

ANALISA DESAIN FONDASI TIANG BOR MENGGUNAKAN APLIKASI PLAXIS 2D DAN GEO5 PADA TANAH LUNAK

Ni Putu Wintya Tresna Dewi^{1*}, I Nengah Sinarta^{2,1}

¹**Program Studi Teknik Sipil, Universitas Warmadewa, Jl. Terompong No. 24, Denpasar
e-mail: wintya13@gmail.com*

^{2,1} *Magister Rekayasa Infrastruktur dan Lingkungan, Universitas Warmadewa, Jl. Terompong No. 24, Denpasar
e-mail: inengahsinarta@warmadewa.ac.id*

ABSTRAK

Peningkatan pembangunan gedung bertingkat di Bali menuntut perencanaan fondasi yang kuat, aman, dan efisien, terutama pada wilayah dengan kondisi tanah lunak yang memiliki kuat geser rendah dan kompresibilitas tinggi. Penelitian ini bertujuan untuk menganalisis kekuatan fondasi tiang bor pada tanah lunak dengan menggunakan tiga pendekatan, yaitu perhitungan manual, perangkat lunak GEO5, dan PLAXIS 2D. Analisis dilakukan untuk membandingkan nilai daya dukung, penurunan fondasi, serta kesesuaian hasil antar metode. Parameter tanah diperoleh dari hasil uji Cone Penetration Test (CPT) di wilayah Pedungan, Denpasar Selatan, dengan kedalaman tiang 18 m dan diameter 0.6 m. Hasil perhitungan manual menunjukkan daya dukung ultimit sebesar 4257.860 kN, daya dukung ijin 1419.287 kN, dan penurunan sebesar 4.468 mm, yang masih di bawah batas penurunan ijin 23.333 mm. Simulasi menggunakan GEO5 menghasilkan penurunan sebesar 4.530 mm, sedangkan PLAXIS 2D memberikan hasil sebesar 6.762 mm. Perbedaan hasil tersebut disebabkan oleh pendekatan analisis yang berbeda, di mana PLAXIS 2D memperhitungkan perilaku non-linear tanah secara numerik menggunakan metode elemen hingga. Hasil penelitian menunjukkan bahwa ketiga metode memberikan hasil yang konsisten dan valid, dengan PLAXIS 2D lebih unggul dalam menganalisis distribusi tegangan dan deformasi, sedangkan GEO5 lebih efisien untuk estimasi awal. Secara keseluruhan, fondasi tiang bor pada tanah lunak di lokasi penelitian dinyatakan aman, stabil, dan layak digunakan untuk mendukung struktur bangunan bertingkat di wilayah Bali.

Kata kunci: penurunan, tiang bor, PLAXIS 2D, GEO5

1. PENDAHULUAN

Pembangunan infrastruktur dan gedung bertingkat di Bali mengalami peningkatan signifikan seiring dengan meningkatnya kebutuhan akan fasilitas publik, perkantoran, dan ruang usaha. Kondisi ini menuntut perencanaan struktur bangunan yang tidak hanya kuat dan aman, tetapi juga efisien serta ekonomis. Salah satu komponen penting dalam perencanaan struktur adalah fondasi, yang berfungsi menyalurkan beban dari struktur atas ke tanah dasar. Kinerja fondasi yang baik akan menentukan kestabilan dan umur layan bangunan secara keseluruhan.

Dalam konteks geoteknik, kondisi tanah di Indonesia sangat bervariasi, termasuk di Bali yang pada beberapa wilayah memiliki lapisan tanah lunak. Tanah lunak umumnya memiliki kuat geser rendah, kompresibilitas tinggi, serta potensi penurunan yang besar akibat beban struktur. Kondisi ini dapat menimbulkan permasalahan seperti penurunan diferensial dan kegagalan geser apabila fondasi tidak direncanakan secara tepat. Oleh karena itu, diperlukan pemilihan jenis fondasi yang sesuai dengan karakteristik tanah setempat agar struktur bangunan dapat bekerja dengan stabil dan aman.

Penelitian ini bertujuan untuk menganalisis dan membandingkan kinerja fondasi tiang bor (bored pile) tanah lunak ditinjau dari aspek daya dukung, penurunan. Analisis dilakukan pada model bangunan lim lantai dengan kondisi beban ultimit untuk memperoleh hasil yang representatif terhadap kondisi lapangan. Hasil penelitian diharapkan dapat memberikan kontribusi dalam menentukan jenis fondasi yang optimal dari segi teknis dan ekonomis, serta menjadi acuan bagi perencanaan struktur dalam menerapkan sistem fondasi yang aman, efisien, dan berkelanjutan di wilayah Bali maupun daerah lain dengan karakteristik tanah serupa.

2. TINJAUAN PUSTAKA

Fondasi

Fondasi dapat didefinisikan sebagai bangunan bawah tanah atau batuan disekitarnya yang akan dipengaruhi oleh elemen bangunan bawah dan bebannya. Dimana fondasi berfungsi meneruskan beban dari bangunan atas (upper structure) ke lapisan tanah di bawahnya tanpa mengalami keruntuhan geser tanah dan penurunan (settlement) tanah/fondasi yang melebihi batasan ijin.(Andriani M.T 2016)

Sedangkan teknik fondasi merupakan ilmu pengetahuan dan seni yang memakai prinsip-prinsip mekanika tanah dan mekanika teknik secara bersamaan dengan penilaian (seni) untuk memecahkan persoalan elemen perantara (*interfacing problem*). (Andriani M.T 2016)

Secara umum fondasi dibedakan menjadi 2 jenis yaitu fondasi dalam dan fondasi dangkal, pemilihan ini ditentukan berdasarkan besarnya beban atau kondisi tanah dimana fondasi itu didirikan.



Gambar. 1 Jeni-Jenis Fondasi
Sumber : (Hary Chistady Hardiyatmojo 2011)

Fondasi Tiang Bor (*Bored Pile*)

Fondasi tiang bor merupakan salah satu jenis fondasi dalam (*Deep Foundations*) yang menggunakan metode pelaksanaan pengeboran tanah terlebih dahulu. Perencanaan fondasi tiang bor harus mempertimbangkan syarat-syarat daya dukung dan penurunan tanah yang sudah disyaratkan. Daya dukung fondasi tiang bor yang diijinkan harus lebih besar daripada beban struktur atas yang dipikul fondasi ($Q_{all} > P$) dengan mempertimbangkan daya dukung yang diijinkan merupakan perbandingan dari daya dukung ultimit dan nilai faktor kramatan (Q_u/FS).



Gambar. 2 Fondasi Tiang Bor
Sumber : (Hakam 2008)

Kekurangan Fondasi Tiang Bor

Berikut kekurangan penggunaan fondasi tiang bor :

1. Suhu dan kelembapan memengaruhi proses pengerasan serta kualitas beton saat pengecoran.
2. Pengaruh air tanah yang tidak terkontrol dapat menurunkan mutu beton dan menyulitkan mengontrol kualitas beton.
3. Proses pengeboran dapat mengurangi kepadatan tanah di sekitar tiang, terutama tanah pasir dan berkerikil.
4. Diperlukan temporary casing untuk mencegah kelongsoran lubang bor, namun menambah biaya dan kompleksitas pekerjaan.

Keuntungan Fondasi Tiang Bor

Berikut keuntungan penggunaan fondasi tiang bor :

1. Pemasangan tanpa getaran sehingga menjaga integritas struktur bangunan disekitar.
2. Tidak mengubah permukaan tanah sehingga meminimalisir gangguan kondisi tanah di sekitar.

3. Variasi kedalaman tiang yang fleksibel mengikuti kondisi di lapangan.
4. Kemampuan menembus batuan yang kompleks.

Tanah Lunak

Tanah lunak merupakan tanah-tanah yang jika dikenali dan diselidiki secara seksama dapat menyebabkan masalah ketidakstabilan dan penurunan jangka panjang yang tidak dapat ditolerir, tanah tersebut mempunyai kuat geser yang rendah dan kompresibilitas yang tinggi. (Departemen Permukiman dan Prasarana Wilayah 2002)



Gambar. 3 Tanah Lunak
Sumber : Petra Nusa Elshada

Tabel 1 Kriteria Tanah Lunak

Sumber : (Departemen Permukiman dan Prasarana Wilayah 2002)

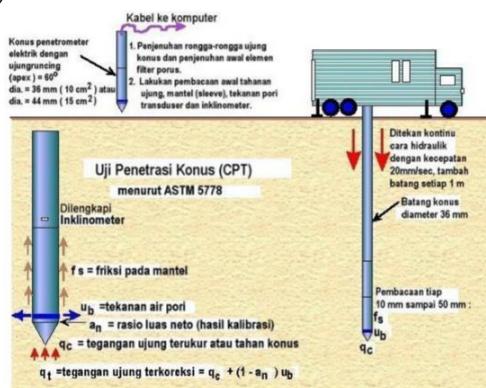
Parameter	Very Soft Soil	Soft Soil
c (t/m ²)	12,5 – 25	2 – 4
qc (kg/cm ²)	< 12,5	6 – 10
N-SPT	< 2	3 – 5

Penelitian Tanah

Pengujian tanah di lapangan sangat berguna untuk mengetahui karakteristik tanah dalam mendukung beban fondasi dengan tidak dipengaruhi oleh kerusakan contoh tanah akibat operasi pengeboran dan penanganan tanah.

a. Pengujian dengan alat CPT (*Cone Penetration Test*)

Pengujian sondir atau *Cone Penetration Test* (CPT) merupakan salah satu pengujian lapangan yang bertujuan untuk mengetahui profil atau lapisan (stratifikasi) tanah dan daya dukungnya. Stratifikasi tanah dan daya dukung dapat diketahui dari kombinasi hasil pembacaan tahanan ujung (qc) dan gesekan selimutnya (fs). Alat sondir berbentuk silindris dengan ujungnya berupa konus. Prosedur pengujian Sondir mengacu pada SNI 2827:2008. (Direktorat Bina Marga 2016)



Gambar. 4 Cara kerja alat sondir (CPT)
Sumber : (Direktorat Bina Marga 2016)

b. Daya Dukung Fondasi Tiang Uji CPT

Daya dukung dihitung menggunakan metode deRuiter dan Beringen

- Daya Dukung Tiang Tunggal

$$Q_u = Q_b + Q_s - W_p \quad (1)$$

$$Q_b = A_b \times f_b \quad (2)$$

$$Q_s = A_s \times f_s \quad (3)$$

$$Q_a = Q_u/F \quad (4)$$

Dengan :

A_b = Luas ujung bawah tiang, (m^2)

f_b = Tahanan Ujung satuan (5 Cu)

Cu = Kohesi tak terdrainase, (qc/N_k)

N_k = Koefisien tak terdrainase (diantara 15 - 20)

Q_a = Kapasitas dukung ijin (kN/m^2)

A_s = Luas selimut tiang (m^2)

f_s = Tahanan gesek satuan ($\alpha.Cu \leq 1.2 \text{ kg/cm}^2$)

W_p = Berat tiang, (kN)

α = faktor adhesi diambil 1 untuk lempung terkonsolidasi normal dan 0.5 untuk lempung terkonsolidasi berlebih.

- Kebutuhan tiang

$$n = P_u / Q_a \quad (5)$$

Dengan :

P_u = Beban yang diterima dari kolom (kN)

Q_a = daya dukung ijin (kN/m^2)

n = jumlah tiang

- Kebutuhan spasi tiang

Syarat spasi antar tiang menggunakan permasaan :

$$2D \leq S \leq 4D \quad (6)$$

Dimana :

S = Jarak antar tiang (m)

D = Diameter tiang (m)

- Efisiensi Kelompok Tiang

$$n = 1 - \theta \cdot \frac{(n-1)m + (m-1)n}{90 \cdot m \cdot n} \quad (7)$$

Dengan :

θ = Sudut dalam derajat ($\arctan D/S$)

m = jumlah baris tiang pada satu pilecap

n = jumlah tiang dalam satu baris

c. Penurunan Fondasi Tiang Bor

Penurunan-Segera Uji CPT dengan metode De Beer dan Marten

$$S_i = \left(\frac{H}{C} \right) \ln \frac{po' + \Delta p}{po'} \quad (8)$$

Dengan :

H = kedalaman tiang (m)

po' = Tekanan overburden ($po' = Df \cdot \gamma$)

C = Angka pamampatan/kompresibilitas ($C = 1.5 qc / po'$)

Δp = Tambahan tegangan vertikal (kN/m^2)

Penurunan ijin digunakan rumus :

$$S_{ijin} = 10\% \times D \quad (9)$$

Plaxis 2D

PLAXIS merupakan perangkat lunak berbasis elemen hingga dua dimensi yang digunakan untuk menganalisis deformasi dan stabilitas tanah dalam bidang geoteknik, termasuk evaluasi daya dukung tanah. Program ini dapat memodelkan kondisi dalam dua bentuk analisis, yaitu plane strain untuk struktur dengan pembebahan dan tegangan seragam pada potongan melintang, serta axisymmetric untuk struktur berbentuk lingkaran dengan pembebahan merata terhadap pusat. Melalui antarmuka grafis yang interaktif, pengguna dapat membuat model geometri, menentukan parameter tanah, serta menghasilkan keluaran berupa grafik dan kurva yang menggambarkan perilaku tanah dan struktur dengan akurat.

Penggunaan PLAXIS memungkinkan analisis yang lebih realistik karena dapat mengintegrasikan tahapan pelaksanaan lapangan ke dalam simulasi numerik. Dengan memasukkan kondisi lapangan seperti data tanah, beban, dan tahapan

konstruksi, hasil simulasi yang dihasilkan diharapkan mampu mencerminkan perilaku sebenarnya di lapangan. Oleh karena itu, PLAXIS menjadi alat yang efektif untuk mendukung perencanaan dan evaluasi fondasi, serta meningkatkan ketepatan analisis teknis dalam perancangan struktur geoteknik.

GEO5

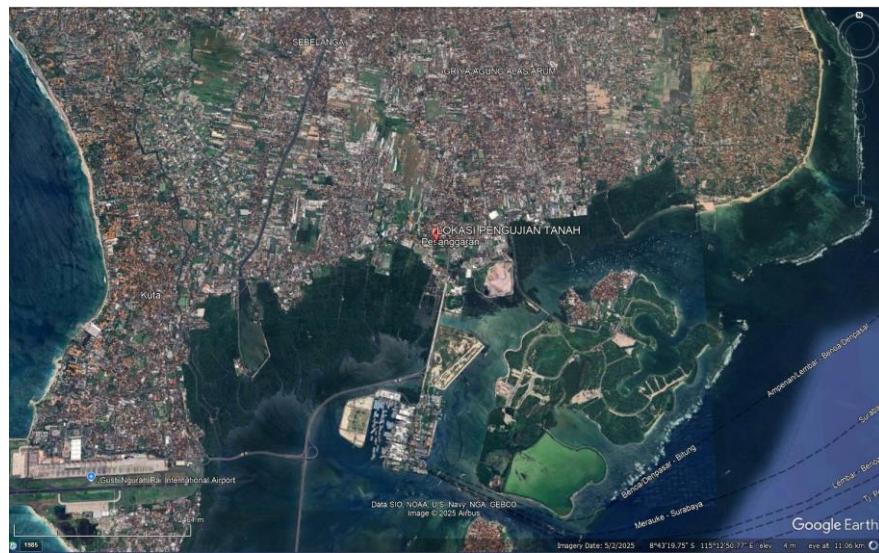
GEO5 merupakan perangkat lunak geoteknik yang dirancang untuk melakukan analisis dan perancangan berbagai jenis struktur tanah dan fondasi. Aplikasi ini menggunakan metode elemen hingga serta pendekatan analitis untuk menghitung stabilitas lereng, daya dukung fondasi, tekanan tanah, serta interaksi antara tanah dan struktur. Dengan berbagai modul terpisah yang saling terintegrasi, GEO5 memungkinkan pengguna untuk menganalisis kondisi geoteknik secara spesifik sesuai jenis permasalahan yang diteliti, seperti analisis dinding penahan tanah, pondasi dangkal, pondasi tiang, maupun perkuatan tanah.

Dalam konteks penelitian geoteknik, GEO5 berperan sebagai alat bantu utama untuk memverifikasi hasil perhitungan teoritis dan mendukung validasi terhadap data lapangan. Program ini memberikan kemudahan dalam pemodelan geometri, penentuan parameter tanah, serta simulasi pembebaan yang mendekati kondisi sebenarnya di lapangan. Hasil keluaran berupa grafik, diagram tegangan, dan deformasi membantu peneliti memahami perilaku tanah serta efektivitas sistem fondasi yang digunakan. Dengan demikian, penggunaan GEO5 dalam penelitian geoteknik dapat meningkatkan ketelitian analisis dan efisiensi dalam perencanaan struktur tanah secara komprehensif.

3. METODELOGI PENELITIAN

Lokasi Penelitian

Bangunan ini berdiri di atas tanah lunak yang berlokasi di Jalan By Pass Ngurah Rai, Desa/Kel. Pedungan, Kecamatan Denpasar Selatan, Kota Denpasar, Provinsi Bali. Karena merupakan wilayah berdekatan dengan rawa-rawa sehingga spesifikasi tanah daerah Pedungan Denpasar umumnya merupakan jenis Tanah Lunak.



Gambar. 5 Lokasi Penelitian

Data Tanah

Berdasarkan data hasil penyelidikan lapangan pengujian sondir atau *Cone Penetration Test* (CPT) diperoleh data sebagai berikut yang nantinya akan di input pada software PLAXIS 2D dan GEO5. Beberapa parameter diperoleh dari korelasi yang mengacu pada penelitian yang telah banyak digunakan. Berikut tabel parameter yang di input pada software PLAXIS 2D dan GEO5.

Tabel 2 Nilai Parameter yang diinput pada software

Kedalaman (m)	Q_c (kg/cm ²)	Tipe Soil	γ_{sat} (kN/m ³)	γ_{unsat} (kN/m ³)	C_u (kN/m ²)	E (kN/m ²)	E_{so} (kN/m ²)	v	ϕ (°)	ϕ' (°)
0 – 2 m	20	Soft Soil	18	15.83	26.7	4000	4000	0.32	17	16.2
2 – 5 m	30	Soft Soil	19	18.55	0	22500	7500	0.3	30.8	29.3
5 - 8 m	20	Soft Soil	20	16	0	15000	5000	0.3	29.5	28.5

8 - 15 m	25	Soft Soil	20.5	17	0	18750	6250	0.3	30.1	28.9
15 - 18 m	210	Soft Soil	21	19.02	0	157500	52500	0.26	53.3	42.8

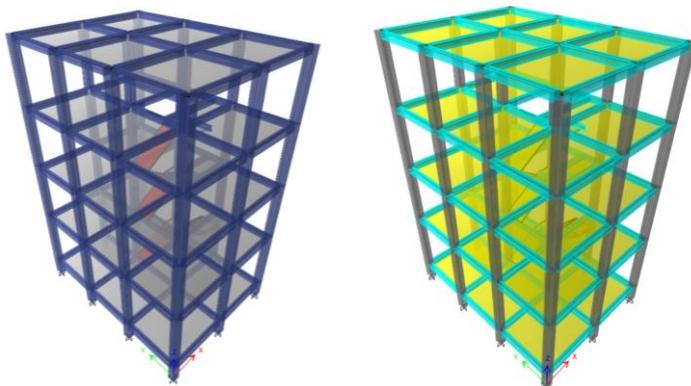
Data Bangunan

Data analisis yang digunakan :

Fungsi bangunan	= Bangunan Hunian
Jumlah Lantai	= 4 lantai
Panjang tiang	= 18 m
Diameter tiang	= 0.6 m
Jarak antar tiang	= 1.5 m
Beban aksial maksimum, P_u	= 1111.485 kN
Momen arah x akibat beban terfaktor, M_{ux}	= 5.807 kN.m
Momen arah y akibat beban terfaktor, M_{uy}	= 4.391 kN.m
Faktor keamanan, FS	= 2.5

Pemodelan dengan ETABS

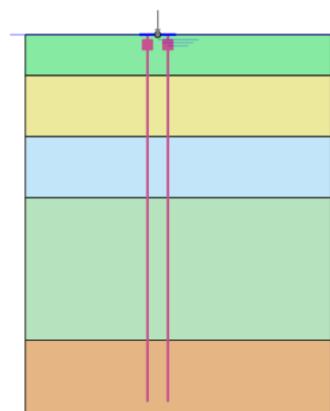
Pemodelan dilakukan menggunakan bantuan program ETABS untuk mendapatkan gaya-gaya dalam yang terjadi pada struktur. Untuk mencari gaya dalam yang bekerja pada fondasi menggunakan kombinasi 1D+1L. Pemodelan dapat dilihat pada gambar kerikut :



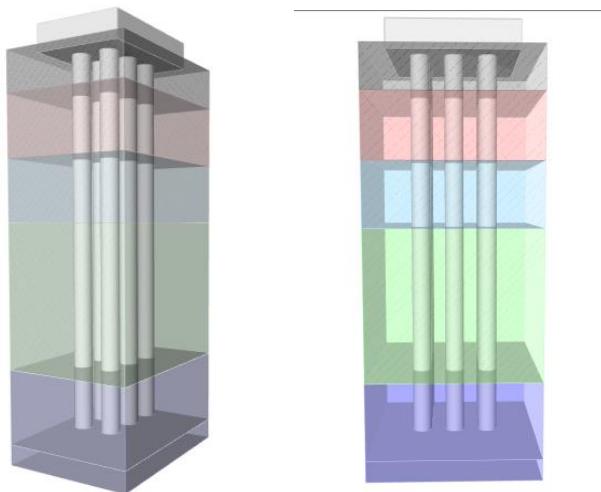
Gambar. 6 Pemodelan Bangunan di ETABS

Pemodelan dengan PLAXIS 2D dan GEO5

Pemodelan dilakukan secara tersusun dari penentuan jenis tanah dan lapisan, pembuatan model hingga memasukan spesifikasi dari material yang digunakan. Berikut pemodelan fondasi tiang pada PLAXIS 2D:



Gambar. 7 Pemodelan Fondasi Tiang Bor PLAXIS 2D



Gambar. 8 Pemodelan fondasi tiang bor pada GEO5

4. HASIL DAN PEMBAHASAN

Analisis kekuatan fondasi tiang bor pada tanah lunak dalam penelitian ini dilakukan dengan menggunakan tiga pendekatan, yaitu perangkat lunak GEO5, PLAXIS 2D, dan perhitungan manual untuk memperoleh hasil yang komprehensif dan saling tervalidasi. Perangkat lunak GEO5 digunakan untuk menghitung daya dukung tiang bor berdasarkan pendekatan analitis dan empiris dengan mempertimbangkan parameter tanah seperti kohesi, sudut geser dalam, dan berat volume tanah, sehingga diperoleh kontribusi tahanan ujung dan gesekan selimut tiang secara teoritis.

Selanjutnya, simulasi numerik menggunakan PLAXIS 2D dilakukan untuk menganalisis interaksi tanah-struktur secara lebih mendalam dengan metode elemen hingga, yang mampu memodelkan distribusi tegangan, deformasi, serta perilaku non-linear tanah lunak di sekitar tiang. Model tanah seperti Mohr-Coulomb atau Hardening Soil digunakan untuk merepresentasikan karakteristik sebenarnya dari tanah lunak dalam kondisi beban ultimit. Sementara itu, perhitungan manual berdasarkan teori klasik daya dukung tiang digunakan sebagai dasar pembanding untuk memverifikasi hasil yang diperoleh dari GEO5 dan PLAXIS.

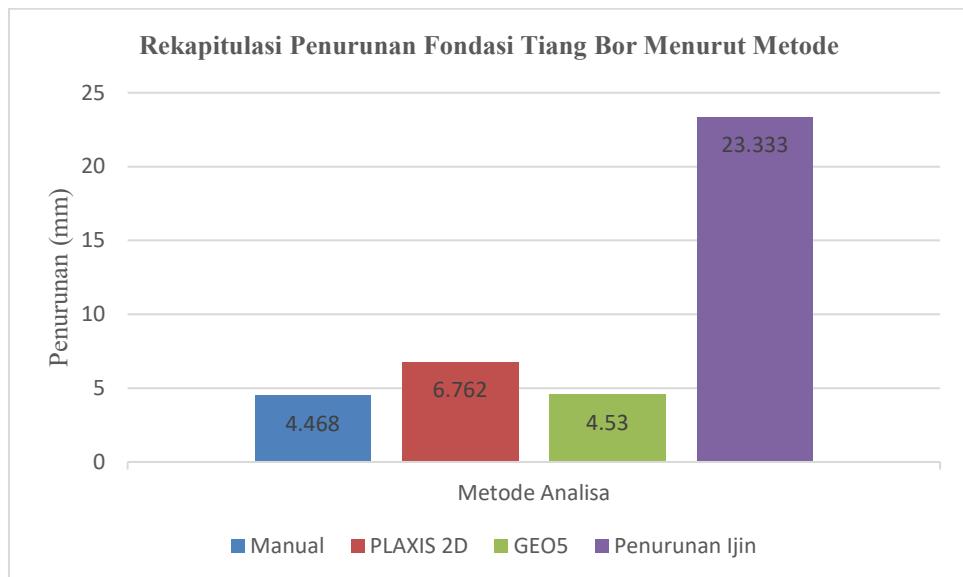
Berikut rekapitulasi dari hasil penggunaan analisa manual :

Daya dukung, Q_u	= 4257.860 kN
Daya dukung ijin, Q_a	= 1419.287 kN
Jumlah tiang	= 6 buah
Dimensi pile cap	= 5 m x 3.5 m x 1.3 m
Penurunan, S_i	= 4.468 mm

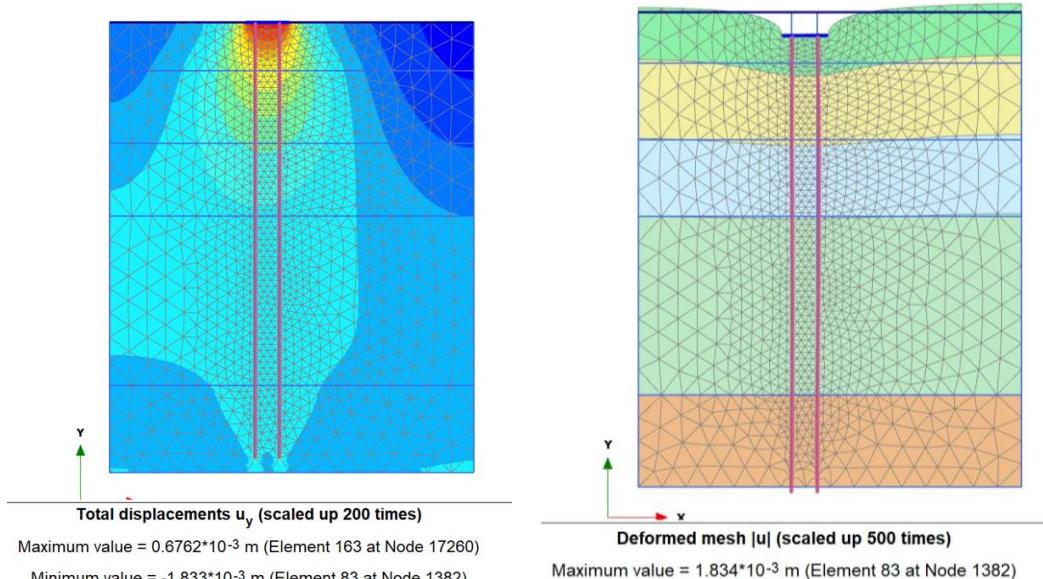
Dengan dimensi fondasi tiang yang sama dilakukan pemodelan pada PLAXIS 2D dan GEO5, output yang dibandingkan dari hasil keduanya adalah penurunan yang terjadi. Berikut tabel penurunan yang terjadi pada perhitungan manual dan menggunakan software:

Tabel 3 Rekapitulasi Penurunan Tiang Bor

Keterangan	Manual (mm)	PLAXIS (mm)	GEO5 (mm)	Penurunan Ijin (mm)
Penurunan	4.468	6.762	4.530	23.333



Gambar. 9 Diagram Rekapitulasi Penurunan



Gambar. 10 Penurunan yang terjadi pada PLAXIS 2D

5. KESIMPULAN

Berdasarkan hasil analisis perhitungan manual serta simulasi menggunakan perangkat lunak PLAXIS 2D dan GEO5, diperoleh beberapa kesimpulan sebagai berikut:

1. Karakteristik tanah lunak di lokasi penelitian menunjukkan nilai kuat geser yang rendah dan kompresibilitas tinggi, sehingga sangat memengaruhi daya dukung serta penurunan yang terjadi pada fondasi tiang bor. Oleh karena itu, pemilihan jenis dan dimensi fondasi harus direncanakan secara cermat agar dapat menjamin kestabilan struktur bangunan di atasnya.
2. Hasil perhitungan manual menunjukkan nilai daya dukung ultimit (Q_u) sebesar 4257.860 kN, dengan daya dukung ijin (Q_a) sebesar 1419.287 kN, serta penurunan sebesar 4.468 mm. Nilai ini masih berada di bawah penurunan ijin sebesar 23.333 mm, sehingga fondasi dinyatakan aman terhadap beban struktur yang bekerja.
3. Hasil simulasi dengan perangkat lunak PLAXIS 2D menunjukkan penurunan sebesar 6.762 mm, sedangkan GEO5 menghasilkan penurunan sebesar 4.530 mm. Perbedaan hasil ini terjadi karena PLAXIS 2D menggunakan metode elemen hingga yang memperhitungkan perilaku non-linear tanah serta distribusi tegangan yang lebih kompleks, sehingga hasilnya lebih konservatif dan mendekati kondisi sebenarnya di lapangan.
4. Visualisasi kontur deformasi pada PLAXIS 2D memperlihatkan bahwa zona penurunan terbesar terjadi di sekitar

ujung fondasi tiang, menandakan adanya konsentrasi tegangan akibat beban vertikal dari struktur atas. Hal ini menunjukkan pentingnya penggunaan analisis numerik untuk memahami interaksi tanah dan struktur secara detail pada kondisi tanah lunak.

5. Berdasarkan keseluruhan hasil analisis, dapat disimpulkan bahwa pendekatan numerik (PLAXIS 2D) dan analitis (GEO5) dapat saling melengkapi dalam perencanaan fondasi tiang bor. PLAXIS 2D lebih unggul untuk analisis deformasi dan perilaku tanah yang kompleks, sementara GEO5 efektif untuk estimasi awal dan verifikasi hasil perhitungan manual. Secara keseluruhan, fondasi tiang bor yang direncanakan pada tanah lunak di lokasi penelitian memenuhi kriteria keamanan, efisiensi, serta kestabilan struktur bangunan.

6. DAFTAR PUSTAKA

Hakam, Abdul. 2008. *Rekayasa Pondasi*. Padang.

Departemen Permukiman dan Prasarana Wilayah. 2002. *Panduan Geoteknik I Proses Pembentukan dan Sifat-Sifat Dasar Tanah Lunak*.

Direktorat Bina Marga. 2016. *PETUNJUK TEKNIS PENGUJIAN TANAH*.

Hary Chistady Hardiyatmojo. 2011. *ANALISIS & PERANCANGAN FONDASI - I*. Yogyakarta.

Andriani M.T, Ir. Utari Wessy. 2016. *PONDASI DANGKAL*. Malang.