

Peningkatan Akurasi Perhitungan Kapasitas Dukung Pondasi Strauss melalui Integrasi Profil Diameter Aktual Sepanjang Tiang

Heni Agnes Rosyta, Agata Iwan Candra*

Universitas Kediri, Kota Kediri-64115, Indonesia

ARTICLE INFO

Kata Kunci:

Pondasi Strauss pile; daya dukung ultimit; daya dukung ijin; rasio kedalaman–diameter (D/B); profil tanah berlapis.

***Correspondence email:**

iwan_candra@unik-kediri.ac.id

Submitted: 29 November 2025

Revised: 20 Desember 2025

Accepted: 17 Januari 2026

Published: 03 Februari 2026

ABSTRAK

Variasi kondisi geoteknik vertikal pada tanah berlapis sering memengaruhi kapasitas dukung pondasi tiang, khususnya pada sistem *Strauss pile* yang memiliki diameter tidak seragam dan dipengaruhi proses pengeboran manual. Penelitian ini bertujuan mengevaluasi hubungan antara kedalaman, rasio kedalaman–diameter (D/B), dan kapasitas dukung ultimit (Q_u) serta kapasitas dukung ijin (Q_{all}) pada tiang B50 dan B60 berdasarkan perhitungan empiris dan data uji lapangan. Metode yang digunakan meliputi analisis tekanan konus (Q_c), perhitungan kapasitas dukung menggunakan pendekatan *Meyerhof*, serta pengujian lapangan untuk memperoleh nilai Q_u dan Q_{all} aktual. Hasil penelitian menunjukkan bahwa kapasitas dukung meningkat hingga kedalaman sekitar 4,0 m sebelum mengalami perubahan pada kedalaman berikutnya, dengan nilai Q_u lapangan tercatat lebih rendah dibandingkan estimasi empiris, yaitu selisih 16,993% pada B50 dan 17,713% pada B60. Kapasitas ijin juga menunjukkan tren serupa, dengan nilai *Meyerhof* lebih tinggi dibandingkan hasil pengujian langsung. Analisis berdasarkan D/B memperlihatkan pola peningkatan menuju rasio kritis dan penurunan pada rasio berikutnya. Secara keseluruhan, temuan ini menegaskan bahwa kedalaman dan rasio D/B merupakan parameter dominan dalam pengendalian kapasitas dukung tiang Strauss pada kondisi tanah berlapis.

ABSTRACT

Keywords:

Strauss pile; ultimate bearing capacity; allowable bearing capacity; depth–diameter ratio (D/B); layered soil profile.

Vertical variability in layered soil profiles often influences the load-bearing performance of pile foundations, particularly for Strauss piles, which exhibit non-uniform diameters and are affected by manual drilling processes. This study aims to evaluate the relationship between depth, depth–diameter ratio (D/B), ultimate bearing capacity (Q_u), and allowable bearing capacity (Q_{all}) for B50 and B60 piles based on empirical estimations and field test results. The methodology includes cone penetration resistance (Q_c) analysis, bearing capacity calculation using the Meyerhof approach, and field testing to obtain actual Q_u and Q_{all} values. The results show that bearing capacity increases with depth until approximately 4.0 m before changing at subsequent depths, with field-measured Q_u values remaining lower than empirical predictions, exhibiting differences of 16.993% for B50 and 17.713% for B60. Allowable bearing capacity demonstrates a similar trend, where Meyerhof predictions consistently exceed field measurements. Analysis based on D/B ratios also reveals a consistent pattern of increasing capacity toward a critical ratio followed by changes at larger ratios. Overall, the findings indicate that depth and D/B ratio are dominant parameters controlling the bearing performance of Strauss piles in layered soil conditions

PENDAHULUAN

Pondasi tiang bor tipe Strauss pile merupakan salah satu jenis pondasi dalam yang digunakan untuk menyalurkan beban bangunan menuju lapisan tanah yang memiliki kapasitas dukung lebih tinggi (Putra et al., 2024). Jenis pondasi ini banyak diterapkan pada bangunan bertingkat rendah hingga menengah karena metode pengerjaannya sederhana dan dapat dilakukan pada ruang kerja yang terbatas (Geoffrey G Meyerhof, 1976; Meyerhof, n.d.). Dalam perencanaan pondasi tiang, dua parameter utama yang menjadi perhatian adalah kapasitas dukung ultimit (Q_u) sebagai batas maksimum penyaluran beban dan kapasitas dukung ijin (Q_{all}) sebagai nilai aman berdasarkan penerapan faktor keamanan (Krisnanto et al., 2024). Meyerhof (1963) menjelaskan bahwa Q_u terbentuk dari kontribusi tahanan ujung dan tahanan selimut, kemudian dikonversi menjadi Q_{all} dengan mempertimbangkan kondisi tanah. Selain itu, rasio kedalaman terhadap diameter (D/B) memiliki pengaruh penting terhadap transfer beban karena nilai D/B memengaruhi luas kontak selimut tiang yang diperlukan untuk memobilisasi friksi tanah–tiang (Huat et al., 2021).

Variasi karakteristik tanah terhadap kedalaman dapat memengaruhi respons tanah terhadap beban vertikal sehingga kapasitas dukung hasil perhitungan empiris tidak selalu sesuai dengan hasil uji lapangan (Liu et al., 2025). Kondratieva et al. (2020) menunjukkan bahwa kapasitas dukung aktual di lapangan dapat berbeda dari hasil estimasi metode empiris, baik lebih besar maupun lebih kecil, tergantung kondisi tanah dan dimensi tiang (Kondratieva et al.,

2020). Hasil penelitian lain juga menunjukkan bahwa nilai Q_u lapangan dapat lebih besar atau lebih kecil dari perhitungan desain tergantung kondisi tanah dan dimensi tiang (Liu et al., 2025; Mutiara, 2021).

Perubahan diameter yang terjadi akibat metode pengeboran manual pada Strauss pile sering menghasilkan bentuk penampang yang tidak seragam sepanjang kedalaman. Hal ini dapat mengubah pola gesekan tanah–tiang serta distribusi tekanan tanah terhadap selimut tiang (Liu et al., 2025). Andhiska dan Rusdiansyah (2025) menunjukkan bahwa variasi geometri tiang berpengaruh terhadap kapasitas dukung dan kinerja struktur pondasi (Azhari & Rusdiansyah, 2025). Variasi diameter yang timbul pada Strauss pile menjadi aspek penting yang berpotensi memengaruhi performa kapasitas dukungnya (Yenginar et al., 2024).

Metode Meyerhof masih digunakan secara luas dalam perencanaan pondasi tiang, tetapi memiliki keterbatasan ketika diterapkan pada kondisi tanah berlapis. Al-Atroush et al. (2022) melaporkan bahwa metode empiris tradisional, termasuk Meyerhof, berpotensi memberikan estimasi kapasitas dukung yang kurang sesuai dengan hasil uji lapangan (Al-Atroush et al., 2022). Perbedaan tersebut dipengaruhi oleh ketidaktepatan nilai faktor kapasitas dukung (N_q) pada kondisi tanah actual. Sebaliknya, metode investigasi tanah berbasis CPT memberikan hasil yang lebih akurat dalam menilai respons tiang terhadap tanah (Rauter et al., 2020). Doan dan Lehane (2021) menyatakan bahwa metode berbasis CPT lebih andal dibandingkan pendekatan empiris lama (Doan & Lehane, 2021). Selain itu, perubahan struktur tanah selama pemasangan tiang seperti densifikasi, redistribusi tegangan, dan pemecahan butir tanah dapat memengaruhi besarnya nilai tahanan ujung maupun selimut (Rauter et al., 2020).

Perkembangan kapasitas dukung terhadap kedalaman berkaitan erat dengan karakteristik tanah, nilai modulus deformasi, dan kemampuan tiang dalam menyalurkan beban vertikal (Tamboura et al., 2022). Parameter kedalaman (D), rasio D/B , Q_u , dan Q_{all} memiliki hubungan yang saling memengaruhi, terutama pada kondisi tanah berlapis (Liu et al., 2025). Namun, hingga saat ini belum terdapat penelitian yang membahas hubungan keempat parameter tersebut dalam satu kajian terpadu pada Strauss pile dengan dua diameter berbeda, baik melalui pendekatan Meyerhof maupun berdasarkan hasil uji lapangan (Gathuka et al., 2021). Padahal, proses pengeboran manual pada Strauss pile sering menghasilkan diameter yang berubah-ubah terhadap kedalaman, sehingga pola mobilisasi tahanan selimut dan ujung dapat berbeda pada setiap kondisi lapisan tanah (Huat et al., 2021; Liliwanti et al., 2024)

Kondisi tersebut menunjukkan adanya kesenjangan penelitian yang perlu dijawab. Belum ada kajian yang menjelaskan keterkaitan antara D , D/B , Q_u , dan Q_{all} secara menyeluruh pada Strauss pile, khususnya yang menggabungkan analisis perhitungan Meyerhof dengan data hasil uji lapangan. Padahal informasi ini sangat penting untuk memahami perubahan kapasitas dukung terhadap kedalaman dan untuk mengevaluasi ketelitian metode empiris terhadap kondisi tanah actual.

Berdasarkan kebutuhan tersebut, penelitian ini bertujuan untuk menganalisis pengaruh kedalaman (D) dan rasio D/B terhadap kapasitas dukung ultimit (Q_u) dan kapasitas dukung ijin (Q_{all}), serta membandingkan nilai kapasitas dukung hasil metode Meyerhof dengan hasil uji lapangan pada dua diameter Strauss pile. Penelitian ini diharapkan memberikan gambaran yang lebih tepat mengenai perilaku kapasitas dukung tiang bor manual pada tanah berlapis serta meningkatkan ketepatan perencanaan pondasi Strauss pile.

METODE

Penelitian ini menggunakan data hasil *Cone Penetration Test* (CPT) pada lokasi proyek RS Bhayangkara Kediri i untuk menghitung kapasitas dukung tiang bor berbasis tahanan konus (q_c). Seluruh tahapan analisis dilakukan menggunakan formulasi *Meyerhof (1976)* serta mengikuti ketentuan perencanaan fondasi dalam pada SNI 8460:2017. Dua diameter tiang, 50 cm dan 60 cm, dianalisis untuk mengevaluasi pengaruh geometri terhadap kapasitas dukung (Badan Standardisasi Nasional, 2017; Geoffrey G Meyerhof, 1976).

Interpretasi tanah dilakukan melalui karakteristik variasi q_c terhadap kedalaman, yang merefleksikan kondisi stratigrafi dan tingkat kepadatan tanah. Nilai q_c yang rendah diasosiasikan dengan tanah berperilaku lunak, sedangkan peningkatan q_c menunjukkan tanah yang lebih padat dan kompeten (Geoffrey G Meyerhof, 1976). Nilai q_c rata-rata (q_{ca}) diambil berdasarkan interval q_c yang mewakili kondisi tanah di sekitar ujung tiang, sesuai prinsip evaluasi tahanan ujung dalam pendekatan *CPT-based capacity*.

Perhitungan daya dukung ujung menggunakan pendekatan Meyerhof dengan persamaan:

$$Q_b = f_b \cdot A_b \quad (1)$$

dengan Q_b adalah kapasitas ujung (kN), f_b tahanan ujung satuan (kN/m²), dan A_b luas penampang ujung (m²). Nilai tahanan ujung satuan dihitung menggunakan:

$$f_b = q_{ca} \cdot w_1 \cdot w_2 \quad (2)$$

di mana q_{ca} adalah q_c rata-rata pada kedalaman representatif, w_1 koefisien skala diameter, dan w_2 koefisien penetrasi dalam. Koefisien skala dihitung dengan :

$$w_1 = \left(\frac{2B}{B + 0,5} \right) \quad (3)$$

dengan B adalah diameter tiang (m) dan n merupakan eksponen yang menggambarkan kategori kepadatan tanah berdasarkan nilai qc (n = 1 untuk tanah lepas, n = 2 untuk kepadatan sedang, dan n = 3 untuk tanah padat). Sementara itu, koefisien penetrasi dalam dihitung melalui:

$$w_2 = \left(\frac{D}{10B} \right) \quad (4)$$

dengan D adalah kedalaman ujung tiang (m). Nilai w₂ maksimum adalah 1 jika kedalaman efektif tiang mencapai atau melebihi 10B.

Kontribusi gesekan selimut dihitung menggunakan:

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

di mana Q_s adalah kapasitas gesekan selimut (kN), f_s gesekan satuan (kN/m²), dan A_s luas selimut tiang (m²). Nilai f_s ditentukan berdasarkan korelasi CPT:

$$f_s = K_s \cdot q_s \quad K_f = 1 \quad (6)$$

atau, apabila q_f tidak tersedia:

$$f_s = K_c \cdot q_c \quad K_c = 0,005 \quad (7)$$

yang merupakan pendekatan empiris untuk tanah granular. Untuk tiang bor manual, nilai gesekan selimut direduksi 50–70% mengikuti ketentuan SNI 8460:2017 untuk memperhitungkan gangguan tanah pada dinding lubang bor (Badan Standardisasi Nasional, 2017).

Kapasitas ultimit dihitung dengan:

$$Q_u = Q_b + Q_s \quad (8)$$

dan kapasitas izin diperoleh melalui:

$$Q_{all} = \frac{Q_u}{F_s} \quad (9)$$

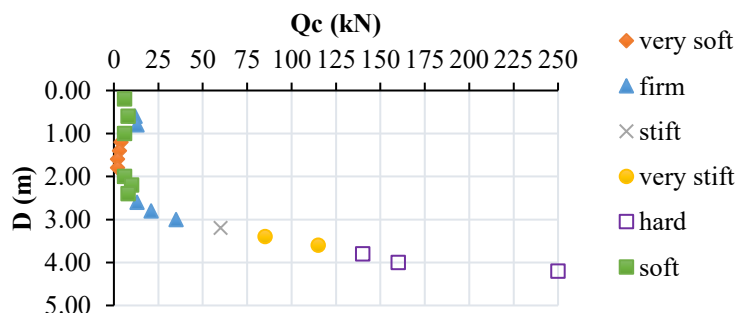
dengan faktor keamanan FS = 3 sesuai rekomendasi SNI 8460:2017.

Perhitungan dilanjutkan dengan analisis hubungan antara kedalaman dan kapasitas dukung yang dihasilkan melalui metode Meyerhof, kemudian dibandingkan dengan respons tanah berdasarkan data sondir (qc). Untuk tujuan tersebut, hasil perhitungan disajikan dalam grafik yang memplot Qu terhadap kedalaman dan Qall terhadap kedalaman, sehingga dapat diamati kesesuaian pola antara perhitungan Meyerhof (1976) dan distribusi qc (Geoffrey G Meyerhof, 1976). Selain itu, grafik tambahan disusun dengan menggunakan rasio D/B (kedalaman dibagi diameter) dalam bentuk Qu terhadap D/B dan Qall terhadap D/B. Penyajian berbasis D/B memudahkan analisis perbandingan performa antara diameter 50 cm dan 60 cm pada kondisi kedalaman relatif yang setara, serta memungkinkan evaluasi perubahan kapasitas pada kondisi penetrasi dangkal hingga dalam.

Gabungan grafik terhadap kedalaman dan D/B ini memberikan gambaran komprehensif mengenai perubahan kapasitas tiang pada masing-masing diameter dan memperlihatkan bagaimana hasil perhitungan Meyerhof sesuai dengan kecenderungan yang ditunjukkan oleh data qc di lokasi penelitian.

HASIL

1. Hubungan Kedalaman Tiang terhadap Variasi Tekanan Konus (Qc)



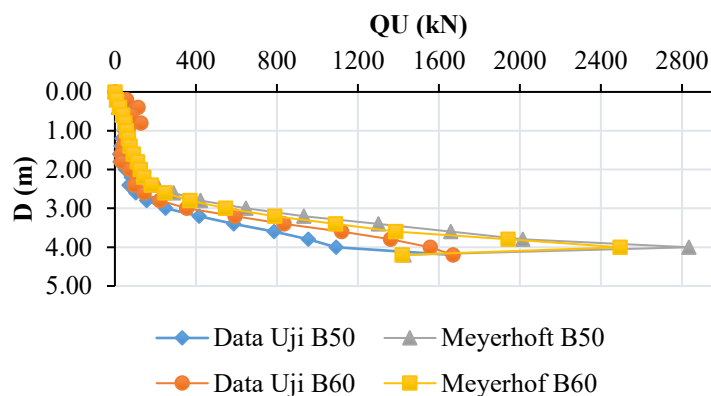
Gambar 1. Grafik tekanan konus (Qc) terhadap kedalaman (D) hasil uji CPT pada lokasi penelitian.

Sumber : Data Olahan (2025)

Berdasarkan gambar 1 hasil pengukuran tekanan konus (Q_c) pada berbagai kedalaman (D), diperoleh nilai Q_c yang berada dalam rentang 0 hingga 250 kg/cm² pada kedalaman 0 hingga 4,2 m. Pada kedalaman 0 sampai 1,5 m, data menunjukkan nilai Q_c antara 1 dan 13 kg/cm² dengan variasi yang terlihat pada setiap interval pengukuran. Pada kedalaman 1,6 hingga 2,8 m, nilai Q_c tercatat berada pada kisaran 6 hingga 21 kg/cm², dengan pola peningkatan bertahap dibandingkan kedalaman sebelumnya. Pada kedalaman 3,0 hingga 4,2 m, nilai Q_c tercatat meningkat dari 35 menjadi 250 kg/cm². Secara keseluruhan, hasil pengukuran menunjukkan bahwa nilai Q_c yang diperoleh pada setiap kedalaman memiliki kecenderungan meningkat seiring bertambahnya kedalaman berdasarkan data yang terekam.

2. Pengaruh Daya Dukung Ultimit (Q_u) terhadap Kedalaman Tiang

Hasil uji menunjukkan bahwa seluruh kurva hubungan antara kedalaman (D) dan daya dukung ultimit (Q_u) untuk tiang berdiameter B50 dan B60 memperlihatkan pola yang terdiri atas fase peningkatan nilai Q_u hingga mencapai nilai tertinggi pada kedalaman 4,0 m, kemudian diikuti oleh penurunan nilai pada kedalaman 4,2 m. Pada kurva *Meyerhof B50*, nilai Q_u tercatat meningkat hingga mencapai 2834,52 kN pada kedalaman 4,0 m dan selanjutnya menurun menjadi 1427,32 kN pada kedalaman 4,2 m. Kurva *Meyerhof B60* menunjukkan nilai puncak 2494,17 kN pada kedalaman 4,0 m sebelum menurun menjadi 1418,60 kN pada kedalaman 4,2 m.

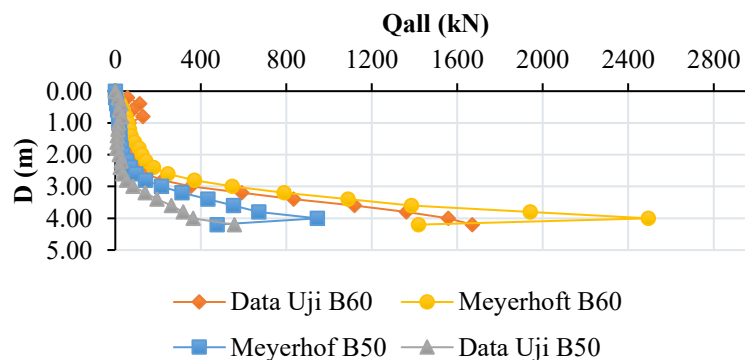


Gambar 2. Grafik Hubungan antara kedalaman tiang (D) dan daya dukung ultimit (Q_u) berdasarkan metode Meyerhof dan hasil uji lapangan.

Sumber : Data Olahan (2025)

Berdasarkan gambar 2 pada kurva *Data Uji B50*, nilai Q_u memperoleh nilai tertinggi 1092,26 kN pada kedalaman 4,0 m dan mengalami perubahan menjadi 1669,88 kN pada kedalaman 4,2 m. Sementara itu, kurva *Data Uji B60* menunjukkan nilai maksimum 1557,20 kN pada kedalaman 4,0 m dan tercatat sebesar 1669,88 kN pada kedalaman 4,2 m. Pada kedalaman maksimum, selisih antara nilai metode Meyerhof dan hasil uji lapangan menunjukkan bahwa nilai *Data Uji B50* berada 16,993% lebih rendah dibandingkan Meyerhof, sedangkan nilai *Data Uji B60* berada 17,713% lebih rendah dari nilai Meyerhof.

3. Pengaruh Daya Dukung Ijin (Q_{all}) terhadap Kedalaman Tiang



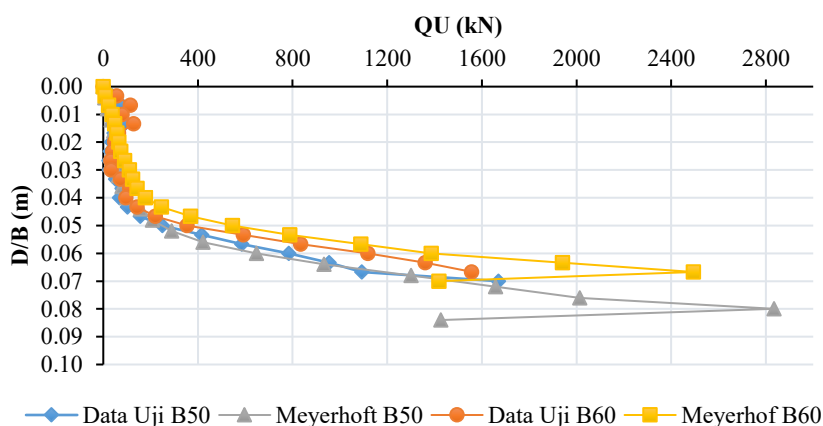
Gambar 3. Distribusi daya dukung ijin (Q_{all}) sepanjang kedalaman tiang untuk diameter B50 dan B60.

Sumber : Data Olahan (2025)

Berdasarkan dari gambar 3 hasil uji menunjukkan bahwa seluruh kurva hubungan antara kedalaman (D) dan daya dukung ijin (Q_{all}) pada tiang berdiameter B50 dan B60 menampilkan konfigurasi pola yang konsisten, yaitu

peningkatan nilai Qall sejak kedalaman awal pengamatan hingga mencapai nilai maksimum pada kedalaman sekitar 4,0 m, kemudian diikuti oleh penurunan nilai pada kedalaman 4,2 m. Pada kurva *Meyerhof B50*, nilai Qall tercatat mencapai 944,8 kN pada kedalaman 4,0 m dan menurun menjadi 475,8 kN pada 4,2 m. Kurva *Meyerhof B60* menunjukkan nilai puncak sebesar 831,4 kN pada kedalaman 4,0 m, kemudian turun menjadi 472,9 kN pada kedalaman 4,2 m. Pada kurva *Data Uji B50*, nilai Qall mencapai 364,088 kN pada 4,0 m, diikuti oleh perubahan nilai menjadi 556,625 kN pada 4,2 m. Sementara itu, kurva *Data Uji B60* menunjukkan nilai puncak 519,066 kN pada 4,0 m, kemudian berubah menjadi 556,625 kN pada 4,2 m. Keempat kurva tersebut secara keseluruhan menggambarkan pola tunggal berupa kenaikan nilai daya dukung ijin menuju kedalaman puncak sekitar 4,0 m, kemudian diikuti oleh perubahan nilai pada kedalaman berikutnya sebagaimana tersaji pada grafik dan tabel hasil pengukuran.

4. Pengaruh Rasio Kedalaman - Diameter (D/B) terhadap Daya Dukung Ultimit (Qu)

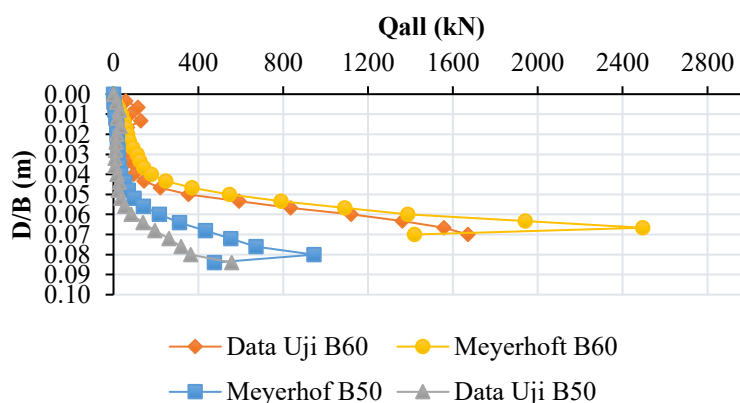


Gambar 4. Variasi daya dukung ultimit (Qu) terhadap rasio kedalaman–diameter (D/B) pada tiang B50 dan B60.

Sumber : Data Olahan (2025)

Berdasarkan gambar 4 hasil uji menunjukkan bahwa kurva hubungan antara rasio kedalaman–diameter (D/B) dan daya dukung ultimit (Qu) pada tiang berdiameter B50 dan B60 memperlihatkan pola peningkatan nilai Qu dari kedalaman awal pengamatan hingga mencapai nilai maksimum pada kedalaman sekitar 4,0 m, kemudian mengalami penurunan nilai pada kedalaman 4,2 m. Pada kurva *Meyerhof B50*, nilai Qu mencapai 2834,52 kN pada rasio D/B sebesar 0,080 dan menurun menjadi 1427,32 kN pada rasio D/B sebesar 0,084. Pada kurva *Meyerhof B60*, nilai Qu mencapai 2494,17 kN pada rasio D/B sebesar 0,067 dan menurun menjadi 1418,60 kN pada rasio D/B sebesar 0,070. Pada kurva *Data Uji B50*, nilai Qu tercatat 1092,26 kN pada rasio D/B sebesar 0,080, kemudian berubah menjadi 1669,88 kN pada rasio D/B sebesar 0,084. Untuk kurva *Data Uji B60*, nilai Qu tercatat 1557,20 kN pada rasio D/B sebesar 0,067, kemudian berubah menjadi 1669,88 kN pada rasio D/B sebesar 0,070. Seluruh kurva tersebut memperlihatkan sebuah pola tunggal berupa kenaikan nilai Qu menuju titik maksimum rasio D/B tertentu, diikuti oleh perubahan nilai pada rasio yang lebih besar sebagaimana tersaji pada grafik dan tabel hasil pengukuran.

5. Variasi Daya Dukung Ijin (Qall) berdasarkan Rasio Kedalaman–Diameter (D/B)



Gambar 5. Hubungan rasio kedalaman–diameter (D/B) dengan daya dukung ijin (Qall) berdasarkan metode Meyerhof dan hasil uji lapangan.

Sumber : Data Olahan (2025)

Berdasarkan gambar 5 hasil uji menunjukkan bahwa hubungan antara rasio kedalaman–diameter (D/B) dan daya dukung ijin (Q_{all}) pada tiang B50 dan B60 membentuk pola yang konsisten pada seluruh kurva, yaitu peningkatan Q_{all} hingga mencapai nilai maksimum pada rasio tertentu, kemudian diikuti oleh perubahan nilai pada rasio yang lebih besar. Pada kurva *Meyerhof B50*, nilai Q_{all} meningkat hingga mencapai 944,8 kN pada rasio D/B 0,080, kemudian menurun menjadi 475,8 kN pada rasio 0,084. Kurva *Meyerhof B60* menunjukkan nilai puncak 831,4 kN pada rasio 0,067, yang selanjutnya berkurang menjadi 472,9 kN pada rasio 0,070. Pada kurva *Data Uji B50*, nilai Q_{all} bergerak naik hingga mencapai 364,088 kN pada rasio 0,080, kemudian berubah menjadi 556,625 kN pada rasio 0,084. Kurva *Data Uji B60* memperlihatkan peningkatan kapasitas hingga mencapai 519,066 kN pada rasio 0,067, kemudian berubah menjadi 556,625 kN pada rasio 0,070. Secara keseluruhan, seluruh kurva pada grafik memperlihatkan satu pola garis yang dimulai dari nilai Q_{all} rendah pada rasio D/B kecil, mencapai nilai puncak pada rentang rasio D/B menengah, dan selanjutnya menunjukkan perubahan nilai pada rasio yang lebih besar sebagaimana tercantum dalam grafik dan tabel hasil pengukuran.

Pembahasan

Hasil evaluasi menunjukkan bahwa perkembangan sifat tanah dan kapasitas dukung tiang pada lokasi penelitian mengikuti pola yang terstruktur secara vertikal, ditandai oleh peningkatan tekanan konus (Q_c) terhadap kedalaman yang mencerminkan transisi karakteristik tanah dari *very soft–soft* menuju *firm–stiff*, dan kemudian *very stiff–hard* pada kedalaman yang lebih besar, sebagaimana umum dijumpai pada profil tanah berlapis yang mengalami peningkatan tekanan efektif seiring kedalaman (Geoffrey G Meyerhof, 1976). Pola tersebut selaras dengan perkembangan daya dukung ultimit (Q_u) pada tiang B50 dan B60, di mana seluruh kurva menunjukkan kenaikan kapasitas hingga mencapai nilai maksimum pada kedalaman sekitar 4,0 m, kemudian mengalami perubahan pada kedalaman berikutnya, dengan nilai pendekatan Meyerhof secara konsisten lebih tinggi dibandingkan hasil uji lapangan, termasuk selisih kuantitatif pada kedalaman maksimum yang menunjukkan perbedaan 16,993% pada B50 dan 17,713% pada B60. Hal serupa terlihat pada daya dukung ijin (Q_{all}), yang meningkat secara progresif sepanjang kedalaman hingga kedalaman yang sama sebelum berubah pada titik berikutnya, dengan pendekatan Meyerhof tetap menghasilkan nilai yang lebih besar dibandingkan hasil pengujian langsung. Ketika hubungan kapasitas dukung ditinjau berdasarkan rasio kedalaman–diameter (D/B), baik Q_u maupun Q_{all} menunjukkan konfigurasi kurva yang konsisten, yaitu peningkatan kapasitas menuju rasio D/B yang memberikan nilai puncak dan perubahan nilai pada rasio selanjutnya, di mana perhitungan Meyerhof kembali menempati nilai tertinggi pada seluruh diameter. Konsistensi pola antar metode dan antar variabel tersebut menunjukkan bahwa baik kedalaman maupun rasio geometrik tiang merupakan parameter dominan yang mengontrol kapasitas dukung elemen pondasi, sementara perbedaan nilai absolut antara pendekatan empiris dan hasil uji lapangan menegaskan adanya deviasi sistematis yang perlu dipertimbangkan dalam penilaian kinerja tiang Strauss pada kondisi tanah setempat (Gathuka et al., 2021; Tamboura et al., 2022).

SIMPULAN

Penelitian ini menunjukkan bahwa peningkatan tekanan konus (Q_c) dari *very soft–soft* menuju *firm–stiff* dan *very stiff–hard* seiring kedalaman berkorelasi langsung dengan perkembangan kapasitas dukung tiang, di mana daya dukung ultimit (Q_u) dan daya dukung ijin (Q_{all}) pada B50 dan B60 sama-sama meningkat hingga mencapai puncak pada kedalaman sekitar 4,0 m sebelum berubah pada kedalaman berikutnya. Pendekatan *Meyerhof* secara konsisten menghasilkan kapasitas lebih tinggi dibandingkan hasil uji lapangan, dengan selisih Q_u pada kedalaman maksimum mencapai 16,993% (B50) dan 17,713% (B60), serta nilai Q_{all} Meyerhof masing-masing 944,8 kN (B50) dan 831,4 kN (B60) dibandingkan kapasitas lapangan 364,088 kN (B50) dan 519,066 kN (B60). Analisis berdasarkan rasio kedalaman–diameter (D/B) juga menunjukkan pola yang konsisten, yaitu peningkatan kapasitas menuju rasio kritis dan perubahan pada rasio berikutnya, dengan *Meyerhof* tetap memberikan nilai tertinggi pada seluruh diameter. Temuan ini menegaskan bahwa kedalaman dan rasio D/B merupakan parameter pengendali utama kapasitas dukung tiang, sementara deviasi sistematis antara estimasi empiris dan hasil uji lapangan menunjukkan perlunya penyesuaian pendekatan empiris agar lebih representatif terhadap kondisi tanah setempat.

DAFTAR PUSTAKA

- Al-Atroush, M. E., Hefny, A. M., & Sorour, T. M. (2022). Modified Meyerhof approach for forecasting reliable ultimate capacity of the large diameter bored piles. *Scientific Reports*, 12(1). <https://doi.org/10.1038/s41598-022-12238-w>
- Azhari, R. A., & Rusdiansyah, R. (2025). Study of pile friction capacity in soft clay soil based on laboratory scale model. *Technium: Romanian Journal of Applied Sciences and Technology*, 28(2), 17–23. <https://doi.org/10.47577/technium.v28i.12592>
- Badan Standardisasi Nasional. (2017). Persyaratan Perancangan Geoteknik. *Standar Nasional Indonesia*, 8460, 1–323.
- Doan, L. V., & Lehane, B. M. (2021). CPT-Based Design Method for Axial Capacities of Drilled Shafts and Auger

- Cast-in-Place Piles. *Journal of Geotechnical and Geoenvironmental Engineering*, 147(8). [https://doi.org/10.1061/\(asce\)gt.1943-5606.0002542](https://doi.org/10.1061/(asce)gt.1943-5606.0002542)
- Gathuka, L. W., Kato, T., Takai, A., Flores, G., Inui, T., & Katsumi, T. (2021). Effect of acidity on attenuation performance of sandy soil amended with granular calcium-magnesium composite. *Soils and Foundations*, 61(4), 1099–1111. <https://doi.org/10.1016/j.sandf.2021.05.007>
- Geoffrey G Meyerhof. (1976). 2. 1976. *meyerhof. Bearing Capacity and Settlement Pile Foundation*.
- Huat, C. Y., Moosavi, S. M. H., Mohammed, A. S., Armaghani, D. J., Ulrikh, D. V., Monjezi, M., & Lai, S. H. (2021). Factors influencing pile friction bearing capacity: Proposing a novel procedure based on gradient boosted tree technique. *Sustainability (Switzerland)*, 13(21). <https://doi.org/10.3390/su132111862>
- Kondratieva, L., Konyushkov, V., Trong, L. Van, & Kirillov, V. (2020). Analysis of bored piles' field test results. *Key Engineering Materials*, 828 KEM, 194–201. <https://doi.org/10.4028/www.scientific.net/KEM.828.194>
- Krisnanto, S., Kabila, M. P., Amiruddin, M. D., Wijayadi, S., Adryan, F., & Ikrimah, I. (2024). Analysis of the Variability of Axial Bearing Capacity Piles in Cohesionless Soil in the Development of Meyerhof Formula. *Jurnal Teknik Sipil*, 31(1), 77–84. <https://doi.org/10.5614/jts.2024.31.1.9>
- Liliwarti, Silvianengsih, Mahardika, T., M, B., & Abdillah, F. (2024). Analysis of Pile Foundation Bearing Capacity and Soil Classification in Padang City. *International Journal of Advanced Science Computing and Engineering*, 6(3), 134–138. <https://doi.org/10.62527/ijasce.6.3.220>
- Liu, H., Zhu, D., Bian, X., Wang, Z., & Gu, J. (2025). Analysis of the Vertical Bearing Capacity of Pile Foundations in Backfill Soil Areas Based on Non-Stationary Random Field. *Buildings*, 15(8). <https://doi.org/10.3390/buildings15081314>
- Meyerhof, G. G. (n.d.). *by*.
- Mutiara, I. (2021). Analysis of Bored Pile Foundation Bearing Capacity Based on Cone Penetration Test Data (Case Study: Cilellang Weir Location). *INTEK: Jurnal Penelitian*, 8(1), 30–36. <https://doi.org/10.31963/intek.v8i1.2772>
- Putra, M. S. G. P., Amalia, K. R., Syahira, N. A., Praditya, N., & Marpen, R. (2024). Analisa Perhitungan Daya Dukung Fondasi Minipile pada Rumah Trafo PT. Pertamina Plaju. *Jurnal Talenta Sipil*, 7(1), 224. <https://doi.org/10.33087/talentasipil.v7i1.455>
- Rauter, M., Barker, T., & Fellin, W. (2020). Granular viscosity from plastic yield surfaces: The role of the deformation type in granular flows. *Computers and Geotechnics*, 122(November 2019), 103492. <https://doi.org/10.1016/j.compgeo.2020.103492>
- Tamboura, H. H., Yamauchi, R., & Isobe, K. (2022). Bearing capacity evaluation of small-diameter spiral piles in soft ground subjected to combined loads. *Soils and Foundations*, 62(5), 101204. <https://doi.org/10.1016/j.sandf.2022.101204>
- Yenginlar, Y., Fidan, B., & Olgun, M. (2024). Effect of Pile Geometry and Soil Saturation Degree on Point Bearing Capacity for Bored Piles in Sands. *Konya Journal of Engineering Sciences*, 8055, 307–325. <https://doi.org/10.36306/konjes.1398634>