

Analisis Daya Dukung & Penurunan Bored Pile 80cm di Proyek Kompleks Kantor-Apartemen dengan Metode Analitis & Elemen Hingga

Gusar Tampubolon^{1*}, Roesyanto², Gina Cynthia R Hasibuan³

Universitas Sumatera Utara, Indonesia

Email: gusartampubolon75@gmail.com, roesyantosuhardjo@gmail.com, ginacynthia.hsb@gmail.com

Abstrak

Penelitian ini akan mencari nilai daya dukung ultimit pondasi bored pile dan penurunan pondasi, berdasarkan data SPT dan loading test yang dihitung secara empiris dengan data SPT menggunakan persamaan yang diberikan oleh O'Neil dan Reese sementara data loading test menggunakan interpretasi kurva Metode Davidson, Metode Mazurkiewich, Metode Chin serta metode elemen hingga menggunakan perangkat lunak Plaxis 2D dengan semua tipe mesh medium. Setelah dilakukan analisis maka nilai daya dukung ultimit bored pile ϕ 80 cm berdasarkan data SPT dengan menggunakan persamaan O'neill dan Reese sebesar 1242 ton, kemudian analisis dengan menggunakan metode Davisson sebesar 875 ton, menggunakan metode Mazurkiewiech sebesar 960ton dan metode Chin sebesar 876 ton. Sementara daya dukung ultimit berdasarkan perhitungan PLAXIS 2D sebesar 1364 ton. Berdasarkan data SPT diperoleh daya dukung ijin aksial (Q_i) bored pile tunggal sebesar 497 ton dengan SF = 2,5. Dan untuk nilai penurunan yang terjadi pada pondasi bored pile berdasarkan hasil analitis adalah 22,85 mm, berdasarkan loading test adalah 7,95 mm dan berdasarkan program PLAXIS 2D adalah 14,12 mm. Berdasarkan hasil analisis dapat disimpulkan bahwa persamaan O'Neil dan Reese memberikan nilai lebih besar dari pada interpretasi pengujian pembebanan sehingga akan memberikan nilai keamanan yang besar jika digunakan saat desain dan analisis penurunan yang paling mendekati hasil di lapangan adalah analisis dengan PLAXIS 2D dengan jenis permodelan Mohr-Coulomb. Terdapat perbedaan hasil analisis daya dukung dan penurunan dengan beberapa metode yang digunakan, tetapi penggunaan metode analitis dan metode elemen hingga dengan PLAXIS 2D memenuhi persyaratan keamanan pondasi bored pile.

Kata Kunci: Daya Dukung, Penurunan, Bored pile, Metode Elemen Hingga

Abstract

This study will look for the ultimate bearing capacity value of bored pile foundation and foundation subsidence, based on SPT data and loading test calculated empirically with SPT data using equations provided by O'Neil and Reese while loading test data using curve interpretation Davidson Method, Mazurkiewich Method, Chin Method and finite element method using 2D Plaxis software with all types of medium mesh. After analysis, the ultimate bored pile carrying capacity value of ϕ 80 cm based on SPT data using the O'neill and Reese equations was 1242 tons, then analysis using the Davisson method of 875 tons, using the Mazurkiewiech method of 960 tons and the Chin method of 876 tons. While the ultimate carrying capacity based on PLAXIS 2D calculations is 1364 tons. 5. Based on SPT data, the carrying capacity of a single bored pile

How to cite:	Gusar Tampubolon, Roesyanto, Gina Cynthia R Hasibuan (2024) Analisis Daya Dukung & Penurunan Bored Pile 80cm di Proyek Kompleks Kantor-Apartemen dengan Metode Analitis & Elemen Hingga, (5) 4
E-ISSN:	2722-5356
Published by:	Ridwan Institute

axial permit (Q_i) was obtained at 497 tons with $SF = 2.5$. And for the value of the decrease that occurs in the bored pile foundation based on analytical results is 22.85 mm, based on the loading test is 7.95 mm and based on the PLAXIS 2D program is 14.12 mm. Based on the results of the analysis, it can be concluded that the O'Neil and Reese equations provide a greater value than the interpretation of load testing so that it will provide a large safety value if used when design and descent analysis that is closest to the results in the field is analysis with 2D PLAXIS with the Mohr-Coulomb modeling type. There are differences in carrying and lowering capacity analysis results with several methods used, but the use of analytical methods and finite element methods with PLAXIS 2D meets the safety requirements of bored pile foundations.

Keywords: *Bearing Capacity, Settlement, Bored pile, Finite Element Method*

Pendahuluan

Pembangunan infrastruktur gedung bertingkat tinggi sudah menjadi kebutuhan yang signifikan khususnya pada daerah perkotaan (Mahulauw, Santosa, & Mahardika, 2017);(Sururi, 2015);(Sulis, 2022). Hal ini merupakan suatu solusi permasalahan atas keterbatasan ruang yang tersedia di daerah perkotaan, termasuk di kota Jakarta dengan perkembangan dan pertumbuhan ekonomi yang pesat setiap saat. Dengan terbatasnya luas lahan di kota-kota metropolitan atau megapolitan, maka pembangunan ke arah vertikal merupakan solusi dari masalah tersebut (Nadziliyah & Primasari, 2022);(Risandewi, 2017).

Untuk mewujudkan gedung bertingkat tinggi, perancangan dan pembangunan struktur adalah merupakan aspek penting yang harus diperhatikan secara detail (Ervianto, 2019). Hal ini memerlukan desain pondasi yang mempunyai kapasitas daya dukung yang besar dan penurunannya terkontrol dalam batas toleransi yang diizinkan. Perancangan tersebut membutuhkan suatu rangkaian proses analisis dan perhitungan dengan mendasarkan pada beberapa asumsi dan pertimbangan teknis tertentu yang harus memberikan kekuatan dan stabilitas untuk setiap struktur bangunan termasuk pada desain dan pembangunan pondasinya (Rahmatang, 2023).

Pondasi adalah struktur bagian bawah bangunan yang berhubungan langsung dengan tanah, atau bagian bangunan yang terletak dibawah permukaan tanah yang mempunyaifungsi memikul beban bagian bangunan lain di atasnya (Bowles & Silaban, 1999);(Nurlela & Suprpto, 2014). Berdasarkan ke dalamannya pondasi digolongkan dalam dua jenis, yaitu pondasi dalam dan pondasi dangkal (Das & Sivakugan, 2018);(Juwono & Subagiyo, 2018). Perbedaan dari keduanya didasarkan pada sistem pemanfaatan daya dukung tanahnya. Pondasi dalam memanfaatkan tahanan gesek tanah pada dinding pondasi dan tahanan vertikal tanah dibawah dasar pondasi, sedangkan pondasi dangkal hanya memanfaatkan tahanan vertikal tanah dibawah pondasi sebagai daya dukungnya (Awandari & Indrajaya, 2016);(Putri & Wisudanto, 2017);(Setyowati, 2019).

Pondasi juga digolongkan dalam pondasi langsung dan pondasi tidak langsung. Pondasi langsung adalah pondasi yang langsung menumpu tanah dasar sebagai pendukung pondasi, sedangkan pondasi tidak langsung adalah pondasi yang nrenggunakan perantara untuk menyalurkan beban ke tanah pendukung. Untuk jenis

pondasi dalam perantaranya dapat berupa pondasi tiang pancang, pondasi tiang bor (bored pile) atau pondasi sumuran. Pada pengaplikasian dilapangan pemilihan bentuk pondasi sangat dipengaruhi oleh karakteristik kondisi tanah yang dapat memberikan dukungan yang cukup terhadap bangunan di atasnya (Yogatiyana & Hidayatullah, 2022). Daya dukung tanah adalah kekuatan tanah untuk menahan suatu beban yang bekerja yang biasanya disalurkan melalui pondasi (Arsyad, 2010). Adapun daya dukung tiang merupakan kemampuan atau kapasitas tiang dalam mendukung beban yang dipikulnya (Munthe, Rahmi, & Astiahamir, 2022).

Pondasi *bored pile* adalah pondasi dalam yang sering digunakan pada pembangunan konstruksi besar yang berlokasi di daerah yang padat dengan pertimbangan mengurangi kebisingan dan pengaruh getaran yang akan terjadi jika digunakan pondasi tiang pancang (Zhou, Yu, Gong, & Yan, 2020). Dalam perencanaan atau perancangan suatu pondasi harus memenuhi persyaratan struktur yaitu pondasi harus kuat menerima beban-beban yang bekerja akibat beban bangunan di atasnya maupun sebagai reaksi akibat gaya dari perlawanan tanah.

Pondasi juga harus memenuhi persyaratan kestabilan pondasi tidak boleh bergerak atau berpindah dari kedudukannya, untuk itu pondasi tidak boleh turun, terguling maupun tergeser. Artinya pondasi harus memiliki daya dukung yang kuat dan kedudukan yang kokoh. Agar pondasi kuat dan kokoh dalam analisa diperlukan angka keamanan (SF).

Axial Load Test atau *Loading Test* ialah suatu metode pengujian yang dilakukan dengan memberikan pembebanan secara vertikal. Pengujian yang dimaksud dapat dilakukan dengan menggunakan medium balok/ kubus beton dengan ukuran tertentu sebagai beban. *Loading Test* merupakan salah satu cara dalam menentukan daya dukung batas/ultimate suatu pondasi tiang pancang dengan beban maksimum berkisar antara 150 % sampai 200 % dari design load.

Kapasitas daya dukung ultimit (*ultimate bearing capacity*) adalah beban maksimum persatuan luas yang masih dapat didukung oleh pondasi, dengan tidak terjadi kegagalan geser pada tanah yang mendukungnya, besarnya beban yang didukung, termasuk beban struktur, beban pelat fondasi, dan tanah urug di atasnya. Interpretasi dari hasil benda uji ini yakni pembebanan statik yang cukup penting untuk mengetahui respon tiang pada selimut dan ujungnya dan besar daya dukung ultimit.

Namun menjadi kendala dalam metode pelaksanaannya saat dilakukan pengalangan untuk semua tiang yang digunakan, karena dibutuhkan biaya yang relatif mahal dan waktu pengerjaan yang lama sehingga tidak menguntungkan secara ekonomis. Masalah yang timbul dalam merencanakan pondasi yang perlu dianalisis adalah daya dukung dan penurunan. Sehingga pondasi harus memiliki daya dukung yang cukup untuk menampung beban yang berada di atasnya baik beban dari beban struktur konstruksi bahkan beban luar yang mempengaruhi konstruksi tersebut.

Penurunan yang terjadi pada pondasi juga perlu dikontrol untuk kestabilan struktur atas konstruksi. Hal ini dapat dilakukan secara perhitungan empiris serta metode elemen hingga saat proses perencanaan maupun monitoring pada saat proses pelaksanaan

dengan pengujian pembebanan untuk mendapatkan daya dukung dan batas penurunan sesuai rencana.

Salah satu metode yang digunakan untuk menghitung besarnya daya dukung aksial pondasi tiang bored pile dengan menggunakan metode Elemen Hingga (finite element) adalah dengan menggunakan program PLAXIS, dimana kita akan menganalisisnya dengan mempergunakan hasil data dari penyelidikan tanah di lapangan serta hasil laboratorium dan hasil keseluruhannya dibandingkan dengan hasil uji pembebanan (loading test) yang dilakukan di lapangan. Studi kasus kali ini menggunakan program PLAXIS 2D untuk menganalisis daya dukung fondasi tiang bor lalu dibandingkan dengan analisis statis.

Dalam pengaplikasiannya PLAXIS membutuhkan pemodelan struktur dan input material konstruksi yang dimodelkan. Selain itu tahapan konstruksi di lapangan juga diinterpretasikan dalam analisa PLAXIS sehingga didapatkan hasil yang sesuai dengan kondisi di lapangan. Pemilihan tipe mesh serta jumlah titik nodal juga menjadi pertimbangan untuk mendapatkan hasil yang akurat. Untuk mengetahui seberapa besar pengaruh pemilihan input jenis mesh dan titik nodal serta ketelitian dan sebagainya terhadap hasil pemodelan PLAXIS maka penulis melakukan penelitian ini.

Penelitian ini bertujuan untuk mengetahui pengaruh data input PLAXIS terhadap daya dukung dan penurunan pondasi hasil perencanaan yang dilakukan secara analitis dan hasil pengujian monitoring di lapangan seperti hasil loading test dan laboratorium untuk mendapatkan pemodelan PLAXIS 2D. Hutapea (2021) menganalisis perhitungan daya dukung dan penurunan pondasi tiang bor dengan penurunan pondasi tiang bor dengan PLAXIS 3D terhadap hasil loading test proyek Jakarta LRT-Corridor 1 (Phase 1) Kelapa Gading Velodrome Package P 102 dengan metode elemen hingga menggunakan perangkat lunak PLAXIS beliau menyimpulkan hasil yang didapat berbeda nilai daya dukung nya dari program PLAXIS 3D terhadap hasil loading test di lapangan, hasilnya lebih kecil dari hasil pengujian di lapangan kemudian hasil penurunan dari PLAXIS 3D dengan tipe mesh medium memberikan nilai yang mendekati dari loading test lapangan.

Sundari (2024) menganalisis Daya Dukung Aksial Bored Pile Ø 80 Cm dengan Menggunakan Uji Beban Statik dan Menggunakan Metode Elemen Hingga Pada Proyek Menara BRI-Medan. Analisis yang dilakukan adalah mendapatkan besar daya dukung aksial bored pile berdasarkan data SPT dengan menggunakan persamaan O'Neil dan Reese interpretasi dengan metode Davisson, metode Mazurkiewich dan metode Chin. Besar penurunan pondasi bored pile tiang tunggal dari hasil analisis PLAXIS 3D dengan jenis pemodelan tanah Mohr-Coulomb sementara hasil analisis PLAXIS 3D dengan jenis pemodelan Mohr-Coulomb dan pemodelan tanah Hardening (Zikri, 2019).

Pada ini akan dilakukan analisis terhadap kekuatan pondasi struktur salah satu gedung bertingkat yaitu proyek Mixed Use MT Haryono atau Office, Apartment & Commercial Area Jl. MT. Haryono Kav 25 – 26, Tebet, Jakarta Selatan di wilayah DKI Jakarta - Indonesia. Untuk proses analisis pondasi data-data yang dipakai adalah data yang didapatkan dari kontraktor. Sementara analisis struktur pondasi menggunakan

bantuan Program Plaxis dengan pemodelan 2D. Untuk pondasi yang akan dianalisis adalah pondasi tiang bor (bored pile) dengan kedalaman 25 m dan diameter 80 cm.

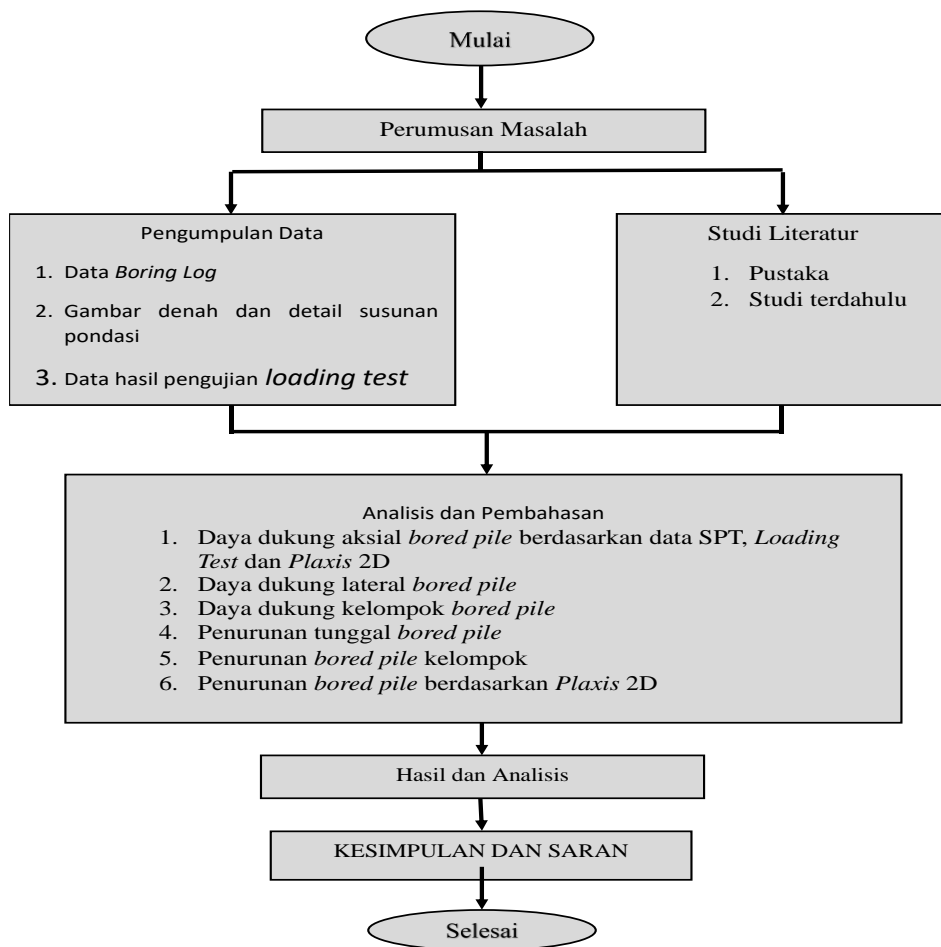
Pada penelitian ini akan dianalisis besar daya dukung aksial, daya dukung lateral pondasi bored pile ϕ 80 cm dan penurunan pondasi. Analisis daya dukung ultimit bored pile dilakukan dengan menggunakan data SPT dengan metode O'neil dan Reese. Analisis daya dukung aksial pondasi bored pile dengan metode interpretasi dari data loading test di lapangan dianalisis dengan metode Davisson, metode Mazurkiewicz dan metode Chin. Daya dukung lateral pondasi akan dianalisis menggunakan metode Broms. Sementara analisis daya dukung aksial dan penurunan (settlement) pondasi dengan Metode Elemen Hingga (FEM) dilakukan menggunakan aplikasi program PLAXIS 2D dengan pemodelan tanah menggunakan Mohr-Coulomb.

Dari hasil tersebut akan dibandingkan daya dukung aksial ultimit berdasarkan metode analitis dan metode elemen hingga pondasi bored pile dihasilkan dengan PLAXIS 2D dan penurunan (settlement) pondasi bored pile yang terjadi dari hasil dengan metode analitis metode analitis, proses loading test dan metode elemen hingga yang dihasilkan dengan program PLAXIS 2D.

Metode Penelitian

Dalam penelitian ini, analisis dilakukan dengan menggunakan data Proyek Office, Apartment & Commercial Area Jl. MT. Haryono Kav. 25-26, Tebet, Jakarta Selatan atau Mixed Use MT Haryono. Data yang digunakan berupa gambar kerja, data hasil penyelidikan tanah (borlog BH 01) dan data monitoring lapangan (Loading Test). Metode analitis yang dilakukan adalah dengan melakukan perhitungan daya dukung bored pile dengan persamaan O'Neil dan Resse sedangkan perhitungan penurunan dengan persamaan penurunan elastis.

Analisis metode elemen hingga dilakukan dengan membuat pemodelan pada Plaxis 2D. Pemodelan dilakukan dengan menginterpretasikan kondisi di lapangan ke dalam Plaxis. Interpretasi yang dilakukan merupakan sifat material dan proses pembebanan yang dilakukan saat pengujian loading test di lapangan. Analisis dilakukan menggunakan data teknis bored pile dan hasil pengujian tanah dari pengujian bor mesin berupa data SPT dan karakteristik tanah pada proyek tersebut. Selain itu, sebagai pembanding kondisi sebenarnya digunakan data loading test yang dilakukan di lapangan. Tahapan penelitian secara keseluruhan disajikan pada gambar di bawah ini.



Gambar 1. Tahapan Penelitian

Hasil dan Pembahasan

Perhitungan Daya Dukung Aksial Bored Pile dengan Data SPT

Perhitungan daya dukung aksial bored pile dilakukan dengan menggunakan data N-SPT pada Boring Log data BH-1. Perhitungan dilakukan menggunakan metode O’neil dan Reese.

Tabel 1. Perhitungan daya dukung aksial pondasi bored pile

Data bored pile	
Diameter tiang (D)	0,800 m
Luas tiang (Ab)	0,503 m ²
Keliling tiang (p)	2,512 m
Panjang tiang (L)	25,00 m
Momen ultimit (Mu)	975 kN.m
Mutu beton (f’c)	30 MPa = 30.000 kN/m ²
Elastisitas (E)	25742 MPa = 25.742.000 kN/m ²
Momen Inertia (I)	0,020096 m ⁴ = 2009600cm ⁴

Tabel 2. Data lapisan tanah

No	Kedalaman (m)	Tebal Lapisan (m)	N ₆₀ rata-rata	Y _{sat} (kN/m ³)	Jenis Tanah
1	0 - 5	5	3	14,00	Lanau Lempungan (<i>elastic silt</i> /MH)
2	5 - 8	3	7	16,22	Lanau Lempungan (<i>silt</i> /MH)
3	8 - 19	11	22	17,33	Lempung sangat kaku (<i>very stiff</i> /MH)
4	19 - 28	9	49	29,00	Lempung keras (<i>hard</i> /MH)
5	28 - 30	2	30	18,00	Pasir Lanau-Medium dense (<i>silty sand</i> /SM)
6	30 - 34	4	43	27,40	Lempung keras/ <i>hard</i> (<i>elastic silt</i> /MH)

Daya dukung ujung bored pile (Q_b)

Tahanan ujung *bored pile* dihitung menggunakan Persamaan

$$f_b = 0,6 \sigma_r N_{60} \leq 4500 \text{ kPa}$$

$$f_b = 0,6 \times 100 \text{ kPa} \times 22 \leq 4500 \text{ kPa}$$

$$= 1.320 \text{ kPa} \leq 4500 \text{ kPa} \dots\dots\dots \text{Ok}$$

Maka daya dukung ujung *bore pile* dihitung dengan Persamaan

$$Q_b = A_b f_b$$

$$Q_b = 0,503 \text{ m}^2 \times 1.320 \text{ kPa} = 663,96 \text{ kN}$$

Daya dukung selimut tiang (Q_s)

Untuk kedalaman 0 - 5 m, N₆₀ = 3 ≤ 15, maka β dapat dihitung menggunakan Persamaan berikut:

$$\beta = \frac{N_{60}}{15} (1,5 - 0,245 \sqrt{z}) \text{ untuk } N_{60} \leq 15$$

$$\beta = \frac{N_{60}}{15} (1,5 - 0,245 \sqrt{z})$$

$$\beta = \frac{3}{15} (1,5 - 0,245 \sqrt{2,5}) = 0,1900$$

Untuk kedalaman 5 - 8 m, N₆₀ = 7 ≤ 15, maka β dapat dihitung

$$\beta = \frac{7}{15} (1,5 - 0,245 \sqrt{1,5}) = 0,5020$$

Untuk kedalaman 8 - 19 m, N₆₀ = 22 ≥ 15, maka β dapat dihitung menggunakan Persamaan berikut:

$$\beta = 1,5 - 0,245 \sqrt{z} \text{ dengan } 0,25 \leq \beta \leq 1,20$$

$$\beta = (1,5 - 0,245 \sqrt{z})$$

$$\beta = (1,5 - 0,245 \sqrt{5,5}) = 0,6870$$

Untuk kedalaman 19 - 28 m, N₆₀ = 49 ≥ 15, maka β dapat dihitung

$$\beta = (1,5 - 0,245 \sqrt{4,5}) = 0,7650$$

Untuk kedalaman 28 - 30 m, merupakan lapisan pasir $z \geq 26,14$ maka $\beta = 0,25$

Untuk kedalaman 30 - 34 m, $N_{60} = 43 \geq 15$, maka β adalah

$$\beta = (1,5 - 0,245 \sqrt{z}) = 1,0100$$

Tekanan Overburden Efektif Tanah (σ_r')

Lapisan air tanah berada pada level -6,80 m sampai dengan -7,50 m; tebal lapisan air tanah = 0.7 m maka tekanan air pori (u):

Untuk kedalaman 0 - 5 m, maka:

$$\sigma_v = \gamma_{sat} \cdot z = 14,00 \text{ kN/m}^3 \times 5 \text{ m} = 70 \text{ kN/m}^2$$

$$u = 0; \text{ maka } \sigma_v' = 70 \text{ kN/m}^2 \text{ dan } \sigma_v' \text{ rata-rata} = (70/2) \text{ kN/m}^2 = 35 \text{ kN/m}^2$$

Untuk kedalaman 5 - 6,8 m, $u = 0$, maka:

$$\sigma_v = \gamma_{sat} \cdot z = 16,22 \text{ kN/m}^3 \times 1,8 \text{ m} = 29,20 \text{ kN/m}^2$$

maka $\sigma_v' = 70 \text{ kN/m}^2 + 29,20 \text{ kN/m}^2 = 99,20 \text{ kN/m}^2$ dan $\sigma_v' \text{ rata-rata} = 35 \text{ kN/m}^2 + (99,20/2) \text{ kN/m}^2 = 84,60 \text{ kN/m}^2$

Untuk kedalaman 6,8 - 8 m, merupakan muka air tanah, sehingga:

$$u = 9,8 \text{ kN/m}^3 \times 1,2 \text{ m} = 11,76 \text{ kN/m}^2$$

$$\sigma_v = 16,22 \text{ kN/m}^3 \times 1,2 \text{ m} = 19,464 \text{ kN/m}^2$$

Maka $q \sigma_v' = 84,60 \text{ kN/m}^2 + (19,464)/2 \text{ kN/m}^2 = 84,60 \text{ kN/m}^2$

Selanjutnya untuk hasil perhitungan Tekanan *Overburden* Efektif tanah (σ_r') pada semua lapisan tanah dapat dilihat pada Tabel 2 sebagai berikut:

Tabel 3. Perhitungan Tekanan Overburden rata-rata

No	Kedalaman (m)	z (m)	h (m)	γ_{sat} (kN/m ³)	σ_v (kN/m ²)	Tekanan <i>Overburden</i> efektif (σ_v') (kN/m ²)	(σ_v') rata-rata (kN/m ²)
1	0 - 5	5	5	14,00	70,00	70,00	35,00
2	5 - 6,80	1,8	6,8	16,22	29,20	99,20	84,60
3	6,8 - 8	1,2	8	16,22	36,90	136,10	152,65
4	8 - 19	11	19	17,33	119,73	119,73	212,51
5	19 - 25	6	25	29,00	234,93	354,66	389,84

Catatan : lapisan air tanah berada pada level -6,80 m sampai dengan -7,50 m

Daya dukung selimut *bored pile* (Q_s)

Setelah tekanan efektif overburden ditengah lapisan (σ_r') didapat, maka dihitung total daya dukung selimut *bored pile* (Q_s) dihitung dengan menggunakan persamaan $Q_s = f_s A_s$ dan daya dukung selimut setiap lapisan tanah *bored pile* menggunakan persamaan $f_s = \beta \sigma_r'$ serta tekanan efektif *overburden* ditengah lapisan menggunakan persamaan $\sigma_v' = \sigma_v - u$ sebagai berikut;

Untuk kedalaman 0 - 5 m, $A_s = 12,56 \text{ m}^2$; $\beta = 0,2225$ dan $\sigma_r' = 35 \text{ kN/m}^2$

$$Q_s = f_s A_s = \beta \sigma_r' A_s$$

$$Q_s = 97,82 \text{ kN}$$

Selanjutnya untuk hasil perhitungan Daya dukung selimut *bored pile* (Q_s) pada semua lapisan tanah dapat dilihat pada Tabel 4 sebagai berikut:

Tabel 4. Perhitungan Daya Dukung Selimut Bored Pile

No	z (m)	h(m)	A _s (m ²)	β	(σ _{v'}) _{rata-rata} (kN/m ²)	Q _s (kN)
1	5	5	12,56	0,223	35,00	97,82
2	1,8	6,8	4,5216	0,560	84,60	214,20
2	1,2	8	3,0144	0,560	152,65	257,66
3	11	19	27,632	0,925	212,51	5.434,16
4	6	25	15,072	0,980	389,84	5.759,82
						11.763,66

Dari hasil perhitungan total daya dukung selimut *bored pile* diperoleh Q_s = 11.763,66 kN Sehingga daya dukung ultimate dan daya dukung ijin *bored pile* berdasarkan nilai NSPT adalah:

$$Q_u = 663,96 \text{ kN} + 11.763,66 \text{ kN} = 12.427,62 \text{ kN} = 1242,80 \text{ ton}$$

$$Q_{ijin} = Q_a = \frac{Q_u}{F} = \frac{1242,80 \text{ ton}}{2,5} = 497,12 \text{ ton} \approx 497 \text{ ton}$$

Dalam hal ini faktor keamanan diambil 2,5

Perhitungan Daya Dukung Aksial Bored pile dengan Data Loading Test

Uji pembebanan (loading test) dilakukan berdasarkan standar ASTM D1143-07. Bored pile yang diuji didesain dengan beban kerja 640 ton dan pembebanan dilaksanakan Berdasarkan hasil Grafik hubungan beban dan penurunan dari hasil pengujian loading test menunjukkan hubungan besar beban dan penurunan yang terjadi. Pembebanan maksimum mengakibatkan penurunan sebesar 7,95 mm dengan penurunan akhir saat pembeban selesai adalah 1,89 mm. Sehingga dapat disimpulkan besar penurunan elastis yang terjadi adalah 7,95 mm dengan penurunan plastis sebesar 1,89 mm. Interpretasi besarnya daya dukung ultimate bored pile berdasarkan uji pembebanan dapat dilakukan dengan metode Davisson (1973), Chin (1971) dan Mazurkiewicz (1972).

Dari gambar tersebut maka daya dukung ultimit (Q_u) = 875 ton. Maka faktor keamanan FS dapat ditentukan yaitu:

$$FS = \frac{Q_u}{Q_r} = \frac{875}{320} = 2,73 > 2,5$$

Berdasarkan hasil interpretasi daya dukung yang telah dilakukan, didapat besar daya dukung aksial bored pile dengan metode Mazurkiewich adalah 960 ton. Dalam hal regresi linear grafik diplot menggunakan aplikasi program MATLAB. Dengan menggunakan aplikasi Program MATLAB diperoleh persamaan garis lurus: y = 0,001415x + 0,00048. Besar daya dukung ultimate dengan metode Chin dihitung dengan cara berikut:

$$\text{Daya dukung ultimit: } Q_u = \frac{1}{c} = \frac{1}{0,001415} = 876,04 \text{ ton} = 876 \text{ ton}$$

$$\text{Faktor keamanan: } S_f = \frac{Q_u}{Q_r} = \frac{876}{320} = 2,74 > 2,5$$

Perhitungan Penurunan *Bored Pile*

Penurunan tiang tunggal dihitung dengan teori penurunan elastis. Adapun tahapan perhitungannya adalah sebagai berikut:

Menghitung penurunan elastis dari tiang menggunakan Persamaan (2.56)

$$S_{e(1)} = \frac{(Q_b + EQ_s) \cdot L}{A_p \cdot E_p}$$

$$S_{e(1)} = \frac{(663,96 + 0,67 \times 11.763,60) \times 25}{0,503 \times 25.742.000} = 0,0165 \text{ m} = 16,5 \text{ mm}$$

Menentukan penurunan tiang yang disebabkan oleh beban di ujung tiang dengan Persamaan (2.56)

$$S_{e(2)} = \frac{(Q_b \cdot C_p)}{D \cdot Q_u}$$

$$S_{e(2)} = \frac{(663,96 \times 0,09)}{0,8 \times 12.427,62} = 0,00601 \text{ m} = 6,01 \text{ mm}$$

Menghitung penurunan tiang yang disebabkan oleh beban di sepanjang batang tiang dengan Persamaan (2.57)

$$S_{e(3)} = \frac{(Q_b \cdot C_s)}{L \cdot Q_u}$$

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

$$C_s = (0,93 + 0,16 \sqrt{25/0,8}) \times 0,09 = 0,16$$

$$S_{e(3)} = \frac{(663,96 \times 0,16)}{25 \times 12.427,62} = 0,000341 \text{ m} = 0,34 \text{ mm}$$

Maka total penurunan tiang tunggal dihitung dengan Persamaan (2.54)

$$S = S_{e(1)} + S_{e(2)} + S_{e(3)}$$

$$S = 16,5 + 6,01 + 0,34 = 22,85 \text{ mm} < 25 \text{ mm}$$

Pondasi *bored pile* aman terhadap penurunan.

Analisis Metode Elemen Hingga Menggunakan PLAXIS 2D

Analisis selanjutnya dilakukan dengan metode elemen hingga menggunakan PLAXIS. Analisis akan dilakukan pada aplikasi Program PLAXIS 2D dengan variasi pemodelan seperti yang telah dijelaskan pada tujuan penelitian. Dalam analisis PLAXIS 2D membutuhkan nilai parameter tanah eksisting dan parameter bored pile yang akan digunakan sebagai input dari proses analisis yang dilakukan. Selain itu tahapan pembebanan saat pengujian loading test akan diinterpretasikan dalam tahapan stage construction sehingga didapatkan nilai daya dukung dan penurunan yang mendekati dengan nilai di lapangan.

Pada PLAXIS daya dukung ultimate yang akan dihitung adalah daya dukung aksial pondasi bored pile. Pemodelan yang digunakan adalah pemodelan geometri axisymmetric yaitu kondisi awal digambarkan hanya seperempat bagian namun sudah mewakili seluruh sisi yang lain. Karena dianggap simetris dan dengan pemodelan tanah

Mohr-Coulomb. Data-data yang harus diketahui sebelum melakukan pemodelan parameter pondasi bored pile ditunjukkan pada Tabel 4 sementara parameter material tanah (soil) ditunjukkan pada Tabel 5.

Tabel 5 Input Parameter bored pile dalam Program PLAXIS 2D

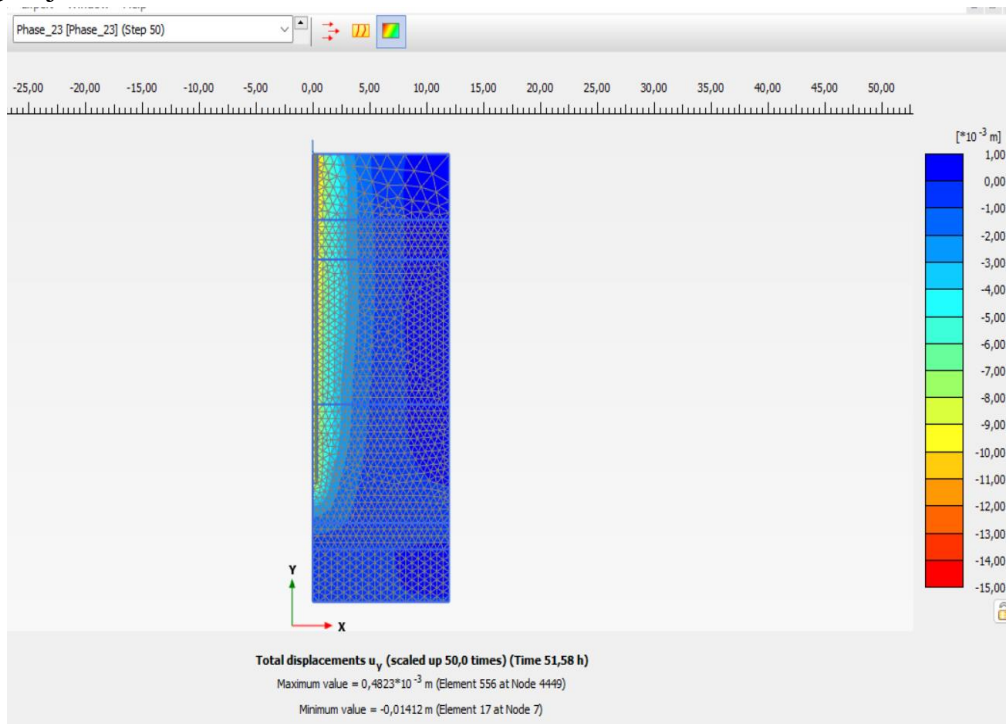
No	Keterangan	Nilai
1	Diameter <i>bored pile</i> (m)	0,800
2	Panjang <i>bored pile</i> (m)	25
3	Keliling Tiang (m)	2,512
4	Luas Penampang (m ²)	0,503
5	Modulus Elastisitas (E) (kN/m ²)	25.742.000
6	Momen Inersia (I) (m ⁴)	0,02
7	Berat Jenis (γ) (kN/m ³)	24
8	EA (kN/m)	12.932.780
9	EI (kNm ² /m)	514.840
9	Angka Poisson (ν)	0,2

Tabel 6. Input Parameter tanah untuk Program PLAXIS 2D lokasi Bore Hole 1

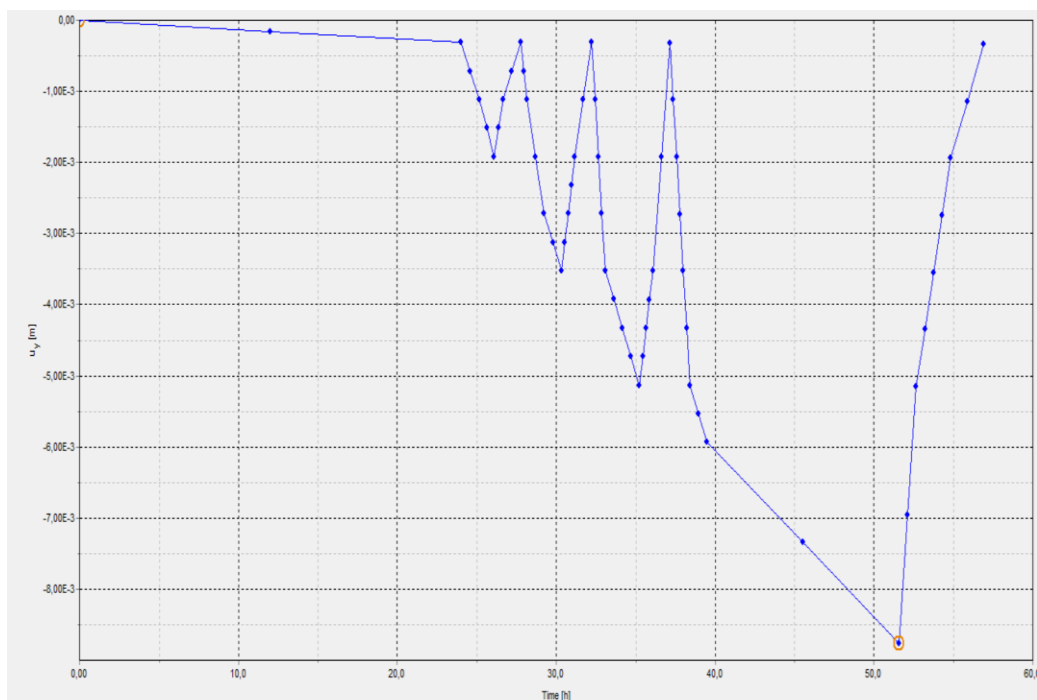
Lapisan Tanah	Lapisan 1	Lapisan 2	Lapisan 3	Lapisan 4	Lapisan 5	Lapisan 6
Kedalaman (m)	5	3	11	9	2	4
Material	Lanau Berlempung (<i>elastic silt</i> /MH)	Lanau Berlempung (<i>silt</i> /MH)	Lempung sangat kaku (<i>very stiff</i> /MH)	Lempung keras (<i>hard</i> /MH)	Pasir Lanau-Medium dense (<i>silty sand</i> /SM)	Lempung keras/hard (<i>elastic silt</i> /MH)
Material Model	Mohr-Coulomb	Mohr-Coulomb	Mohr-Coulomb	Mohr-Coulomb	Mohr-Coulomb	Mohr-Coulomb
N-SPT	3	7	22	49	30	43
Y_{sat} (kN/m ³)	14	16,22	17,33	29	18	27,4
Y_{dry} (kN/m ³)	4,2	6,4	7,5	19,2	8,2	17,6
k_x (m/day)	0,000864	0,000864	0,000864	0,000864	0,000864	0,000864
k_y (m/day)	0,000864	0,000864	0,000864	0,000864	0,000864	0,000864
Young Modulus (kN/m ²)	E 312	754,02	3293,67	6418,28	2640	5632,37
Poisson's Ratio μ	0,35	0,35	0,35	0,35	0,35	0,35
<i>Kohesi</i> (kN/m ²)	c 35,3	35,3	18,6	18,6	1	1
Friction Angle ϕ (°)	27,3	28,9	30,1	30,1	0	0
Dilatancy Angle Ψ (°)	0	0	0	0	0	0

Tahapan selanjutnya yang harus dilakukan adalah proses calculation. Aplikasi Program PLAXIS akan melakukan proses perhitungan dari setiap tahapan yang telah dilakukan dilanjutkan dengan penentuan titik integrasi sebagai titik yang akan dianalisis. Adapun hasil proses perhitungan (calculation) disajikan pada Gambar 2. Berdasarkan hasil perhitungan diperoleh besar penurunan maksimum yang terjadi adalah 14,12 mm.

Pada Gambar 2 disajikan grafik hubungan antara waktu pembebanan dan besar penurunan yang terjadi.

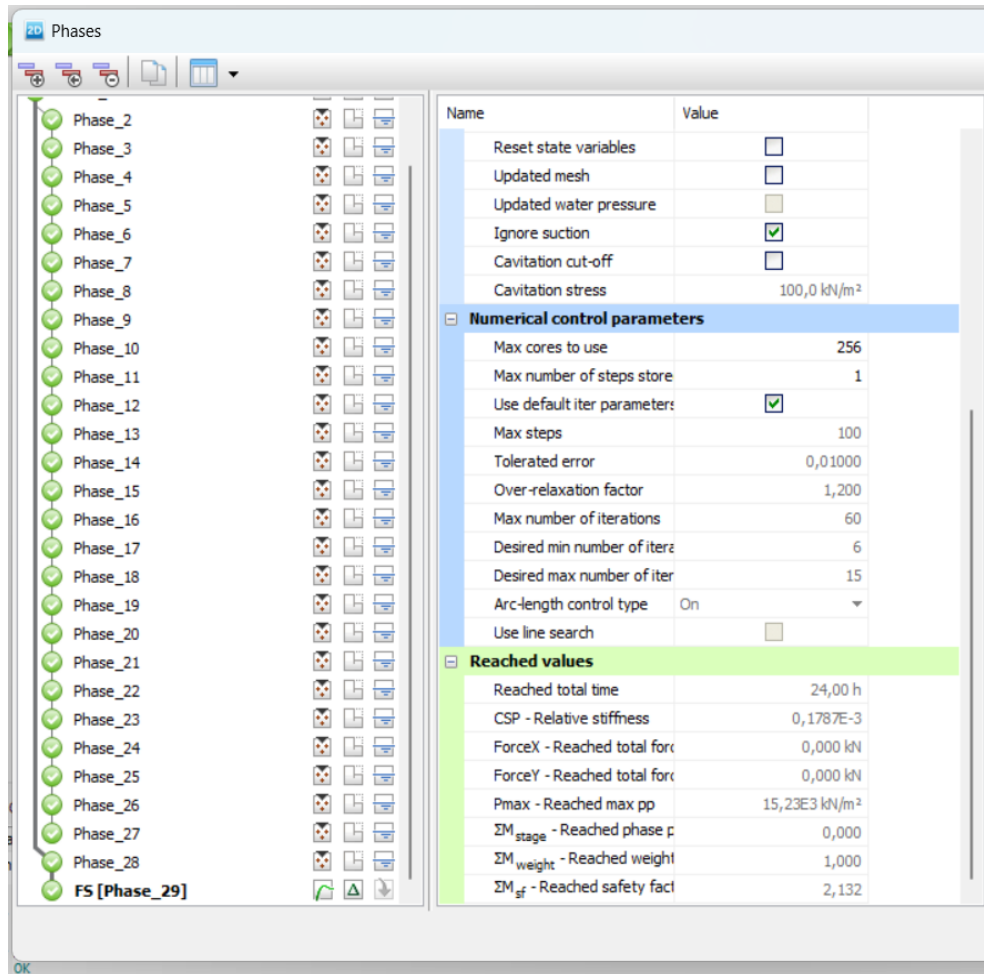


Gambar 2. Hasil proses perhitungan (calculatiuon)



Gambar 3. Kurva hubungan antara waktu dan penurunan

Analisis Daya Dukung & Penurunan Bored Pile 80cm di Proyek Kompleks Kantor-Apartemen dengan Metode Analitis & Elemen Hingga



Gambar 4. Hasil kalkulasi dan besar nilai Msf setelah konsolidasi

Dari hasil perhitungan dengan menggunakan Program PLAXIS didapat nilai ΣM_{sf} sebesar 2,132 maka nilai Q_u titik *bore hole-1* adalah:

$$\begin{aligned}
 Q_u &= \Sigma M_{sf} \times 640 \text{ ton} \\
 &= 2,132 \times 640 \text{ ton} \\
 &= 1364,48 \text{ ton}
 \end{aligned}$$

Setelah proses perhitungan selesai, maka didapatkan hasil penurunan akibat perhitungan dengan program PLAXIS 2D seperti pada Tabel 6 dan didapatkan hasil kurva hubungan antara beban dan penurunan maksimum diperoleh sebesar 14,2 mm pada siklus 4.

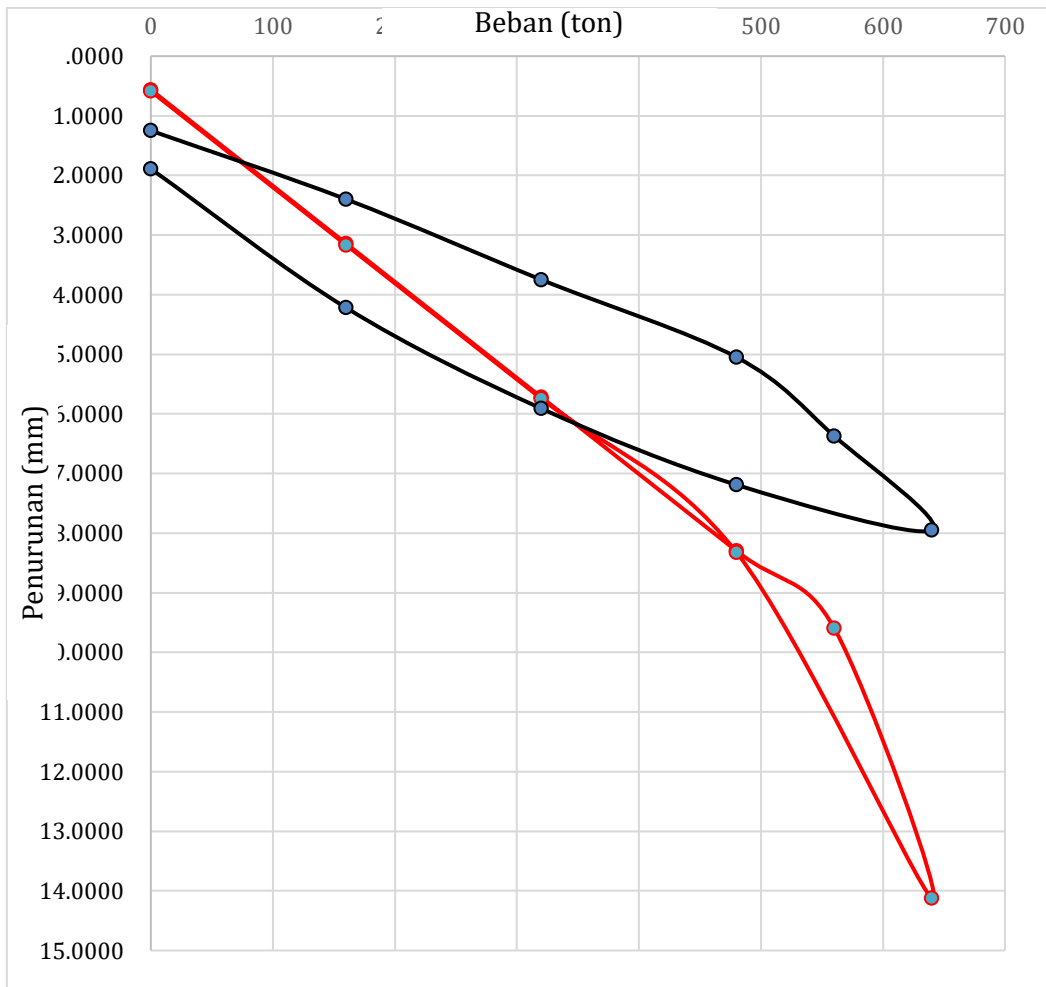
Tabel 7. hasil kurva hubungan antara beban dan penurunan

No	Pembebanan (%)	Pembebanan (ton)	Penurunan (mm)
1	0	0	
2	25	80	1,845
3	50	160	3,315
4	25	80	1,846
5	0	0	0,057
6			
7	50	160	1,846
8	75	240	4,426

9	100	320	5,716
10	75	240	4,427
11	50	160	3,138
12	0	0	0,459
13			
14	50	160	3,138
15	100	320	5,716
16	125	400	7,007
17	150	480	8,299
18	125	400	7,009
19	100	320	5,720
20	50	160	3,012
21	0	0	0,8634
22			
23	50	160	3,142
14	100	320	5,720
25	150	480	8,299
26	175	560	9,591
27	200	640	14,12
32	150	480	8,323
33	100	320	5,744
34	50	160	3,166
35	0	0	1,287

Dari hasil analisis dan perhitungan penurunan elastis (settlement) bored pile tunggal yang dilakukan didapatkan perbandingan kurva hasil loading test dan hasil analisis program PLAXIS 2D untuk siklus 4 yang diplot dalam Gambar 5.

Analisis Daya Dukung & Penurunan Bored Pile 80cm di Proyek Kompleks Kantor-Apartemen dengan Metode Analitis & Elemen Hingga



Gambar 5. Grafik perbandingan hubungan beban dan penurunan dari hasil Loading Test di lapangan dan hasil perhitungan dengan program PLAXIS 2D untuk pembebanan siklus 4

Dari Gambar 5, dapat dilihat perbedaan penurunan yang terjadi akibat hasil loading test di lapangan dan hasil perhitungan dengan program PLAXIS 2D pada siklus pembebanan. Penurunan maksimum dengan Loading Test di lapangan didapatkan sebesar 7,95 mm dan penurunan maksimum dengan perhitungan program PLAXIS 2D didapatkan sebesar 14,12 mm sehingga terdapat selisih sebesar 6,17 mm. Sementara penurunan permanen maksimum dengan *Loading Test* di lapangan didapatkan sebesar 1,89 mm dan penurunan permanen maksimum dengan perhitungan program PLAXIS2D didapatkan sebesar 1,289 mm sehingga terdapat selisih sebesar 0,6 mm atau sebesar 46,85%. Penurunan tersebut masih dalam batas aman yaitu lebih kecil dari 25 mm. Pada Tabel 7 ditunjukkan daya dukung bored pile ϕ 80 cm berdasarkan data loading test, data SPT, dan Metode Elemen Hingga (FEM) menggunakan program PLAXIS 2D.

Tabel 8. Daya dukung ultimit aksial bored pile

Daya dukung ultimit aksial bored pile tunggal (ton)		
Metode	Analitis dengan data SPT	<i>Loading Test</i> (Interpretasi)
O'Neil dan Reese	1242	
Davisson		875
Mazurkiewich		960

Chin	876
PLAXIS 2D (FEM)	1364

Kesimpulan

Berdasarkan berbagai metode analisis, daya dukung ultimit aksial (Q_u) dari pondasi bored pile tunggal \varnothing 80 cm adalah 1242 ton berdasarkan metode O'Neil dan Reese dari data SPT, 875 ton berdasarkan interpretasi kurva metode Davidson, 960 ton dengan metode Mazurkiewich, dan 876 ton dengan metode Chin. Sementara itu, menggunakan metode elemen hingga (FEM) melalui aplikasi program PLAXIS 2D, daya dukungnya adalah 1364 ton. Dengan beban rencana (Q_r) sebesar 320 ton dan angka keamanan (SF) $> 2,5$, dapat disimpulkan bahwa pondasi ini memiliki keamanan yang memadai.

Hasil analisis menunjukkan bahwa kapasitas daya dukung ultimit aksial (Q_u) dari pondasi bored pile tunggal \varnothing 80 cm dengan metode elemen hingga mendekati hasil metode analitis berdasarkan data SPT. Penurunan elastis pondasi bored pile tunggal berkisar antara 7,95 mm hingga 22,85 mm, dengan program PLAXIS 2D memberikan hasil yang paling mendekati loading test. Semua hasil analisis memenuhi persyaratan yang ditetapkan, yaitu kurang dari 25 mm. Daya dukung ultimit lateral (H_u) berdasarkan Metode Broms adalah 57,14 ton, namun analisis ini tidak dimaksudkan untuk mengontrol gaya horizontal pada gedung karena tidak memperhitungkan pengaruh gaya gempa atau gaya horizontal lainnya.

BIBLIOGRAFI

- Arsyad, Sitanala. (2010). Konservasi tanah dan Air. Edisi kedua. *Institute Pertanian Bogor, Bogor*.
- Awandari, Luh Putu Putri, & Indrajaya, I. Gst Bgs. (2016). Pengaruh infrastruktur, investasi, dan pertumbuhan ekonomi terhadap kesejahteraan masyarakat melalui kesempatan kerja. *E-Jurnal Ekonomi Pembangunan Universitas Udayana*, 5(12), 165388.
- Bowles, Joseph E., & Silaban, Pantur. (1999). *Analisa dan Disain Pondasi Jilid 2*.
- Das, Braja M., & Sivakugan, Nagaratnam. (2018). *Principles of foundation engineering*. Cengage learning.
- Ervianto, Wulfram Indri. (2019). Pengelolaan infrastruktur berdasarkan isu berkelanjutan di Indonesia. *SENADA (Seminar Nasional Manajemen, Desain Dan Aplikasi Bisnis Teknologi)*, 2, 574–581.
- Hutapea, Dewi Sartika, & Iskandar, Rudi. (2021). Analisis Daya Dukung dan Penurunan Pondasi Tiang Bor dengan Plaxis 3D terhadap Hasil Loading Test. *Jurnal Syntax Admiration*, 2(6), 1007–1026.
- Juwono, Pitojo Tri, & Subagiyo, Aris. (2018). *Sumber Daya Air dan Pengembangan Wilayah: Infrastruktur Keairan Mendukung Pengembangan Wisata, Energi, dan Ketahanan Pangan*. Universitas Brawijaya Press.
- Mahulauw, Abdul Kadir, Santosa, Dwi Budi, & Mahardika, Putu. (2017). Pengaruh Pengeluaran Kesehatan dan Pendidikan Serta Infrastruktur Terhadap Indeks Pembangunan Manusia di Provinsi Maluku. *Jurnal Ekonomi Pembangunan*, 14(2), 122–148.
- Munthe, Jamasa, Rahmi, Yulita, & Astiahamir, Astiahamir. (2022). Pemborosan Terhadap Material Kontruksi Jalan, Studi Kasus Lanjutan Peningkatan Jalan Lingkar

- Ibu Kota Seuneuam Kecamatan Darul Makmur Nagan Raya. *Jurnal Ilmiah Teknik Unida*, 3(2), 113–123.
- Nadziliyah, Herlina, & Primasari, Niken Savitri. (2022). Analisis Fraud Hexagon Terhadap Financial Statement Fraud Pada Perusahaan Sektor Infrastruktur, Utilitas Dan Transportasi. *Accounting and Finance Studies*, 2(1), 21–39. <https://doi.org/10.47153/afs21.2702022>
- Nurlela, Nurlela, & Suprpto, Heri. (2014). Identifikasi dan analisis manajemen risiko pada proyek pembangunan infrastruktur bangunan gedung bertingkat. *Jurnal Ilmiah Desain & Konstruksi*, 13(2).
- Putri, Erika Sefila, & Wisudanto, Wisudanto. (2017). Struktur pembiayaan pembangunan infrastruktur di indonesia penunjang pertumbuhan ekonomi. *IPTEK Journal of Proceedings Series*, 3(5).
- Rahmatang, Rahmatang. (2023). *Eksistensi Badan Perencanaan Pembangunan Daerah (Bappeda) Dalam Perencanaan Pembangunan Sarana Infrastruktur Di Kota Palopo*. Institut Agama Islam Negeri (IAIN) Palopo.
- Risandewi, Tri. (2017). Analisis Infrastruktur Pariwisata dalam Mendukung Pengembangan Desa Wisata Candirejo Kabupaten Magelang. *Jurnal Litbang Provinsi Jawa Tengah*, 15(1), 103–117.
- Setyowati, Peni Jati. (2019). *Prinsip Hukum Kontrak Konstruksi Penyediaan Infrastruktur Oleh Badan Usaha Jasa Konstruksi Asing*. Universitas Airlangga.
- Sulis, Setiawati. (2022). *Pengaruh Pembangunan Infrastruktur Terhadap Pertumbuhan Ekonomi Kota Bandar Lampung Tahun 2013-2019 Dalam Perspektif Ekonomi Islam*. UIN RADEN INTAN LAMPUNG.
- Sundari, Risky Fajar, Roesyanto, Roesyanto, Hasibuan, Gina Cynthia Raphita, & Surbakti, Rudianto. (2024). Analisis Daya Dukung Aksial Bored Pile ~ 80 CM dengan Menggunakan Uji Beban Statik dan Menggunakan Metode Elemen Hingga pada Proyek Menara BRI “Medan. *Syntax Literate; Jurnal Ilmiah Indonesia*, 9(1), 672–686.
- Sururi, Ahmad. (2015). Pemberdayaan masyarakat melalui program pembangunan infrastruktur perdesaan dalam meningkatkan kesejahteraan masyarakat Kecamatan Wanasalam Kabupaten Lebak. *Sawala: Jurnal Administrasi Negara*, 3(2).
- Yogatiyana, Nana, & Hidayatullah, Mohammad Arief. (2022). Eksistensi Hak Tanah Ulayat Masyarakat Adat dalam Hukum Tanah di Indonesia. *ANWARUL*, 2(4), 323–333.
- Zhou, Jia jin, Yu, Jian lin, Gong, Xiao nan, & Yan, Tian long. (2020). Field tests on behavior of pre-bored grouted planted pile and bored pile embedded in deep soft clay. *Soils and Foundations*, 60(2), 551–561.
- Zikri, Nikmatul Fuadiz. (2019). *Pengaruh Jarak Tiang Terhadap Kapasitas Dukung Pondasi Bored Pile Dengan Metode Reese & O’neil, Brom, Poulus & Davis Dan Elemen Hingga (Studi Kasus; Proyek Pembangunan Swiss-Bell Hotel Solo)(The Effect Of Pile Distance To Bearing Capacity Of Bored Pile Us*.

Copyright holder:

Gusar Tampubolon, Roesyanto, Gina Cynthia R Hasibuan (2024)

First publication right:

Syntax Admiration

This article is licensed under:

