

ANALISIS PLAXIS 2D DESAIN PONDASI TIANG BOR GEDUNG PERKANTORAN DAN HUNIAN DI PESISIR BERAWA BALI

Chafares Gideon Bahy^{1*}, I Nengah Sinarta^{1,2}

^{1*}Program Studi Teknik Sipil, Universitas Warmadewa, Jl. Terompong No.24, Denpasar Timur
e-mail: : chafares852@gmail.com

^{1,2*}Program Studi Teknik Sipil, Universitas Warmadewa, Jl. Terompong No.24, Denpasar Timur
e-mail: : inengahsinarta@warmadewa.ac.id

ABSTRAK

Pembangunan infrastruktur di kawasan pesisir seperti Berawa, Bali, terus meningkat seiring kebutuhan akan hunian dan perkantoran, namun kondisi tanah di wilayah tersebut umumnya memiliki daya dukung rendah dan muka air tanah tinggi, sehingga menimbulkan tantangan dalam perancangan pondasi yang aman dan efisien. Salah satu solusi yang banyak diterapkan adalah pondasi tiang bor (bore pile) yang mampu menyalurkan beban struktur ke lapisan tanah keras di kedalaman tertentu. Penelitian ini bertujuan menganalisis kapasitas dukung dan penurunan pondasi tiang bor pada gedung perkantoran dan hunian lima lantai di kawasan pesisir Berawa menggunakan perangkat lunak Plaxis 2D berbasis metode elemen hingga. Data tanah diperoleh dari hasil uji SPT hingga kedalaman 35 m dengan variasi lapisan berupa urugan, lempung, pasir, dan cadas berpasir serta nilai N-SPT antara 2–60. Pemodelan dilakukan pada tiang bor berdiameter 0,6 m dan panjang 20 m menggunakan model konstitutif Mohr-Coulomb dan Hardening Soil. Hasil analisis menunjukkan nilai Σ -Msf maksimum sebesar 2,658, menghasilkan daya dukung ultimit (Qu) sebesar 5.735 kN dan daya dukung izin (Pall) sebesar 2.158 kN, dengan penurunan total maksimum sebesar 0,035 m, masih dalam batas aman sesuai SNI 8460:2017. Hasil ini menunjukkan bahwa pondasi tiang bor memiliki performa stabil terhadap beban vertikal, dan bahwa metode numerik Plaxis 2D efektif dalam memprediksi interaksi tanah–struktur pada kondisi tanah pesisir yang kompleks.

Kata kunci: Plaxis 2D, Pondasi Bore Pile, Daya Dukung Tanah, Penurunan Pondasi, Kawasan Pesisir.

1. PENDAHULUAN

Pembangunan Infrastruktur di kawasan pesisir, termasuk wilayah Berawa, Bali, terus mengalami peningkatan dengan tumbuhnya kebutuhan akan fasilitas perkantoran dan hunian. Namun, karakteristik tanah di kawasan pesisir umumnya memiliki daya dukung rendah dan kadang air yang tinggi, sehingga rentan terhadap penurunan tanah. Kondisi ini menurut perencanaan pondasi yang tidak hanya memiliki kapasitas menahan beban yang besar, tetapi juga mampu menyesuaikan diri dengan variasi sifat tanah setempat agar kestabilan struktur tetap terjaga.

Pondasi tiang bor (*bore pile*) banyak digunakan pada konstruksi di daerah pesisir karena kemampuannya menyalurkan beban ke lapisan tanah keras di kedalaman tertentu. Namun, metode analisis konvensional sering kali tidak cukup akurat dalam menggambarkan interaksi antara tanah dan struktur yang bersifat nonlinear. Untuk itu, penggunaan metode numerik berbasis elemen hingga, seperti yang diterapkan pada perangkat lunak Plaxis 2D, menjadi pendekatan yang lebih representatif dalam mengevaluasi daya dukung, deformasi, serta distribusi tegangan di sekitar pondasi.

Penelitian ini menganalisis kinerja pondasi tiang bor pada gedung perkantoran dan hunian di kawasan pesisir Berawa, Bali, menggunakan perangkat lunak Plaxis 2D. Analisis difokuskan pada perhitungan daya dukung ultimit dan penurunan pondasi berdasarkan kondisi tanah hasil pengujian lapangan. Hasil penelitian diharapkan dapat memberikan acuan teknis dalam perencanaan pondasi di wilayah pesisir yang memiliki kondisi tanah serupa serta mendukung penerapan desain yang aman dan efisien.

2. KAJIAN PUSTAKA

Tanah

Tanah merupakan campuran butiran mineral yang dapat mengandung atau tidak mengandung bahan organik. Butiran penyusunnya mudah terpisah, misalnya ketika mengalami pengocokan di dalam air. Tanah terbentuk akibat proses pelapukan batuan yang berlangsung melalui mekanisme fisik maupun kimiawi. Sifat-sifat teknis tanah tidak hanya ditentukan oleh karakteristik batuan asalnya, tetapi juga oleh berbagai faktor eksternal yang memengaruhi intensitas serta jenis pelapukan yang terjadi (Hardiyatmo, 2014)

Penyelidikan Tanah

Penyelidikan tanah di lapangan merupakan tahap krusial untuk memperoleh data yang diperlukan dalam perencanaan pondasi berbagai jenis konstruksi, seperti gedung, dinding penahan tanah, bendungan, jalan, dermaga, dan struktur lainnya. Metode yang digunakan dapat berbeda sesuai dengan tujuan penelitian, antara lain melalui penggalian lubang uji (*test pit*), pengeboran, atau pengujian langsung di lapangan (*in-situ test*). Data yang diperoleh kemudian dianalisis untuk memahami karakteristik teknis tanah, yang menjadi dasar dalam perhitungan kapasitas dukung serta estimasi penurunan pondasi (Hardiyatmo, 2014).

Pondasi Tiang Bor

Pondasi tiang bor merupakan jenis pondasi dalam yang dibuat dengan cara mengebor tanah terlebih dahulu sebelum pemasangan dilakukan (Hardiyatmo, 2015). Setelah lubang bor selesai dibuat, rangka tulangan dimasukkan ke dalamnya, kemudian dilanjutkan dengan proses pengecoran beton. Jenis pondasi ini memiliki berbagai keunggulan dan keterbatasan yang perlu diperhitungkan secara cermat dalam tahap perencanaan konstruksi.

Daya Dukung Pondasi Tiang Bor

Perangkat lunak Plaxis 2D tidak hanya digunakan untuk menganalisis penurunan pada pondasi tiang bor, tetapi juga berperan penting dalam menghitung faktor keamanan serta daya dukung ultimit pondasi. Nilai Σ -Msf (*Sum of Multiplication Strength Factor*) yang diperoleh dari analisis numerik menggambarkan kondisi batas kestabilan interaksi antara tanah dan struktur. Nilai ini menjadi dasar dalam menentukan daya dukung ultimit tiang bor (Q_u) melalui persamaan sebagai berikut (Jihan, 2025).

$$Q_{all} = P_{all} = \frac{Q_u}{\Sigma Msf} \quad (1)$$

$$Q_u = P_{all} \times \Sigma Msf \quad (2)$$

Dengan :

$Q_{all} = P_{all}$ = daya dukung izin tiang (kN)

Q_u = daya dukung ultimit (kN)

ΣMsf = jumlah faktor kekuatan perkalian

Penurunan Elastis Pondasi Tiang Bor

Penurunan elastis pada pondasi tiang merupakan pergeseran vertikal sementara yang terjadi akibat deformasi elastis tanah di sekitar tiang saat menerima beban. Deformasi ini bersifat reversibel, artinya ketika beban dihilangkan, tiang akan kembali ke posisi semula. Menurut Ve'sic (1977), penurunan total pondasi tiang terdiri atas tiga komponen utama, yang masing-masing dapat dianalisis dengan pendekatan elastis. Pendekatan ini digunakan untuk menggambarkan perilaku deformasi tanah dan respons pondasi secara lebih akurat terhadap beban yang bekerja.

Program Plaxis 2D

Plaxis 2D merupakan perangkat lunak berbasis metode elemen hingga (*finite element method*) yang dirancang khusus untuk menganalisis deformasi dan stabilitas geoteknik. Program ini memiliki antarmuka grafis yang memudahkan pengguna dalam membangun model geometri dan jaringan elemen secara akurat. Menurut (Situmorang et al., 2021), Plaxis terdiri atas empat subprogram utama, yaitu input, calculation, output, dan curves. Dalam konteks analisis pondasi bore pile, Plaxis 2D digunakan untuk mensimulasikan interaksi antara tanah dan tiang secara lebih realistis. Analisis ini mencakup distribusi tegangan, pola deformasi, serta respons penurunan akibat pembebanan. Melalui pendekatan numerik ini, perencana dapat menilai kapasitas dukung pondasi, efisiensi kelompok tiang, dan kestabilan keseluruhan struktur dengan mempertimbangkan kondisi lapangan yang mendekati keadaan sebenarnya.

3. METODE PENELITIAN

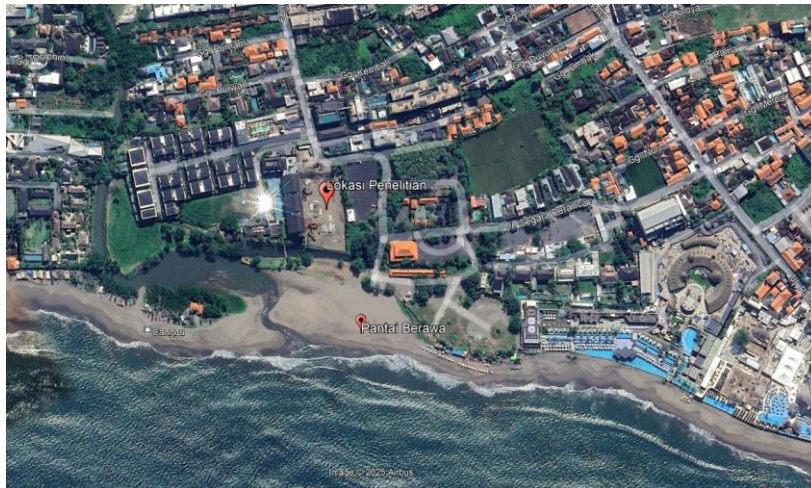
Jenis dan Pendekatan Penelitian

Penelitian ini menggunakan pendekatan kuantitatif dengan metode analisis numerik berbasis elemen hingga (*finite element method*). Pendekatan ini dipilih karena mampu merepresentasikan interaksi tanah dan struktur pondasi secara

lebih realistis dan nonlinier, sehingga menghasilkan gambaran perilaku sistem yang lebih akurat dibandingkan metode konvensional. Proses analisis dilakukan menggunakan perangkat lunak Plaxis 2D, yang dirancang khusus untuk menngkaji deformasi, kestabilan, serta daya dukung pondasi berdasarkan parameter geoteknik yang diperoleh dari hasil pengujian tanah di lapangan.

Lokasi dan Objek Penelitian

Penelitian dilakukan pada proyek gedung perkantoran dan hunian yang berlokasi kawasan peisisr Berawa, Bali. Wilayah ini dipilih karena memiliki karakteristik tanah khas daerah pesisir, yaitu daya dukung yang rendah dan muka air tanah yang tinggi, sehingga menuntut perencanaan pondasi yang cermat dan sesuai kondisi lapangan. Fokus penelitian diarahkan pada pondasi tiang bor (*bore pile*) yang digunakan sebagai sistem pondasi utama dalam proyek, untuk mengevaluasi kinerjanya terhadap kondisi tanah di lokasi tersebut.



Gambar 1. Lokasi penelitian

4. Hasil dan pembahasan

Parameter tanah

Tabel 1 menunjukkan nilai parameter tanah yang digunakan sebagai input dalam pemodelan menggunakan Plaxis 2D. Lapisan tanah dibedakan berdasarkan kedalaman dan karakteristik mekaniknya. Dua model konstitutif digunakan dalam analisis, yaitu Mohr-Coulomb untuk lapisan tanah permukaan dengan perilaku elastis-plastis sederhana, serta Hardening Soil Model untuk lapisan tanah yang lebih dalam, yang mampu merepresentasikan perilaku tegangan-regangan tanah secara lebih realistis.

Pada lapisan 0,00–2,00 m dan 2,00–3,00 m digunakan model Mohr-Coulomb dengan berat isi jenuh (γ_{sat}) masing-masing 17 kN/m³ dan 21 kN/m³, serta nilai kohesi (c') 15–30 kN/m² dan sudut geser dalam (ϕ') 16–30°. Lapisan ini mewakili tanah lunak hingga sedang di permukaan dengan modulus elastisitas relatif rendah ($E = 2.000\text{--}30.000$ kN/m²), sehingga berpotensi mengalami deformasi lebih besar.

Mulai kedalaman 3,00 m hingga 35,00 m, digunakan model Hardening Soil dengan nilai γ_{sat} relatif konstan sekitar 21,5 kN/m³ dan γ_{unsat} sebesar 18 kN/m³. Nilai modulus elastisitas (E dan E_{50ref}) meningkat signifikan, mencapai 180.000 kN/m², yang menunjukkan kondisi tanah yang lebih padat dan kuat. Nilai kohesi (c') konstan pada 0,26 kN/m² dan sudut geser dalam (ϕ') sebesar 45°, menandakan lapisan ini memiliki kapasitas dukung tinggi dan berperilaku seperti pasir padat atau tanah keras.

Secara keseluruhan, parameter tanah tersebut menunjukkan bahwa kekuatan dan kekakuan tanah meningkat seiring bertambahnya kedalaman, yang berarti beban pondasi tiang bor dapat dialirkan secara efektif ke lapisan tanah yang lebih kuat di bawah permukaan.

Tabel 1. Nilai Parameter Input PLAXIS 2D

Layer (kedalaman)	Soil Model	γ_{sat}	γ_{unsat}	E (kN/m ²)	E50ref (kN/m ²)	ν	c' (kN/m ²)	ϕ' (°)
0.00 – 2.00 m	Mohr-coulomb	17	17	2000	2000	0.45	15	16
2.00 – 3.00 m	Mohr-coulomb	21	18.5	30000	30000	0.32	0	30

3.00 – 8.00 m	Hardening Soil	20	19	54000	54000	0.3	0	32,4
8.00 – 9.00 m	Hardening Soil	21.5	18	180000	180000	0.26	0	45
9.00 – 26.00 m	Hardening Soil	21.5	18	180000	180000	0.26	0	45
26.00 – 28.00 m	Hardening Soil	21.5	18	180000	180000	0.26	0	45
28.00 – 31.00 m	Hardening Soil	21,5	18	180000	180000	0.26	0	45
31.00 – 35.00 m	Hardening Soil	21.5	18	180000	180000	0.26	0	45

Daya Dukung Pondasi Tiang Bor

Gambar 2 menunjukkan hasil keluaran (output) dari analisis stabilitas menggunakan Plaxis 2D berupa grafik hubungan antara faktor pengali kekuatan tanah (Σ -Msf) dengan tahapan pembebanan (load step). Nilai Σ -Msf merepresentasikan rasio antara kondisi tegangan aktual terhadap kapasitas maksimum tanah sebelum mengalami keruntuhan.

Pada grafik terlihat bahwa nilai Σ -Msf meningkat secara bertahap seiring dengan penambahan beban hingga mencapai nilai puncak sekitar 2,658, yang menandakan kondisi batas ultimit (ultimate state) sistem tanah–pondasi. Kenaikan bertahap pada kurva menunjukkan bahwa deformasi dan redistribusi tegangan berlangsung secara progresif, tanpa adanya indikasi ketidakstabilan mendadak.

Nilai Σ -Msf maksimum ini digunakan sebagai dasar untuk menghitung daya dukung ultimit pondasi tiang bor (Q_u) dengan mengalikan beban kerja aktual terhadap faktor kekuatan yang dapat dilihat pada perhitungan berikut.

Diketahui:

$$P_{all} = 2158 \text{ kN}$$

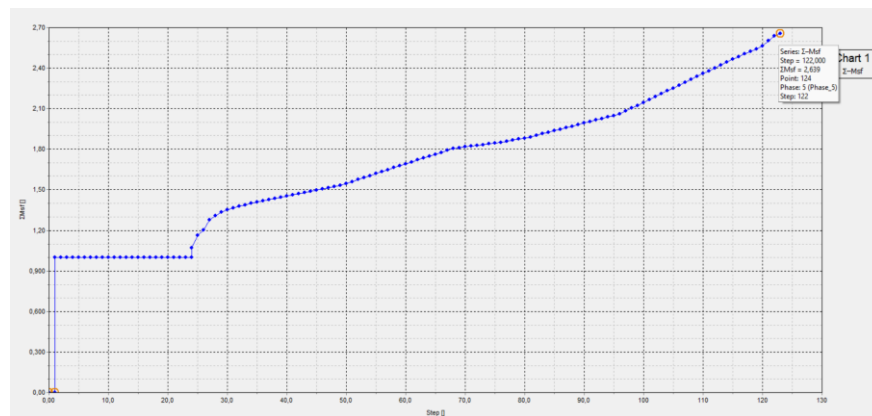
$$\Sigma Msf = 2,658 \text{ kN}$$

Penyelesaian:

$$\begin{aligned} Q_u &= P_{all} \times \Sigma Msf \\ &= 2158 \times 2,658 \end{aligned}$$

$$Q_u = 5735 \text{ kN}$$

$$\text{Kontrol} = 5735 < 2158 \text{ (Aman)}$$



Gambar 3. Grafik Nilai Σ -Msf (*Sum of Multiplication Strength Factor*)

Total Displacements

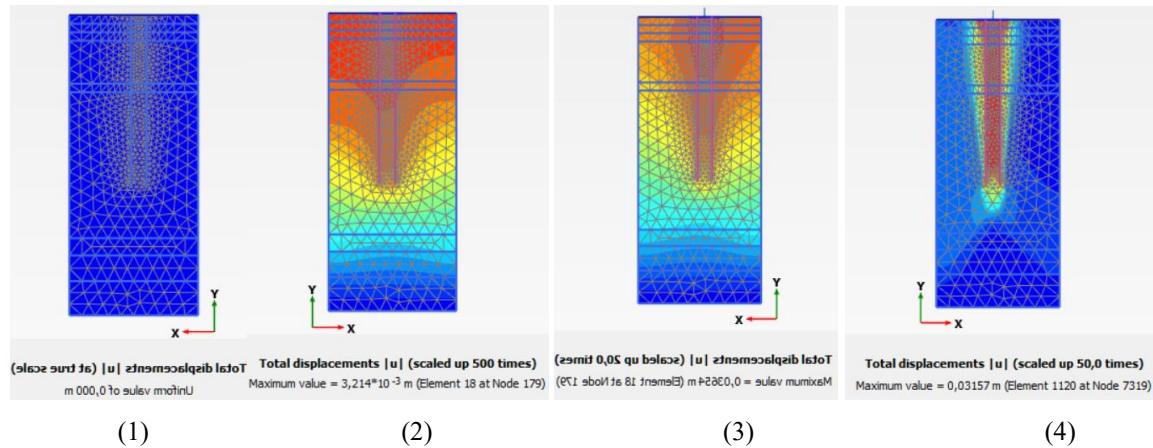
Gambar 3 menampilkan hasil analisis Total Displacements pada empat fase pemodelan menggunakan Plaxis 2D, yaitu fase inisial, fase pile cap, fase pembebanan, dan fase faktor keamanan (safety factor).

Pada fase inisial, tanah berada dalam kondisi awal tanpa pengaruh beban, sehingga tidak terjadi perpindahan (displacement) dan kontur warna seragam menunjukkan keadaan stabil. Memasuki fase pile cap, mulai terlihat pergeseran kecil di sekitar kepala tiang dengan nilai maksimum $3,24 \times 10^{-3}$ m, menandakan adanya deformasi lokal akibat pemasangan pile cap yang menghubungkan kelompok tiang.

Pada fase pembebanan, distribusi perpindahan meningkat secara signifikan hingga mencapai 0,03545 m. Warna merah-oranye pada area di sekitar tiang menggambarkan konsentrasi deformasi akibat beban vertikal dari struktur

atas, di mana sebagian besar pergerakan terjadi pada lapisan tanah lunak di sekitar dan di bawah ujung tiang. Sedangkan pada fase safety factor, nilai perpindahan sedikit berkurang menjadi 0,03157 m, menandakan bahwa sistem pondasi masih dalam kondisi stabil dengan deformasi yang terkendali.

Secara keseluruhan, hasil Total Displacements memperlihatkan bahwa pergeseran terbesar terjadi pada fase pembebanan, dan menurun pada fase keamanan. Hal ini menunjukkan bahwa pondasi tiang bor mampu menyalurkan beban secara efektif ke lapisan tanah yang lebih kuat tanpa menyebabkan penurunan berlebih yang dapat mengganggu kestabilan struktur.



Gambar 2. Total Displacements
(1) Fase initial ; (2) Fase pile cap ; (3) Fase beban ; (4) Fase Safety factor

5. KESIMPULAN

Berdasarkan hasil analisis numerik menggunakan Plaxis 2D, dapat disimpulkan bahwa:

1. Model pemodelan tanah menggunakan kombinasi Mohr-Coulomb dan Hardening Soil Model mampu merepresentasikan kondisi lapangan dengan baik, di mana kekakuan dan kekuatan tanah meningkat seiring kedalaman, memungkinkan transfer beban pondasi yang efektif.
2. Nilai Σ -Msf maksimum sebesar 2,658 menunjukkan bahwa sistem tanah–pondasi berada dalam kondisi stabil hingga mencapai batas ultimit, dengan daya dukung ultimit (Q_u) sebesar 5.735 kN dan daya dukung izin (P_{all}) sebesar 2.158 kN.
3. Hasil analisis total displacement memperlihatkan deformasi maksimum 0,035 m, yang masih berada dalam batas aman sesuai standar SNI 8460:2017, menandakan pondasi tiang bor berperforma baik terhadap beban vertikal struktur atas.
4. Pendekatan numerik berbasis elemen hingga dengan Plaxis 2D terbukti efektif dalam menggambarkan perilaku interaksi tanah dan struktur secara lebih realistis dibandingkan metode empiris konvensional.
5. Hasil penelitian ini dapat menjadi acuan teknis dalam perencanaan pondasi di wilayah pesisir, khususnya yang memiliki kondisi tanah berdaya dukung rendah, untuk mendukung pembangunan infrastruktur yang aman dan berkelanjutan.

DAFTAR PUSTAKA

- Hardiyatmo, H. C. (2014). *Analaisis & Perancangan Fondasi I* (Edisi ke-3). Gadjah mada University Press.
- Hardiyatmo, H. C. (2015). *Analisis & Perancangan Fondasi II* (Edisi ke-3). Gadjah mada University Press.
- Jihan, K. (2025). *Analisis Daya Dukung Pondasi Bored Pile Berdasarkan Data SPT Pada Proyek Pembangunan RSUD Kota Yogyakarta*. Universitas Islam Indonesia.
- Situmorang, A., Muldyanto, A., & Purwanto, P. (2021). Pelatihan Software Plaxis Bagi Mahasiswa Teknik Sipil. *JMM - Jurnal Masyarakat Merdeka*, 4(2), 1–5. <https://doi.org/10.51213/jmm.v4i2.94>