

ANALISIS PERBANDINGAN DAYA DUKUNG AKSIAL DAN PENURUNAN FONDASI TIANG PANCANG BERDASARKAN BEBERAPA METODE INTERPRETASI DATA SONDIR

RINA YULIET¹, RIKO ZULHENDRA^{1*}, MAULANA ARIF¹, SHAFIRA AYASHA¹

¹*Departemen Teknik Sipil, Fakultas Teknik, Universitas Andalas, Padang, Sumatra Barat*

^{*}*Corresponding Author : rikozulhendra@eng.unand.ac.id*

Naskah diterima : 26 Mei 2026. Disetujui : 12 Juni 2026. Diterbitkan : 30 Juni 2026

ABSTRAK

Perbedaan formulasi empiris berbasis data sondir dapat menghasilkan estimasi kapasitas daya dukung fondasi tiang yang berbeda, sehingga diperlukan evaluasi menggunakan beberapa metode untuk memperoleh desain fondasi yang aman dan efisien. Penelitian ini bertujuan membandingkan kapasitas daya dukung aksial dan penurunan fondasi tiang pancang pada Proyek Gedung Pelayanan BPKB Ditlantas Polda Sumatera Barat berdasarkan dua titik pengujian sondir. Kapasitas daya dukung aksial tiang tunggal dianalisis menggunakan metode Meyerhof, LCPC atau Bustamante dan Ganeselli, serta Nottingham–Schmertmann. Kapasitas kelompok tiang dianalisis menggunakan pendekatan jumlah kapasitas tiang tunggal dan pendekatan blok, sedangkan penurunan kelompok tiang dihitung menggunakan metode Meyerhof dan dibandingkan dengan batas penurunan yang diizinkan. Beban aksial maksimum hasil pemodelan struktur adalah sebesar 1.967,344 kN. Hasil analisis menunjukkan bahwa kapasitas daya dukung ultimit tiang tunggal berada pada rentang 2.451,664–3.811,212 kN. Nilai tertinggi diperoleh menggunakan metode LCPC pada Sondir 2, sedangkan nilai terendah diperoleh menggunakan metode Nottingham–Schmertmann pada Sondir 1. Perbedaan hasil antar metode terutama dipengaruhi oleh besarnya kontribusi tahanan ujung dan tahanan sisi, dengan metode LCPC menunjukkan sensitivitas yang lebih tinggi terhadap variasi data sondir. Pada konfigurasi kelompok yang terdiri atas empat tiang, diperoleh efisiensi kelompok sebesar 1,00 dan kapasitas daya dukung izin seluruh metode lebih besar daripada beban struktur. Penurunan kelompok tiang berkisar antara 0,431–0,666 cm dan masih berada di bawah batas penurunan izin. Dengan demikian, fondasi tiang pancang yang direncanakan memenuhi persyaratan keamanan terhadap daya dukung aksial dan penurunan.

Kata kunci : fondasi tiang pancang; daya dukung aksial; uji sondir; kelompok tiang; penurunan fondasi.

1. PENDAHULUAN

Fondasi merupakan elemen struktur yang berfungsi meneruskan beban bangunan ke lapisan tanah secara aman dan menjamin kestabilan konstruksi. Pada kondisi tanah dengan daya dukung rendah, fondasi dangkal tidak mampu menahan beban sehingga digunakan fondasi dalam, salah satunya tiang pancang. Dalam praktik rekayasa sipil, tiang pancang banyak digunakan untuk mentransfer beban struktur ke lapisan tanah yang lebih kuat. Namun, metode pemasangan tiang seperti pemancangan atau pengeboran dapat mengubah kondisi tanah di sekitarnya sehingga memengaruhi perilaku tiang dalam menerima beban (Mortezaee dkk., 2026).

Kapasitas daya dukung tiang pancang berasal dari dua komponen utama, yaitu tahanan ujung dan gesekan selimut (Sari dan Wardani, 2021). Penentuan kedua komponen tersebut sangat dipengaruhi oleh metode analisis yang digunakan, sehingga pemilihan metode yang tepat menjadi faktor penting dalam perencanaan fondasi (Gunawan dkk., 2014). Salah satu metode investigasi tanah yang banyak digunakan adalah uji sondir atau Cone Penetration Test (CPT), karena mampu memberikan data tanah secara kontinu terhadap kedalaman dan dapat langsung digunakan dalam perhitungan daya dukung tiang (Moshfeghi dkk., 2016; Zwara dan Balachowski, 2022; Kar dan Ansary, 2023).

Berbagai metode berbasis data CPT telah dikembangkan, seperti metode Meyerhof, LCPC, serta Nottingham dan Schmertmann. Penelitian sebelumnya menunjukkan bahwa masing-masing metode dapat menghasilkan nilai daya dukung yang berbeda meskipun menggunakan data tanah yang sama (Jan Mihalik dkk., 2023; Mutiara, 2021). Selain itu, pada kondisi aktual di lapangan, fondasi umumnya digunakan dalam bentuk kelompok tiang (pile group), dimana interaksi antar tiang menyebabkan kapasitas kelompok tidak sama dengan jumlah kapasitas tiang tunggal (Hasibuan dkk., 2024; Laura dkk., 2023). Hal ini menunjukkan bahwa analisis kelompok tiang merupakan aspek penting dalam perencanaan fondasi.

Di sisi lain, selain kapasitas daya dukung, penurunan (settlement) fondasi juga menjadi parameter penting dalam evaluasi kinerja fondasi. Penurunan yang berlebihan dapat menyebabkan kerusakan struktural maupun non-struktural. Penelitian menunjukkan bahwa penurunan fondasi tiang terdiri dari beberapa komponen yang dipengaruhi oleh karakteristik tanah dan distribusi beban (Ye dan Sin, 2024; Wang dkk., 2024). Oleh karena itu, analisis daya dukung dan penurunan perlu dilakukan secara bersamaan untuk memperoleh desain fondasi yang lebih andal (Prasetyo dkk., 2025).

Penelitian ini bertujuan untuk menganalisis kapasitas daya dukung tiang pancang berdasarkan data sondir menggunakan metode Meyerhof, LCPC, serta Nottingham dan Schmertmann, mengevaluasi daya dukung kelompok dan efisiensinya, menghitung penurunan fondasi, serta menganalisis respons tiang terhadap beban lateral berupa defleksi dan momen lentur pada Proyek Gedung Pelayanan BPKB Ditlantas Polda Sumatera Barat. Hasil penelitian ini diharapkan dapat memberikan kontribusi dalam perencanaan fondasi yang lebih optimal, aman, dan sesuai dengan kondisi tanah di lapangan.

2. METODE PENELITIAN

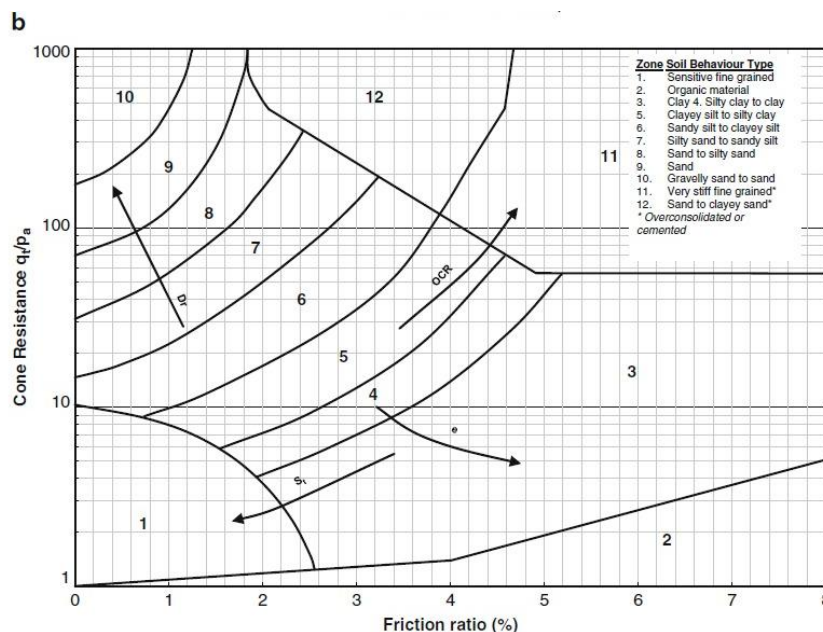
Penelitian ini menggunakan data sekunder berupa hasil uji sondir (CPT) dari Proyek Gedung Pelayanan BPKB Ditlantas Polda Sumatera Barat serta data pembebanan struktur yang diperoleh dari pemodelan menggunakan ETABS. Uji penetrasi kerucut statis (CPT) atau uji sondir adalah pengujian lapangan yang paling sering dilakukan. Uji sondir sangat

berguna pada kondisi uji tanah lempung lunak dan pasir. Hasil dari pengujian ini berupa nilai tahanan kerucut statis atau tahanan conus (q_c) dan tahanan gesek pipa luar (f_s) yang digunakan untuk proses desain fondasi. Pada penelitian ini penentuan profil tanah delikanan dengan menggunakan metode Robertson (1986) seperti terlihat pada Gambar 4 berikut:

Perhitungan daya dukung aksial tiang tunggal dilakukan dengan metode Meyerhof, LCPC, serta Nottingham dan Schmertmann untuk memperoleh hasil yang lebih representatif. Selanjutnya, analisis kelompok tiang dilakukan dengan mempertimbangkan efisiensi kelompok menggunakan pendekatan jumlah tiang dan metode blok. Penurunan fondasi dihitung menggunakan metode Meyerhof, kemudian dibandingkan dengan penurunan izin untuk mengevaluasi keamanan terhadap deformasi. Selain itu, analisis beban lateral dilakukan dengan pendekatan balok pada fondasi elastis untuk memperoleh nilai defleksi dan momen lentur sepanjang tiang.

2.1. Jenis Perilaku Tanah (Soil Behavior Type, SBT)

Data tanah yang digunakan dalam penelitian ini diperoleh dari hasil uji sondir pada proyek Pembangunan Gedung Pelayanan BPKB Ditlantast Polda Sumbar. Data hasil uji sondir tersebut dimanfaatkan untuk menentukan jenis perilaku tanah yang terdapat di lokasi penelitian. Jenis perilaku tanah menggunakan metode Robertson (1986) yang ditunjukkan pada Gambar 1.



Gambar 1. Grafik Soil Behavior Type berdasarkan hasil pengujian CPT (Robertson, 1986)

2.2. Daya dukung aksial tiang tunggal

Daya dukung aksial tiang tunggal merupakan kemampuan tiang dalam menahan beban vertikal yang bekerja, yang berasal dari kombinasi tahanan ujung tiang (*end bearing*) dan tahanan gesek selimut (*skin friction*). Secara umum, kapasitas daya dukung ultimit tiang dapat dinyatakan sebagai:

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

Dimana:

$$\begin{aligned} Q_u &= \text{Daya dukung ultimit tiang} \\ Q_p &= \text{Daya dukung ujung tiang} \\ Q_s &= \text{Daya dukung selimut tiang} \end{aligned}$$

Metode Meyerhof menghitung daya dukung tiang berdasarkan nilai tahanan konus (q_c). Tahanan ujung tiang dihitung dengan:

$$Q_p = A_p \cdot q_c \quad (2)$$

$$Q_s = A_s \cdot JHL \quad (3)$$

Dimana:

$$\begin{aligned} A_p &= \text{Luas penampang ujung tiang} \\ A_s &= \text{Keliling tiang} \\ q_c &= \text{Nilai tahanan ujung dari data sondir} \\ JHL &= \text{Rata-rata jumlah hambatan lekat setiap lapisan tanah} \end{aligned}$$

Metode LCPC merupakan metode empiris berbasis data uji sondir (CPT) yang menggunakan nilai tahanan konus sebagai parameter utama. Tahanan ujung tiang dihitung dari nilai rata-rata tahanan konus di sekitar ujung tiang Sedangkan tahanan gesek selimut dihitung berdasarkan distribusi nilai tahanan konus sepanjang tiang. Daya dukung tiang dihitung dengan:

$$Q_p = A_p \cdot q_p \quad (4)$$

$$Q_s = f_p \cdot A_s \quad (5)$$

$$f_p = \frac{q_c}{\alpha} \quad (6)$$

$$q_p = k_c \cdot q_{ca} \quad (7)$$

Dimana:

$$\begin{aligned} f_p &= \text{Tahanan gesek satuan tiang} \\ q_p &= \text{Tahanan ujung} \\ k_c &= \text{Faktor daya dukung (Tabel 2.1)} \\ \alpha &= \text{Koefisien gesek (Tabel 2.2)} \\ q_{ca} &= \text{Perlawanan konus rata-rata} \end{aligned}$$

Tabel 1. Faktor Daya Dukung, k_c (Bustamante dan Ganeselli 1982)

Nature of soil	q_c (Mpa)	Factors k_c	
		Grup I	Group II
Soft clay and mud	< 1	0,4	0,5
Moderately compact clay	1 to 5	0,35	0,45
Silt and loose sand	≤ 5	0,4	0,5
Compact to stiff clay and compact silt	> 5	0,45	0,55
Soft chalk	≤ 5	0,2	0,3
Moderately compact sand and gravel	5 to 12	0,4	0,5
Weathered to fragmented chalk	> 5	0,2	0,4
Compact to very compact sand and gravel	> 12	0,3	0,4

Grup I digunakan pada fondasi *bore pile* dan Grup II untuk fondasi tiang pancang.

Tabel 2. Faktor Gesek, α Untuk Fondasi Tiang Pancang (Bustamante dan Ganeselli 1982)

Nature of soil	q_c (Mpa)	α	f_p (Mpa)
Soft clay and mud	< 1	90	0,015
Moderately compact clay	1 to 5	40	0,035

Factors k_c			
Silt and loose sand	≤ 5	60	0,035
Compact to stiff clay and compact silt	> 5	60	0,035
Soft chalk	≤ 5	100	0,035
Moderately compact sand and gravel	5 to 12	100	0,08
Weathered to fragmented chalk	> 5	60	0,12
Compact to very compact sand and gravel	> 12	150	0,12

Metode Nottingham dan Schmertmann merupakan metode yang digunakan untuk menghitung kapasitas ultimit tiang berdasarkan data hasil uji sondir. Metode ini memanfaatkan nilai tahanan ujung konus (q_c) dan hambatan lekat (friction sleeve) yang diperoleh langsung dari pengujian di lapangan. Dari metoda ini daya dukung tiang dapat dihitung dengan :

$$Q_p = A_p \cdot q_t \quad (8)$$

$$q_t = \frac{q_{c1} + q_{c2}}{2} \quad (9)$$

$$Q_s = K \left[\frac{1}{2} (\bar{f}_s A_s) 0 - 8_b + (\bar{f}_s A_s) 8_b - D \right] \quad (10)$$

Dimana :

q_{c1} = Nilai q_c rata-rata dari ujung tiang sampai $0,7D-4D$ dibawah ujung tiang

q_{c2} = Nilai q_c rata-rata dari ujung tiang sampai $8D$ diatas ujung tiang

K = Rasio tahanan gesek dinding tiang persatuan luas terhadap gesekan konus

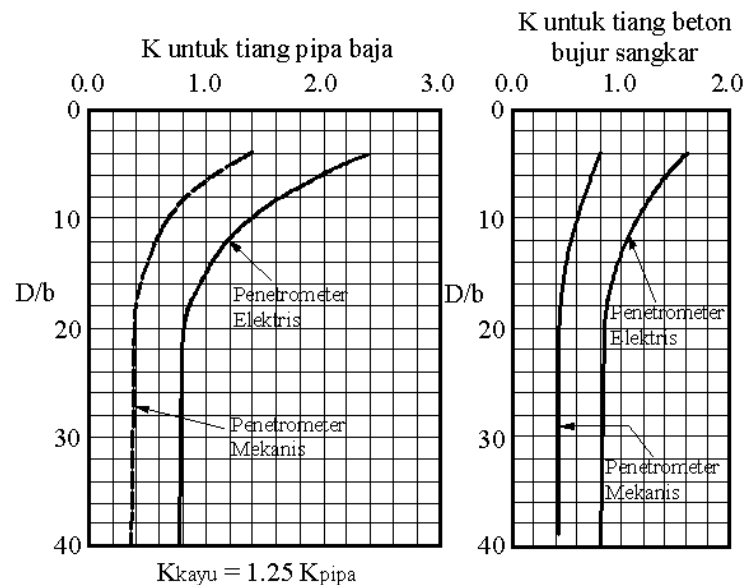
$\bar{f}_s$ = Tahanan gesek dinding tiang rata-rata persatuan luas

b = Diameter tiang

D = Panjang tiang tertanam

$0-8_b$ = Rentang kedalaman segmen dari permukaan tanah sampai ke kedalaman $8b$

$8_b - D$ = Rentang kedalaman segmen dari suatu kedalaman $8b$ sampai ujung tiang



b = Diameter atau Lebar Tiang

D = Panjang Tiang Tertanam

Gambar 2. Kurva Rencana Penetrometer untuk Gesekan Dinding Tiang pada Tanah Non Kohesif (FHWA,2006)

2.3. Daya dukung ultimit kelompok tiang

Pada praktik perencanaan, fondasi tiang umumnya digunakan dalam bentuk kelompok tiang (*pile group*) yang diikat oleh *pile cap* untuk mendistribusikan beban secara merata. Daya dukung ultimit kelompok tiang tidak hanya bergantung pada kapasitas tiang tunggal, tetapi juga dipengaruhi oleh interaksi antar tiang.

Dalam penelitian ini, perhitungan daya dukung kelompok dilakukan dengan dua metode, yaitu metode jumlah tiang dan metode blok (*block failure*). Metode jumlah tiang dihitung berdasarkan penjumlahan kapasitas tiang tunggal dalam satu kelompok seperti pada persamaan:

$$Q_g = n \times Q_u \quad (11)$$

Dimana:

Q_g = Daya dukung kelompok tiang
 n = Jumlah tiang

sedangkan metode blok mengasumsikan kelompok tiang bekerja sebagai satu kesatuan, sehingga perhitungan didasarkan pada luas dan keliling blok kelompok tiang. Dimensi blok kelompok tiang, yaitu panjang (L_g) dan lebar (B_g), ditentukan berdasarkan konfigurasi dan jarak antar tiang dalam kelompok. Nilai L_g dan B_g tersebut dapat dihitung dengan:

$$L_g = (n_1 - 1)d + 2 \left(\frac{D}{2} \right) \quad (12)$$

$$B_g = (n_2 - 1)d + 2 \left(\frac{D}{2} \right) \quad (13)$$

Dimana:

L_g = Panjang *Block solid*
 B_g = Lebar *Block solid*
 n_1 = Jumlah tiang dalam satu baris arah x
 n_2 = Jumlah tiang dalam satu baris arah y
 d = Jarak antar tiang
 D = Diameter tiang

2.4. Daya dukung ultimit kelompok tiang

Efisiensi kelompok tiang merupakan parameter yang menunjukkan pengaruh interaksi antar tiang dalam suatu kelompok terhadap kapasitas daya dukung totalnya. Salah satu bentuk interaksi tersebut adalah tumpang tindih tegangan (*overlap of stresses*), yaitu kondisi ketika jarak antar tiang terlalu dekat sehingga zona pengaruh tegangan masing-masing tiang saling beririsan. Akibatnya, tanah tidak dapat bekerja secara optimal dalam menahan beban, sehingga kapasitas daya dukung kelompok tiang menjadi lebih kecil dibandingkan dengan jumlah kapasitas masing-masing tiang jika bekerja secara terpisah. Dalam penelitian ini, efisiensi kelompok tiang ditentukan dengan membandingkan daya dukung ultimit kelompok tiang terhadap total daya dukung ultimit tiang secara individual yang dapat dilihat pada persamaan:

$$\eta = \frac{Q_g}{n \times Q_u} \quad (14)$$

Dimana:

η = Efisiensi kelompok tiang
 Q_g = Daya dukung ultimit dari grup tiang
 Q_u = Daya dukung ultimit tiang tunggal
 n = Jumlah tiang

2.5. Daya dukung izin kelompok tiang

Pada tahap perencanaan fondasi tiang pancang, penentuan daya dukung izin kelompok tiang merupakan langkah penting untuk memastikan bahwa fondasi yang dirancang aman terhadap beban yang bekerja. Daya dukung izin ini diperoleh dengan membagi daya dukung ultimit kelompok tiang dengan faktor keamanan (*safety factor*) yang telah ditentukan. Dalam analisis ini, daya dukung kelompok tiang dihitung menggunakan dua pendekatan, yaitu berdasarkan jumlah tiang (penjumlahan kapasitas tiang tunggal) dan berdasarkan asumsi blok solid, dari kedua metode tersebut, nilai daya dukung ultimit yang digunakan dalam perhitungan selanjutnya adalah nilai yang paling kecil. Perhitungan daya dukung izin yang dinyatakan pada persamaan:

$$Q_a = \frac{Q_g}{SF} \quad (15)$$

Dimana:

Q_a = Daya dukung izin kelompok tiang
 SF = *Safety factor* (3)

2.6. Penurunan kelompok tiang

Secara umum, penurunan yang terjadi pada kelompok tiang lebih besar dibandingkan pada tiang tunggal. Hal ini disebabkan oleh distribusi tegangan yang meluas ke area dan kedalaman tanah yang lebih besar. Perhitungan penurunan kelompok tiang berdasarkan tahanan penetrasi konus (sondir) dilakukan menggunakan metode Meyerhof (1976), perhitungan penurunan kelompok tiang dapat dilihat pada persamaan:

$$S = \frac{42 \cdot p_f \cdot B \cdot I_f}{q_c} \quad (16)$$

$$I = 1 - \frac{D}{8B} \geq 0.5 \quad (17)$$

Dimana:

S = Penurunan kelompok tiang (mm)
 B = Lebar dari kelompok tiang
 I = Faktor pengaruh
 D = Kedalaman penanaman tiang
 p_f = Tekanan fondasi

SNI 8460 (2017) Menjelaskan bahwa Penurunan izin merupakan batas maksimum penurunan yang masih dapat diterima oleh suatu struktur tanpa menimbulkan kerusakan yang membahayakan. Untuk bangunan tinggi penurunan dapat dilihat pada persamaan:

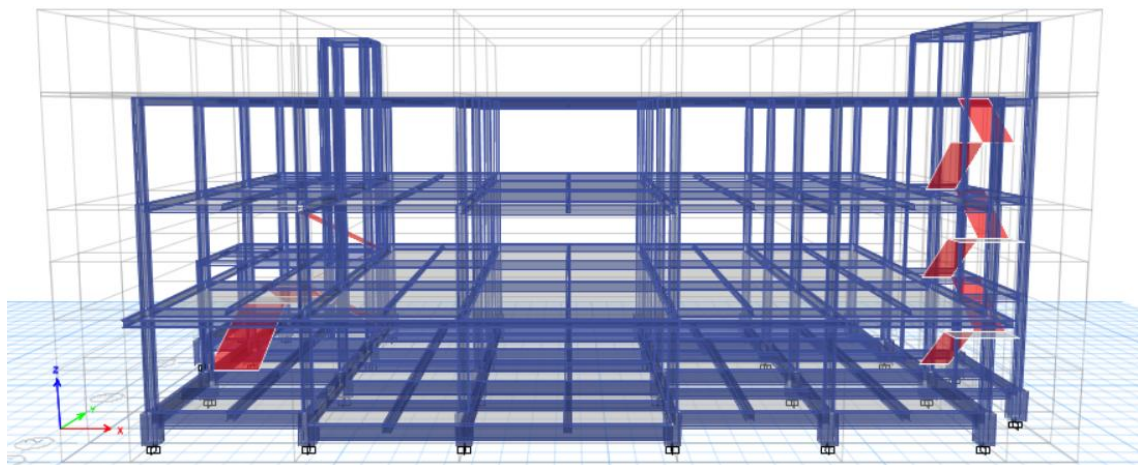
$$\text{Penurunan izin} < 15 \text{ cm} + \frac{b}{600} \quad (18)$$

Dimana:

b = Lebar kelompok tiang

3. HASIL DAN PEMBAHASAN

Analisis dilakukan pada Proyek Gedung Pelayanan BPKP Ditlantas POLDA Sumatera Barat, yang berlokasi di Jalan Rokan 5–6, Kelurahan Flamboyan, Kecamatan Padang Barat, Kota Padang, Provinsi Sumatera Barat. Obyek analisis difokuskan pada fondasi tiang pancang bangunan gedung tersebut dengan menggunakan data sondir sebagai dasar perhitungan kapasitas dukung tiang pancang. Untuk memperoleh besarnya beban aksial yang bekerja pada struktur bangunan, dilakukan permodelan struktur Gedung Pelayanan BPKB DITLANTAS POLDA Sumbar dengan menggunakan program bantu analisis struktur ETABS. Hasil permodelan tersebut digunakan sebagai dasar dalam menentukan beban yang diteruskan ke fondasi, pemodelan struktur dapat dilihat pada Gambar 3.2.



Gambar 3. Permodelan Struktur Gedung Pelayanan BPKB DITLANTAS POLDA Sumbar

Berdasarkan hasil pemodelan struktur yang dilakukan menggunakan ETABS, diperoleh berbagai variasi beban yang bekerja pada elemen struktur. Dari hasil tersebut, diambil nilai beban terbesar yang selanjutnya digunakan sebagai beban aksial struktur (P). Nilai beban aksial maksimum yang diperoleh adalah sebesar 1967,344 kN.

3.1. Jenis perilaku tanah berdasarkan data sondir

Data tanah yang digunakan dalam penelitian tugas akhir ini diperoleh dari hasil uji sondir. Berdasarkan uji sondir tersebut didapatkan jenis perilaku tanah dengan menggunakan metode Robertson (1986), metode Schertmann (1978) dan metode Robertson dan Campanella (1983). Jenis perilaku tanah dapat dilihat pada Tabel 3 untuk data sondir 1 dan Tabel 4 untuk data sondir 2.

Tabel 3. Perbandingan jenis perilaku tanah berdasarkan sondir 1

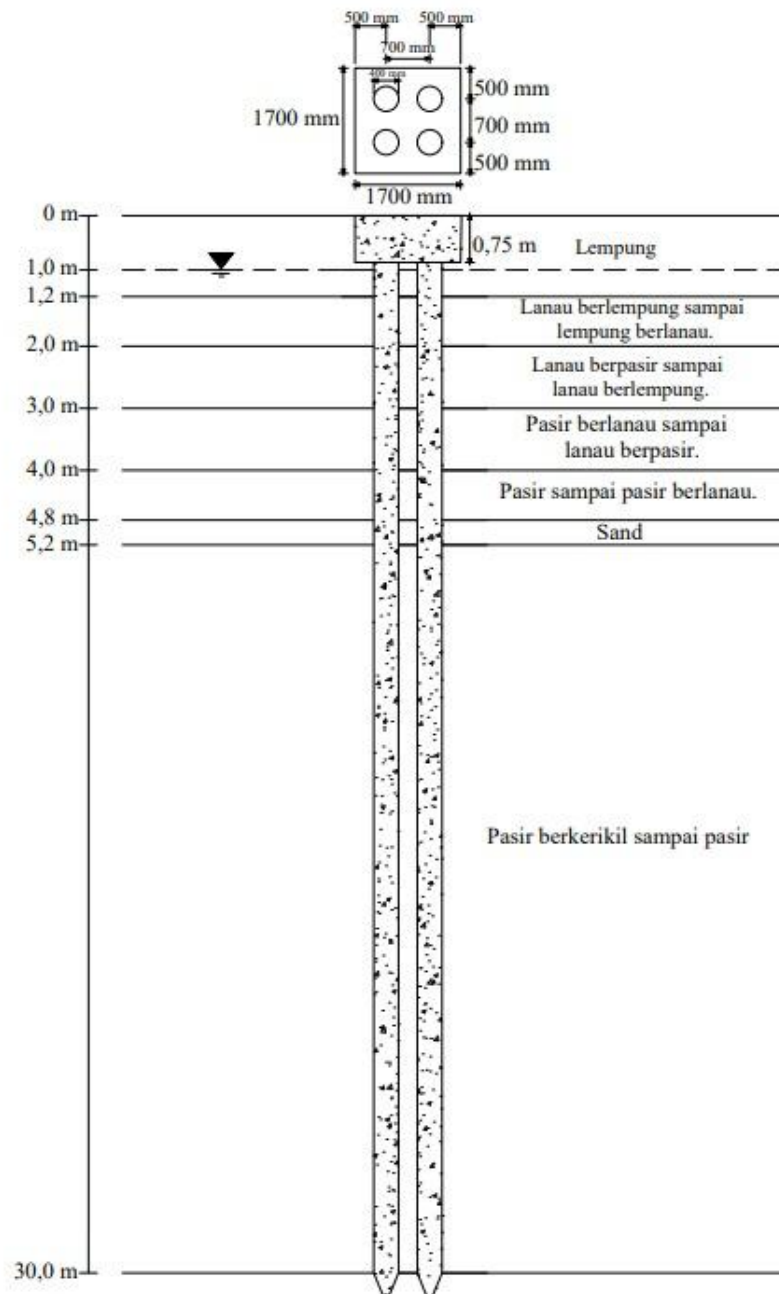
Kedalaman (m)	Tahanan ujung konus, q_c (kg/cm ²)	Rasio Friksi, FR (%)	Robertson (1986)
0 – 1,2	4	5	Lempung
1,2 - 2	10	2	Lanau berlempung
2 – 2,8	20	1	Lanau berpasir
2,8 - 4,8	40	0,500	Pasir lepas
	30	0,667	
	40	0,500	
4,8 - 8,8	50	1	Pasir padat sedang
	60	0,833	
	80	0,625	
	70	0,714	
	80	0,625	
	60	0,833	
	50	1	
8,8 - 9,8	30	0,667	Pasir lepas
9,8 - 11	20	1	Lanau berpasir
11 - 11,4	30,000	0,667	Pasir lepas
11,4 - 12	20	1	Lanau berpasir
12 – 13,6	60	0,833	Pasir padat sedang
	80	0,625	
	100	0,5	
	120	0,417	
13,6 - 30	150	0,333	Pasir berkerikil padat

Tabel 4. Klasifikasi tanah pada data sondir 2

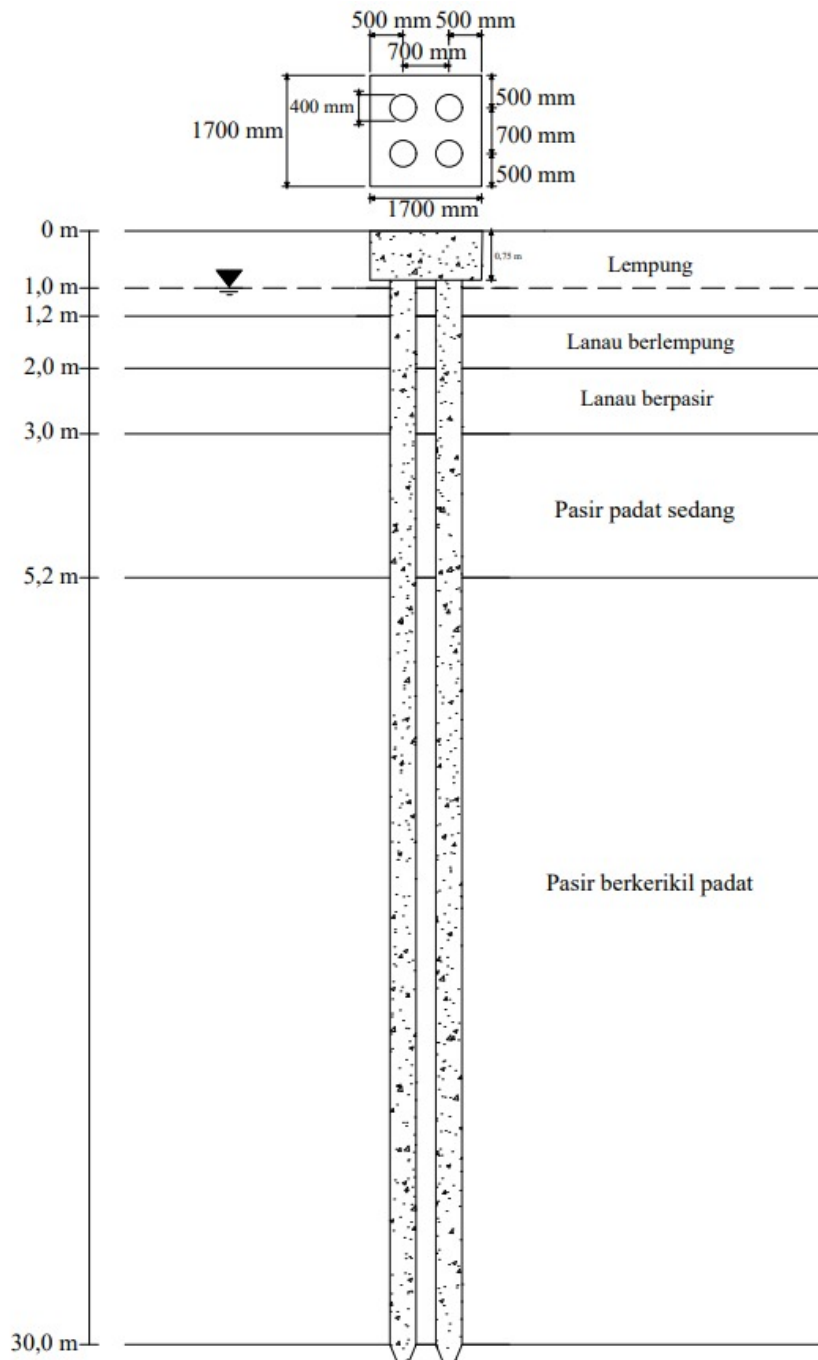
Kedalaman (m)	Tahanan ujung konus q_c (kg/cm ²)	FR %	Robertson (1986)
0 - 1,2	4	5	lempung
1,2 - 2	10	2	lanau berlempung
2 - 3	20	1	lanau berpasir
3 - 4	50	1	pasir padat sedang
4 - 4,4	60	0,833	
4,4 - 4,8	80,000	0,625	
4,8 - 5	100,000	0,500	
5 - 5,2	120,000	0,417	
5,2 - 30	150,000	0,333	pasir berkerikil padat

3.2. Perhitungan daya dukung aksial tiang tunggal

Perhitungan daya dukung aksial tiang tunggal meliputi komponen daya dukung ujung dan daya dukung selimut (sisi) yang dianalisis menggunakan beberapa metode, yaitu Meyerhof, LCPC (Bustamante dan Gianeselli), serta Nottingham dan Schmertmann. Hasil perhitungan dari masing-masing metode tersebut kemudian dirangkum secara sistematis dan disajikan dalam Tabel 3.1.



Gambar 4. Profil Tanah Data Sondir 1 Berdasarkan Grafik Robertson (1986)



Gambar 4. Profil Tanah Data Sondir 2 Berdasarkan Grafik Robertson (1986)

Tabel 5. Hasil Perhitungan Daya Dukung Ujung, Daya Dukung Sisi dan Daya Dukung Izin Fondasi Tiang Tunggal

Metoda Perhitungan Daya Dukung fondasi	Daya Dukung Ujung, Q_p (kN)	Daya Dukung Sisi, Q_s (kN)	Daya Dukung Ultimit, Q_u (kN)
Meyerhof (Sondir 1)	1847,573	1109,775	2957,348
Meyerhof (Sondir 2)	1847,573	1035,873	2910,446
LCPC (Sondir 1)	739,029	2037,538	2776,567
LCPC (Sondir 2)	739,029	3072,183	3811,212
Nottingham dan Schmertmann (Sondir 1)	1847,573	604,091	2451,664
Nottingham dan Schmertmann (Sondir 2)	1847,573	676,429	2524,002

3.3. Perhitungan daya dukung kelompok tiang, dukung izin kelompok tiang dan penurunan izin tiang

Berdasarkan hasil perhitungan yang telah dilakukan, diperoleh nilai daya dukung kelompok tiang, efisiensi kelompok tiang, serta daya dukung izin tiang dari masing-masing metode yang digunakan. Seluruh hasil tersebut selanjutnya disajikan secara sistematis dalam Tabel 3.2 sebagai bentuk rekapitulasi untuk memudahkan peninjauan dan perbandingan antar metode.

Tabel 6. Hasil Perhitungan Daya Dukung Kelompok Tiang, Efisiensi Kelompok Tiang dan Daya Dukung Izin Kelompok Tiang

Metode	Daya Dukung Kelompok Fondasi, Q_g (kN)	Daya Dukung Izin Fondasi, Q_a (kN)	Penurunan pada Kelompok Fondasi, s (cm)
Meyerhof (Sondir 1)	11829,393	3943,131	0,518
Meyerhof (Sondir 2)	11533,782	3844,594	0,506
LCPC (Sondir 1)	11106,270	3702,090	0,487
LCPC (Sondir 2)	15244,848	5081,611	0,666
Nottingham dan Schmertmann (Sondir 1)	9806,656	3268,885	0,431
Nottingham dan Schmertmann (Sondir 2)	10096,008	3365,336	0,443

Berdasarkan hasil perhitungan, nilai daya dukung izin yang diperoleh dari seluruh metode lebih besar dibandingkan beban struktur sebesar 1.967,344 kN. Dengan demikian, dapat disimpulkan bahwa kelompok tiang yang direncanakan mampu memikul beban struktur tersebut secara aman.

4. KESIMPULAN

Berdasarkan hasil analisis, beban aksial sebesar 1.967,344 kN yang diperoleh dari pemodelan struktur menggunakan ETABS digunakan sebagai dasar dalam evaluasi daya dukung dan penurunan fondasi. Perbedaan utama antar metode terlihat pada pembagian tahanan ujung dan tahanan sisi. Metode Meyerhof dan Nottingham–Schmertmann memberikan tahanan ujung relatif tinggi sebesar 1.847,573 kN, sedangkan metode LCPC hanya 739,029 kN, tetapi menghasilkan tahanan sisi yang jauh lebih besar, yaitu hingga 3.072,183 kN. Variasi antara Sondir 1 dan Sondir 2 relatif kecil pada metode Meyerhof, sekitar 1,6%, dan Nottingham–Schmertmann sekitar 2,9%, sedangkan metode LCPC menunjukkan variasi cukup besar, sekitar 31,4%, sehingga metode ini lebih sensitif terhadap perbedaan data sondir. Analisis kelompok tiang dengan konfigurasi 4 tiang dalam satu pile cap menunjukkan efisiensi sebesar 1, yang mengindikasikan bahwa kelompok tiang bekerja secara optimal. Selanjutnya, hasil perhitungan penurunan menunjukkan bahwa seluruh nilai penurunan masih berada di bawah batas izin, sehingga fondasi dinyatakan aman terhadap penurunan.

DAFTAR PUSTAKA

- Das, B. M. (1995). *Mekanika Tanah Rekayasa Geoteknis*) Braja.
- Das, B. M. (2019). *principles of foundaion engineering 9th edition*.
- Desai, C. S. (2014). *Advanced Geotechnical Engineering*.
- FHWA. (2006). *Design and Construction of Driven Pile Foundations Reference Manual – Volume I*. I(132021).
- Gunawan, A. (2014). *ratio of ple bearing capacity based on CPT, calendering and PDA Test of pelawa bridge in parigi moutong district*.
- Hasibuan, M. H. M., Sarifah, J., Irawan, F., Engineering, C., Program, S., Islam, U., & Utara, S. (2024). *ANALYSIS OF CONFIGURATION OF PILE GROUP ON SUPPORTING CAPACITY*. 29(1), 51–59.

- Jan, Mihalik, D. (2023). *applied sciences Evaluation of Methods Based on CPTu Testing for Prediction of the Bearing Capacity of CFA Piles*.
- Kar, A., & Ansary, M. A. (2023). *Bearing capacity estimation of driven piles based on CPT and validated by static load tests*. 51(1), 47–61.
- Laura, N, Roniar, Cevin, H. (2023). *jurnal roniar View of Evaluation of Empirical Formulas to Estimate Axial Capacity of Bored Pile in West Java, Indonesia.pdf*. 2.
- Mahardika, T., Bagaskoro, M., & Abddilah, F. (2024). *Analysis of Pile Foundation Bearing Capacity and Soil Classification in Padang City*. 6(December), 134–138.
- Mortezaee, M., Shamsi, H., Eslami, A., & Abolhasan, S. (2026). Results in Engineering Effects of soil moisture content and installation method on ultimate bearing capacity of pile in unsaturated silty sand. *Results in Engineering*, 29(October 2025), 109112. <https://doi.org/10.1016/j.rineng.2026.109112>
- Moshfeghi, S., Eslami, A., Moshfeghi, S., & Eslami, A. (2016). Study on pile ultimate capacity criteria and CPT- based direct methods Study on pile ultimate capacity criteria and CPT-based direct methods. *International Journal of Geotechnical Engineering*, 6362(November), 1–12. <https://doi.org/10.1080/19386362.2016.1244150>
- Mutiara, I. (2021). *Analysis of Bored Pile Foundation Bearing Capacity Based on Cone Penetration Test Data (Case Study : Cilellang Weir Location)*. 8(1), 30–36.
- Prasetyo, M. H., Hidayat, F., Guntoro, H. T., & Multi, I. (2025). *Analysis of Borepile Foundation Bearing Capacity in Building Construction Projects with Pile Driving Analyzer Test*. 4(8), 557–565.
- Sari, P. T. K., & Wardani, M. K. (2021). *The Comparison of Pile Bearing Capacity using 8 Direct Method based on CPT data in Surabaya Area The Comparison of Pile Bearing Capacity using 8 Direct Method based on CPT data in Surabaya Area*. <https://doi.org/10.1088/1757-899X/1144/1/012091>
- SNI 8460 : 2017. *Persyaratan perancangan geoteknik*.
- Wang, Q., Li, J., Fang, T., & Yu, S. (2024). *Database Analysis of Long-Term Settlement Behavior of Pile Foundations in Shanghai Soft Coastal Clays*.
- Ye, S. (2024). *Rock and Soil Mechanics Settlement and bearing capacity of single pile based on shear characteristics of pile-soil interface*. 45(5). <https://doi.org/10.16285/j.rsm.2023.5947>
- Zwara, Ł., & Bałachowski, L. (2022). *Prediction of Pile Shaft Capacity in Tension Based on Some*.

BIODATA

Dr. Ir. Rina Yuliet, S.T., M.T., IPM

Penulis dilahirkan pada tanggal 22 Juli 1972 di Padang, menamatkan SD pada tahun 1985 di SD Inpres Marapalam Padang, menamatkan SMP pada tahun 1988 di SMP Negeri 8 Padang dan menamatkan SMA pada tahun 1991 di SMA Negeri 1 Padang. Penulis memperoleh gelar Sarjana Teknik (ST) pada Program Studi Teknik Sipil Fakultas Teknik Universitas Andalas Padang pada tahun 1996. Penulis memperoleh gelar Magister Teknik (MT) pada Program Studi Teknik Sipil Bidang Khusus Rekayasa Geoteknik Institut Teknologi Bandung pada tahun 2001. Pada tahun 2024 penulis mendapatkan gelar Doktor (Dr) pada program Studi Teknik Sipil Fakultas Teknik Universitas Andalas dan pada tahun yang sama penulis juga mendapatkan gelar Insinyur (Ir) pada Program Studi Pendidikan Profesi Insinyur Sekolah Pascasarjana Universitas Andalas. Pada tahun 2025 penulis mendapatkan Sertifikat Kompetensi Insinyur Profesional dari Persatuan Insinyur Indonesia sebagai Insinyur Profesional Madya (IPM). Pada tahun 2026 penulis menjabat sebagai Sekretaris Program Studi Magister Manajemen Bencana Sekolah Pasca Sarjana Universitas Andalas.

Shafira Ayasha

Penulis lahir di Bekasi pada tanggal 15 Januari 2004. Menamatkan pendidikan Sekolah Dasar (SD) pada tahun 2026 di SD. Prima Sakinah, menamatkan pendidikan Sekolah Menengah Pertama (SMP) pada tahun 2029 di SMP AL-Muslim, menamatkan pendidikan Sekolah Menengah Atas (SMA) pada tahun 2022 di SMA AL-Muslim. Penulis memperoleh gelar Sarjana Teknik (S.T) pada tahun 2026 di Program Studi Teknik Sipil Fakultas Teknik Universitas Andalas Padang.