

Daya Dukung Fondasi Dangkal dan Dalam Gudang Air Minum dalam Kemasan (AMDK) Kota Malang

Arif Wahono*, Fx. Hevie Dwi Novianto, Adi Setio

Program Studi Teknik Sipil, Fakultas Teknik, Universitas Wisnuwardhana Malang, Indonesia

ARTICLE INFO

Kata Kunci:

Cone Penetration Test (CPT)/Sondir; Daya Dukung Tanah; Fondasi Dangkal; Fondasi Dalam; Metode Terzaghi; Standard Penetration Test (SPT)

***Correspondence email:**

arifwahono@wisnuwardhana.ac.id

Submitted: 23 Juli 2026

Revised: 03 Agustus 2026

Accepted: 04 Agustus 2026

Published: 04 Agustus 2026

ABSTRAK

Perencanaan fondasi memegang peranan penting dalam menjamin stabilitas dan keamanan struktur, khususnya pada bangunan industri yang dibangun di atas tanah kohesif. Karakteristik tanah memengaruhi pemilihan jenis fondasi serta kapasitas daya dukungnya, sehingga diperlukan evaluasi terhadap kinerja fondasi dangkal dan fondasi dalam pada kondisi tanah yang sama. Penelitian ini bertujuan untuk menentukan daya dukung fondasi dangkal menggunakan data Standard Penetration Test (SPT), mengevaluasi daya dukung fondasi dalam berdasarkan data Cone Penetration Test (CPT/sondir), serta menganalisis pengaruh variasi dimensi fondasi pada rencana gudang Air Minum Dalam Kemasan (AMDK) di Kota Malang. Penelitian menggunakan metode deskriptif kuantitatif dengan memanfaatkan data sekunder hasil penyelidikan tanah dan pengujian laboratorium. Analisis daya dukung fondasi dangkal dilakukan menggunakan metode Terzaghi, sedangkan daya dukung fondasi dalam dihitung dengan pendekatan empiris berdasarkan data CPT. Hasil analisis menunjukkan bahwa daya dukung fondasi dangkal pada kedalaman 5 m berkisar antara 15,1–32,1 t/m² untuk fondasi menerus (strip foundation), 19,1–37,0 t/m² untuk fondasi lingkaran (circular foundation), dan 19,1–37,4 t/m² untuk fondasi bujur sangkar (square foundation). Sementara itu, daya dukung fondasi dalam pada kedalaman 10 m berkisar antara 399,07–1617,29 ton, bergantung pada diameter tiang yang digunakan. Hasil penelitian menunjukkan bahwa metode Terzaghi masih relevan sebagai pendekatan awal dalam mengevaluasi kapasitas daya dukung fondasi pada tanah kohesif yang relatif homogen. Temuan ini dapat digunakan sebagai referensi awal dalam pemilihan alternatif sistem fondasi, meskipun verifikasi lebih lanjut tetap diperlukan pada tahap perencanaan dan desain rinci.

ABSTRACT

Keywords:

Cone Penetration Test (CPT); Bearing Capacity; Shallow Foundation; Deep Foundation; Terzaghi Method; Standard Penetration Test (SPT).

Foundation design plays a crucial role in ensuring structural stability and safety, particularly for industrial buildings constructed on cohesive soils. Soil characteristics significantly influence the selection of foundation types and their bearing capacities; therefore, an evaluation of both shallow and deep foundations under the same soil conditions is required. This study aims to determine the bearing capacity of shallow foundations using Standard Penetration Test (SPT) data, evaluate the bearing capacity of deep foundations based on Cone Penetration Test (CPT) data, and analyze the effect of foundation dimension variations for the planned Bottled Drinking Water (AMDK) warehouse in Malang City. The study employed a quantitative descriptive approach using secondary data obtained from geotechnical investigations and laboratory testing. The bearing capacity of shallow foundations was analyzed using the Terzaghi method, while the bearing capacity of deep foundations was calculated using an empirical approach based on CPT data. The results indicate that the bearing capacity of shallow foundations at a depth of 5 m ranges from 15.1 to 32.1 t/m² for strip foundations, 19.1 to 37.0 t/m² for circular foundations, and 19.1 to 37.4 t/m² for square foundations. Meanwhile, the bearing capacity of deep foundations at a depth of 10 m ranges from 399.07 to 1,617.29 tons, depending on the pile diameter used. The findings demonstrate that the Terzaghi method remains a relevant preliminary approach for evaluating foundation bearing capacity in relatively homogeneous cohesive soils. These results may serve as an initial reference for selecting alternative foundation systems; however, further verification is still required during the detailed planning and design stages.

PENDAHULUAN

Fondasi merupakan pekerjaan yang utama dalam suatu pekerjaan teknik sipil. Semua konstruksi yang merupakan bagian bangunan atas tanah (*superstructure*) yang direkayasa untuk bertumpu pada tanah harus didukung oleh suatu fondasi. Fondasi merupakan bagian bangunan bawah tanah (*substructure*) yang berfungsi untuk

meneruskan beban-beban yang bekerja pada bagian bangunan atas dan beratnya sendiri ke lapisan tanah pendukung (*bearing layers*) (Al-Najaf et al., 2025; Basoka, 2025).

Fondasi terdiri dari beberapa bentuk, tetapi secara umum fondasi terdiri dari dua (2) jenis, yaitu fondasi dangkal dan fondasi dalam. Pemilihan jenis fondasi tergantung pada jenis konstruksi yang akan dibangun dan juga pada jenis tanah (Alwiah et al., 2025; Antony & Iskandar, 2024). Untuk konstruksi beban ringan dengan kondisi tanah yang cukup baik, biasanya digunakan fondasi dangkal, sedangkan untuk konstruksi beban berat biasanya digunakan fondasi dalam. Untuk memilih fondasi yang memadai, perlu juga diperhatikan apakah fondasi tersebut cocok untuk berbagai keadaan di lapangan dan memungkinkan untuk diselesaikan secara ekonomis sesuai dengan jadwal kerjanya (Cahyuni & Risdianto, 2024; Tomlinson & Woodward, 2023).

Pemboran inti dilakukan untuk mengetahui kondisi fisik tanah. Pengujian SPT (*Standard Penetration Test*) dan pengambilan contoh tanah terganggu (*disturbed sample*) dilakukan untuk kebutuhan pengujian laboratorium (Chairullah, 2022). Debataraja et al. (2024) melakukan evaluasi pembebanan dan daya dukung tanah menggunakan fondasi tiang pancang berdasarkan data nilai N-SPT (Debataraja et al., 2024; Hasanah, 2023). Hasil penelitian menunjukkan bahwa nilai N-SPT memiliki korelasi langsung terhadap kapasitas daya dukung tiang, baik melalui komponen tahanan ujung maupun gesekan selimut.

Sondir bertujuan untuk mengetahui perlawanan konus dan hambatan lekat tanah yang merupakan indikasi dari kekuatan tanah pada kedalaman tertentu serta dapat digunakan untuk menghitung daya dukung lapisan tanah (Craig & Knappett, 2024; Saputra et al., 2023). Pengujian laboratorium mekanika tanah bertujuan untuk mengetahui sifat fisik maupun mekanik dari tanah atau batuan fondasi (Hasanah, 2023; Januar & Maha Agung, 2025).

Untuk perhitungan daya dukung pada tiang pancang, dapat dilakukan dengan beberapa metode dan mungkin akan ditemukan perbedaan ataupun persamaan (Liliwarti, 2024). Hal ini sangat penting dilakukan karena setelah pengujian, hasil yang diperoleh belum memberikan suatu nilai khusus yang tetap, khususnya pada tanah kohesif yang meningkat (Antony & Iskandar, 2024; Putra & Yuliani, 2024). Meskipun penelitian mengenai daya dukung fondasi telah banyak dilakukan, kajian yang membahas analisis daya dukung fondasi dangkal dan fondasi dalam secara spesifik pada satu lokasi bangunan dengan karakteristik tanah yang sama masih terbatas (Kumar, 2025; Lestari et al., 2023). Selain itu, perbedaan hasil perhitungan daya dukung akibat variasi metode dan parameter tanah, khususnya pada tanah kohesif, masih sering dijumpai (Ibrahim et al., 2024).

Oleh karena itu, penelitian ini dilakukan untuk menganalisis daya dukung fondasi dangkal dan fondasi dalam pada rencana gudang Air Minum Dalam Kemasan (AMDK) di Kota Malang, Jawa Timur, berdasarkan data uji SPT dan sondir. Kebaruan penelitian ini terletak pada analisis daya dukung dan simulasi dimensi fondasi yang disesuaikan dengan kondisi tanah aktual lokasi studi, sehingga diharapkan dapat memberikan rekomendasi fondasi yang efektif dan ekonomis.

METODE

Jenis Penelitian

Penelitian ini termasuk dalam penelitian kuantitatif deskriptif-analitis, yaitu penelitian yang bertujuan untuk menganalisis dan mengevaluasi daya dukung fondasi berdasarkan data kuantitatif hasil penyelidikan tanah. Penelitian dilakukan dengan menggunakan data sekunder berupa hasil pengujian lapangan dan laboratorium, yang kemudian dianalisis secara teoritis menggunakan metode perhitungan daya dukung fondasi. Pendekatan yang digunakan adalah analisis mekanika tanah, dengan menerapkan metode Terzaghi untuk analisis daya dukung fondasi dangkal serta analisis berdasarkan data *Cone Penetration Test* (CPT/sondir) untuk fondasi dalam. Validasi hasil penelitian dilakukan melalui pemeriksaan kesesuaian antara parameter tanah, asumsi metode, dan kondisi lapangan. Parameter tanah yang digunakan dalam perhitungan diperoleh dari hasil penyelidikan tanah dan pengujian laboratorium yang telah memenuhi standar pengujian geoteknik. Hasil analisis selanjutnya digunakan untuk menilai kesesuaian kondisi tanah terhadap perencanaan fondasi yang ditinjau. Metode Terzaghi dipilih dalam penelitian ini karena merupakan metode klasik yang paling fundamental dalam analisis daya dukung fondasi dangkal dan masih banyak digunakan dalam praktik perencanaan teknik sipil (Debataraja et al., 2024).

Analisis daya dukung fondasi dalam dilakukan berdasarkan data *Cone Penetration Test* (CPT/sondir) dengan memperhitungkan tahanan ujung (*end bearing*) dan tahanan selimut (*skin friction*) tiang. Kapasitas daya dukung izin ditentukan menggunakan faktor keamanan (*factor of safety*) yang diterapkan dalam perhitungan. Analisis dilakukan pada beberapa variasi diameter dan kedalaman tiang untuk mengetahui perubahan kapasitas daya dukung pada setiap titik penyelidikan.

Penelitian ini dibatasi pada evaluasi kapasitas dukung geoteknik berdasarkan data *Standard Penetration Test* (SPT), *Cone Penetration Test* (CPT/sondir), dan hasil pengujian laboratorium. Analisis tidak mencakup beban struktur, penurunan (*settlement*) fondasi, efisiensi kelompok tiang (*pile group efficiency*), maupun kapasitas struktural fondasi. Oleh karena itu, hasil penelitian digunakan sebagai evaluasi awal dan belum merupakan desain fondasi final

Lokasi Penelitian

Secara administrasi terletak di Kelurahan Bumiayu, Kecamatan Kedungkandang, Kota Malang, Provinsi Jawa Timur. Sedangkan untuk lokasi sebaran titik investigasi tanah yang terdiri atas empat titik pemboran inti / SPT dan 4 titik sondir adalah sebagai berikut :



Gambar 1. Lokasi Pemboran Inti (SPT) & Sondir

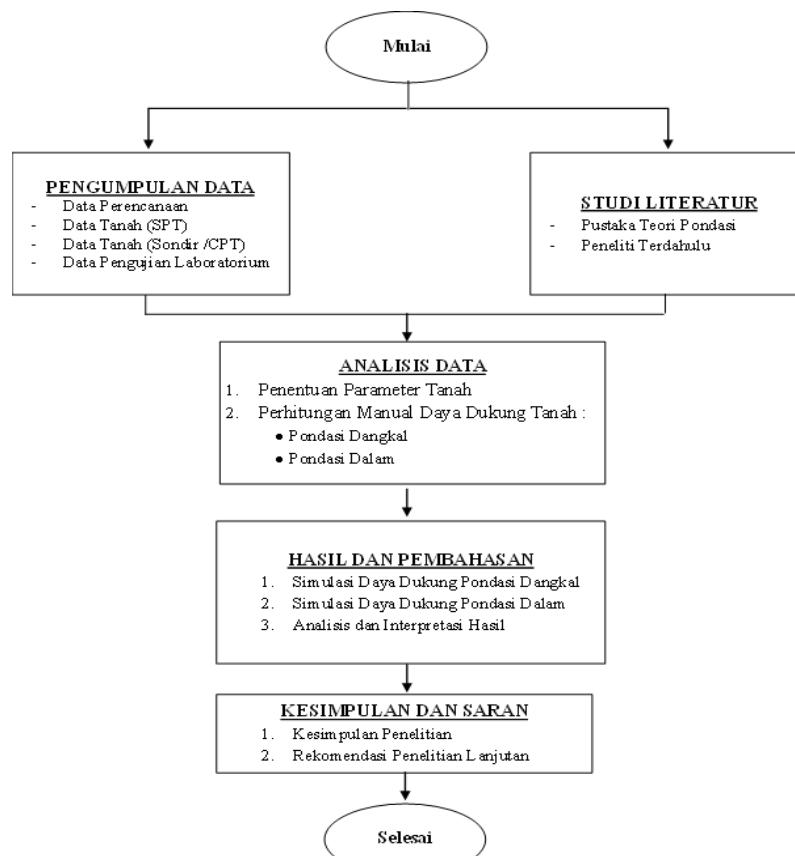
Pengumpulan Data

Data yang digunakan pada penelitian ini, keseluruhannya merupakan data sekunder. Data sekunder dalam penelitian ini meliputi gambar rencana, data perencanaan, data tanah yang merupakan hasil dari pengujian Standard Penetration Test (SPT), data sondir dan data pengujian laboratorium.

Data tanah yang digunakan bersumber dari penyelidikan tanah dengan *Standard Penetration Test* (SPT) dan Sondir. Data tanah ini akan digunakan untuk menginput properties material tanah untuk analisa daya dukung fondasi (Rahmawati & Setiawan, 2025). Data laboratorium tanah merupakan data-data sifat fisik maupun mekanik tanah berdasarkan hasil pengujian laboratorium. Data-data tersebut digunakan sebagai parameter properties dan mekanik tanah untuk perhitungan daya dukung maupun penurunan tanah. Wicaksana et al. (2024) melakukan analisis daya dukung fondasi dangkal menggunakan metode Terzaghi dan menunjukkan bahwa metode ini masih relevan untuk kondisi tanah tertentu karena memiliki formulasi yang sederhana dan bersifat konservatif.

Bagan Alir Penelitian

Bagan Alur tahapan penelitian adalah sebagai berikut:



Gambar 2. Bagan Alir Penelitian

HASIL

Data Tanah

Data propertis material dalam penelitian ini adalah data sekunder yang diperoleh dari pihak kontraktor yang menangani pekerjaan pembangunan Rencana Gudang Air Minum Dalam Kemasan (AMDK) Kota Malang – Jawa Timur. Data lapangan yang dimaksud ialah data uji penetrasi standar (SPT) sedalam 10 m dan sondir yang terletak dalam kawasan area studi. Data litologi tanah secara lengkap dapat dilihat pada **Tabel 1**.

Tabel 1. Data Litologi Tanah

No. Bor	Kedalaman Dari (m)	Kedalaman Ke (m)	Deskripsi Tanah	Lokasi
BH-1	0,00	2,00	Lempung pasiran; coklat kekuningan, sangat kaku, plastisitas sedang, lembap	Rencana warehouse
	2,00	9,00	Lempung lanauan; coklat kekuningan, kaku–sangat kaku, plastisitas sedang–tinggi, lembap	
	9,00	10,00	Pasir lempungan; coklat kekuningan, padat–sangat padat, plastisitas rendah, ukuran butir pasir halus–sedang	
BH-2	0,00	2,00	Lempung pasiran; coklat kekuningan, sangat kaku, plastisitas sedang, lembap	Rencana warehouse
	2,00	9,00	Lempung lanauan; coklat kekuningan, kaku–sangat kaku, plastisitas sedang–tinggi, lembap	
	9,00	10,00	Pasir lempungan; coklat kekuningan, sangat padat, plastisitas rendah, ukuran butir pasir halus–sedang	
BH-3	0,00	4,00	Lempung pasiran; coklat kekuningan, sangat kaku, plastisitas sedang, lembap	Rencana warehouse
	4,00	9,00	Lempung lanauan; coklat kekuningan, kaku–sangat kaku, plastisitas sedang–tinggi, lembap	
	9,00	10,00	Pasir lempungan; coklat kekuningan, padat–sangat padat, plastisitas rendah, ukuran butir pasir halus–sedang	
BH-4	0,00	2,00	Lempung pasiran; coklat kekuningan, sangat kaku, plastisitas sedang, lembap	Rencana warehouse
	2,00	9,00	Lempung lanauan; coklat kekuningan, kaku–sangat kaku, plastisitas sedang–tinggi, lembap	
	9,00	10,00	Pasir lempungan; coklat kekuningan, sangat padat, plastisitas rendah, ukuran butir pasir halus–sedang	

Hasil Sondir/CPT secara lengkap dapat dilihat pada Tabel 2.

Tabel 2. Hasil Sondir/CPT

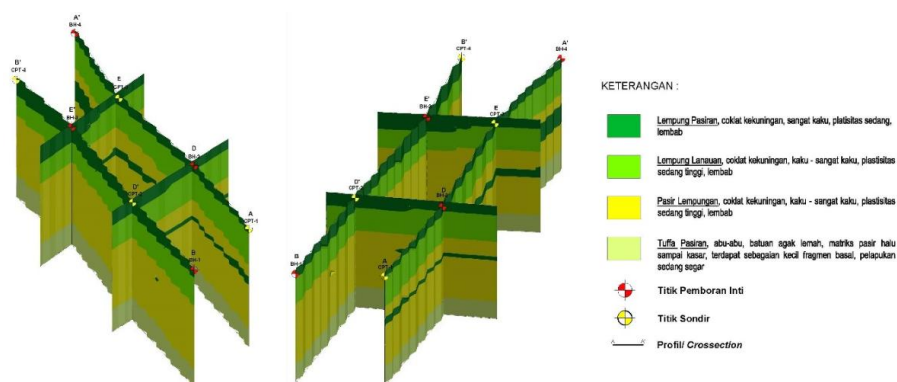
No. Bor	No. Tes	Kedalaman Dari (m)	Kedalaman Ke (m)	Nilai N-SPT	Keterangan
BH-1	1	1,50	2,00	23	Lapisan keras pada kedalaman 9,50 m
	2	3,50	4,00	4	
	3	5,50	6,00	8	
	4	7,50	8,00	10	
	5	9,50	10,00	>50	
BH-2	1	1,50	2,00	17	Lapisan keras pada kedalaman 9,50 m
	2	3,50	4,00	14	
	3	5,50	6,00	14	
	4	7,50	8,00	17	
	5	9,50	10,00	>50	
BH-3	1	1,50	2,00	11	Lapisan keras pada kedalaman 9,50 m
	2	3,50	4,00	15	
	3	5,50	6,00	3	
	4	7,50	8,00	18	
	5	9,50	10,00	49	
BH-4	1	1,50	2,00	18	Lapisan keras pada kedalaman 9,50 m
	2	3,50	4,00	7	
	3	5,50	6,00	6	
	4	7,50	8,00	8	
	5	9,50	10,00	>50	

Hasil sondir secara lengkap dapat dilihat pada Tabel 3.

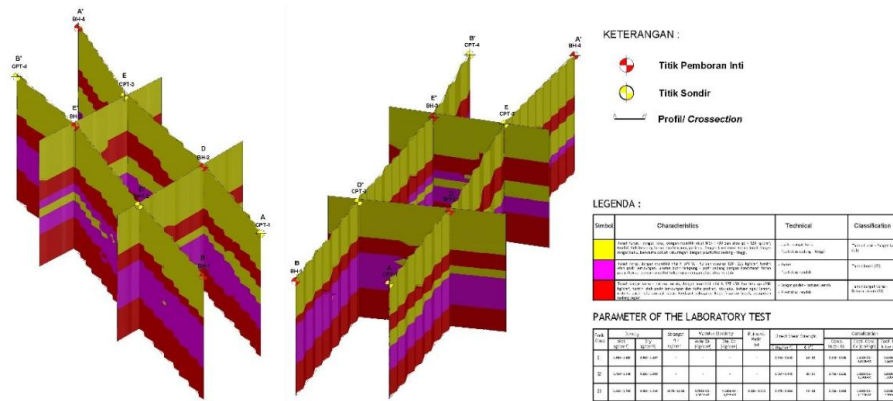
Tabel 3. Hasil Sondir/CPT

No. Sondir	Depth (m)	Qc (kg/cm ²)	Tf (kg/cm)	Friction Rasio %
CPT-1	0,00	0,00	0,00	0,00
	1,00	7,55	43,30	4,54
	2,00	7,65	107,00	4,59
	3,00	24,29	191,00	4,83
	4,00	17,04	269,50	4,07
	5,00	11,62	326,00	6,05
	6,00	15,40	376,90	2,51
	7,00	15,49	467,70	6,74
	8,00	19,27	572,40	7,16
	9,00	57,96	687,70	2,11
	9,20	181,10	728,40	1,13
	9,40	247,27	765,90	0,76
	0,00	0,00	0,00	0,00
CPT-2	1,00	16,74	40,10	2,05
	2,00	9,49	107,00	5,42
	3,00	18,77	174,80	3,65
	4,00	17,04	279,20	5,98
	5,00	9,78	342,30	5,52
	6,00	9,88	393,20	5,55
	7,00	22,85	477,50	1,73
	8,00	37,65	565,90	3,66
	9,00	74,51	769,00	2,95
	9,20	243,59	829,20	1,24
	0,00	0,00	0,00	0,00
	1,00	9,39	56,30	10,57
	2,00	9,49	181,70	5,42
CPT-3	3,00	22,45	226,80	3,05
	4,00	15,20	305,20	4,56
	5,00	13,46	358,50	2,80
	6,00	9,88	415,90	5,55
	7,00	19,17	471,00	4,60
	8,00	17,43	598,40	6,98
	8,20	37,65	642,20	5,82

Berdasarkan hasil data tanah yang telah dilaksanakan di beberapa titik penyelidikan SPT dan Sondir, kemudian dikorelasikan dengan masing-masing titik penyelidikan tanah sehingga dapat tergambarkan kondisi penampang bawah permukaan tanah dapat dilihat pada Gambar 3 dan Gambar 4.



Gambar 3. Fence Diagram Litologi



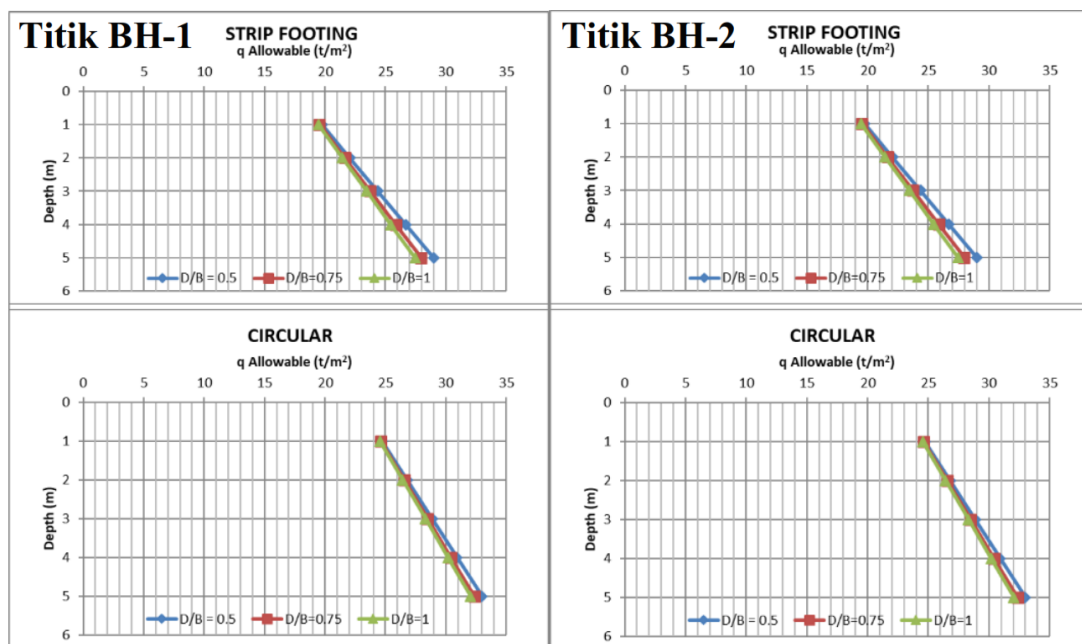
Gambar 4. Fence Diagram Parameter Fondasi

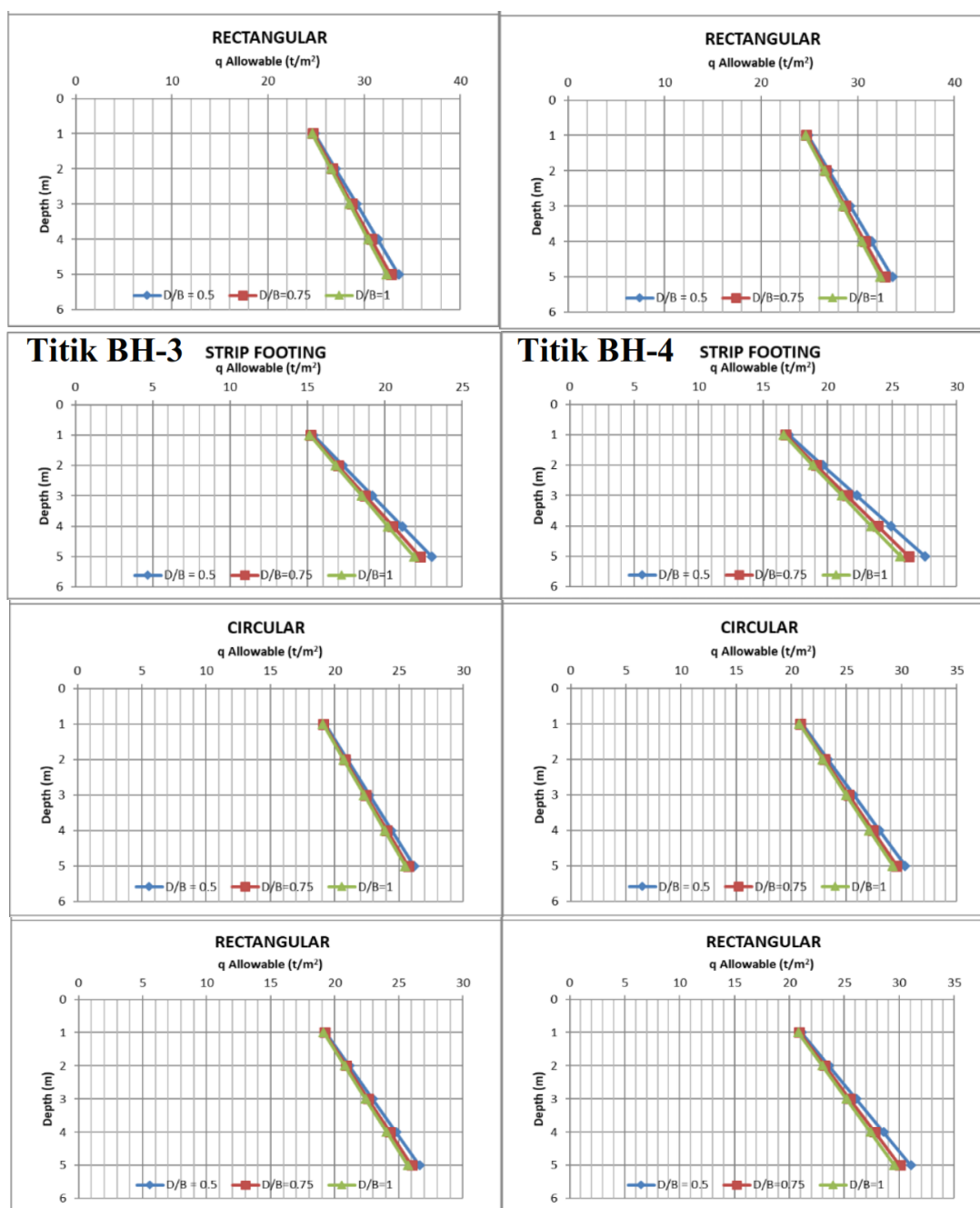
Hasil Analisis Daya Dukung Fondasi Dangkal

Pendekatan berbasis *Cone Penetration Test* (CPT) juga banyak digunakan dalam estimasi daya dukung fondasi dangkal. Sari et al. (2022) menganalisis daya dukung fondasi dangkal berdasarkan data CPT dan menyimpulkan bahwa parameter tanah yang diperoleh dari CPT mampu memberikan estimasi daya dukung yang cukup akurat, terutama pada tanah berbutir halus hingga sedang. Hasil ini memperkuat peran CPT sebagai metode investigasi tanah yang efektif dalam perencanaan fondasi (Widiarso, 2025). Beberapa persamaan untuk menghitung daya dukung untuk fondasi dangkal (Markin et al., 2025; Yuan et al., 2024). Pada penelitian ini, analisis daya dukung fondasi dangkal menggunakan persamaan Terzaghi karena kedalaman fondasi (D) lebih kecil atau sama dengan lebar fondasi (B), yaitu memenuhi syarat $D \leq B$.

Parameter berat isi tanah, kohesi, dan sudut geser dalam yang digunakan dalam analisis merupakan parameter representatif berdasarkan hasil pengujian laboratorium pada lokasi penelitian. Nilai faktor daya dukung N_c , N_q , dan N_γ ditentukan berdasarkan nilai sudut geser dalam sesuai dengan formulasi Terzaghi. Parameter yang digunakan dalam perhitungan adalah sebagai berikut.

$$\begin{aligned}
 \text{Unit Weight} &= 1.05 \text{ g/cm}^3 \\
 &= 10.29 \text{ kN/m}^3 \\
 \text{Cohesion (c)} &= 0.39 \text{ Kg/cm}^2 \\
 &= 38.24 \text{ kN/m}^2 \\
 \text{Sudut Geser Dalam } (\varphi) &= 16 \text{ derajat} \\
 N_c &= 13,68; \quad N_q = 4,92 \text{ dan } N_\gamma = 1,82.
 \end{aligned}$$





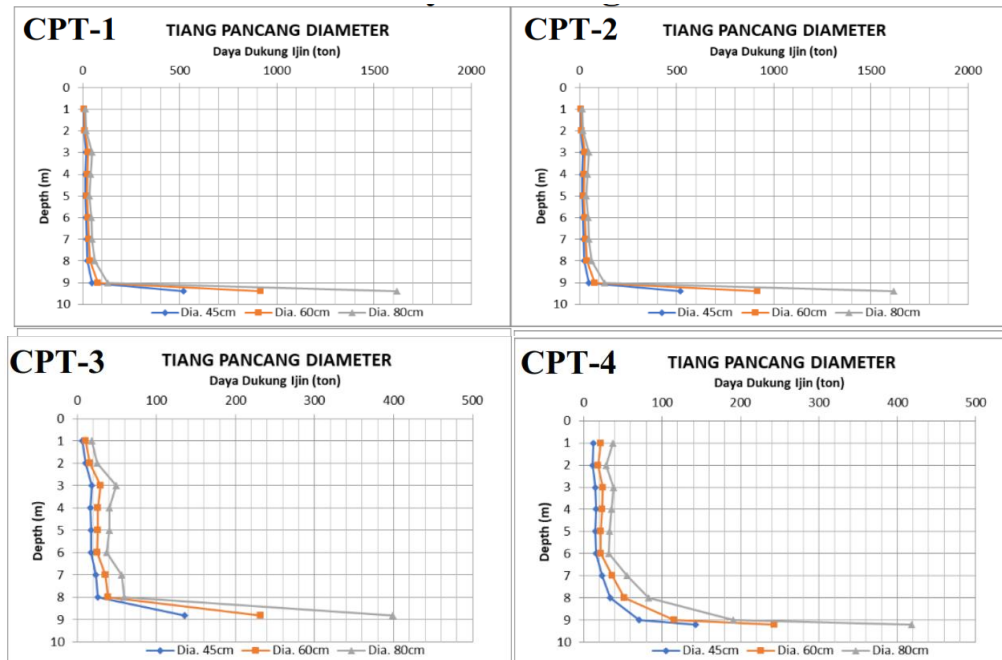
Gambar 5. Hasil Analisis Daya Dukung Fondasi Dangkal

Hasil Analisis Daya Dukung Fondasi Dalam

Fondasi dalam adalah alternatif jika struktur beban berat akan diterapkan pada lapisan tanah. Munirwansyah et al. (2022) menganalisis daya dukung aksial fondasi tiang pancang menggunakan metode kalendering berdasarkan hasil uji PDA. Hasil penelitian tersebut menunjukkan adanya variasi nilai daya dukung yang signifikan tergantung pada metode interpretasi data kalendering yang digunakan, sehingga pemilihan metode analisis yang tepat menjadi faktor penting dalam perencanaan fondasi tiang (Yuan et al., 2024). Ibrahim et al. (2024) melakukan evaluasi *back analysis* terhadap daya dukung fondasi tiang berdasarkan hasil *loading test* dan *Pile Driving Analyzer (PDA)*, yang menunjukkan bahwa kombinasi kedua metode tersebut mampu memberikan estimasi kapasitas dukung yang lebih akurat, terutama dalam mengevaluasi kontribusi tahanan ujung dan gesekan selimut tiang (Ibrahim et al., 2024; Yuslinda, 2025). Rumus persamaan perhitungan daya dukung fondasi dalam dengan metode langsung yang dikemukakan oleh beberapa ahli diantaranya: Mayerhof, Tomlinson, Begemann seperti berikut ini: sondir CPT-1, dengan kedalaman 1 meter (diameter tiang pancang 45 cm).

$$\begin{aligned} q_c &= 7,55 \text{ kg/cm}^2 \\ JHL &= 43,30 \text{ kg/cm} \\ Kt &= 141,37 \text{ cm} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 A_p &= 1590,43 \text{ cm}^2 \\
 Q_u \text{ Ijin} &= (7,55 \times 1590,43)/3 + (43,30 \times 141,37)/5 \\
 &= (12007,75/3) + (6121,32/5) \\
 &= 4002,58 + 1224,28 \\
 &= 5226,86 \text{ kg} = 5,23 \text{ ton}
 \end{aligned}$$



Gambar 6. Hasil Analisis Daya Dukung Fondasi Dalam

Hasil penelitian menunjukkan bahwa daya dukung fondasi meningkat seiring dengan perubahan parameter tanah dan dimensi fondasi. Peningkatan tersebut dipengaruhi oleh parameter tanah hasil *Standard Penetration Test* (SPT) dan *Cone Penetration Test* (CPT/sondir), nilai kohesi (c), sudut geser dalam (ϕ), kedalaman fondasi, serta penggunaan metode Terzaghi yang memberikan estimasi konservatif namun stabil pada tanah kohesif yang relatif homogen. Hasil simulasi memperlihatkan bahwa semakin besar dimensi dan semakin dalam posisi fondasi, semakin tinggi nilai daya dukung yang diperoleh. Kondisi ini terjadi karena meningkatnya tegangan overburden efektif yang memperbesar kontribusi komponen qNq dan $0,5\gamma B\gamma$ pada persamaan Terzaghi. Selain itu, nilai N-SPT meningkat hingga lebih dari 50 pada kedalaman sekitar 9–10 m, yang menunjukkan lapisan tanah lebih padat dengan kuat geser yang lebih tinggi.

Pada fondasi dangkal, penambahan lebar fondasi (B) meningkatkan distribusi tegangan ke tanah pendukung sehingga daya dukung ultimit bertambah. Pada fondasi dalam, peningkatan kapasitas terutama dipengaruhi oleh bertambahnya tahanan ujung (*end bearing resistance*) akibat penetrasi tiang hingga mencapai lapisan pasir lempungan padat pada kedalaman 9–10 m. Hal ini didukung oleh peningkatan nilai *cone resistance* (q_c) berdasarkan hasil CPT. Dibandingkan metode Meyerhof, metode Terzaghi menghasilkan estimasi yang lebih konservatif karena belum mempertimbangkan secara rinci faktor bentuk dan kedalaman fondasi. Namun, pada kondisi tanah yang relatif homogen seperti lokasi penelitian, hasil perhitungannya masih sebanding dengan penelitian Debataraja et al. (2024) dan Wicaksana et al. (2024).

Temuan penelitian ini juga sejalan dengan studi berbasis *Finite Element Method* (FEM) yang menyatakan bahwa pendekatan empiris dapat menghasilkan deviasi akibat penyederhanaan parameter tanah. Meskipun demikian, metode Terzaghi tetap efektif untuk tahap *preliminary design* karena sederhana, konservatif, dan mudah diterapkan. Peningkatan daya dukung yang diperoleh dalam penelitian ini konsisten dengan meningkatnya kuat geser tanah, tegangan efektif, serta kontribusi tahanan ujung dan gesekan selimut pada lapisan tanah yang lebih padat. Oleh karena itu, kombinasi data SPT dan CPT dapat menjadi dasar yang andal dalam menentukan jenis dan dimensi fondasi yang aman, efisien, dan ekonomis pada bangunan industri dengan kondisi tanah serupa.

SIMPULAN

Hasil penelitian menunjukkan bahwa daya dukung fondasi dangkal pada kedalaman maksimum 5 m dengan rasio $D/B = 1:1$ berada pada rentang 15,1–32,1 t/m² untuk fondasi menerus, 19,1–37,0 t/m² untuk fondasi lingkaran,

dan 19,1–37,4 t/m² untuk fondasi bujur sangkar. Sementara itu, daya dukung fondasi dalam pada kedalaman 10 m berkisar antara 399,07–1617,29 ton untuk tiang pancang berdiameter 45 cm, 60 cm, dan 80 cm. Hasil simulasi menunjukkan bahwa peningkatan dimensi dan kedalaman fondasi berbanding lurus dengan peningkatan nilai daya dukung. Penerapan simulasi terintegrasi yang mengombinasikan data SPT, sondir, dan pengujian laboratorium memungkinkan evaluasi kinerja fondasi dangkal dan fondasi dalam secara bersamaan pada satu lokasi studi, sehingga memberikan gambaran mengenai perilaku daya dukung fondasi pada bangunan industri skala menengah di wilayah Malang.

Penelitian ini memberikan evaluasi awal mengenai kapasitas daya dukung fondasi dangkal dan fondasi dalam berdasarkan kombinasi data SPT, CPT, dan pengujian laboratorium pada satu lokasi studi. Hasil penelitian dapat digunakan sebagai referensi awal dalam mempertimbangkan alternatif jenis fondasi. Penelitian selanjutnya perlu menambahkan analisis beban struktur, penurunan fondasi, dan metode pembandingan agar rekomendasi desain menjadi lebih lengkap.

DAFTAR PUSTAKA

- Al-Najaf, K. A., Al-Mamoori, A. H., & Saleh, M. (2025). Mapping shallow bearing capacity variation using standard penetration test. *Civil Engineering Journal*, 11(3), 301–312.
- Alwiah, S. S., Anggreana, V., Elizar, & Deru Pratama, M. (2025). Analisis karakteristik tanah terhadap daya dukung pondasi berdasarkan hasil uji sondir (CPT) pada lokasi pembangunan masjid: Analysis of soil properties for foundation bearing capacity at mosque construction sites using sondir test (CPT) results. *Jurnal Saintis*, 25(2), 47–56. [https://doi.org/10.25299/saintis.2025.vol25\(02\).25346](https://doi.org/10.25299/saintis.2025.vol25(02).25346)
- Antony, R., & Iskandar, A. (2024). Evaluasi penurunan terhadap implementasi elemen pengaku beton pada metode perbaikan tanah *deep cement mixing*. *JMTS: Jurnal Mitra Teknik Sipil*, 7(2), 515–524. <https://doi.org/10.24912/jmts.v7i2.27932>
- Basoka, I. W. A. (2025). Comparative evaluation of cone penetration test data for estimating the bearing capacity of pile foundations in sandy soils of Sanur, Bali. *International Journal of Research and Scientific Innovation*, 12(7), 2358–2367. <https://doi.org/10.51244/IJRSI.2025.120700236>
- Cahyuni, D., & Risdianto, Y. (2024). Analisa perbandingan daya dukung pondasi pada proyek pembangunan Rumah Sakit Siti Khodijah Sidoarjo. *Rekayasa Teknik Sipil*, 13(2), 344–353. <https://doi.org/10.26740/rekats.v13n02.p344-353>
- Chairullah, M. (2022). Analisis daya dukung pondasi dengan metode SPT, CPT, dan Meyerhof pada lokasi rencana konstruksi PLTU Nagan Raya. *Jurnal Teras*, 12(1), 1–10.
- Craig, R. F., & Knappett, J. A. (2024). *Craig's soil mechanics* (9th ed.). CRC Press.
- Debataraja, S. M. T., Zebua, A. N., & Fitra, J. (2024). Analisa pembebanan dan daya dukung tanah dengan pondasi tiang pancang berdasarkan data N-SPT pada pembangunan gedung IAIN Padangsidempuan. *Jurnal Sains dan Teknologi ISTP*, 21(1), 29–41. <https://doi.org/10.59637/jsti.v21i01.386>
- Hasanah, R., Sarie, F., & Yani, M. I. (2023). Analisis daya dukung tanah pondasi berdasarkan data uji *cone penetration test*. *Jurnal Serambi Engineering*, 8(3), 6784–6790. <https://doi.org/10.32672/jse.v8i3.6552>
- Ibrahim, M., Alatas, I., & Taufik, S. (2024). Evaluasi *back analysis* daya dukung pondasi tiang berdasarkan hasil *loading test* dan *Pile Driving Analyzer*. *SAINSTECH: Jurnal Penelitian dan Pengkajian Sains dan Teknologi*, 34(2), 54–64. <https://doi.org/10.37277/stch.v34i2.2044>
- Januar, G. R., & Maha Agung, P. A. (2025). Analisis daya dukung dan penurunan pondasi tiang bor pada struktur kepala jembatan. *Journal of Applied Civil Engineering and Infrastructure Technology*, 4(1), 251–260.
- Kumar, A. (2025). A decade of research establishment on shallow foundation and piles settlement modelling: Artificial intelligence models applications. *Knowledge-Based Engineering and Sciences*, 6(1), 64–84. <https://doi.org/10.51526/kbes.2025.6.1.64-84>
- Lestari, R. T., Herzanita Y, A., & Karim, M. H. (2023). Analisis kapasitas daya dukung pondasi dangkal terhadap kedalaman (Studi kasus: Kalimantan). *Construction and Material Journal*, 5(3), 175–182. <https://doi.org/10.32722/cmj.v5i3.5697>
- Liliwarti, Silvianengsih, Mahardika, T. M. B., & Abddilah, F. (2024). Analysis of pile foundation bearing capacity and soil classification in Padang City. *International Journal of Advanced Science Computing and Engineering*, 6(3), 132–137. <https://doi.org/10.62527/ijasce.6.3.220>
- Markin, R. A., Nurmeyliandari, R., & Amalia, G. (2025). Perbandingan daya dukung pondasi tiang pancang berdasarkan hasil uji sondir dan menggunakan data laboratorium. *Jurnal Tekno Global*, 14(2), 82–88. <https://doi.org/10.36982/jtg.v14i02.5459>
- Munirwansyah, M., Munirwan, R. P., & Mufid, F. (2022). Analisis daya dukung *axial* pondasi tiang pancang dengan menggunakan metode *kalendering* hasil uji *Pile Driving Analyzer*. *Teras Jurnal: Jurnal Teknik Sipil*, 12(1), 93–102. <https://doi.org/10.29103/tj.v12i1.618>

- Putra, R., & Yuliani, S. (2024). Optimalisasi perencanaan pondasi rakit berdasarkan daya dukung tanah. *Jurnal Bina Konstruksi dan Desain*, 5(1), 1–10.
- Rahmawati, D., & Setiawan, B. (2025). Analisis daya dukung pondasi berdasarkan data CPT dan uji laboratorium pada bangunan gedung. *Jurnal Pensil Teknik Sipil*, 14(1), 1–9.
- Saputra, N. Z., Bachtiar, V., & Priadi, E. (2023). Perencanaan koefisien reduksi *bearing capacity* pondasi dangkal akibat fluktuasi muka air tanah. *Journal of Research and Innovation in Civil Engineering as Applied Science (RIGID)*, 4(1), 22–31.
- Sari, U. C., Cholida, N. F. F., Sholeh, M. N., & Pratama, M. M. (2022). Shallow foundation bearing capacity analysis based on cone penetration test (CPT). *Jurnal Teknik Sipil*, 18(2), 145–156.
- Tomlinson, M. J., & Woodward, J. (2023). *Pile design and construction practice* (7th ed.). CRC Press.
- Wicaksana, A., Pradana, I., & Kusuma, D. (2024). Analisis daya dukung tanah pondasi dangkal menggunakan metode Terzaghi. *Geoscience and Soil Analysis Journal*, 3(2), 101–110.
- Widiarso, D. A., Herlambang, F. G. S., Trisnawati, D., Qadaryati, N., & Haryanto, W. (2025). Soil bearing capacity analysis to determine pile foundation design on alluvial soils in Semarang City, Indonesia. *International Journal of GEOMATE*, 28(129), 10–20. <https://doi.org/10.21660/2025.129.3732>
- Yuan, H., Shen, J., Zheng, X., Bao, X., Chen, X., & Cui, H. (2024). Integrated assessment of bearing capacity and GHG emissions for foundation treatment piles considering stratum variability. *Sustainability*, 16(15), Article 6319. <https://doi.org/10.3390/su16156319>
- Yuslinda, & Rani, C. M. (2025). Analysis of pile foundation bearing capacity based on SPT data on the pillar of the T. Nyak Makam Canal Bridge, Santan, Banda Aceh. *Jurnal Teknik Sipil*, 25(1), 1688–1703. <https://doi.org/10.26418/jts.v25i1.89930>