ultimit tiang bor pile berdasarkan data SPT di dapatkan sebesar 118,96 kN.

5. Daya Dukung Tiang yang diijinkan (Q_{all}) pada Data SPT

Menghitung beban maksimum tiang yang diijinkan untuk diberikan pada tiang bor pile, perlu mempertimbangkan faktor keamanan dan kemampuan tiang untuk menahan beban tersebut. Maka persamaan untuk mencari daya dukung yang diijinkan (Q_{ijin}) sebagai berikut

$$\begin{aligned} Q_{all} &= Q_{ult}/S_f \\ &= 11,89/3 \\ &= 3,965 \text{ ton} \\ &= \mathbf{39,65 \text{ kN}} \end{aligned}$$

Beban maksimum tiang yang diijinkan sebesar 39,65 kN berdasarkan data SPT.

6. Penurunan Tiang

a) Menentukan nilai q_p

$$\begin{aligned} Q_p &= \frac{Q_{wp}}{A_p} = \frac{98,63}{0,1257} \\ &= \mathbf{784,545 \text{ kN/m}^2} \end{aligned}$$

b) Menentukan nilai C_s

$$\begin{aligned} C_s &= (0,93 + 0,16\sqrt{L/D}) C_p \\ &= (0,93 + 0,16\sqrt{3,9/0,4}) \cdot 0,09 \\ &= \mathbf{0,129} \end{aligned}$$

c) Menentukan nilai E_p

$$\begin{aligned} E_p &= 4700\sqrt{f_c} \\ &= 4700\sqrt{25} \\ &= 23500 \text{ Mpa} \\ &= \mathbf{23500000 \text{ kN/m}^2} \end{aligned}$$

d) Menentukan Se_1

$$\begin{aligned} Se_1 &= \frac{(Q_{wp} + \xi \cdot Q_{ws})L}{A_p \cdot E_p} \\ &= \frac{(98,63 + 0,67 \cdot 18,034)3,9}{0,1257 \cdot 23500000} \\ &= 0,002364 \text{ m} \\ &= \mathbf{2,364 \text{ mm}} \end{aligned}$$

e) Menentukan Se_2

$$\begin{aligned} Se_2 &= \frac{Q_{wp} \cdot C_p}{D \cdot q_p} \\ &= \frac{98,63 \cdot 0,09}{0,4 \cdot 784,545} \\ &= 0,028286 \text{ m} \\ &= \mathbf{28,286 \text{ mm}} \end{aligned}$$

f) Menentukan Se_3

$$\begin{aligned} Se_3 &= \frac{Q_{wp} \cdot C_s}{L \cdot q_p} \\ &= \frac{98,63 \cdot 0,129}{3,9 \cdot 784,545} \\ &= 0,00416 \text{ m} \\ &= \mathbf{4,15 \text{ mm}} \end{aligned}$$

g) Menghitung penurunan tiang tunggal

$$\begin{aligned} (S_{total}) \\ Se &= 2,364 + 28,28 + 4,16 \\ &= \mathbf{34,81 \text{ mm}} \end{aligned}$$

h) Penurunan Tiang Grup (*Pile Group*)

$$\begin{aligned} S_g &= Se \sqrt{\frac{2,2}{0,4}} = 0,0348 \times 2,35 \\ &= \mathbf{0,0818 \text{ m}} \end{aligned}$$

$$= 81,81 \text{ mm}$$

- i) Penurunan yang diijinkan
 $S_{ijin} = 10\% \times \text{Dimensi}$
 $= 0,1 \times 400$
 $= 40 \text{ mm}^2$

7. Menghitung Settlement pada Tanah Dasar

$$S_c = \left[\frac{H \times C_c}{1 + e_0} \log \frac{\Delta p + P_0'}{P_0'} \right]$$

$$= \left[\frac{3,5 \times 0,36}{1 + 1,5} \log \frac{0,792 + 1,575}{1,575} \right]$$

$$= 0,2287 \text{ m}$$

$$= 228,7 \text{ mm}$$

Penurunan tanah sebesar 0,2287 m dari tinggi timbunan 5,5 m. Maka dinyatakan pada pembangunan rusunawa mengalami *negative skin friction* dengan penurunan tanah 228,7 mm melebihi persyaratan dengan penurunan sebesar 100 mm.

8. Menghitung Efisiensi Kelompok Tiang (Eg)

- a) Mencari nilai θ

$$\theta = \arctg \left(\frac{d}{s} \right)$$

$$= \arctg 0,572$$

$$= 29,74$$

- b) Menentukan Eg

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

$$= 1 - 29,74 \frac{(3-1)3 + (3-1)3}{90 \times 3 \times 3}$$

$$= 1 - 29,74 \times 0,0148$$

$$= 0,559$$

Tabel 4. Hasil Perhitungan Efisiensi Kelompok Tiang Tiap Tipe Pondasi Bor pile

Pondasi	θ	d	s	n	m	Eg
PC 169	29,74	0,4	0,7	3	3	0,559
PC 110	29,74	0,4	0,7	3	6	0,504
PC 07	18,42	0,4	1,2	2	3	0,761

Sumber: Hasil Penelitian, 2024.

9. Menghitung Daya Dukung Bahan

- a) Mencari nilai luas penampang (Atiang)

$$A_{tiang} = \pi r^2$$

$$= 3,14 \times (20)^2$$

$$= 1257,143 \text{ cm}^2$$

- b) Menentukan tegangan tekan tiang (σ_b)

$$\sigma_b = 0,25 \times f'_c$$

$$= 0,25 \times 254,9$$

$$= 63,725$$

- c) Menghitung daya dukung bahan (Ptiang)

$$P_{tiang} = \sigma_b \times A_{tiang}$$

$$= 63,725 \times 1257,143$$

$$= 80111,43 \text{ kg}$$

$$= 785,62 \text{ kN}$$

10. Menghitung Qijin berlandaskan Data CPT

$$Q_{ijin} = \frac{qc \cdot A_p}{S_f} + \frac{JHL \cdot K}{S_f}$$

$$= \frac{15000 \cdot 1,257}{3} + \frac{338 \cdot 1,257}{5}$$

$$= 713,55 \text{ kN}$$

Hasil Q_{ijin} berdasarkan data CPT didapatkan 713,55 kN lebih besar dari 39,65 kN berdasarkan data SPT, maka Q_{ijin} yang digunakan sebesar 713,55 kN.

D. Menghitung Nilai *Negative skin friction* (Q_{neg})

Mengetahui terjadinya *negative skin friction* pada pondasi bor pile, maka dilakukan analisa perhitungan dengan menggunakan metode Terzaghi-Perck.

- 1) Menentukan nilai kedalaman tiang sampai pada titik netral (Dtiang)

$$D_{tiang} = 0,75 \times D$$

$$= 0,75 \times 4$$

$$= 3 \text{ m}$$

- 2) Menentukan nilai Cu

$$Cu = \frac{qc}{32,14}$$

$$= \frac{14}{32,14}$$

$$= 2,30$$

- 3) Menghitung Q_{neg}

$$Q_{neg} = \frac{1}{n} [2D(L+B)cu + BLH \gamma]$$

$$= \frac{1}{5} [6(2,2 + 1,7)2,3 + 283,866]$$

$$= 0,2 \times (53,73 + 283,86)$$

$$= 0,2 \times 337,59$$

$$= 67,518 \text{ kN}$$

Perhitungan diatas dapat diperoleh nilai Q_{neg} pada tipe 169 pondasi bor pile sebesar 67,52kN.

Tabel 5. Hasil Perhitungan Nilai Q_{neg} pada Tiap Tipe Pondasi

Pondasi	n	D	L	B	Cu	H	γ	Q_{neg}
PC 169	5	3	2,2	1,7	2,3	5,5	14	67,5
PC 110	10	3	4,4	1,7	2,3	5,5	14	65,1

Pondasi	n	D	L	B	Cu	H	y	Qneg
PC 07	3	3	2	1,85	2,3	5,5	14	111,3

Sumber: Hasil Penelitian, 2024.

E. Hasil Pembahasan

Berdasarkan hasil analisa daya dukung tiang dan negative skin friction, maka dapat diperoleh pengaruh *negative skin friction* terhadap pondasi bor pile pada Tabel 6.

Tabel 6. Hasil Pembahasan Penelitian

Tipe Pondasi	Pmax	Qneg	Pmax+Qneg	Qijin
Pondasi Pc 169	109,85	67,52	177,37	399,17
Pondasi Pc 110	69,26	65,18	134,43	359,87
Pondasi Pc 07	78,71	111,29	190,00	543,17
Σ	85,94	81,33	167,27	434,07

Sumber: Hasil Penelitian, 2024

- Tanpa Negative skin friaction

$$P_{max} < Q_{ijin}$$

$$85,94 \text{ kN} < 434,07 \text{ kN (Aman)}$$

Presentase P_{max} terhadap Q_{ijin}

$$= \frac{85,94}{434,07} \times 100$$

$$= 19,8 \%$$

- Dipengaruhi Negative skin friaction

$$P_{max} + Q_{neg} < Q_{ijin}$$

$$167,27 \text{ kN} < 434,07 \text{ kN (Aman)}$$

- Presentase P_{neg} terhadap Q_{ijin}

$$= 38,53 \%$$

Pada akhirnya dapat dinyatakan untuk pondasi pada gedung Rusunawa mengalami penurunan 19% dari daya dukung pondasi tanpa dipengaruhi negative skin friaction ke daya dukung pondasi dipengaruhi negative skin friaction.

5. KESIMPULAN DAN SARAN

A. Kesimpulan

Berdasarkan hasil analisa dan pembahasan diatas diperoleh bahwa *negative skin friction* dapat mengurangi kapasitas daya dukung pondasi bor pile sebesar 19% akibat tanah timbunan setinggi 5,5 m dengan penurunan tanah sebesar 0,229 m. Nilai daya dukung grup tiang bor pile (P_{max}) tanpa dipengaruhi *negative skin friction* didapatkan sebesar 85,94 kN, sedangkan dipengaruhi *negative skin friction* (Q_{neg}) didapatkan sebesar 167,127 kN. Dari kapasitas daya dukung yang dipengaruhi *negative skin friction* masih memenuhi dari daya dukung ijin maksimum (Q_{ijin}) sebesar 434,07 kN.

Dampak terjadinya penurunan tanah dan pengurangan kapasitas daya dukung tiang bore pile, di akibat oleh gesekan kulit negatif. Hasil analisis menunjukkan bahwa tiang bor pile masih mampu untuk menerima beban dan desain tiang bor pile telah memenuhi persyaratan keamanan dan keandalan, serta dapat digunakan untuk menahan daya dukung beban bangunan rusunawa.

B. Saran

Berdasarkan hasil analisis, beberapa saran yang dapat diberikan adalah:

1. Kelengkapan data – data yang diperoleh sangat berpengaruh untuk mendapatkan hasil yang lebih akurat, dan pentingnya ketelitian dalam penginputan data secara maksimal.
2. Peninjauan daya dukung tiang dapat menggunakan metode - metode lain sesuai dengan data yang tersedia, sehingga dapat dilakukan perbandingan dengan banyaknya data yang diperoleh.
3. Pada penelitian selanjutnya diharapkan analisa nilai daya dukung dilakukan dengan menggunakan PLAXIS 3D sehingga dapat mengetahui perbandingan antara metode konvensional dengan PLAXIS 3D.

6. DAFTAR PUSTAKA

- Alfiansyah, M. F. 2024. Analisa Stabilitas Lereng Timbunan Jalan dengan Perkuatan Geotekstil dan Matras Bambu pada Jalan Tol Cibitung-Cilincing STA 3+550. Skripsi. Univeristas Islam Indonesia. Surakarta.
- Apriliani, N. R., Priyono, P., & Alihudien, A. 2020. Tinjauan Kapasitas Abutmen Jembatan Sengkaling Malang Dengan Beban Gempa. *Jurnal Rekayasa Infrastruktur Hexagon*, 5(1), 14-28.
- Badan Standardisasi Indonesia. 2020. SNI 1727:2020 *Beban desain minimum dan Kriteria terkait untuk bangunan gedung dan struktur lain*. Badan Standardisasi Indonesia. Jakarta.
- Badan Standarisasi Nasional. 2019. *SNI 1726: 2019, Tata Cara Perencanaan Ketahanan Gempa untuk Struktur Bangunan Gedung dan Nongedung*. Badan Standarisasi Nasional. Jakarta.

- Budiasih, T., Alihudien, A., & Ahmad, H. H. 2023. Analisis pengaruh Batas Cair dan Angka Pori Terhadap Indeks Pemampatan Primer (Studi Kasus: Tanah Lempung di Kranjingan, Kabupaten Jember). *Jurnal Smart Teknologi*. 4(6). 827-833
- Cahyadi, H., Gazali, A., & Hakim, F.A. 2020. Analisa Daya Dukung Pondasi *Bore Pile* Berdasarkan Data Sondir pada Proyek Pembangunan Instalasi ibu Kota Kecamatan (IKK) Perusahaan Daerah Air Minum (PDAM) Kabupaten Tanah Laut. *Jurnal Kacapuri*. 2(3). 216-226.
- Chandra, A., Yanti, G., & Wahyuni Megasari, S. 2018. Analisis Daya Dukung Pondasi Bored Pile pada Proyek Pembangunan Menara Listrik Transmisi 500 KV Peranap-Perawang. *Jurnal Teknik*. 12(2). 171–178.
- Das, Braja M. 2011. *Principles of Foundation Engineering, SI, 7th Edition*. Cengage Learning. Stamford.
- Hidayat, A., Alihudien, A., & Dewi, I. 2024. Analisa Perbaikan Tanah Lempung Medium Dan Soft Untuk Meningkatkan Daya Dukung Subgrade Jalan. *Jurnal Smart Teknologi*. 6(1). 42-49.
- Jawat, I. W., Gita, P. P. T., & Dharmayoga. 2020. Kajian Metode Pelaksanaan pekerjaan Pondasi Bore Pile pada Tahap Perencanaan Pelaksanaa. *PADURAKSA: Jurnal Teknik Sipil Universitas Warmadewa*. 9(2). 126–142.
- Ifandianto, A. 2020. Pengaruh *Negative skin friction* Pada Sisitim Pondasi Tiang Pacang Berkelompok (Study Kasus Pembangunan Gedung PT . Bahana Line - Surabaya). *Jurnal Teknik*. 12(2). 1–11.
- Nugraha, A.S. 2014. Tahanan Gesekan Selimut Pada Tiang Bor Panjang. Skripsi. Universitas Kristen Maranatha. Bandung
- Putri, S., Gunasti, A., & Alihudien, A. 2024. Analisis Perbandingan Efisiensi Biaya dan Waktu pada Pondasi Sumuran dan Pondasi Tapak Pembangunan Gedung Tipikor Polda Aceh. *Sustainable Civil Building Management and Engineering Journal*. 1(3). 6-6.
- Pradana, K. A., Panuluh, S. M., Widiyanto, A. T. E., & Priyono, P. C. 2022. Literatur Review: Efektivitas Model Asuhan Keperawatan Profesional (Makp) Terhadap Kinerja Pelayanan Perawat. *Avicenna: Journal of Health Research*. 5(1). 23-29.
- Sagita, M. A., Fahriani, F., & Apriyanti, Y. 2020. Analisis Perbandingan Daya Dukung Pondasi Tiang Pancang Berdasar Hasil Uji SPT Dan Pengujian Dinamis Pada Proyek Penggantian Jembatan Baturusa. *Prosiding Seminar Nasional Penelitian Dan Pengabdian Pada Masyarakat*. 4(1). 11.
- Sopiyanto, R., Pratidina Pestalozzi, Y., & Dwi Antoro, E. 2023. Evaluasi Penggunaan Fondasi Bore Pile Pada Bangunan Gedung Pelayanan Madrasah Aliyah Negeri Insan Cendekia Bengkulu Tengah. *Borneo Engineering: Jurnal Teknik Sipil*. 1(1). 61–70.
- Taulu, L. 2000. *Mekanika Tanah dan Teknik Pondasi*. Cetakan 7. PT. Pradnya Paramita. Jakarta.
- Wahjudi, Herman. 1999. *Daya Dukung Pondasi Dalam*. ITS Press. Surabaya.
- Wahyudi, Herman. 1999. *Daya Dukung Pondasi Dangkal*. ITS Press. Surabaya.
- Widjaja, Budijanto. 2020. *Negative skin friction Tiang Bore Pile Pada Tanah Lempung Studi Kasus Pabrik Tekstil Bale Endah*. Skripsi. Universitas Katolik Parahyangan.