

EVALUASI TEKNIS DAN EFISIENSI MATERIAL PONDASI DANGKAL DAN DALAM PADA TANAH LEMPUNG LUNAK DI KAWASAN PARIWISATA BALI

I Gusti Ngurah Putu Dharmayasa¹⁾, M. Alif Dzikri Mustajib²⁾, I Gede Fery Surya Tapa³⁾ dan Decky Cipta Indrashwara⁴⁾

E-mail : ngurahdharmayasa@undiknas.ac.id¹⁾, alifdzikri.mustajib@gmail.com²⁾, ferysuryatapa@undiknas.ac.id³⁾ dan ciptaindrashwara@undiknas.ac.id⁴⁾

^{1,2,3,4} Program Studi Teknik Sipil, Universitas Pendidikan Nasional

ABSTRAK

Pembangunan villa di kawasan Pangkung Tibah, Tabanan, Bali menghadapi tantangan geoteknik berupa tanah lempung lunak bekas sawah dengan daya dukung rendah dan kompresibilitas tinggi. Penelitian ini bertujuan membandingkan efisiensi teknis pondasi dangkal (telapak) dan pondasi dalam (*bored pile*) pada kondisi tersebut. Gap penelitian terletak pada belum adanya studi yang mengintegrasikan analisis beban aktual dari pemodelan struktural dengan efisiensi material beton untuk lokasi dengan tanah keras pada kedalaman dangkal (5 m). Data sekunder berupa beban aksial (16.236 kg) dan momen (4.793,5 kg·m) dari dokumen perencanaan serta uji sondir (CPT) dianalisis menggunakan metode Meyerhoff untuk pondasi dangkal dan pondasi *bored pile*. Hasil menunjukkan seluruh variasi pondasi dangkal (1,6–2,0 m) tidak aman karena q_{all} (4,96–5,29 ton/m²) < q_{max} (7,65–13,36 ton/m²) serta $e > B/6$ pada $B < 1,8$ m. Sebaliknya, bored pile diameter 20–35 cm dengan panjang 5 m aman secara teknis (P_{all} 18,32–52,00 ton > 16,236 ton). Meskipun volume beton bored pile 24,19–32,94% lebih besar akibat pile cap, keamanan teknis menjadi prioritas. Kesimpulannya, *bored pile* direkomendasikan untuk menjamin stabilitas struktur pada lahan bekas sawah dengan tanah keras pada kedalaman 5 m.

Kata Kunci: Pondasi Telapak, *Bored Pile*, Daya Dukung Tanah, Tanah Lempung Lunak, Efisiensi Material.

ABSTRACT

The construction of villas in the Pangkung Tibah area, Tabanan, Bali faces geotechnical challenges due to soft clay soil from former rice paddies, characterized by low bearing capacity and high compressibility. This study aims to compare the technical efficiency of shallow foundations (spread footing) and deep foundations (bored pile) under such conditions. The research gap lies in the absence of studies that integrate actual load analysis from structural modeling with concrete material efficiency for locations where hard soil layers are found at shallow depths (5 m). Secondary data, including axial load (16,236 kg) and moment (4,793.5 kg·m) from planning documents as well as Cone Penetration Test (CPT) results, were analyzed using the Meyerhoff method for both shallow and bored pile foundations. The results show that all shallow foundation variations (1.6–2.0 m) are unsafe because the allowable bearing capacity ($q_{all} = 4.96–5.29$ ton/m²) is lower than the maximum soil pressure ($q_{max} = 7.65–13.36$ ton/m²), and eccentricity exceeds the kern limit ($e > B/6$) for $B < 1.8$ m. In contrast, bored piles with diameters of 20–35 cm and a length of 5 m are technically safe (allowable capacity = 18.32–52.00 tons > 16,236 tons). Although the concrete volume of bored piles is 24.19–32.94% larger due to the pile cap contribution, technical safety remains the priority. In conclusion, bored piles are recommended to ensure structural stability on former rice field soils with hard layers at a depth of 5 m.

Keywords: Spread Footing, Bored Pile, Bearing Capacity, Soft Clay Soil, Material Efficiency.

1. PENDAHULUAN

Bali merupakan ikon pariwisata dunia yang terus mengalami transformasi infrastruktur secara masif, untuk mendukung kebutuhan akomodasi bagi wisatawan. Pesatnya pembangunan villa dan fasilitas penunjang lainnya di berbagai wilayah, termasuk Kabupaten Tabanan, sering kali

dihadapkan pada keterbatasan lahan konstruksi yang ideal. Hal ini memicu kecenderungan alih fungsi lahan persawahan menjadi area pemukiman dan komersial (Hamid et al., 2025; Kawiana et al., 2024). Secara geoteknik, pembangunan di atas bekas tanah sawah menyimpan tantangan teknis yang sangat kompleks. Tanah sawah umumnya dicirikan oleh lapisan lempung lunak dengan kompresibilitas tinggi serta daya dukung yang sangat rendah (Al-Arafat et al., 2024; Gue & Gue, 2022). Tanpa perencanaan pondasi yang cermat, struktur bangunan di atasnya berisiko tinggi mengalami penurunan (*settlement*) yang berlebihan, keretakan dinding, hingga kegagalan struktur yang membahayakan nyawa dan menimbulkan kerugian finansial yang signifikan (Liu et al., 2025; X. Zhou & Wang, 2025).

Berdasarkan SNI 1726:2019, pondasi sebagai struktur bawah berfungsi vital untuk mendistribusikan beban dari struktur atas secara merata ke lapisan tanah yang stabil. Dalam praktik lapangan, dua jenis pondasi yang sering dipertimbangkan adalah pondasi dangkal seperti telapak (*spread footing*) dan pondasi dalam seperti tiang bor (*bored pile*). Pondasi tiang bor (*bored pile*) sering dipilih pada lahan lunak karena kemampuannya menembus lapisan tanah lunak hingga mencapai tanah keras, serta minimnya getaran selama proses instalasi yang menjaga integritas bangunan di sekitarnya (J. Zhou et al., 2020, 2025). Namun, penggunaan pondasi dalam cenderung memerlukan biaya yang lebih tinggi dan metode pelaksanaan yang lebih rumit dibandingkan pondasi dangkal (Soeng et al., 2020; Thirmanpalli et al., 2024).

Meskipun penelitian mengenai daya dukung pondasi telah banyak dilakukan, terdapat *research gap* terkait optimalisasi pemilihan tipe pondasi pada lokasi spesifik seperti Pangkung Tibah yang memiliki karakteristik tanah sawah yang variabel. Beberapa penelitian terdahulu seringkali hanya berfokus pada analisis satu jenis pondasi atau hanya membandingkan hasil perhitungan antar metode analitis saja. Belum banyak studi yang secara spesifik melakukan peninjauan kembali melalui perbandingan efisiensi teknis dan analisis beban aktual yang diperoleh dari pemodelan struktural untuk kasus vila di area persawahan Bali.

Penelitian mengenai perbandingan pondasi dangkal dan dalam telah dilakukan oleh beberapa peneliti sebelumnya namun hanya membandingkan nilai daya dukung, tidak menganalisis efisiensi material beton (Fanani et al., 2025). Studi lain oleh mengenai daya dukung pondasi yaitu membandingkan pondasi dangkal dengan perbaikan tanah (PVD/vacuum) terhadap pondasi dalam pada tanah lempung lunak, tetapi dilakukan pada lokasi dengan lapisan compressible sedalam 15 meter—yang memiliki karakteristik geoteknik sangat berbeda dengan lokasi Pangkung Tibah yang lapisan tanah kerasnya hanya berada pada kedalaman 4,8–5,0 meter (Hartanto et al., 2018). Di sisi lain, penelitian tentang pondasi pada tanah lempung lunak lebih banyak berfokus pada teknik perkuatan tanah (Yulianti, 2014), tanpa membahas optimalisasi pemilihan tipe pondasi untuk bangunan vila di lahan bekas sawah.

Penelitian ini bertujuan untuk melakukan analisis komprehensif terhadap nilai daya dukung tanah di proyek Villa Luxury, Pangkung Tibah. Secara spesifik, studi ini akan mengevaluasi daya dukung tunggal pondasi *bored pile* menggunakan metode Meyerhoff, serta membandingkannya dengan daya dukung pondasi telapak. Dengan memanfaatkan data sekunder dari pemodelan SAP2000 yang telah dilakukan oleh perencana dan data sekunder berupa hasil uji sondir (*Cone Penetration Test*), penelitian ini diharapkan dapat memberikan rekomendasi teknis mengenai dimensi pondasi yang paling aman, stabil, dan berkelanjutan untuk lahan dengan karakteristik geoteknik serupa di tengah pesatnya perkembangan pariwisata Bali.

2. KAJIAN PUSTAKA

2.1. Definisi dan fungsi pondasi

Pondasi merupakan struktur bawah yang memiliki peran vital dalam mendistribusikan seluruh beban dari struktur atas secara merata ke lapisan tanah yang stabil. Perencanaan pondasi harus memastikan integritas bangunan terjaga dari risiko kegagalan struktur bawah (Gedela et al., 2021;

Hoang et al., 2024). Secara umum, pemilihan tipe pondasi dibagi menjadi dua kategori utama, yaitu pondasi dangkal seperti telapak (*spread footing*) dan pondasi dalam seperti tiang bor (*bored pile*).

2.2. Karakteristik tanah bekas sawah

Pembangunan di atas lahan bekas sawah menyimpan tantangan geoteknik yang kompleks karena umumnya dicirikan oleh lapisan lempung lunak. Tanah jenis ini memiliki karakteristik daya dukung yang sangat rendah serta kompresibilitas yang tinggi. Tanpa analisis yang cermat, struktur di atas tanah sawah berisiko mengalami penurunan (*settlement*) berlebihan yang dapat memicu keretakan dinding hingga kegagalan struktural yang fatal (Han et al., 2020).

2.3. Kapasitas daya dukung pondasi dangkal

Analisis daya dukung izin (q_{ult}) pada pondasi dangkal dapat didekati melalui beberapa persamaan empiris berbasis hasil uji sondir (*Cone Penetration Test*) (Dharmayasa et al., 2024; Stanley et al., 2024). Untuk estimasi cepat tanpa mempertimbangkan pengaruh kedalaman, digunakan rasio tahanan konus (q_c) dibagi dengan faktor 40. Pada lapisan lempung, perhitungan mempertimbangkan lebar pondasi (B) dengan pembagi faktor 50. Untuk tanah pasir, perhitungan kapasitas dukung izin dapat dilakukan dengan memperhitungkan rasio kedalaman (D_f) terhadap lebar pondasi (B).

2.4. Kapasitas daya dukung pondasi tiang bor

Pondasi *bored pile* sering menjadi pilihan pada lahan lunak karena mampu mencapai lapisan tanah keras dengan getaran instalasi yang minim. Daya dukung ultimit (Q_{ult}) pondasi dalam berdasarkan teori Meyerhoff terdiri dari dua komponen utama: tahanan ujung ($q_c \times A_p$) dan tahanan selimut tiang atau hambatan lekat ($JHL \times K$). Metode Meyerhoff umumnya digunakan untuk mengevaluasi kapasitas tiang tunggal tersebut guna memastikan desain yang aman dan andal (Hidayatulloh et al., 2025).

2.5. Analisis struktur

Pemodelan struktural modern menggunakan perangkat lunak (SAP2000), memungkinkan ekstraksi gaya-gaya internal secara presisi, termasuk beban aksial, geser, dan momen. Analisis ini sering menggunakan response spectrum untuk mengakomodasi beban gempa sesuai dengan zona wilayah tertentu. Output dari pemodelan ini menjadi input kritis dalam menentukan eksentrisitas dan tegangan maksimum (q_{max}) yang terjadi di dasar pondasi.

2.6. Efisiensi material beton

Efisiensi pondasi tidak hanya ditinjau dari aspek keamanan teknis, tetapi juga dari volume material beton yang digunakan. Perbandingan efisiensi dilakukan dengan menghitung selisih volume antara sistem pondasi telapak dan sistem tiang bor (*bored pile*) yang mencakup elemen *pile cap*. Pengoptimalan dimensi sangat penting untuk mencapai keseimbangan antara stabilitas struktur dan keberlanjutan biaya konstruksi.

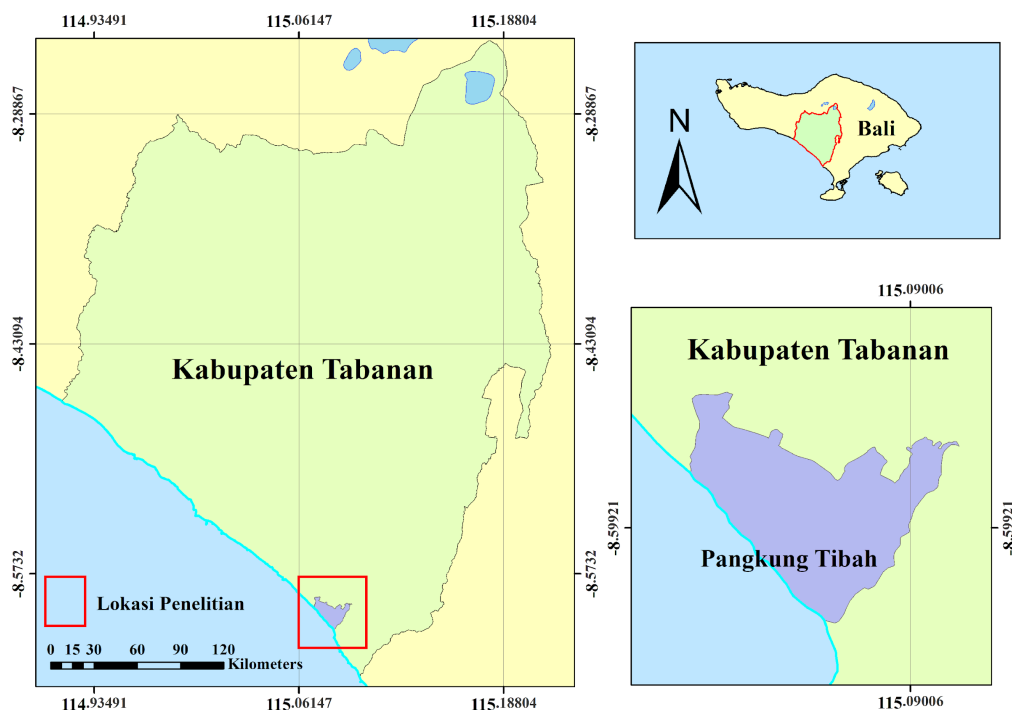
2.7. Perbandingan penelitian pondasi dangkal dengan pondasi bored pile

Beberapa studi terdahulu telah mengkaji perbandingan antara pondasi dangkal dan pondasi dalam, namun cakupannya umumnya terbatas pada evaluasi kapasitas daya dukung semata tanpa menyertakan analisis efisiensi volume material beton sebagaimana dilakukan dalam penelitian ini (Fanani et al., 2025). Sementara itu, penelitian lain membandingkan pondasi dangkal yang dikombinasikan dengan teknik perbaikan tanah (seperti PVD/vakum) terhadap pondasi dalam pada tanah lempung lunak (Hartanto et al., 2018). Akan tetapi, lokasi studi tersebut memiliki ketebalan lapisan tanah kompresibel mencapai 15 meter, sehingga karakteristik geotekniknya sangat berbeda dengan lokasi Pangkung Tibah yang lapisan tanah kerasnya telah ditemukan pada kedalaman yang relatif dangkal, yaitu sekitar 4,8–5,0 meter. Di samping itu, sebagian besar penelitian tentang tanah lempung lunak lebih banyak menyoroti berbagai metode perkuatan tanah (Yulianti, 2014), dan belum banyak yang secara khusus membahas optimalisasi pemilihan tipe pondasi untuk bangunan villa yang dibangun di atas bekas lahan persawahan.

3. METODE PENELITIAN

3.1 Lokasi penelitian

Penelitian ini menggunakan pendekatan komparatif kuantitatif, yaitu membandingkan dua sistem pondasi (dangkal vs dalam) berdasarkan parameter teknis (daya dukung, eksentrisitas, tegangan tanah) dan volume material beton. Lokasi penelitian ini berfokus pada proyek Villa Luxury yang terletak di kawasan Desa Pangkung Tibah, Kecamatan Kediri, Kabupaten Tabanan, Bali (Gambar 1). Penelitian Pemilihan lokasi ini sangat relevan secara geoteknik karena objek pembangunan berdiri di atas lahan yang sebelumnya merupakan tanah sawah atau lahan pertanian produktif. Secara geologis, tanah sawah umumnya dicirikan oleh lapisan lempung lunak yang memiliki daya dukung rendah dan kompresibilitas tinggi. Kondisi tanah tersebut memerlukan analisis pondasi yang sangat cermat untuk menghindari risiko penurunan (*settlement*) berlebihan atau kegagalan struktur bawah.



Gambar 1. Lokasi Penelitian

3.2 Sumber data

Data penelitian seluruhnya diklasifikasikan sebagai data sekunder, karena diperoleh dari dokumen teknis yang disusun oleh konsultan perencana proyek, bukan dari hasil pengujian, pengukuran, atau pemodelan langsung oleh peneliti. Sumber data diklasifikasikan menjadi dua kategori sebagai berikut:

1. Penelitian ini menggunakan data gaya-gaya internal struktur (gaya aksial, momen, geser) yang diperoleh dari dokumen perhitungan struktur yang disusun oleh konsultan perencana proyek. Data tersebut dihasilkan dari pemodelan komputasi menggunakan SAP2000 dengan kombinasi pembebanan mengacu pada SNI 2847:2013 yang menghasilkan beban aksial maksimum 16.236 kg, momen arah X sebesar 3.566,9 dan momen arah Y sebesar 4.793,5 kg·m. Material struktur menggunakan beton $f'c = 20$ MPa dan baja tulangan $f_y = 390$ MPa (lentur) serta $f_y = 240$ MPa (geser). Penelitian ini tidak melakukan verifikasi ulang terhadap pemodelan struktur atas, melainkan menggunakan nilai beban tersebut sebagai input untuk analisis kapasitas pondasi.

2. Dokumen penyelidikan tanah diperoleh dari gambar kerja (*shop drawing*) proyek dan laporan penyelidikan tanah lapangan. Penyelidikan tanah menggunakan metode uji sondir atau *Cone Penetration Test* (CPT) yang dilakukan pada tiga titik uji (S1, S2, dan S3) untuk menentukan karakteristik lapisan tanah keras di lokasi.

3.3 Analisis data

Tahapan analisis dilakukan secara sistematis melalui integrasi data sekunder dari struktur atas dan analisis geoteknik. Langkah-langkah yang dilakukan adalah:

1. Mengumpulkan dan mengekstraksi beban struktur dari dokumen perhitungan yang telah dilakukan (gaya aksial, momen arah X dan Y).
2. Menghitung kapasitas daya dukung pondasi dangkal (telapak) menggunakan data uji sondir (CPT).
3. Menghitung kapasitas daya dukung pondasi dalam (*bored pile*) dengan metode Meyerhoff.
4. Menghitung efisiensi pemakaian beton antara kedua jenis pondasi.

Beban struktur yang digunakan dalam penelitian ini merupakan hasil ekstraksi dari dokumen perhitungan struktur yang disusun oleh konsultan perencana. Berdasarkan dokumen tersebut, beban diperoleh dari pemodelan struktur tiga dimensi menggunakan analisis dinamik *response spectrum* untuk wilayah gempa Kabupaten Tabanan dengan kombinasi pembebanan mengacu pada SNI 2847:2013. Penelitian ini tidak mengulang proses pemodelan, melainkan menggunakan nilai beban aksial dan momen tersebut sebagai input langsung untuk perhitungan pondasi.

Selanjutnya pada tahapan kedua yaitu menghitung kapasitas daya dukung pondasi dangkal didekati dengan beberapa persamaan. Untuk kondisi tanpa mempertimbangkan pengaruh kedalaman dan ukuran pondasi dinyatakan dalam persamaan (1) (Hardiyatmo, 2015).

$$q_{all} = \frac{q_c}{40} \dots\dots\dots (1)$$

Dengan q_{all} : yaitu daya dukung izin tanah (kg/cm²) dan q_c : tahanan ujung konus (kg/cm²)

Perhitungan kedua dengan hanya mempertimbangkan lebar pondasi yang dinyatakan dalam persamaan (2). Persamaan ini lebih umum digunakan untuk pondasi dangkal pada tanah lempung atau tanah kohesif (Hardiyatmo, 2015).

$$q_{all} = \frac{q_c}{50} \times \left(\frac{B}{B+0,3} \right)^2 \dots\dots\dots (2)$$

Dengan q_{all} : yaitu daya dukung izin tanah (kg/cm²) dan q_c : tahanan ujung konus (kg/cm²), dan B = lebar pondasi (m)

Untuk menghitung kapasitas daya dukung izin (*allowable bearing capacity*) pada pondasi dangkal yang terletak di tanah pasir (non-kohesif), persamaan (3) digunakan sebagai pendekatan empiris (Hardiyatmo, 2015).

$$q_{all} = \frac{q_c}{60} \left(\frac{D_f}{B} \right) \dots\dots\dots (3)$$

Dengan q_{all} : yaitu daya dukung izin tanah (kg/cm²), q_c : tahanan ujung konus (kg/cm²), D_f : kedalaman pondasi (m), dan B: lebar pondasi (m).

Sedangkan perhitungan daya dukung ultimit (Q_{ult}) untuk pondasi dalam dinyatakan dalam persamaan (4) (Dewaji, 2023; Fatmawati & Romadhoni, 2025).

$$Q_{ult} = (q_c \times A_p) + (JHL \times K) \dots\dots\dots (4)$$

Dengan q_c : Tahanan ujung konus (kg/cm²), A_p : Luas penampang tiang (cm²), JHL: jumlah hambatan lekat (*total friction*) (kg/cm), dan K: keliling tiang (cm).

Tahapan terakhir adalah menghitung persentase penghematan dari volume beton yang diperlukan. Untuk mengetahui persentase penghematan material pondasi tiang bor terhadap pondasi telapak, digunakan persamaan (5).

$$\text{Persentase} = \left(\frac{\text{Selisih volume}}{\text{Volume pondasi telapak}} \right) \times 100\% \dots (5)$$

Volume pondasi tiang bor juga mempertimbangkan volume *pile cap* yang direncanakan sama untuk seluruh ukuran pondasi tiang bor yang dinyatakan dalam persamaan (6).

$$V_{pilecap} = L_{pc} \times B_{pc} \times t_{pc} \dots (6)$$

4. HASIL DAN PEMBAHASAN

4.1 Penyelidikan tanah dan analisis pembebanan

Berdasarkan hasil uji sondir (*Cone Penetration Test*) pada lokasi penelitian, diidentifikasi bahwa lapisan tanah cukup lunak untuk kedalaman 0-4 m dan tanah keras ditemukan pada kedalaman 5,0 meter. Rangkuman hasil penyelidikan tanah disajikan pada Tabel 1.

Tabel 1. Rangkuman Hasil Uji Sondir Lapangan

Kedalaman (m)	Nilai Rata-rata Konus (q_c) (kg/cm ²)	Jenis Tanah
1	30	Lempung lunak
2	35	Lempung lunak - sedang
3	40	Lempung sedang
4	33	Lempung lunak - sedang
5	145	Pasir padat / tanah keras

Berdasarkan Tabel 1 di atas dapat dilihat bahwa lapisan tanah lunak sampai dengan sedang terletak pada kedalaman cukup dangkal sampai kedalaman 4 m. Kondisi ini berdasarkan nilai tahanan konus (q_c) pada kedalaman 0-4 meter berada diantara 30-40 kg/cm² (Maulina et al., 2015). Sedangkan pada kedalaman 5 m secara teknis, nilai perlawanan konus (q_c) sebesar 145 kg/cm² menunjukkan bahwa lapisan tanah tersebut memiliki konsistensi yang sangat baik dan kepadatan tinggi, di mana nilai 145 kg/cm² mengindikasikan kategori pasir padat (*dense sand*) atau lempung sangat kaku (*hard clay*), yang mampu memberikan daya dukung izin yang signifikan untuk memikul beban konstruksi menengah hingga berat (Pusat Pendidikan dan Pelatihan Sumber Daya Air dan Konstruksi, 2017).

Berdasarkan data yang diperoleh dari hasil analisis struktur, diperoleh nilai gaya-gaya internal maksimum pada kolom kritis yang akan ditransfer ke pondasi yang dirangkum dalam Tabel 2.

Tabel 2. Rangkuman Beban Maksimum pada Pondasi

Tipe Beban	Satuan	Nilai Maksimum
Beban Aksial (P)	kg	16.236
Momen Arah X (Mx)	kg·m	3.566,9
Momen Arah Y (My)	kg·m	4.793,5

4.2 Perhitungan daya dukung pondasi dangkal

Dimensi pondasi dangkal yang di analisis adalah terdiri dari empat ukuran yaitu: 1,6m × 1,6m; 1,7m × 1,7m, 1,8m × 1,8m dan 1,9m × 1,9m. Pondasi dangkal di desain pada kedalaman 2 m dan tebal pelat pondasi adalah 0,3 m. Karena dimensi pondasi yang direncanakan melebihi 1,2 m ($B > 1,2$ m) dan berdasarkan tahanan konus pada pengujian tanah dengan CPT terlihat bahwa tanah dilokasi penelitian didominasi oleh lempung, maka digunakan persamaan (2) untuk menghitung daya dukung pondasi dangkal.

Tahapan pertama adalah menghitung daya dukung izin tanah berdasarkan desain pondasi dan data tanah yang telah dikumpulkan. Sebagai contoh untuk pondasi dengan dimensi 1,6m × 1,6m, perhitungan daya dukung izinnya adalah sebagai berikut.

$$q_{all} = \frac{q_c}{50} \times \left(\frac{B}{B+0,3}\right)^2 q_{all} = \frac{35}{50} \times \left(\frac{1,6}{1,6+0,3}\right)^2$$

$$q_{all} = \frac{35}{50} \times \left(\frac{160}{190}\right)^2$$

$$q_{all} = 0,496 \text{ kg/cm}^2$$

$$q_{all} = 4,96 \text{ t/m}^2$$

Setelah menghitung daya dukung tanah, dilanjutkan dengan menghitung tegangan maksimum yang terjadi pada tanah di dasar pondasi. Perhitungan dimulai dengan mengecek nilai eksentrisitas pondasi yaitu:

$$e = \frac{M}{P}$$

$$e = \frac{4.793,5 \text{ kg}\cdot\text{m}}{16.236 \text{ kg}} = 0,295 \text{ m}$$

Selanjutnya tegangan tanah di dasar pondasi adalah:

$$q_{max} = \frac{P}{B \times L} \left(\frac{6e}{B}\right)$$

$$q_{max} = \frac{16,24 \text{ ton}}{2,56 \text{ m}^2} \times \left(\frac{6 \times 0,295}{1,6}\right)$$

$$q_{max} = 13,36 \text{ ton/m}^2$$

Hasil perhitungan untuk seluruh dimensi pondasi dangkal selanjutnya dirangkum dalam Tabel 3.

Tabel 3. Hasil Perhitungan Daya Dukung Pondasi Dangkal

No	Dimensi Pondasi (B × B × t)	q _{all} (ton/m ²)	e (m)	B/6 (m)	Cek Eksentrisitas	q _{max} (ton/m ²)	Status
1	1,6m × 1,6m × 0,3m	4,96	0,295	0,267	Tidak Memenuhi	13,36	Tidak Aman
2	1,7m × 1,7m × 0,3m	5,06	0,295	0,283	Tidak Memenuhi	11,47	Tidak Aman
3	1,8m × 1,8m × 0,3m	5,14	0,295	0,300	Memenuhi	9,94	Tidak Aman (q _{max} > q _{all})
4	1,9m × 1,9m × 0,3m	5,22	0,295	0,317	Memenuhi	8,69	Tidak Aman (q _{max} > q _{all})

Berdasarkan perhitungan dengan nilai $q_c = 35 \text{ kg/cm}^2$ yang mewakili rata-rata tanah lempung pada kedalaman 2 m, seluruh variasi pondasi dangkal dari ukuran 1,6 m × 1,6 m hingga 2,0 m × 2,0 m dinyatakan tidak aman. Ketidakamanan ini disebabkan oleh daya dukung izin tanah (q_{all}) yang terlalu rendah, dengan nilai maksimum hanya mencapai 5,29 ton/m², sementara tegangan maksimum yang terjadi di dasar pondasi (q_{max}) bahkan pada nilai terkecilnya pun masih sebesar 7,65 ton/m². Dari aspek eksentrisitas, batas keamanan ($e \leq B/6$) baru terpenuhi pada dimensi $B \geq 1,8 \text{ m}$, namun pemenuhan syarat ini tidak serta-merta menjamin keamanan karena nilai q_{all} tetap lebih kecil dari q_{max} . Dengan demikian, meskipun dimensi pondasi dangkal telah diperbesar hingga 2,0 m × 2,0 m, kondisi keamanan tetap tidak tercapai. Hal ini mengindikasikan bahwa tanah lempung lunak di lokasi penelitian tidak mampu mendukung pondasi dangkal untuk beban struktur tersebut. Oleh karena itu, alternatif yang lebih memadai adalah menggunakan pondasi dalam (*bored pile*) yang menembus lapisan lempung lunak hingga mencapai tanah keras pada kedalaman 5,0 m.

4.3 Daya dukung pondasi tiang bor (bored pile)

Perhitungan kapasitas daya dukung pondasi tiang ini mengacu pada data hasil uji sondir (CPT) yang telah diperoleh dari lokasi penelitian. Parameter utama yang digunakan dalam analisis meliputi:

- nilai konus (q_c) sebesar 145 kg/cm² yang merepresentasikan tahanan ujung tiang,
- jumlah hambatan pekat (JHP) sebesar 250 kg/cm' yang diasumsikan terakumulasi pada kedalaman 5 meter untuk mewakili tahanan selimut tiang.
- dimensi tiang yang direncanakan berdiameter 20cm, 25cm, 30cm dan 35cm.

Faktor keamanan yang diterapkan secara terpisah, yaitu 3 untuk tahanan ujung dan 5 untuk tahanan lekatan, guna memastikan desain pondasi yang aman dan andal. Angka keamanan ini dipilih sesuai dengan hasil dari beberapa penelitian terdahulu yang menetapkan angka keamanan daya dukung pondasi bored pile untuk tahanan ujung adalah 3 dan 5 untuk tahanan lekatan (Andriani et al., 2023; Nurokhman et al., 2023).

Tahapan perhitungan pondasi tiang pancang, sebagai contoh untuk diameter tiang pondasi 30cm.

1. Menghitung geometri tiang

- Luas penampang ujung :

$$A_b = \frac{1}{4} \times \pi \times D^2 = \frac{1}{4} \times 3,14 \times 30^2 = 706,5 \text{ cm}^2$$

Keliling tiang (O):

$$O = \pi \times D = 3,14 \times 30 = 94,2 \text{ cm}$$

2. Menghitung kapasitas ujung izin

$$Q_{p_all} = \frac{q_c \times A_b}{SF_1} = \frac{145 \times 706,5}{3} = \frac{102.442,5}{3} = 34.147,5 \text{ kg}$$

3. Menghitung kapasitas lekat izin

$$Q_{s_all} = \frac{JHP \times O}{SF_2} = \frac{250 \times 94,2}{5} = \frac{23.550}{5} = 4.710 \text{ kg}$$

4. Total beban izin.

$$P_{all} = Q_{p_all} + Q_{s_all}$$

$$P_{all} = 34.147,5 + 4.710 = 38.857,5 \text{ kg}$$

Hasil perhitungan untuk seluruh dimensi pondasi *bored pile* selanjutnya dirangkum dalam Tabel 4.

Tabel 4 Perhitungan Daya Dukung Pondasi Tiang Bor

No	Dimensi/ Diameter	Kapasitas Izin (P_{all}) (ton)	P (beban aksial) (ton)	Cek status keamanan
1	Ø 20 cm	18,32	16,236	Aman
2	Ø 25 cm	27,66	16,236	Aman
3	Ø 30 cm	38,86	16,236	Aman
4	Ø 35 cm	52,00	16,236	Aman

5. Menghitung volume *pile cap*

Data *pile cap* yang direncanakan:

Panjang (L) = 1,2 m

Lebar (B) = 1,2 m

Tebal (t) = 0,6 m

Perhitungan:

$$V_{pilecap} = 1,2 \times 1,2 \times 0,6 V_{pilecap} = 0,864 \text{ m}^3$$

4.4 Perbandingan pondasi dangkal dan bored pile

Berdasarkan hasil analisis daya dukung kedua jenis pondasi yang telah dilakukan, terdapat perbedaan signifikan antara kinerja pondasi dangkal (telapak) dan pondasi dalam (bored pile) pada kondisi tanah lempung lunak di lokasi penelitian.

Dari aspek teknis, pondasi dangkal dengan variasi dimensi 1,6 m × 1,6 m hingga 1,9 m × 1,9 m pada kedalaman 2 m seluruhnya dinyatakan tidak aman. Ketidakamanan ini disebabkan oleh daya dukung izin tanah (q_{all}) yang sangat rendah, yaitu hanya berkisar antara 4,96 – 5,22 ton/m², sementara tegangan maksimum yang terjadi (q_{max}) berada pada rentang 8,69 – 13,36 ton/m². Dengan kata lain, beban yang bekerja setidaknya 1,45 kali lebih besar dari kemampuan daya dukung tanah. Selain itu, pada dimensi $B < 1,8$ m, kondisi eksentrisitas juga tidak terpenuhi ($e > B/6$) yang berisiko menyebabkan pengangkatan (*uplift*) pada dasar pondasi.

Sebaliknya, seluruh variasi pondasi bored pile dengan diameter 20 cm hingga 35 cm dan panjang 5 m (menembus hingga lapisan tanah keras pada kedalaman 5 m) dinyatakan aman secara teknis. Kapasitas daya dukung izin (P_{all}) berkisar antara 18,32 ton hingga 52,00 ton, jauh di atas beban aksial yang bekerja sebesar 16,236 ton. Keamanan ini dicapai karena pondasi bored pile mampu mentransfer beban melalui tahanan ujung pada lapisan tanah keras ($q_c = 145$ kg/cm²) serta tahanan selimut sepanjang tiang.

Selanjutnya dari aspek volume beton perbandingan penggunaan beton untuk masing-masing ukuran pondasi dapat dilihat pada Tabel 5.

Tabel 5. Analisis Persentase Selisih Volume Beton

N o	Dimensi Pondasi	Volume Pondasi Telapak (m ³)	Dimensi Bored Pile	Volume Bored Pile + Pile Cap (m ³)	Selisih Volume (m ³)	Kelebihan volume (%)
1	1,6 m × 1,6 m × 0,3 m	0,768	∅ 20 cm	1,021	0,253	32,94 %
2	1,7 m × 1,7 m × 0,3 m	0,867	∅ 25 cm	1,109	0,242	27,91 %
3	1,8 m × 1,8 m × 0,3 m	0,972	∅ 30 cm	1,217	0,245	25,21 %
4	1,9 m × 1,9 m × 0,3 m	1,083	∅ 35 cm	1,345	0,262	24,19 %

Dari aspek efisiensi material, volume beton yang diperlukan untuk pondasi *bored pile* membutuhkan volume beton lebih besar dibandingkan pondasi dangkal. Namun demikian, keunggulan teknis berupa keamanan yang terjamin pada pondasi bored pile menjadikannya pilihan yang lebih rasional dibandingkan pondasi dangkal yang tidak memenuhi kriteria keamanan.

4.5 Pembahasan

Hasil analisis menunjukkan bahwa pondasi dangkal tidak memenuhi kriteria keamanan untuk seluruh variasi dimensi yang ditinjau (1,6 m × 1,6 m hingga 2,0 m × 2,0 m) pada kedalaman 2 m. Hal ini disebabkan oleh daya dukung izin tanah (q_{all}) yang hanya mencapai 4,96–5,29 ton/m², jauh di bawah tegangan maksimum yang terjadi (q_{max}) sebesar 7,65–13,36 ton/m². Rendahnya nilai q_{all} tersebut merupakan konsekuensi langsung dari karakteristik tanah lempung lunak di lokasi penelitian dengan nilai q_c rata-rata 35 kg/cm² pada kedalaman 2 m. Selain itu, pada dimensi pondasi kurang dari 1,8 m, terjadi pelanggaran syarat eksentrisitas ($e > B/6$) yang berpotensi menimbulkan *uplift* pada dasar pondasi. Temuan ini mengkonfirmasi bahwa tanah lempung lunak dengan $q_c \leq 40$ kg/cm² tidak layak untuk pondasi dangkal, terutama jika struktur memiliki beban aksial yang cukup besar seperti pada bangunan villa bertingkat.

Sebaliknya, pondasi *bored pile* dengan diameter 20–35 cm dan panjang 5 m—yang menembus hingga lapisan tanah keras pada kedalaman 5 m ($q_c = 145 \text{ kg/cm}^2$)—dinyatakan aman secara teknis dengan kapasitas daya dukung izin (Pall) berkisar antara 18,32 ton hingga 52,00 ton, jauh di atas beban aksial yang bekerja (16,236 ton). Meskipun dari aspek volume beton, pondasi bored pile memerlukan material 24,19%–32,94% lebih besar dibandingkan pondasi dangkal akibat kontribusi *pile cap* ($0,864 \text{ m}^3$), namun keunggulan teknis berupa keamanan yang terjamin menjadi prioritas utama. Dengan demikian, untuk lokasi dengan kondisi tanah lempung lunak hingga kedalaman 4 m dan tanah keras pada kedalaman sekitar 5 m, penggunaan pondasi bored pile direkomendasikan sebagai solusi paling rasional untuk menjamin stabilitas struktur jangka panjang, terutama pada bangunan yang berlokasi di bekas lahan sawah seperti Villa Luxury di Pangkung Tibah, Tabanan.

Walaupun penelitian ini dapat memperlihatkan bahwa pondasi dangkal tidak dapat memenuhi kriteria aman pada lokasi penelitian, namun penelitian ini memiliki beberapa keterbatasan yang perlu diakui. Pertama, lokasi penelitian bersifat spesifik karena hanya dilakukan pada satu lokasi proyek (Villa Luxury di Pangkung Tibah, Tabanan, Bali), sehingga hasil dan rekomendasi yang diperoleh memiliki generalisasi yang terbatas pada kondisi tanah yang serupa. Kedua, data penyelidikan tanah terbatas pada uji sondir (CPT) tanpa dilengkapi dengan uji laboratorium seperti triaksial atau konsolidasi, sehingga parameter tanah seperti kohesi (c), sudut geser dalam (ϕ), serta parameter penurunan konsolidasi (C_c , C_v , m_v) tidak dapat dianalisis. Ketiga, sebagai konsekuensi dari keterbatasan data tersebut, analisis penurunan (*settlement*) tidak dilakukan secara kuantitatif, padahal pada lokasi bekas lahan sawah dengan lapisan lempung lunak, penurunan jangka panjang akibat konsolidasi merupakan faktor penting yang dapat mempengaruhi kinerja struktur. Dengan demikian, analisis yang dilakukan baru sebatas pada kapasitas daya dukung pondasi sesuai dengan kondisi tanah dasar. Keempat, analisis ekonomi dalam penelitian ini bersifat parsial karena hanya dibatasi pada perbandingan volume material beton, belum mencakup biaya total konstruksi seperti upah tenaga kerja, biaya sewa alat berat, biaya bekisting, tulangan baja, dan waktu pelaksanaan. Untuk penelitian selanjutnya, disarankan melakukan studi pada beberapa lokasi dengan variasi karakteristik tanah, melengkapi dengan uji laboratorium dan analisis penurunan, serta melakukan validasi daya dukung dengan berbagai metode empiris dan uji pembebanan (*load test*) di lapangan.

5. KESIMPULAN

Berdasarkan hasil penyelidikan tanah di lokasi Villa Luxury, Pangkung Tibah, Tabanan, lapisan tanah keras ditemukan pada kedalaman 5,0 m dengan nilai $q_c = 145 \text{ kg/cm}^2$, sementara lapisan lempung lunak hingga sedang berada pada kedalaman 0–4 m dengan nilai q_c berkisar antara 30–40 kg/cm^2 . Analisis daya dukung pondasi dangkal pada kedalaman 2 m dengan variasi dimensi 1,6 m \times 1,6 m hingga 2,0 m \times 2,0 m seluruhnya dinyatakan tidak aman karena daya dukung izin tanah (q_{all}) maksimum hanya 5,29 ton/m^2 , lebih kecil dari tegangan maksimum yang terjadi (q_{max}) sebesar 7,65–13,36 ton/m^2 , serta pada dimensi $B < 1,8 \text{ m}$ terjadi pelanggaran syarat eksentrisitas ($e > B/6$). Sebaliknya, pondasi bored pile dengan diameter 20–35 cm dan panjang 5 m dinyatakan aman secara teknis dengan kapasitas daya dukung izin (Pall) berkisar antara 18,32–52,00 ton, jauh di atas beban aksial 16,236 ton. Meskipun pondasi *bored pile* memerlukan volume beton 24,19%–32,94% lebih besar dibandingkan pondasi dangkal akibat kontribusi *pile cap* $0,864 \text{ m}^3$, aspek keamanan teknis tetap menjadi prioritas utama. Dengan demikian, pondasi bored pile direkomendasikan sebagai solusi paling tepat untuk menjamin stabilitas struktur jangka panjang pada lahan bekas sawah dengan karakteristik tanah lempung lunak seperti di lokasi penelitian.

Untuk penelitian selanjutnya, disarankan untuk melakukan studi pada beberapa lokasi dengan variasi karakteristik tanah yang berbeda guna meningkatkan generalisasi hasil. Perlu dilakukan uji laboratorium (triaksial dan konsolidasi) agar parameter tanah seperti kohesi, sudut geser dalam, serta parameter penurunan dapat dianalisis secara kuantitatif, termasuk analisis penurunan jangka panjang akibat konsolidasi pada lahan bekas sawah. Validasi kapasitas daya dukung bored pile dengan metode empiris lain serta uji pembebanan (*load test*) di lapangan sangat diperlukan untuk memverifikasi faktor keamanan yang digunakan. Selain itu, analisis ekonomi sebaiknya diperluas mencakup biaya total konstruksi (upah tenaga kerja, sewa alat berat, bekisting, tulangan baja, dan

waktu pelaksanaan) guna mendapatkan perbandingan yang lebih komprehensif antara kedua jenis pondasi. Bagi praktisi di lapangan, direkomendasikan untuk melakukan pengawasan ketat pada proses pemadatan tanah di sekitar pondasi guna memitigasi risiko penurunan berlebihan pada bangunan yang dibangun di atas bekas lahan persawahan.

DAFTAR PUSTAKA

- Al-Arafat, M., Kabir, M. E., Morshed, A., & Sunny, M. A. U. (2024). Geotechnical Challenges In Urban Expansion: Addressing Soft Soil, Groundwater, And Subsurface Infrastructure Risks In Mega Cities. *Innovatech Engineering Journal*, 1(01), 205–222. <https://doi.org/10.70937/itej.v1i01.20>
- Andriani, T. T., Sarie, F., & Gandi, S. (2023). Analisis Daya Dukung Bored Pile Pada Rumah Sakit Sultan Imanuddin Pangkalan Bun: Bearing Capacity Analysis Of Bored Pile Foundation At Sultan Imanuddin Pangkalan Bun Hospital. *Media Ilmiah Teknik Sipil*, 11(2), 104–114. <https://doi.org/10.33084/mits.v11i2.4393>
- Dewaji, B. R. (2023). *Analisis Kapasitas Daya Dukung dan Penurunan Struktur Pondasi Pada Proyek Jembatan Glapan di Kabupaten Grobogan*. Universitas Semarang.
- Dharmayasa, I. G. N. P., Anggreni, M. Y., Anantanasakul, P., & Sugiana, I. P. (2024). Geotechnical Evaluation of Landslide Risks in Bali's Tourism Zones – A Case Study from Candidasa, Bali, Indonesia. *Ecological Engineering & Environmental Technology*, 25(9), 81–91. <https://doi.org/10.12912/27197050/190207>
- Fanani, A., Alihudien, A., & Priyono, P. (2025). Penggunaan Tipe Pondasi Dangkal Dan Dalam Berdasarkan Sifat-Sifat Fisik Tanah. *Jurnal Smart Teknologi*, 6(4), 431–441.
- Fatmawati, L. E., & Romadhoni, M. I. (2025). Analisis Daya Dukung Pondasi Tiang Pancang Berdasarkan Metode Statis Pada Proyek Gedung Rumah Sakit Mata Masyarakat Jawa Timur. *Journal of Innovative and Creativity*, 5(2).
- Gedela, R., Kalla, S., Sudarsanan, N., & Karpurapu, R. (2021). Assessment of load distribution mechanism in geocell reinforced foundation beds using Digital Imaging Correlation Techniques. *Transportation Geotechnics*, 31, 100664. <https://doi.org/10.1016/j.trgeo.2021.100664>
- Gue, S. S., & Gue, C. S. (2022). GEOTECHNICAL CHALLENGES ON SOFT GROUND. *Journal of Civil Engineering, Science and Technology*, 13(2), 84–96. <https://doi.org/10.33736/jcest.4760.2022>
- Hamid, A. R., Zulkarnain, S. H., Anwar, M., Suyuti, S., & Fatt, C. C. (2025). The Impact of Customary Land Rights Conversion on Local Communities and Economic Development in Bali. *Asia Pacific Viewpoint*, apv.70024. <https://doi.org/10.1111/apv.70024>
- Han, Z., Li, J., Gao, P., Huang, B., Ni, J., & Wei, C. (2020). Determining the Shear Strength and Permeability of Soils for Engineering of New Paddy Field Construction in a Hilly Mountainous Region of Southwestern China. *International Journal of Environmental Research and Public Health*, 17(5), 1555. <https://doi.org/10.3390/ijerph17051555>
- Hardiyatmo, H. C. (2015). *Teknik Pondasi I* (7th ed.). Gajah Mada University Press.
- Hartanto, A., Mochtar, I. B., & Lastiasih, Y. (2018). Perbandingan Pondasi Bangunan Bertingkat Untuk Pondasi Dangkal dengan Variasi Perbaikan Tanah dan Pondasi Dalam Studi Kasus Pertokoan di Pakuwon City Surabaya. *Jurnal Teknik ITS*, 7(1), D37–D42.
- Hidayatulloh, S., Pascanawaty, M. S., Hamdani, H., & Fitrayudha, A. (2025). Comparative Analysis of the Support Capacity and Settlement of Bored Pile Foundations Using Manual Methods and Allpile Software: Case Study. *Journal La Multiapp*, 6(6), 1380–1396. <https://doi.org/10.37899/journallamultiapp.v6i6.2530>
- Hoang, L. T., Xiong, X., & Matsumoto, T. (2024). Effect of pile arrangement on long-term settlement and load distribution in piled raft foundation models supported by jacked-in piles in saturated clay. *Soils and Foundations*, 64(2), 101426. <https://doi.org/10.1016/j.sandf.2024.101426>
- Kawiana, I. G. P., Wijaya, P. Y., Suasih, N. N. R., & Anandari, I. (2024). The impact of strategic infrastructure development of Bali on the economic growth. *Journal of Infrastructure, Policy and Development*, 8(8), 4664.
- Liu, K., Liu, H., Gao, Y., Wang, Z., Wang, Y., Liu, Q., Jia, C., Huang, Z., & Zhang, B. (2025). Study on the Stability of Buildings During Excavation in Urban Core Areas. *Applied Sciences*, 15(18), 10283. <https://doi.org/10.3390/app151810283>
- Maulina, F., Priadi, E., & Faisal, A. (2015). Penentuan Profil Perlapisan Tanah Berdasarkan Data Sondirdi Kota Pontianak. *JeLAST: Jurnal Teknik Kelautan, PWK, Sipil, dan Tambang*, 2(2).
- Nurokhman, N., Iskandar, M. R., Hanafi, N. F., & Marasabessy, M. I. (2023). Pengaruh Daya Dukung Tanah Dalam Penentuan Pondasi Bored Pile dan Pile Cap Pada Gedung Bertingkat. *CivETech*, 5(1), 26–37. <https://doi.org/10.47200/civitech.v5i1.1553>

- Pusat Pendidikan dan Pelatihan Sumber Daya Air dan Konstruksi. (2017). *Modul Geoteknik Pelatihan Perencanaan Bendungan Tingkat Dasar*.
- Soeng, L. H., Virak, H., Sochan, S., & Juan, M. (2020). Cost-Effective Foundation for Low-Rise Buildings. *International Journal of Engineering Research & Technology (IJERT)*, 9(9), 1114–1125.
- Stanley, E. U., JT, O., Ravari, M. K., Waziri, S. H., Saleh, S., Omafume, O. M., Avwenaghegha, J., & Alaran, Z. (2024). Multi Deterministic Based Assessment Of The Bearing Capacity For A Shallow Foundation: Case Study Of Lagos Southwest, Nigeria. *Engineering Heritage Journal (GWK)*, 8(1), 51–59.
- Thirmanpalli, S., Kommu, S., & Kadali, S. (2024). Design of shallow foundation on clayey strata using Ground improvement techniques – A Numerical Study. *Journal of Physics: Conference Series*, 2779(1), 012064. <https://doi.org/10.1088/1742-6596/2779/1/012064>
- Yulianti, P. (2014). *Studi Pemodelan Perkuatan Pondasi Dangkal Pada Tanah Lempung Lunak Menggunakan Kombinasi Geotekstil Woven dan Grid Bambu Dengan Bantuan Program Plaxis*. Sriwijaya University.
- Zhou, J., Yu, J., Gong, X., & Yan, T. (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. <https://doi.org/10.1016/j.sandf.2020.03.013>
- Zhou, J., Zhang, R., Gong, X., & Yu, J. (2025). Field study on uplift bearing capacity of pre-bored grouted planted pile and bored pile in deep soft soil. *Ocean Engineering*, 322, 120477. <https://doi.org/10.1016/j.oceaneng.2025.120477>
- Zhou, X., & Wang, T. (2025). Uncertainty Analysis and Risk Assessment for Variable Settlement Properties of Building Foundation Soils. *Buildings*, 15(13), 2369. <https://doi.org/10.3390/buildings15132369>