

PERENCANAAN DAN ANALISIS INTERAKSI ANTARA FONDASI TIANG PANCANG DAN TANAH LUNAK PADA PERENCANAAN GEDUNG AUDITORIUM IAIN PALU DENGAN METODE ELEMEN HINGGAAndi Irsyad Fadhil Arief¹⁾, Sukiman Nurdin²⁾^{1,2}Jurusan Teknik Sipil Universitas Tadulako PaluEmail: ¹⁾andiirsyad21@gmail.com**Abstrak**

Tujuan penulisan ini adalah merencanakan fondasi tiang pancang yang memenuhi angka keamanan (FS), nilai daya dukung izin (Q_a), penurunan fondasi dan melakukan analisis interaksi antara tanah lunak dengan fondasi tiang pancang menggunakan aplikasi PLAXIS 3D serta membandingkan hasil perhitungan data pengujian SPT dan data parameter tanah (c dan ϕ) terhadap hasil analisis PLAXIS 3D. Berdasarkan hasil SAP2000 didapatkan beban aksial (Q_v) sebesar 1598,62 kN sedangkan pada Data Sekunder hasil analisa ETABS didapatkan sebesar 1500 kN. Maka, digunakan nilai terbesar sebagai acuan beban aksial (Q_v) pada perencanaan yaitu hasil analisa SAP2000 = 1598,62 kN (159,90 ton). Berdasarkan hasil perhitungan daya dukung tiang tunggal maupun tiang kelompok, diperoleh dimensi dan penurunan yang sudah memenuhi syarat penurunan ijin (< 150 mm). Nilai terbesar dari analisis PLAXIS 3D perpindahan beban (*displacement*) arah z diambil sebagai nilai penurunan yaitu 15,01 mm. Perbandingan hasil analisis PLAXIS 3D dengan metode perhitungan dengan data SPT dan data parameter tanah (c dan ϕ) didapatkan nilai daya dukung ultimit (Q_u) untuk analisis PLAXIS 3D sebesar 238,88 ton dan dari perhitungan metode Luciano Decourt sebesar 241,28 ton. Pada nilai penurunan untuk analisis PLAXIS 3D sebesar 15,01 mm sedangkan dari perhitungan metode Luciano Decourt didapatkan penurunan terbesar yaitu 29 mm. Faktor keamanan (Fs) dari analisa PLAXIS 3D didapatkan sebesar 2,97 sedangkan faktor keamanan dari perhitungan metode Luciano Decourt sebesar 3,0.

Kata kunci: Fondasi Tiang Pancang, Faktor Keamanan, Daya Dukung, Penurunan, Plaxis 3D**Abstract**

The purpose of this paper is to plan a pile foundation that meets the safety number (FS), the value of the permit bearing capacity (Q_a), foundation settlement and analyze the interaction between soft soil and pile foundation using the PLAXIS 3D application and compare the results of the calculation of the SPT test data and data soil parameters (c and ϕ) on the results of 3D PLAXIS analysis. Based on the results of SAP2000, the axial load (Q_v) is 1598.62 kN, while the secondary data obtained from the ETABS analysis is 1500 kN. Therefore, the largest value is used as a reference for the axial load (Q_v) in the planning, namely the results of the analysis of SAP2000 = 1598.62 kN (159.90 tons). Based on the calculation of the carrying capacity of single piles and group piles, the dimensions and settlements that have met the requirements for reduction in permit (< 150 mm) were obtained. The largest value from the PLAXIS 3D analysis of the z-direction displacement was taken as the decrease value, which was 15.01 mm. Comparison of the results of the PLAXIS 3D analysis with the calculation method with SPT data and soil parameter data (c and ϕ) the ultimate bearing capacity value (Q_u) for PLAXIS 3D analysis is 238.88 tons and from the Luciano Decourt method calculation is 241.28 tons. The decrease value for PLAXIS 3D analysis is 15.01 mm, while from the Luciano Decourt method the largest decrease is 29 mm. The safety factor (Fs) from the PLAXIS 3D analysis was 2.97 while the safety factor from the Luciano Decourt method was 3.0.

Keywords: Pile Foundation, Safety Factor, Bearing Capacity, Settlement, Plaxis 3D

1. Pendahuluan

Fondasi merupakan bagian paling penting dari sebuah struktur bangunan karena fondasi berfungsi menahan atau mendukung beban bangunan di atasnya dan meneruskan beban tersebut serta berat fondasi itu sendiri ke dalam lapisan tanah yang ada di bawahnya.

Fondasi tiang (*pile foundation*), digunakan bila tanah fondasi pada kedalaman yang normal tidak mampu mendukung bebannya, sedangkan tanah keras terletak pada kedalaman yang sangat dalam. Demikian pula, bila fondasi bangunan terletak pada tanah timbunan yang cukup tinggi, sehingga bila bangunan diletakkan pada timbunan yang cukup tinggi, sehingga bila bangunan diletakkan pada timbunan akan dipengaruhi oleh penurunan yang besar (Hardiyatmo, 2002).

Penulis merencanakan kembali fondasi dalam menggunakan fondasi tiang pancang. Pemilihan fondasi tiang pancang karena kedalaman tanah keras sangat dalam, jenis tanah pada area pembangunan gedung adalah tanah lunak dan tiang pancang dapat meneruskan beban yang dipikul langsung ke lapisan tanah kerasnya.

Adapun tujuan perencanaan ini adalah sebagai berikut:

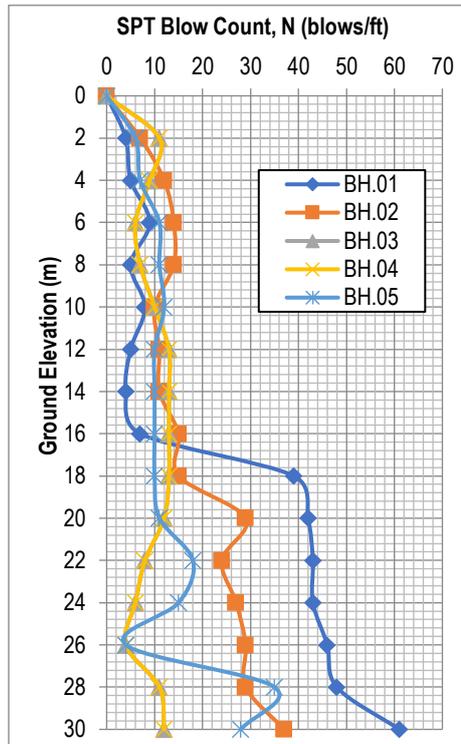
1. Merencanakan dimensi fondasi tiang pancang yang memenuhi syarat daya dukung fondasi dan penurunan untuk mendukung beban Gedung Auditorium IAIN Palu dengan menggunakan data pengujian SPT (*Standard Penetration Test*) dan data parameter tanah (c dan ϕ).
2. Melakukan analisa struktur kembali dari data perencanaan yang telah ada menggunakan aplikasi SAP2000 dan membandingkan hasil analisis aplikasi SAP2000 dengan data hasil analisis ETABS.
3. Menganalisa interaksi antara tanah lunak dan fondasi tiang pancang dengan Metode Elemen Hingga menggunakan aplikasi PLAXIS 3D serta membandingkan nilai dari hasil perhitungan data pengujian SPT (*Standard Penetration Test*) dan data parameter tanah (c dan ϕ) terhadap hasil analisis PLAXIS 3D.

2. Data Perencanaan

2.1 Data Perencanaan

2.1.1 Data Penyelidikan Tanah

Penyelidikan tanah yang dilakukan yaitu pengujian Bor Inti SPT (*Standar Penetration Test*) sebanyak 5 titik.



Gambar 1. Grafik Hasil Pengujian *Standard Penetration Test* (SPT) Pada Gedung Auditorium IAIN Palu (Laporan Struktur Gedung Auditorium IAIN Palu PT. POLA DATA CONSULTANT, 2019)

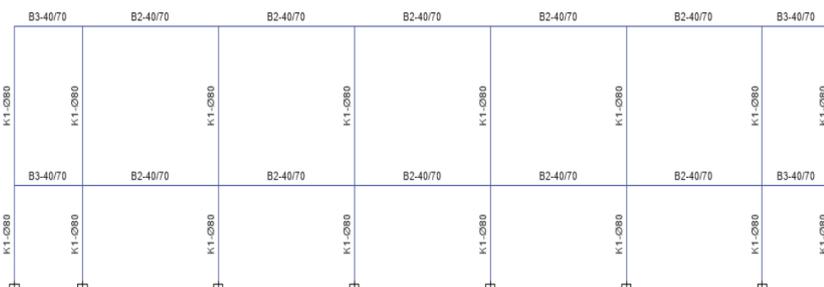
Dari pengujian *Standard Penetration Test* (SPT) tersebut diketahui bahwa lapisan tanah keras berada pada kedalaman > 30 meter.

2.1.2 Data Pengujian Laboratorium Tanah

Hasil pengujian di laboratorium memperoleh nilai parameter tanah yaitu berat isi (γ), berat jenis tanah (G_s), kadar air (w), batas cair (LL), batas plastis (PL) dan indeks plastis (PI) dan kuat geser tanah (c & σ)

2.1.3 Data Struktur Bangunan

Gedung Auditorium IAIN Palu mempunyai luas bangunan, yaitu 1824 m² dan direncanakan sebagai bangunan bertingkat 2 lantai.



Gambar 2. Portal Gedung Auditorium IAIN Palu (Laporan Struktur Gedung Auditorium IAIN Palu PT. POLA DATA CONSULTANT, 2019)

3. Tinjauan Pustaka dan Soilasan Teori

3.1 Tinjauan Pustaka

PLAXIS digunakan sebagai alat bantu analisis untuk ahli geoteknik yang tidak harus menguasai metode numerik dan menganggap bahwa perhitungan metode elemen hingga yang non-linier cukup sulit dan menghabiskan banyak waktu. PLAXIS merupakan program elemen yang secara khusus digunakan untuk menganalisis deformasi dan penurunan pada bidang geoteknik (Brinkgreve, 2007).

3.2 Soilasan Teori

3.2.1 Parameter PLAXIS

Permodelan tanah yang PLAXIS digunakan Model Mohr-Coulomb (MC). Dalam Model Mohr-Coulomb membutuhkan beberapa parameter tanah terdiri dari lima buah parameter, yaitu E , ν , f , c dan γ .

3.2.2 Pembebanan

1) Beban Mati

Beban mati ialah berat dari semua bagian dari suatu gedung yang bersifat tetap, termasuk segala unsur tambahan, penyelesaian-penyelesaian, mesin-mesin serta peralatan tetap yang merupakan bagian yang tak terpisahkan dari gedung itu.

2) Beban Hidup

Beban hidup adalah semua beban yang terjadi akibat penghunian atau penggunaan suatu gedung, dan ke dalamnya termasuk beban-beban pada lantai yang berasal dari barang-barang yang dapat berpindah, mesin-mesin serta peralatan yang tidak merupakan bagian yang tak terpisahkan dari gedung dan dapat diganti selama masa hidup dari gedung tersebut, sehingga mengakibatkan perubahan dalam pembebanan lantai dan atap tersebut.

3) Beban Gempa

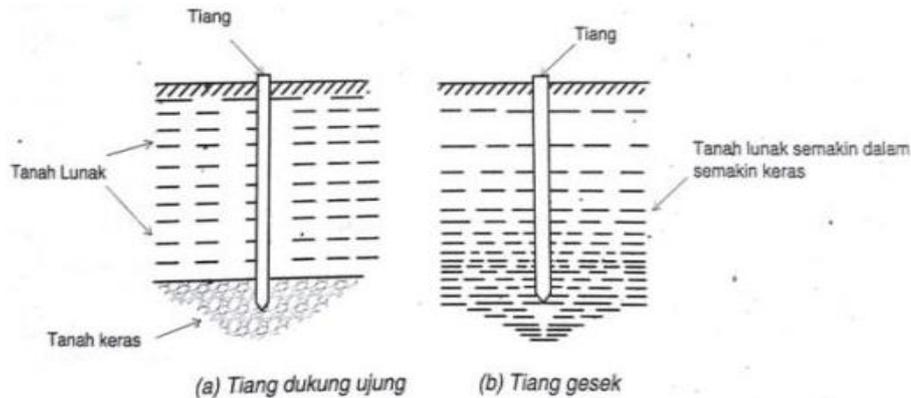
Gempa bumi terdiri dari gerakan-gerakan lapisan bumi ke arah horizontal dan vertikal, dimana biasanya gerakan vertikalnya lebih kecil, sehingga pengaruh komponen vertikal dari gerakan gempa bumi tidak perlu ditinjau.

3.2.3 Teori Kapasitas Dukung Fondasi

Ditinjau dari cara mendukung beban, tiang dapat dibagi menjadi 2 (dua) macam, yaitu (Hardiyatmo, 2018):

- 1) Tiang dukung ujung (*end bearing pile*) adalah tiang yang kapasitas dukungnya ditentukan oleh tahanan ujung tiang. Umumnya tiang dukung ujung berada dalam zona tanah yang lunak yang berada di atas tanah keras. Tiang-tiang dipancang sampai mencapai batuan dasar atau lapisan keras lain yang dapat mendukung beban yang diperkirakan tidak mengakibatkan penurunan berlebihan. Kapasitas tiang sepenuhnya ditentukan dari tahanan dukung lapisan keras yang berada di bawah ujung tiang, sebagaimana Gambar 3.

- 2) Tiang gesek (*friction pile*) adalah tiang yang kapasitas dukungnya lebih ditentukan oleh perlawanan gesek antara dinding tiang dan tanah di sekitarnya. Tahanan gesek dan pengaruh konsolidasi lapisan tanah di bawahnya diperhitungkan pada hitungan kapasitas tiang.



Gambar 3. Tiang Ditinjau Dari Cara Mendukung Bebannya (Hardiyatmo, 2018)

Secara umum untuk menghitung daya dukung ultimit tiang dapat digunakan persamaan berikut (Das, 2011):

$$Q_u = Q_p + Q_s \quad (1)$$

3.2.4 Daya Dukung Fondasi Tiang Pancang dari Hasil SPT (*Standard Penetration Test*)

Standard Penetration Test (SPT) adalah percobaan di lapangan dengan memasukkan suatu alat yang dinamakan *split spoon* ke dalam tanah, tujuannya untuk mendapatkan kepadatan relatif D_r (*Relative Density*), sudut geser dalam tanah (ϕ) serta jumlah pukulan nilai N dari tanah tersebut (Hardiyatmo, 2011).

Perhitungan daya dukung tiang pancang dari hasil SPT (*Standard Penetration Test*) memakai 2 metode, yaitu:

1) Meyerhof (1976) dan Bazaara (1967)

Nilai N_{SPT} yang didapatkan dari lapangan tidak dapat digunakan untuk perencanaan fondasi. Nilainya harus dikoreksi terlebih dahulu terhadap muka air tanah dan tegangan *overburden* yang terjadi.

Koreksi terhadap muka air tanah dilakukan khusus untuk tanah pasir halus, pasir berlanau dan pasir berlempung yang berada di bawah muka air tanah dan hanya bila $N > 15$.

$$N_1 = 15 + \frac{1}{2} (N - 15) \quad (2)$$

$$N_1 = 0,6 N \quad (3)$$

Hasil dari koreksi 1 (N_1) dikoreksi lagi untuk pengaruh tekanan vertikal efektif (*overburden pressure*) pada lapisan tanah dimana harga N tersebut didapatkan. Harga N_2 harus $\leq 2N_1$. Bila dari koreksi didapat $N_2 > 2N_1$ maka nilai $N_2 = 2N_1$.

Bila $p_0 \leq 7,5 \text{ ton/m}^2$, maka:

$$N_2 = \frac{4N_1}{1+0,4 p_0} \quad (4)$$

Bila $p_0 > 7,5 \text{ ton/m}^2$, maka:

$$N_2 = \frac{4N_1}{3,25+0,1 p_0} \quad (5)$$

Setelah dilakukan koreksi terhadap nilai N_{SPT} , maka selanjutnya dapat dilakukan perhitungan daya dukung tanah untuk tiang pancang menggunakan persamaan Meyerhof sebagai berikut:

$$Q_{ultimate} = Cn \cdot A_p + \sum C_i \cdot A_{s_i} \quad (6)$$

2) Luciano Decourt (1995)

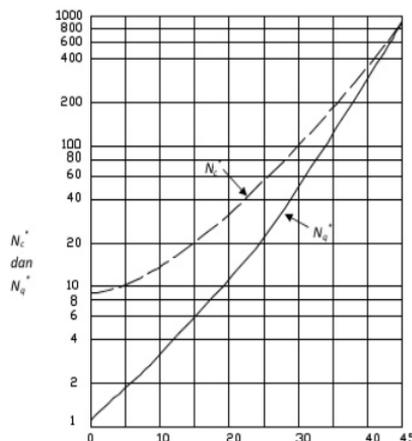
$$Q_{ult} = a (q_p \cdot A_p) + b (q_s \cdot A_s) \quad (7)$$

3.2.5 Daya Dukung Fondasi Tiang Pancang dari Nilai Parameter Tanah (j dan c)

1) Daya Dukung Ujung (*Point Bearing Capacity, Q_p*)

Untuk menghitung daya dukung ujung (Q_p) dapat digunakan metode Meyerhof dan Metode Vesic. Menurut Das (2011), secara umum daya dukung ujung dirumuskan sebagai berikut:

$$Q_p = A_p \cdot q_p = A_p (cN_c^* + q'N_q^*) \quad (8)$$



Gambar 4. Grafik Variasi Nilai Maksimum N_c^* dan N_q^* terhadap sudut geser tanah ϕ (Meyerhof, 1976)

2) Daya Dukung Selimut (*Frictional Resistance, Q_s*)

Daya dukung friksi atau daya dukung selimut dapat dirumuskan sebagai:

$$Q_s = \sum p \cdot \Delta L \cdot f \quad (9)$$

Untuk Tanah Lempung, Kapasitas tahanan friksi pada tanah berlempung dapat dihitung dengan menggunakan metode α dan metode λ .

1) Metode ini diusulkan oleh Tomlinson (1971).

$$Q_s = \sum f \cdot p \cdot \Delta L \quad (10)$$

Dengan,

$$f = \alpha \cdot Cu \quad (11)$$

- 2) Metode Vijaivergiya dan Focht (1972) memberikan metode untuk mendapatkan tahanan kulit dari suatu tiang di dalam lempung dengan persamaan:

$$Q_s = p \cdot L \cdot f_{av} \quad (12)$$

Dengan,

$$f_{av} = \lambda (\sigma'_v + 2 Cu) \quad (13)$$

3.2.6 Faktor Aman Tiang Pancang

Untuk memperoleh kapasitas ijin tiang, maka kapasitas ultimit tiang dibagi dengan faktor aman tertentu. (Hardiyatmo, 2018)

Variasi besarnya faktor aman yang telah banyak digunakan untuk perancangan tiang pancang:

$$Q_a = \frac{Q_u}{2,5} \quad (14)$$

Kisaran faktor aman dari analisis statis yang umumnya sering digunakan adalah sekitar 2 - 4, dan kebanyakan digunakan 3.

3.2.7 Fondasi Tiang Pancang Kelompok

Kapasitas ultimit kelompok tiang dengan memperlihatkan faktor efisiensi tiang dinyatakan dengan rumus sebagai berikut:

$$Q_g = E_g \cdot n \cdot Q_u \quad (15)$$

3.2.8 Penurunan Fondasi Tiang Pancang

Besarnya penurunan fondasi tergantung pada karakteristik tanah dan penyebaran tekanan fondasi ke tanah di bawahnya. Untuk memperkirakan besarnya penurunan elastis pada fondasi tiang tunggal digunakan metode semi-empiris dan untuk fondasi tiang kelompok digunakan Metode Meyerhof.

1) Penurunan Tiang Tunggal

Metode semi empiris digunakan untuk menghitung penurunan tiang tunggal. Penurunan elastis fondasi tiang tunggal akibat beban vertikal yang bekerja dapat dihitung sebagai berikut:

$$S = S_1 + S_2 + S_3 \quad (16)$$

2) Penurunan Tiang Kelompok

Penurunan kelompok tiang umumnya lebih besar dibandingkan fondasi tiang tunggal karena pengaruh tegangan pada daerah yang lebih luas. Vesic (1969) memberikan formula empiris yang sederhana untuk memperkirakan penurunan tiang kelompok sebagai berikut:

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

3) Penurunan Kelompok

Penurunan konsolidasi primer dihitung dengan menggunakan persamaan-persamaan:

$$S_c = \frac{\Delta e}{1+e_0} H = \frac{e_1 - e_0}{1+e_0} H \quad (18)$$

4) Penurunan Diizinkan

Penurunan yang diizinkan dari suatu bangunan bergantung pada beberapa faktor. Faktor-faktor tersebut meliputi jenis, tinggi, kekakuan, dan fungsi bangunan, serta besar dan kecepatan penurunan serta distribusinya. Penurunan izin untuk bangunan dengan dinding bata yang diperkuat dengan beton bertulang adalah 150 mm.

3.2.9 Pelat Penutup Tiang (*Pile Cap*) dan Jarak Tiang

Pelat penutup tiang (*pile cap*) berfungsi untuk menyebarkan beban dari kolom ke tiang-tiang.

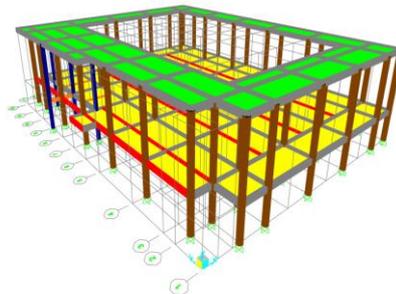
Tebal pelat penutup tiang dipengaruhi oleh tegangan geser ijin beton. Tegangan geser harus dihitung pada potongan terkritik.

4. Perhitungan dan Pembahasan

4.1 Analisis Pembebanan

Perhitungan pembebanan struktur berdasarkan SNI 1727-2013, sedangkan perhitungan terhadap gaya gempa berdasarkan SNI 1726-2019 dengan metode Respon Spektrum, dan dianalisis dengan menggunakan program SAP2000 v.22. Faktor-faktor yang diperhitungkan dalam pembebanan adalah beban mati, beban hidup, dan beban gempa.

Analisa struktur yang dilakukan dengan program SAP2000 v.22. Struktur bangunan 3 dimensi seperti yang terlihat pada Gambar 5.



Gambar 5. Model 3D Gedung Auditorium IAIN Palu (SAP2000 v.22)

Berikut ini input pembebanan struktur untuk Beban Mati, Beban Hidup dan Beban Gempa menurut SNI 1727-1989 dan SNI 1727-2013.

1) Beban Mati

Beton Bertulang = 24 kN/m^3 , Dinding $\frac{1}{2}$ Bata = $2,5 \text{ kN/m}^2$, Plafond, Rangka, Penggantung = $0,2 \text{ kN/m}^2$, Pasir = 18 kN/m^3 , Penutup tap (Genteng) = $0,5 \text{ kN/m}^2$, Berat Keramik per 1 cm tebal = $0,24 \text{ kN/m}^2$, Instalasi Listrik, Plumbing, dan AC = $0,2 \text{ kN/m}^3$, Berat spesi dengan Tebal 2 cm = $0,42 \text{ kN/m}^2$

2) Beban Hidup

Atap = 1 kN/m^2 , Ruang Pertemuan = $4,79 \text{ kN/m}^2$

3) Beban Gempa Sesuai SNI 1726-2019

Lokasi Objek: Jl. Diponegoro No.23, Kelurahan Lere, Kecamatan Palu Barat, Kota Palu, Provinsi Sulawesi Tengah.

Klasifikasi Situs, Jenis Tanah Lunak (untuk nilai site class diambil kelas situs SE (tanah lunak) diperoleh dari pengujian SPT pada lokasi Proyek Pembangunan Gedung Auditorium IAIN Palu (kedalaman ± 30 meter).

Setelah menginput nilai pembebanan dari Beban Mati, Beban Hidup, dan Beban Gempa. Selanjutnya akan dilakukan analisis dengan menggunakan aplikasi SAP 2000, dan memasukan nilai dari kombinasi pembebanan terfaktor berdasarkan SNI 2847-2019.

Beban yang bekerja pada fondasi tiang diasumsikan sebagai beban titik vertikal (Q_v).

Tabel 1. Nilai Reaksi Maksimum Pada Kolom Struktur Hasil SAP200

P	V2	V3	M2	M3
kN	kN	kN	kN.m	kN.m
1598,62	53,42	58,19	5182,60	194,72

Berdasarkan hasil analisa SAP2000 didapatkan beban aksial (Q_v) sebesar 1598,62 kN sedangkan pada Data Sekunder (Perencanaan Awal) hasil analisa ETABS didapatkan sebesar 1500 kN. Maka, digunakan nilai terbesar sebagai acuan beban aksial (Q_v) pada perencanaan yaitu hasil analisa SAP2000 = 1598,62 kN (159,90 ton).

4.2 Data Standard Penetration Test (SPT)

Dari 5 titik data hasil pengujian Bor Inti SPT untuk analisa data tanah digunakan titik BH.01 yang mana lokasi bor BH.01 berada tepat pada area Pembangunan Gedung Auditorium IAIN Palu.

Data titik BH.01 kemudian diolah untuk mendapatkan nilai berat volume jenuh (γ_{sat}) dan kuat geser tanah *undrained* (C_u). Pada perhitungan daya dukung diperlukan nilai N-SPT dan beberapa parameter data tanah lain berupa berat volume jenuh (γ_{sat}) dan kuat geser tanah *undrained* (C_u).

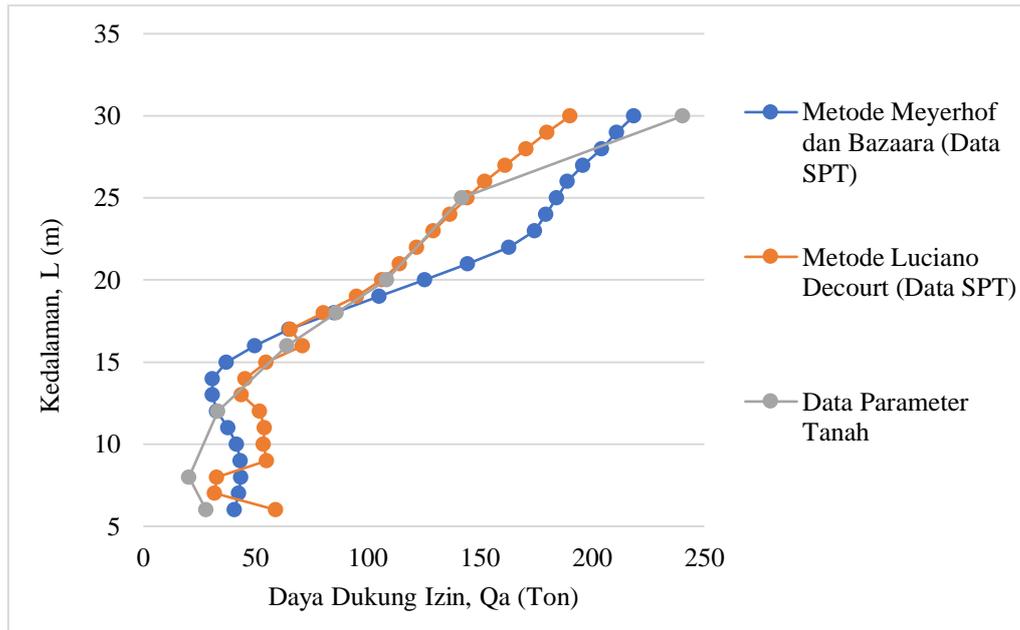
4.3 Kriteria Desain Tiang Pancang

Fondasi pada gedung ini direncanakan memakai fondasi tiang pancang jenis *spun pile*.

Dalam penentuan dimensi dan kedalaman tiang pancang didasarkan pada nilai N_{SPT} titik BH.01 pada kedalaman 18 meter sebesar 39. Maka, digunakan kedalaman tiang pancang yaitu pada kedalaman 18 meter karena pada kedalaman tersebut lapisan tanah sudah padat dan cukup kuat untuk menahan beban yang bekerja di atasnya. Untuk diameter tiang pancang digunakan diameter 600 mm dengan panjang tiang 18 meter.

4.4 Analisis Daya Dukung Fondasi Tiang Pancang

Perhitungan daya dukung tanah berdasarkan data N-SPT dan hasil data pengujian laboratorium yaitu data parameter tanah (ϕ dan c). Adapun hasil perhitungan daya dukung izin (Q_a) fondasi dapat dilihat pada grafik sebagai berikut:



Gambar 6. Grafik Hasil Perhitungan Daya Dukung Izin (Qa) Fondasi

4.5 Penentuan Kedalaman Tiang Pancang

- 1) Daya Dukung Tiang Dari Uji Penetrasi Standar (SPT)
 - a. Metode Meyerhof dan Bazaara, $Q_a = 85,20$ ton
 - b. Metode Luciano Decourt, $Q_a = 80,43$ ton
- 2) Daya Dukung Tiang Berdasarkan Data Parameter Tanah (ϕ dan c). Daya Dukung Izin, $Q_a = 86,02$ ton. Jadi, dari perhitungan daya dukung tiang dari Uji Penetrasi Standar (SPT) dan daya dukung tiang berdasarkan data parameter tanah (ϕ dan c) diambil nilai daya dukung terkecil yaitu hasil perhitungan daya dukung tiang dari Uji Penetrasi Standar (SPT) metode Luciano Decourt.

4.6 Perhitungan Penurunan Fondasi

Besarnya penurunan diambil pada kolom K37 karena beban maksimum bekerja pada kolom tersebut. Sehingga, nilai penurunan segera fondasi tiang tunggal yaitu 15,60 mm, nilai penurunan konsolidasi fondasi tiang tunggal yaitu 0,17 mm, nilai penurunan segera fondasi tiang kelompok yaitu 29 mm, nilai penurunan konsolidasi fondasi tiang kelompok yaitu 4,30 mm untuk tiang dengan diameter 0,60 m dan panjang tiang 18 m. Jika dibandingkan dengan penurunan izin, penurunan tiang tunggal dan tiang kelompok masih dalam batas penurunan yang diizinkan, yaitu sebesar 150 mm.

4.6.1 Desain Fondasi Tiang Pancang

Desain fondasi tiang pancang akan dimodelkan dalam bentuk 3 dimensi dengan elemen 10 nodal. Asumsi pembebanan yang digunakan adalah beban titik (*point load*) yang berada relatif pada satu barisan yang sama sepanjang sumbu z. Untuk pembebanan pada fondasi tiang pancang diambil

beban maksimum yang bekerja pada kolom yaitu beban di kolom K37 dengan nilai beban 159 ton (1598,62 kN).

Data parameter tanah, fondasi tiang pancang yang digunakan dalam permodelan PLAXIS 3D Versi 20.0 mempunyai parameter dapat dilihat pada Tabel 2.

Tabel 2. Data Parameter Tanah Dalam Permodelan PLAXIS 3D v.20.0

Kedalaman Lapisan m	N_SPT	Jenis Tanah	Jenis Perlakuan Material	Berat Isi Jenuh, γ_{sat} kN/m ³	Berat Isi Tak Jenuh, γ_{unsat} kN/m ³	Angka Pori, e	Modulus Young, E' MPa	Angka Poisson, ν'	Sudut Geser Dalam, ϕ °	Kohesi, c kN/m ²
1,20	3	Pasir Berbatu	Drainase	15,00	5,00	0,89	37,50	0,30	29	0,4
2,00	4	Pasir Berbatu	Drainase	15,00	5,00	0,89	37,50	0,30	29	0,4
4,00	5	Pasir Halus Berbatu	Drainase	15,00	5,00	0,89	17,50	0,30	29	0,4
6,00	9	Kerikil Berpasir	Drainase	19,17	9,17	0,54	7,50	0,30	29	0,4
8,00	5	Lempung Berpasir	Tak Terdrainase	15,83	5,83	0,54	25,00	0,25	21	2,1
12,00	5	Pasir Kerikil	Drainase	15,83	5,83	1,39	7,50	0,30	21	2,1
16,00	7	Lanau Berpasir	Drainase	17,50	7,50	0,92	11,50	0,30	25	1,2
18,00	42	Lempung Berpasir	Tak Terdrainase	19,75	9,75	0,92	13,50	0,30	24	1,5
20,00	42	Lempung Berpasir	Tak Terdrainase	20,50	10,50	0,92	13,50	0,30	24	1,5
25,00	44	Lempung Berpasir	Tak Terdrainase	21,00	11,00	0,80	13,50	0,30	21	3,7
30,00	60	Lempung Berpasir	Tak Terdrainase	25,00	15,00	0,84	13,50	0,30	22	1,8

4.6.2 Analisis Interaksi Fondasi Tiang Pancang dan Tanah dengan PLAXIS 3D

Dari hasil perpindahan beban (*displacement*) diatas diambil nilai terbesar yaitu *displacement* arah z sebagai nilai penurunan dari analisa PLAXSI 3D dengan nilai sebesar 0,015005 m = 1,5005 cm = 15,01 mm yang terjadi pada kedalaman 0,02 m dan berada pada area di bawah *pile cap* fondasi tiang pancang. Nilai faktor keamanan (FS) didapatkan sebesar 2,97.

Untuk mencari nilai daya dukung ultimit (Q_u) dari hasil analisa PLAXIS 3D dapat dilakukan dengan menggunakan nilai daya dukung ultimit tiang (Q_u) = 238,88 ton

5. Kesimpulan

Berdasarkan hasil perhitungan yang dilakukan, maka diambil kesimpulan yaitu sebagai berikut:

1. Hasil penurunan yang terjadi pada fondasi tiang pancang memenuhi syarat keamanan yang berlaku yaitu <150 mm. Penurunan segera fondasi tiang tunggal yaitu 15,60 mm, besarnya penurunan konsolidasi fondasi tiang tunggal yaitu 0,17 mm, besarnya penurunan segera fondasi tiang kelompok yaitu 29 mm, dan besarnya penurunan konsolidasi fondasi tiang kelompok yaitu 4,30 mm.
2. Berdasarkan hasil SAP2000 didapatkan beban aksial (Q_v) sebesar 1598,62 kN sedangkan pada Data Sekunder (Perencanaan Awal) hasil analisa ETABS didapatkan sebesar 1500 kN.
3. Dari analisis PLAXIS 3D perpindahan beban (*displacement*) diambil sebagai nilai penurunan yaitu 0,015005 m = 15,01 mm. Selain itu, didapatkan juga nilai faktor keamanan 2,97 dan daya dukung ultimit (Q_u) 238,88 ton dari analisis PLAXIS 3D.

4. Perbandingan nilai analisis PLAXIS 3D terhadap perhitungan data SPT dan parameter tanah (c dan σ) pada nilai daya dukung ultimit (Q_u) untuk analisis PLAXIS 3D sebesar 238,88 ton sedangkan dari perhitungan metode Luciano Decourt sebesar 241,28 ton. Pada nilai penurunan untuk analisis PLAXIS 3D sebesar 15,01 mm sedangkan dari perhitungan metode Luciano Decourt didapatkan penurunan terbesar yaitu 29 mm. Faktor keamanan (F_s) dari analisa PLAXIS 3D didapatkan sebesar 2,97 sedangkan faktor keamanan dari perhitungan metode Luciano Decourt sebesar 3,0.

Daftar Pustaka

- Afriyanto, Arief. (2017). *Analisa Perbandingan Perencanaan Pondasi Tiang Pancang Menggunakan Berbagai Macam Metode Pada Proyek Apartemen The Frontage Surabaya*. Surabaya: Jurusan Teknik Sipil FTSP ITS.
- Brinkgreve, R.B.J. (2007), Plaxis 2D - Versi 8, Plaxis b.v. BeSoila.
- Das, B.M. (2011a), Principles of Foundation Engineering, Seventh Edition. Cengage Learning, USA.
- Das, B.M. (2011b), Principles of Foundation Engineering, Seventh Edition, Thomson, United States.
- Decourt, L. (1995), Prediction of load-settlement relationships for foundations on the basis of the SPT-T. In: Ciclo de Conferencias Intern. "Leonardo Zeevaert", UNAM, Mexico, pp 85–104.
- Gedung Auditorium IAIN Palu, (2019), Laporan Struktur Gedung Auditorium IAIN Palu 2019, PT. POLA DATA CONSULTANT. Palu.
- Hardiyatmo, H. C. (2018), Analisis dan Perancangan Fondasi II, Edisi Keempat, Penerbit Gadjah Mada University Press. Yogyakarta.
- Meyerhof, G. G. (1976), Bearing capacity and settlement of pile foundations, ASCE Journal of Geotechnical Eng. Div. Vol.102, No.GT3, pp.197-228.
- Reese, L.C. and O'Neill, M.W. (1989), New Design Method for Drilled Shaft From Common Soil and Rock Tests, Foundations Eng. Current Principles and Practices, pp. 1026-1039.
- Standar Nasional Indonesia. (2019), SNI 1726:2019, Tata cara perencanaan ketahanan gempa untuk struktur bangunan gedung dan nongedung, Badan Standardisasi Nasional. Jakarta.
- Vesic, A.S. (1977), Design of pile Foundations, NCHRP Synthesis 42, Transportation Research Board, Washington, D.C.