



Analisis Karakteristik dan Startifikasi Tanah Menggunakan Data CPT sebagai Dasar Penentuan Kedalaman Pondasi

Yayu Sriwahyuni Hamzah^{1*}, Ahmad Sirrotun Najwaa²

¹⁻²Teknik Sipil, Universitas Sunan Giri Surabaya, Indonesia

*Penulis Korespondensi: yayu.sriwhy@gmail.com

Abstract. Foundations are structural elements that play a crucial role in ensuring the stability and safety of buildings; therefore, understanding soil characteristics and stratification is a critical stage in geotechnical design. This study aims to analyze soil characteristics and stratification using Cone Penetration Test (CPT) data as a basis for determining safe and efficient foundation depth. The research method employed a quantitative-descriptive approach utilizing CPT test data obtained from two test points at the research site in Blitar City, East Java. The analyzed parameters include cone resistance (q_c), sleeve friction (f_s), and friction ratio (R_f), which were recorded continuously with depth in accordance with ASTM D3441-86. The results indicate that the shallow soil layer up to a depth of approximately 2.0 m is dominated by fine-grained soils with low q_c values and high R_f values, making it unsuitable as a foundation bearing layer. The soil layer with the most favorable mechanical characteristics was identified at a depth of approximately 5.5–6.0 m, characterized by high and relatively stable q_c values and low R_f values, indicating dense coarse-grained soil. Variations in the depth of hard soil layers between test points suggest lateral variability in subsurface conditions. These findings confirm that CPT data are effective for identifying soil stratification and providing preliminary recommendations for foundation depth in geotechnical planning.

Keywords: CPT; Cone Penetration Test; Foundation; Soil Characteristics; Soil Stratification.

Abstrak. Pondasi merupakan elemen struktur yang berperan penting dalam menjamin kestabilan dan keselamatan bangunan, sehingga pemahaman karakteristik dan stratifikasi tanah menjadi tahap krusial dalam perencanaan geoteknik. Penelitian ini bertujuan untuk menganalisis karakteristik dan stratifikasi tanah menggunakan data Cone Penetration Test (CPT) sebagai dasar penentuan kedalaman pondasi yang aman dan efisien. Metode penelitian yang digunakan adalah pendekatan kuantitatif-deskriptif dengan memanfaatkan data uji CPT yang dilakukan pada dua titik pengujian di lokasi penelitian di Kota Blitar, Jawa Timur. Parameter yang dianalisis meliputi tahanan konus (q_c), gesekan selubung (f_s), dan friction ratio (R_f) yang dicatat secara kontinu terhadap kedalaman sesuai standar ASTM D3441-86. Hasil analisis menunjukkan bahwa lapisan tanah dangkal hingga kedalaman sekitar 2,0 m didominasi oleh tanah berbutir halus dengan nilai q_c rendah dan R_f tinggi, sehingga kurang layak sebagai lapisan pendukung pondasi. Lapisan tanah dengan karakteristik mekanik terbaik teridentifikasi pada kedalaman sekitar 5,5–6,0 m, ditandai oleh nilai q_c tinggi dan relatif stabil serta R_f rendah, yang mengindikasikan tanah berbutir kasar dan padat. Perbedaan kedalaman lapisan tanah keras antar titik pengujian menunjukkan adanya variasi lateral kondisi tanah. Hasil penelitian ini menegaskan bahwa data CPT efektif digunakan untuk mengidentifikasi stratifikasi tanah dan memberikan rekomendasi awal kedalaman pondasi dalam perencanaan geoteknik.

Kata kunci: CPT; Karakteristik Tanah; Pondasi; Sondir; Startifikasi Tanah.

1. LATAR BELAKANG

Pondasi berperan penting dalam menjamin kestabilan dan keselamatan struktur karena bertugas menyalurkan beban bangunan ke tanah secara aman. Ketidaktepatan dalam memahami karakteristik tanah dapat menimbulkan penurunan berlebih, retak struktural, bahkan kegagalan bangunan. Oleh karena itu, investigasi tanah yang akurat dan representatif menjadi tahapan krusial dalam perencanaan geoteknik. Metode Cone Penetration Test (CPT/sondir) merupakan salah satu teknik penyelidikan in-situ yang banyak digunakan karena

mampu memberikan data kontinu tentang stratifikasi dan sifat tanah secara cepat serta ekonomis, sekaligus mendukung analisis kapasitas dukung pondasi (Kristyanto et al., 2022).

Berbagai penelitian menegaskan bahwa parameter CPT — seperti tahanan konus (q_c), gesekan selubung (f_s), dan rasio gesekan — dapat digunakan untuk mengklasifikasikan jenis tanah dan memprediksi perilaku deformasi serta daya dukung. Integrasi parameter-parameter tersebut meningkatkan keandalan interpretasi profil tanah, khususnya pada lokasi dengan lapisan yang heterogen (Nugroho et al., 2021). Penelitian lain menunjukkan bahwa penggunaan data CPT memberikan estimasi yang relatif konsisten dibandingkan beberapa metode uji lapangan lainnya, sehingga lebih efektif sebagai dasar penentuan kapasitas dukung pondasi dangkal (Putra & Rahman, 2020).

Selain itu, kajian mengenai stratifikasi tanah berbasis CPT menegaskan bahwa perubahan nilai q_c dan f_s sepanjang kedalaman dapat menggambarkan batas lapisan tanah dan karakteristik mekaniknya, yang sangat membantu dalam menentukan zona lapisan tanah yang layak menahan beban pondasi (Sari, 2019). Di sisi lain, evaluasi penerapan CPT pada beberapa lokasi pembangunan memperlihatkan bahwa pemilihan kedalaman pondasi yang tidak mempertimbangkan variasi lapisan dapat meningkatkan risiko penurunan diferensial, terutama pada tanah lunak berlapis (Hakim, 2018).

Meskipun sejumlah penelitian telah membahas stratifikasi tanah atau estimasi daya dukung pondasi, banyak di antaranya masih fokus pada salah satu aspek saja tanpa integrasi yang jelas antara karakteristik tanah berlapis dan kedalaman pondasi optimal. Penelitian terbaru menunjukkan bahwa pendekatan integratif, termasuk penggunaan teknik data-driven, model statistik, dan analisis geoteknik mendalam sangat penting untuk menghasilkan rekomendasi desain pondasi yang aman, efisien, dan sesuai kondisi lapangan. Integrasi ini memungkinkan kombinasi parameter stratifikasi tanah dan kapasitas dukung dalam kerangka analisis yang holistik, memberikan dasar yang kuat untuk keputusan desain pondasi yang lebih optimal dan sesuai kondisi subsurface yang kompleks (Zeini, 2025; Nguyen-Minh, 2024; Güner, 2025; Rezkie, 2025; Ijaz, 2025).

Dengan demikian, kebaruan (gap) penelitian ini terletak pada penggabungan analisis karakteristik tanah dan stratifikasi berbasis CPT secara sistematis, yang kemudian diturunkan menjadi rekomendasi kedalaman pondasi dengan mempertimbangkan aspek keamanan dan potensi penurunan. Pendekatan ini diharapkan memberikan dasar perencanaan yang lebih berbasis data lapangan dan dapat diterapkan pada berbagai kondisi tanah.

Berdasarkan uraian tersebut, penelitian ini bertujuan untuk: (1) menganalisis karakteristik tanah menggunakan data CPT; (2) mengidentifikasi stratifikasi tanah secara

detail; (3) mengevaluasi parameter geoteknik yang berpengaruh terhadap daya dukung dan potensi penurunan; dan (4) merumuskan rekomendasi kedalaman pondasi yang aman dan efisien berdasarkan hasil interpretasi data CPT.

2. KAJIAN TEORITIS

Penyelidikan tanah merupakan tahapan awal yang sangat penting dalam perencanaan pondasi karena berfungsi untuk mengetahui kondisi dan karakteristik tanah bawah permukaan yang akan menahan beban bangunan. Ketidaktepatan dalam mengidentifikasi sifat tanah dapat menyebabkan kegagalan pondasi berupa penurunan berlebih, retak struktur, hingga keruntuhan bangunan. Oleh karena itu, metode penyelidikan tanah yang mampu menggambarkan kondisi tanah secara representatif dan kontinu sangat dibutuhkan dalam perencanaan geoteknik modern (Wahyudi & Mutia, 2018; Putra & Rahman, 2020).

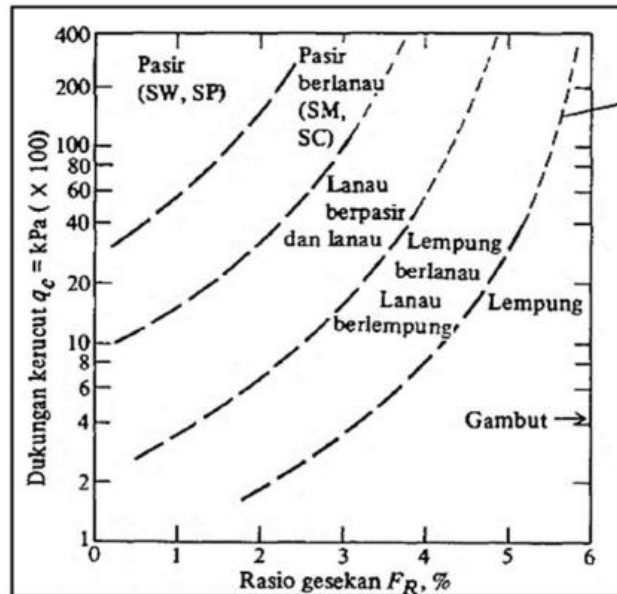
Berbagai metode penyelidikan tanah dapat digunakan, baik melalui pengujian laboratorium maupun pengujian *in-situ*. Di antara metode *in-situ*, Cone Penetration Test (CPT) atau uji sondir menjadi salah satu metode yang paling banyak digunakan karena mampu memberikan data parameter tanah secara langsung di lapangan dengan tingkat kontinuitas yang tinggi (Sari, 2019).

Cone Penetration Test (CPT) adalah pengujian *in-situ* yang digunakan untuk memperoleh data tahanan ujung konus (q_c) dan hambatan selubung (f_s) secara kontinu sepanjang kedalaman tertentu. Data tersebut sangat berguna dalam menginterpretasi karakteristik tanah, klasifikasi tanah, dan stratifikasi lapisan tanah. Interpretasi CPT juga dapat dikorelasikan dengan parameter geoteknik seperti kuat geser, kepadatan, dan *soil behavior type* (SBT) yang menjadi dasar perhitungan kapasitas dukung pondasi serta perilaku tanah di bawah beban struktur (Saputra, 2020).

Menurut Nugroho et al. (2021), CPT sangat efektif digunakan pada tanah berlapis karena sensitivitasnya terhadap perubahan sifat tanah, sehingga mampu mengidentifikasi batas antar lapisan tanah dengan lebih akurat. Selain itu, CPT relatif cepat dilaksanakan dan menghasilkan data yang dapat langsung digunakan untuk analisis geoteknik awal.

Stratifikasi tanah merupakan pembagian lapisan tanah berdasarkan perubahan sifat fisik dan mekanik. Berbagai penelitian telah menunjukkan bahwa parameter CPT mampu mengidentifikasi batas lapisan tanah dengan cukup akurat, sehingga plot q_c dan f_s dapat digunakan untuk klasifikasi lapisan tanah yang heterogen secara geoteknik (Saputra, 2020). Selain itu, identifikasi Soil Behavior Type (SBT) berdasarkan CPT juga menjadi langkah awal penting untuk mendefinisikan konsistensi dan perilaku tanah dalam perencanaan pondasi.

Robertson dan Campanella (1983) menentukan klasifikasi tanah berdasarkan data sondir (CPT) dengan memberikan hubungan tahanan konus (q_c) dengan rasio gesekan (FR) berdasarkan grafik pada Gambar 1. Dari grafik dapat ditentukan klasifikasi tanah berupa pasir, pasir berlanau, lanau berpasir dan lanau, lempung berlanau, lempung, dan gambut berdasarkan nilai q_c dan FR pada tanah.



Gambar 1. Klasifikasi Tanah Berdasarkan Data Sondir Menurut Robertson dan Campanella (Bowles, J.E., 1998).

Data CPT sering digunakan dalam estimasi kapasitas dukung pondasi dangkal maupun pondasi dalam karena sifatnya yang *continuous* dan representatif terhadap kondisi di bawah pondasi. Analisis kapasitas dukung pondasi berdasarkan CPT dapat dilakukan menggunakan metode empiris seperti Schmertmann atau Meyerhof, yang masing-masing menjelaskan hubungan antara data CPT dan kapasitas dukung aktual (Sari et al., 2022).

Beberapa kajian juga menunjukkan bahwa CPT dapat digunakan untuk mengestimasi daya dukung tiang atau pondasi tiang pancang dengan pendekatan korelasi antara data CPT dan hasil uji tiang aktual (*bearing capacity analysis*). Hal ini memungkinkan ketepatan dalam merencanakan kedalaman pondasi ketika tanah menunjukkan variasi kuat dan stratifikasi yang kompleks (Gunawan et al., 2022).

Menurut Nugroho et al. (2021), CPT sangat efektif digunakan pada tanah berlapis karena sensitivitasnya terhadap perubahan sifat tanah, sehingga mampu mengidentifikasi batas antar lapisan tanah dengan lebih akurat. Selain itu, CPT relatif cepat dilaksanakan dan menghasilkan data yang dapat langsung digunakan untuk analisis geoteknik awal.

Meskipun CPT memiliki banyak keunggulan, interpretasi data CPT tetap memerlukan kehati-hatian karena dipengaruhi oleh kondisi lokal tanah. Oleh karena itu, beberapa penelitian mengembangkan pendekatan lanjutan seperti pemodelan statistik dan kecerdasan buatan untuk meningkatkan akurasi interpretasi parameter tanah dari data CPT (Nugroho et al., 2021).

Penggabungan CPT dengan metode penyelidikan lain seperti uji bor atau pengujian laboratorium juga direkomendasikan untuk memperoleh pemahaman kondisi tanah yang lebih komprehensif (Kristyanto et al., 2022). Namun demikian, sebagai investigasi awal, CPT tetap menjadi metode yang sangat andal dan efisien.

Keberhasilan desain pondasi bergantung pada pemahaman karakteristik tanah yang akurat, termasuk perubahan lapisan tanah (stratifikasi) dan parameter geotekniknya. Integrasi data CPT untuk mendapatkan profil stratifikasi dan karakteristik tanah merupakan langkah penting dalam menentukan kedalaman pondasi yang paling cocok dan aman. Penelitian terdahulu telah menguji hubungan antara data CPT dan kapasitas dukung pondasi, namun integrasi antara analisis stratifikasi dan rekomendasi kedalaman pondasi secara sistematis masih menjadi tantangan dan celah penelitian (Sari et al., 2022; Saputra, 2020).

3. METODE PENELITIAN

Penelitian ini menggunakan pendekatan kuantitatif-deskriptif dengan fokus pada analisis data Cone Penetration Test (CPT) untuk mengidentifikasi karakteristik dan stratifikasi tanah sebagai dasar penentuan kedalaman pondasi. Lokasi penelitian terletak di kota Blitar Jawa Timur pada area rencana pembangunan yang memerlukan investigasi geoteknik, dengan pemilihan titik pengujian didasarkan pada kondisi topografi, tata letak bangunan, serta representativitas wilayah studi. Pengumpulan data utama dilakukan melalui pengujian CPT di lapangan, di mana parameter cone resistance (qc), sleeve friction (fs), dan friction ratio (Rf) direkam secara kontinu pada interval kedalaman tertentu hingga diperoleh lapisan tanah keras atau mencapai kedalaman teknis yang dibutuhkan. Nilai (qc) diperoleh dari gaya tekan yang bekerja pada ujung kerucut selama penetrasi. Secara umum, qc dihitung dengan persamaan:

$$qc = \frac{Pc}{Ac}$$

di mana:

Pc = gaya tekan pada ujung kerucut (kg atau kN)

Ac = luas penampang ujung kerucut (cm² atau m²)

Pada alat sondir mekanis tipe Begemann (biconus), gaya Pc dibaca langsung dari manometer atau sistem pembaca tekanan yang terkalibrasi. Karena luas ujung kerucut sudah standar

(umumnya $\pm 10 \text{ cm}^2$), nilai qc seringkali dapat dibaca langsung sebagai tekanan (kg/cm^2) tanpa perlu konversi tambahan. Nilai qc dicatat pada setiap interval kedalaman selama penetrasi berlangsung.

Nilai fs ditentukan dari selisih gaya total saat selimut ikut terdorong dengan gaya saat hanya kerucut yang bekerja, kemudian dibagi dengan luas selimut:

$$fs = \frac{Ps}{As}$$

di mana:

Ps = gaya geser pada selimut (kg atau kN)

As = luas permukaan selimut (cm^2 atau m^2)

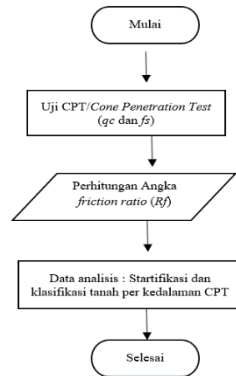
Pada alat sondir mekanis, nilai fs diperoleh dari pembacaan terpisah atau diferensial pada sistem mekanis alat, dan dicatat pada kedalaman yang sama dengan qc . Nilai fs biasanya lebih kecil dibanding qc dan sensitif terhadap jenis tanah berbutir halus.

Data yang diperoleh kemudian diolah untuk menentukan karakteristik tanah melalui klasifikasi berdasarkan nilai qc , fs , dan Rf menggunakan diagram dan korelasi CPT yang umum dipakai. Dari hasil ini, berbagai parameter geoteknik seperti kepadatan relatif tanah pasir, konsistensi tanah lempung, serta estimasi kohesi dan sudut geser dalam kondisi tertentu dihitung. Profil qc dan Rf yang diplot terhadap kedalaman digunakan untuk mengidentifikasi batas lapisan tanah, sehingga stratifikasi tanah dapat ditentukan secara lebih akurat. Lapisan dengan karakteristik mekanik yang serupa dikelompokkan agar memberikan gambaran perilaku tanah terhadap pembebanan pondasi.

Data CPT yang diperoleh diolah untuk menafsirkan sifat mekanik tanah. Berdasarkan SNI 2827:2008, nilai rasio gesekan (Rf) dapat ditentukan dengan menggunakan Persamaan:

$$Rf = \frac{fs}{qc} \times 100\%$$

Rf tinggi ($\pm 4 - 10\%$) umumnya menunjukkan tanah berbutir halus seperti lanau dan lempung. Rf rendah ($\pm 0,5 - 2\%$) umumnya menunjukkan tanah berbutir kasar seperti pasir. Nilai qc dan Rf kemudian diplot terhadap kedalaman untuk menentukan batas lapisan tanah. Untuk bagan alir penelitian dapat di lihat pada gambar berikut:

**Gambar 2.** Diagram Alir Penelitian.

Spesifikasi alat yang digunakan dalam penyelidikan tanah ini adalah sondir mekanis tipe Begemen Friction-Cone (Biconus) dengan kapasitas 250 kg/cm². Pengujian dilakukan pada 2 titik yang berbeda. Adapun metode pengujian mengikuti standar ASTM D 3441- 86.

4. HASIL DAN PEMBAHASAN

Hasil penyelidikan tanah pada lokasi penelitian diperoleh melalui pengujian sondir (Cone Penetration Test/CPT) yang dilaksanakan pada 2 (dua) titik pengujian. Seluruh data hasil pengujian disajikan secara rinci dalam Tabel 1 dan Tabel 2 , yang memuat nilai tahanan ujung kerucut (q_c), tahanan geser selimut (f_s), serta rasio gesek (friction ratio/ R_f) pada setiap interval kedalaman. Data pada tabel 1 dan tabel 2 merupakan data primer yang menjadi dasar utama dalam analisis karakteristik dan stratifikasi tanah, karena variasi nilai q_c dan R_f terhadap kedalaman mencerminkan perubahan sifat mekanik serta jenis tanah penyusun lapisan bawah permukaan.

Tabel 1. Data CPT pada Titik S01.

<i>H</i> (m)	<i>q_c</i> (kg/cm ²)	<i>JP</i> (kg/cm ²)	<i>P_g</i> (kg/cm ²)	<i>HP</i> (kg/cm)	<i>J.H.P</i> (kg/cm)	<i>HS</i> (kg/cm ²)	<i>R_f</i> (%)
0,00	0	0	0	0,000	0,000	0,000	0
0,20	5	10	5	6.396	6.396	0,320	6.396
0,40	5	10	5	6.396	12.792	0,320	6.396
0,60	5	10	5	6.396	19.189	0,320	6.396
0,80	5	10	5	6.396	25.585	0,320	6.396
1,00	20	25	5	6.396	31.981	0,320	1.599
1,20	15	20	5	6.396	38.377	0,320	2.132
1,40	10	15	5	6.396	44.773	0,320	3.198
1,60	20	25	5	6.396	51.170	0,320	1.599
1,80	35	40	5	6.396	57.566	0,320	0,914
2,00	35	40	5	6.396	63.962	0,320	0,914
2,20	125	130	5	6.396	70.358	0,320	0,256
2,40	150	160	10	12.792	83.151	0,640	0,426

2,60	160	170	10	12.792	95.943	0,640	0,400
2,80	130	140	10	12.792	108.735	0,640	0,492
3,00	100	110	10	12.792	121.528	0,640	0,640
3,20	60	70	10	12.792	134.320	0,640	1.066
3,40	35	45	10	12.792	147.112	0,640	1.827
3,60	50	60	10	12.792	159.905	0,640	1.279
3,80	50	60	10	12.792	172.697	0,640	1.279
4,00	80	90	10	12.792	185.490	0,640	0,800
4,20	60	65	5	6.396	191.886	0,320	0,533
4,40	50	60	10	12.792	204.678	0,640	1.279
4,60	20	25	5	6.396	211.074	0,320	1.599
4,80	20	25	5	6.396	217.471	0,320	1.599
5,00	10	15	5	6.396	223.867	0,320	3.198
5,20	125	130	5	6.396	230.263	0,320	0,256
5,40	150	160	10	12.792	243.055	0,640	0,426
5,60	180	200	20	25.585	268.640	1.279	0,711
5,80	200	220	20	25.585	294.225	1.279	0,640
6,00	200	220	20	25.585	319.810	1.279	0,640

Tabel 2. Data CPT pada Titik S02.

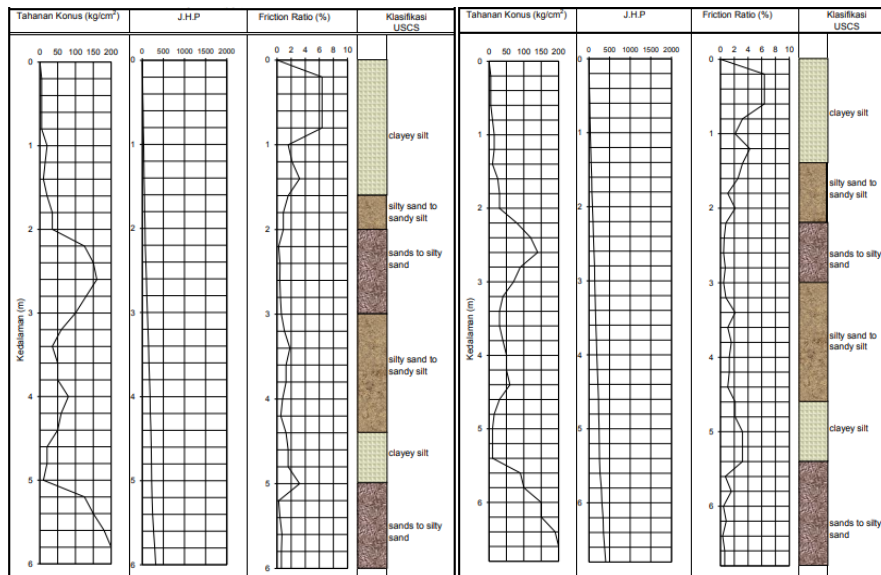
<i>H</i> (m)	<i>qc</i> (kg/cm ²)	<i>JP</i> (kg/cm ²)	<i>Pg</i> (kg/cm ²)	<i>HP</i> (kg/cm)	<i>J.H.P</i> (kg/cm)	<i>HS</i> (kg/cm ²)	<i>Rf</i> (%)
0,00	0	0	0	0,000	0,000	0,000	0
0,20	5	10	5	6.396	6.396	0,320	6.396
0,40	5	10	5	6.396	12.792	0,320	6.396
0,60	5	10	5	6.396	19.189	0,320	6.396
0,80	10	15	5	6.396	25.585	0,320	3.198
1,00	15	20	5	6.396	31.981	0,320	2.132
1,20	15	25	10	12.792	44.773	0,640	4.264
1,40	10	15	5	6.396	51.170	0,320	3.198
1,60	25	35	10	12.792	63.962	0,640	2.558
1,80	30	35	5	6.396	70.358	0,320	1.066
2,00	30	40	10	12.792	83.151	0,640	2.132
2,20	80	90	10	12.792	95.943	0,640	0,800
2,40	120	130	10	12.792	108.735	0,640	0,533
2,60	140	150	10	12.792	121.528	0,640	0,457
2,80	90	100	10	12.792	134.320	0,640	0,711
3,00	70	75	5	6.396	140.396	0,320	0,457
3,20	40	45	5	6.396	147.112	0,320	0,800
3,40	30	40	10	12.792	159.905	0,640	2.132
3,60	30	35	5	6.396	166.301	0,320	1.066
3,80	40	50	10	12.792	179.093	0,640	1.599
4,00	50	60	10	12.792	191.886	0,640	1.279
4,20	50	60	10	12.792	204.678	0,640	1.279
4,40	60	70	10	12.792	217.471	0,640	1.066

4,60	30	40	10	12.792	230.263	0,640	2.132
4,80	15	20	5	6.396	236.659	0,320	2.132
5,00	10	15	5	6.396	243.055	0,320	3.198
5,20	10	15	5	6.396	249.452	0,320	3.198
5,40	10	15	5	6.396	255.848	0,320	3.198
5,60	90	100	10	12.792	268.640	0,640	0,711
5,80	100	125	25	31.981	300.621	1.599	1.599
6,00	150	160	10	12.792	313.413	0,640	0,426
6,20	150	170	20	25.585	338.998	1.279	0,853
6,40	190	200	10	12.792	351.791	0,640	0,337
6,60	200	220	20	25.585	377.375	1.279	0,640
6,80	200	220	20	25.585	402.960	1.279	0,640

Pada titik S01, hasil pengujian menunjukkan bahwa lapisan tanah bagian atas hingga kedalaman sekitar 2,0 m didominasi oleh nilai yang relatif rendah, berkisar antara 5–40 kg/cm² dengan nilai friction ratio cukup tinggi. Kondisi ini mengindikasikan keberadaan tanah berbutir halus hingga tanah lanauan-lempungan (clayey silt). Memasuki kedalaman 2,2–3,0 m, terjadi peningkatan nilai q_c hingga kisaran 100–160 kg/cm² disertai penurunan nilai friction ratio, yang menunjukkan peralihan lapisan menuju tanah berbutir lebih kasar, seperti pasir berlanau (silty sand). Pada kedalaman di bawah 5,6 m, nilai q_c mencapai dan melampaui 200 kg/cm² secara berulang hingga kedalaman akhir 6,0 m, yang menandakan ditemukannya lapisan tanah keras yang relatif konsisten dan layak dijadikan sebagai lapisan pendukung pondasi.

Pada titik S02 pola stratifikasi tanah menunjukkan kecenderungan yang serupa namun dengan kedalaman tanah keras yang lebih besar. Lapisan tanah permukaan hingga kedalaman sekitar 2,0 m masih didominasi oleh tanah lunak hingga sedang dengan nilai q_c rendah dan friction ratio relatif tinggi, yang mengindikasikan jenis tanah lanauan atau lempungan. Peningkatan signifikan nilai q_c mulai terlihat pada kedalaman sekitar 2,2 m hingga 4,0 m, dengan karakteristik tanah berupa pasir berlanau hingga pasir. Tanah keras pada titik S02 teridentifikasi secara jelas pada kedalaman sekitar 6,6–6,8 m, ditunjukkan oleh nilai $q_c \geq 200$ kg/cm² yang terjadi secara berturut-turut sebanyak tiga kali pembacaan. Pada kedalaman ini diperoleh nilai friction ratio sebesar $\pm 0,64\%$, yang menurut klasifikasi Robertson menunjukkan jenis tanah pasir padat (dense sand).

Berdasarkan data pada tabel hasil sondir tersebut, selanjutnya dilakukan pengolahan data dalam bentuk grafik hubungan antara q_c , f_s , dan R_f terhadap kedalaman untuk masing-masing titik pengujian.



Gambar 3. Grafik CPT pada Titik S01 dan Titik S02.

Grafik ini digunakan untuk mempermudah identifikasi batas antar lapisan tanah serta untuk memperjelas kecenderungan peningkatan atau penurunan nilai qc secara vertikal. Hasil pengolahan data ini kemudian dianalisis lebih lanjut untuk menentukan karakteristik tanah, mengidentifikasi lapisan tanah lunak, sedang, dan keras, serta menilai konsistensi lapisan tanah sebagai dasar rekomendasi kedalaman pondasi.

Dari grafik titik S01 hasil uji sondir (CPT) menunjukkan variasi nilai tahanan konus (qc) dan friction ratio (Rf) terhadap kedalaman hingga sekitar 6 m yang mencerminkan stratifikasi tanah berlapis. Pada kedalaman permukaan hingga $\pm 1,0$ m, nilai qc relatif rendah dengan Rf tinggi, mengindikasikan tanah berbutir halus berupa clayey silt yang memiliki daya dukung rendah. Lapisan transisi berupa silty sand to sandy silt muncul pada kedalaman sekitar 1,0–2,0 m, diikuti lapisan sand to silty sand pada kedalaman $\pm 2,0$ –3,0 m yang ditandai oleh peningkatan nilai qc dan penurunan Rf . Pada kedalaman 3,0–5,2 m, tanah kembali didominasi oleh material berlanau hingga lempungan dengan fluktuasi nilai qc , sebelum akhirnya pada kedalaman sekitar 5,2–6,0 m teridentifikasi lapisan sand to silty sand dengan nilai qc relatif tinggi dan stabil, yang menunjukkan kondisi tanah lebih padat dan memiliki daya dukung lebih baik.

Berdasarkan interpretasi tersebut, lapisan tanah yang paling layak dijadikan lapisan pendukung pondasi berada pada kedalaman $\geq 5,5$ m, di mana nilai qc tinggi dan relatif konstan serta Rf rendah, mencerminkan tanah berbutir kasar yang stabil. Oleh karena itu, untuk menjamin kinerja struktur yang aman dan meminimalkan risiko penurunan, pondasi direkomendasikan menumpu pada lapisan tanah pada kedalaman sekitar 5,5–6,0 m. Lapisan tanah di atas kedalaman tersebut, khususnya yang didominasi clayey silt, sebaiknya tidak

digunakan sebagai lapisan pendukung utama karena memiliki daya dukung yang lebih rendah dan potensi deformasi yang lebih besar.

Sedangkan grafik titik S02 hasil uji sondir (CPT) menunjukkan hubungan antara nilai tahanan konus (q_c), friction ratio (R_f), dan kedalaman hingga sekitar 6 meter yang menggambarkan kondisi stratifikasi tanah pada titik pengujian ini. Pada kedalaman permukaan hingga sekitar 1,0 meter, nilai q_c relatif rendah dan nilai R_f cukup tinggi, yang mengindikasikan tanah berbutir halus dengan klasifikasi clayey silt. Lapisan ini memiliki karakteristik mekanik yang kurang baik sebagai pendukung pondasi karena daya dukungnya rendah dan berpotensi mengalami penurunan.

Pada kedalaman sekitar 1,0–2,0 meter, terjadi peningkatan nilai q_c disertai penurunan nilai R_f , yang menunjukkan peralihan lapisan tanah menjadi silty sand to sandy silt. Selanjutnya, pada kedalaman sekitar 2,0–3,0 meter, tanah didominasi oleh sand to silty sand dengan nilai q_c yang lebih tinggi dan relatif stabil, menandakan lapisan berbutir kasar dengan daya dukung yang lebih baik dibandingkan lapisan di atasnya. Namun, lapisan ini masih bersifat lokal dan belum cukup tebal untuk dijadikan satu-satunya tumpuan pondasi.

Pada kedalaman 3,0–4,8 meter, grafik menunjukkan fluktuasi nilai q_c dan R_f yang menandakan keberadaan lapisan transisi berupa silty sand to sandy silt. Lapisan ini menunjukkan sifat tanah yang tidak seragam sehingga kurang ideal sebagai lapisan tumpuan utama. Selanjutnya, pada kedalaman sekitar 4,8–5,5 meter, kembali teridentifikasi lapisan clayey silt dengan nilai q_c menurun dan R_f meningkat, yang mengindikasikan tanah lunak hingga sedang. Lapisan paling bawah, pada kedalaman sekitar 5,5–6,0 meter, didominasi oleh sand to silty sand dengan nilai q_c yang relatif tinggi dan lebih stabil, menunjukkan kondisi tanah yang lebih padat dan memiliki daya dukung lebih baik.

Berdasarkan hasil interpretasi tersebut, lapisan tanah yang paling layak dijadikan sebagai lapisan pendukung pondasi berada pada kedalaman $\geq 5,5$ meter, di mana nilai q_c tinggi dan relatif konstan serta nilai R_f rendah. Oleh karena itu, kedalaman pondasi direkomendasikan berada pada kisaran 5,5–6,0 meter, agar pondasi bertumpu pada lapisan tanah berbutir kasar yang lebih stabil dan memiliki risiko penurunan yang lebih kecil. Lapisan tanah di atas kedalaman tersebut, khususnya yang berklasifikasi clayey silt, sebaiknya dihindari sebagai tumpuan pondasi utama.

Perbedaan kedalaman tanah keras antara titik S01 dan S02 mengindikasikan adanya variasi lateral kondisi geoteknik di lokasi penelitian. Kondisi ini umum dijumpai pada wilayah pengembangan perumahan dan menegaskan pentingnya penggunaan lebih dari satu titik sondir untuk memperoleh gambaran stratifikasi tanah yang representatif. Secara umum, hasil uji

sondir menunjukkan bahwa lapisan tanah pendukung pondasi dangkal maupun pondasi dalam berada pada kedalaman lebih dari 5,5 m, sehingga perencanaan pondasi perlu mempertimbangkan kedalaman lapisan keras terdalam, khususnya pada area sekitar titik S02.

Data CPT yang diperoleh dapat digunakan sebagai dasar rekomendasi awal kedalaman pondasi. Untuk bangunan perumahan bertingkat rendah, pondasi dangkal masih memungkinkan digunakan apabila ditempatkan pada lapisan tanah dengan nilai q_c menengah hingga tinggi, disertai evaluasi daya dukung dan penurunan. Namun, untuk menjamin keamanan dan kinerja struktur jangka panjang, terutama pada area dengan variasi stratifikasi yang signifikan, pondasi yang menumpu pada lapisan tanah keras pada kedalaman sekitar 6,0–6,8 m akan memberikan tingkat keandalan yang lebih baik. Oleh karena itu, hasil penyelidikan ini menegaskan peran penting uji CPT sebagai metode yang efektif dan cepat dalam menentukan karakteristik tanah, stratifikasi lapisan, serta rekomendasi awal kedalaman pondasi pada tahap perencanaan geoteknik.

5. KESIMPULAN DAN SARAN

Hasil analisis data Cone Penetration Test (CPT) menunjukkan bahwa kondisi tanah di lokasi penelitian tersusun atas lapisan berbutir halus hingga berbutir kasar dengan variasi sifat mekanik secara vertikal. Lapisan tanah dangkal hingga kedalaman sekitar 2,0 m didominasi oleh tanah berbutir halus dengan nilai tahanan konus (q_c) rendah dan friction ratio (R_f) tinggi, sehingga kurang layak sebagai lapisan pendukung pondasi. Lapisan tanah yang memiliki karakteristik mekanik terbaik teridentifikasi pada kedalaman sekitar 5,5–6,0 m, ditandai oleh nilai q_c tinggi dan relatif stabil serta R_f rendah. Dengan demikian, data CPT efektif digunakan sebagai dasar penentuan stratifikasi tanah dan rekomendasi kedalaman pondasi. Untuk menjamin kinerja struktur yang aman, pondasi direkomendasikan menumpu pada lapisan tanah dengan karakteristik terbaik pada kedalaman sekitar 5,5–6,0 m. Penelitian selanjutnya disarankan menambah jumlah titik pengujian dan mengombinasikan CPT dengan pengujian pendukung lainnya guna meningkatkan akurasi interpretasi kondisi tanah.

DAFTAR REFERENSI

- Bowles, J. E. (1998). *Analisis dan desain pondasi* (Jilid 1, Edisi ke-4, P. Silaban, Ed.). Penerbit Erlangga.
- Gunawan, S., Surjandari, N. S., & Setiawan, B. (2022). Tahanan lateral pondasi tiang berdasarkan Cone Penetration Test. *Jurnal Teknik Sipil*, 15(4), 215–227.
- Güner, A. B. S. (2025). Statistical analysis of soil parameters affecting the bearing capacity and settlement. *Applied Sciences*, 15(10), 5271. <https://www.mdpi.com/2076-3417/15/10/5271>
- Hakim, A. (2018). Evaluasi kinerja pondasi pada tanah berlapis menggunakan data CPT. *Jurnal Teknik Sipil*, 12(2), 115–124.
- Ijaz, N. (2025). Optimizing subsurface geotechnical data integration for shallow foundation design. *Buildings*, 15(1), 140. <https://www.mdpi.com/2075-5309/15/1/140>
- Kristyanto, H., Purwoko, F., & Wijayanti, L. (2022). Perbandingan daya dukung dan penurunan tanah pada pondasi dangkal berdasarkan data SPT dan CPT. *CivETech: Civil Engineering and Technology Journal*, 4(2), 17–30.
- Nguyen-Minh, T. (2024). Hybrid deep learning and isogeometric analysis for optimizing shallow foundation design within layered soil profiles. *Journal of Civil Engineering and AI Integration*. <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S1674775524005237>
- Nugroho, S. A., Fernando, H., & Suryanita, R. (2022). Prediksi nilai SPT tanah granular berdasarkan data CPT dan properties tanah di Sumatera menggunakan jaringan saraf tiruan. *Jurnal Teknik Sipil*, 29(1).
- Putra, R., & Rahman, A. (2020). Perbandingan estimasi daya dukung pondasi dangkal menggunakan data CPT dan pendekatan empiris. *Jurnal Rekayasa Sipil*, 16(1), 23–32.
- Rezkie, H. (2025). Comprehensive geotechnical analysis for urban underground construction. *Construction and Geotechnical Science Journal*. <https://www.sciencedirect.com/science/article/abs/pii/S1474706525002001>
- Saputra, H. (2020). Analisis stratifikasi dan klasifikasi tanah dengan variasi metode grafik pada uji CPT. *Jurnal Komposit: Jurnal Ilmu-Ilmu Teknik Sipil*, 9(1), 1–15.
- Sari, D. M. (2019). Analisis stratifikasi tanah berdasarkan profil Cone Penetration Test (CPT). *Media Komunikasi Teknik Sipil*, 25(2), 101–110.
- Sari, U. C., Cholida, N. F. F., Sholeh, M. N., & Pratama, M. M. (2022). Shallow foundation bearing capacity analysis based on CPT. *Jurnal Teknik Sipil*, 18(1), 1–12.
- SNI 2827:2008. (2008). *Cara uji penetrasi lapangan dengan CPT*. Badan Standardisasi Nasional.
- Zeini, H. A. (2025). Predicting the bearing capacity of shallow foundations on varied soil. *Geotechnical Engineering Research*, 5(3), 57. <https://www.mdpi.com/2673-7094/5/3/57>