

# Analisis Daya Dukung Tanah Workshop KM 25 Berdasarkan Data Sondir di PT KPP Site ASTO, Kalimantan Tengah

*Analysis of Soil Carrying Capacity at Workshop KM 25 Based on Sondir Data at PT.*

*KPP Site ASTO, Central Kalimantan*

Alfandias Seysna Putra<sup>1</sup>, Isdaryanto Iskandar<sup>2</sup>

<sup>1</sup>Program Studi Teknik Sipil, Fakultas Teknik, Universitas Pelita Bangsa

<sup>2</sup>Program Profesi Insinyur, Fakultas Teknik, Universitas Katolik Indonesia Atma Jaya

<sup>1</sup>alfandias@pelitabangsa.ac.id, <sup>2</sup>isdaryanto@atmajaya.ac.id\*

## Abstract

*The planning of the substructure of the building cannot be separated from the process of soil investigation to determine the bearing capacity of the soil to be supported by the building. The location of the mining area, especially in Central Kalimantan, is dominated by a layer of sand, so it is necessary to investigate the soil first to obtain the depth of the soil layer in the form of very dense sand with a qc of 155 – 250 kg/cm<sup>2</sup>. The purpose of this study was to determine the characteristics of the soil layer and the carrying capacity of the soil in the construction area of the KM 25 Workshop. The method used in this study was a literature study method and in-situ testing. Based on the test results from 6 test points, it was found that the soil layer at the research site was dominated by a layer of sand with a surface layer at a depth of 0.20 – 1.60 meters in the form of cohesive soil of very soft to soft consistency. Hard soil layers were found from 7.00 – 8.20 meters depth with a qc of 155 – 250 kg/cm<sup>2</sup>.*

**Keywords:** Sondir Test, Soil Bearing Capacity, Substructure, Dutch Cone Penetrometer Test

## Abstrak

Perencanaan struktur bawah bangunan tidak lepas dari proses penyelidikan tanah untuk mengetahui daya dukung tanah yang akan ditumpu oleh bangunan. Lokasi lahan area pertambangan, khususnya di Kalimantan Tengah memiliki dominasi lapisan tanah pasir, sehingga perlu dilakukan penyelidikan tanah terlebih dahulu untuk mendapatkan kedalaman lapisan tanah berupa pasir sangat padat dengan qc 155 – 250 kg/cm<sup>2</sup>. Tujuan dari penelitian ini adalah untuk mengetahui karakteristik lapisan tanah dan daya dukung tanah di area pembangunan Workshop KM 25. Metode yang digunakan dalam penelitian ini adalah metode studi literature serta pengujian in-situ. Berdasarkan hasil pengujian dari 6 titik uji, didapat lapisan tanah di lokasi penelitian didominasi lapisan pasir dengan lapisan permukaan pada kedalaman 0.20 – 1.60 meter berupa tanah kohesif konsistensi sangat lunak hingga lunak. Lapisan tanah keras ditemukan mulai kedalaman 7.00 – 8.20 meter dengan qc 155 – 250 kg/cm<sup>2</sup>.

**Kata kunci:** Uji Sondir, Daya Dukung Tanah, Struktur Bawah, Dutch Cone Penetrometer Test

## Pendahuluan

Keamanan sebuah bangunan sangat ditentukan oleh kekuatan strukturnya, baik struktur atas (*upper struktur*) dan struktur bawah (*base structure*). Struktur bawah adalah bagian bangunan yang berada dibawah permukaan tanah atau disebut Fondasi [1]. Bentuk dan struktur tanah merupakan suatu peranan yang penting dan perlu dicermati karena karakteristik yang berbeda-beda untuk setiap lokasinya. Untuk itu pada perencanaan Fondasi, melakukan pengujian tanah menjadi sangat penting karena tanah inilah yang memikul beban Fondasi yang diteruskan dari struktur atas konstruksi bangunan. Daya dukung tanah perlu diketahui untuk merencanakan beban struktur bawah yang akan dibangun. Apabila daya dukung tanah berdasarkan pengujian tidak mampu menahan beban dari struktur yang direncanakan maka dilakukan rekayasa tertentu agar nilai daya dukung tanah dapat mencapai nilai yang diinginkan [2].

PT KPP Site ASTO merupakan salah satu kontraktor jasa pertambangan yang memiliki daerah operasi pertambangan di Kalimantan Tengah. Dalam mendukung operasional pertambangan terdapat infrastruktur penting diantaranya adalah Workshop A2B sebagai fasilitas *repair and maintenance* alat-alat berat seperti Light Dump Truck (LD), Heavy Dump Truck (HD), Grader, dan unit lainnya. Struktur utama bangunan workshop adalah struktur baja profil dengan total panjang bangunan 106 meter dan lebar 12 meter. Berdasarkan hasil analisis struktur, nilai gaya aksial akibat beban terfaktor ( $P_u$ ) rata-rata sebesar 288 kN. Data tersebut digunakan sebagai pertimbangan dalam melakukan desain Fondasi struktur, serta data daya dukung tanah dari hasil pengujian sondir dibutuhkan sebagai pertimbangan jenis Fondasi ideal workshop.

Berdasarkan data dari Dinas Kehutanan Provinsi Kalimantan Tengah, sebagian besar wilayah daratan Kalimantan Tengah terdiri dari jenis tanah podsolik merah kuning. Secara umum jenis tanah di Kalimantan Tengah terdiri dari organosol, laterit, regosol, alluvial, podsol, lithosol, dan latosol [3]. Secara geologi, Kabupaten Kapuas, dimana lokasi operasional PT KPP Site ASTO masuk dalam formasi Montalat yang terdiri dari batu pasir kwarsa, agak padat, sisipan batu lempung dan batubara. Karena didominasi oleh lapisan pasir, dimana secara karakteristik masuk dalam kategori tanah lunak [12].

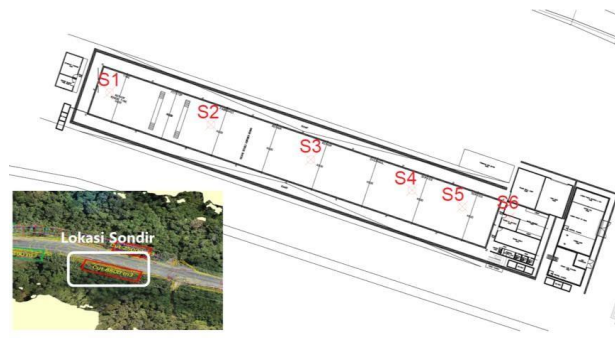
Maka perlu dilakukan uji kekuatan tanah untuk menentukan kedalaman lapisan keras sebagai tempat bertumpunya Fondasi bangunan. Penyelidikan kondisi bawah tanah merupakan salah satu prasyarat dalam perencanaan konstruksi bawah tanah [2]. Penyelidikan tanah diperlukan untuk menentukan karakteristik tanah dan kapasitas daya dukung tanah, sehingga perencanaan dan konstruksi suatu fondasi dapat lebih aman dan ekonomis [4]. Kapasitas daya dukung tanah adalah kemampuan tanah memikul tekanan atau melawan penurunan akibat pembebanan [11].

Proses penyelidikan tanah dibagi menjadi empat tahap utama, mulai dari studi literatur, evaluasi dan studi kondisi lapangan, penyelidikan geoteknik pendahuluan, dan penyelidikan geoteknik rinci [5]. Dutch Cone Penetrometer Test (Uji Sondir) digunakan sebagai metode penyelidikan daya dukung tanah karena pemeriksaan ini bertujuan untuk menentukan lapisan-lapisan tanah dengan mengetahui perlawanan penetrasi konus dan hambatan lekat tanah di lapangan [14]. Perlawanan penetrasi konus adalah perlawanan tanah terhadap ujung konus yang dinyatakan dalam gaya per-satuan luas sedangkan hambatan lekat adalah perlawanan geser tanah terhadap selubung bikonus dalam gaya per-satuan panjang [6]. Nilai tersebut dapat diketahui dari pembacaan manometer. Penilitan ini bertujuan untuk mengetahui karakteristik lapisan tanah dan daya dukung tanah di area Workshop KM 25.

## Metode Penelitian

Penelitian ini adalah penelitian in-situ (*onsite research*) dimana lokasi penelitian ini dilaksanakan di lokasi pembangunan Workshop, PT. KPP Site ASTO, Kabupaten Kapuas, Kalimantan Tengah. Tepatnya di Jalan Hauling ABB KM 25 dengan titik koordinat 23° 47' 14,45 LS dan 98° 33' 89,27 BT. Dengan luas bangunan sebesar 1.272 m<sup>2</sup>, jumlah titik sample yang dibutuhkan dalam penyelidikan tanah sejumlah 5 titik yaitu S1, S2, S3, S4, S5, dan S6. Penelitian in-site yang dilakukan pada sampel utuh selalu jauh lebih direkomendasikan karena hasil uji mendekati kenyataan dibandingkan dengan sampel yang terganggu [7]. Gambar 1 merupakan peta lokasi dan titik sondir yang akan dilakukan penelitian.

Penelitian ini menggunakan data kuantitatif, merupakan data yang dapat dinyatakan dalam angka serta dapat diukur ukurannya. Penyelidikan tanah di lokasi penelitian menggunakan metode pengujian sondir sesuai dengan SNI 2827:2008, dengan mengevaluasi grafik nilai qc dan kedalaman yang didapat pada beberapa kondisi dan jenis lapisan tanah. Analisis hasil bacaan manometer terdiri dari nilai perlawanan konus (qc) dengan ujung konus saja yang terdorong, nilai qc adalah nilai dari pembacaan manometer untuk nilai perlawanan konus dengan kriteria lapisan tanah keras >150 kg/cm<sup>2</sup> [13], lalu nilai perlawanan geser (SF) diperoleh bila ujung konus dan bidang geser terdorong bersamaan, lalu angka banding geser (FR) diperoleh dari hasil penjumlahan antara nilai perlawanan geser local (SF) dengan perlawanan konus (qc), dan nilai geser total (TSF) diperoleh dengan menjumlahkan nilai geseran total.



Gambar 1 Peta Lokasi Penelitian.

Menurut Terzaghi dan Peck[8], harga perlawanan konus dari hasil uji penetrasi sonir pada lapisan tanah dapat dihubungkan secara empiris dengan kekuatannya Tabel 1 & 2 [15].

Tabel 1 Konsistensi Tanah Lempung Berdasarkan Hasil Sondir

| Konsistensi  | Conus Resistance (qc), kg/cm <sup>2</sup> | Friction Ratio (FR), % |
|--------------|---|------------------------|
| Sangat Lunak | 5   | 3.5                    |
| Lunak        | 5-10                                      | 3.5                    |
| Medium       | 10-35                                     | 4.0                    |
| Kaku         | 30-60                                     | 4.0                    |
| Sangat Kaku  | 60-150                                    | 6.0                    |
| Keras        | >150                                      | 6.0                    |

Tabel 2 Kepadatan lapisan tanah berdasarkan hasil sondir

| Konsistensi  | Conus Resistance (qc), kg/cm <sup>2</sup> | Friction Ratio (FR), % |
|--------------|---|------------------------|
| Sangat Lepas | 20  | 2.0                    |
| Lepas        | 20-40                                     | 2.0                    |
| Agak Padat   | 40-60                                     | 2.0                    |
| Padat        | 60-150                                    | 4.0                    |
| Sangat Padat | >150                                      | 4.0                    |

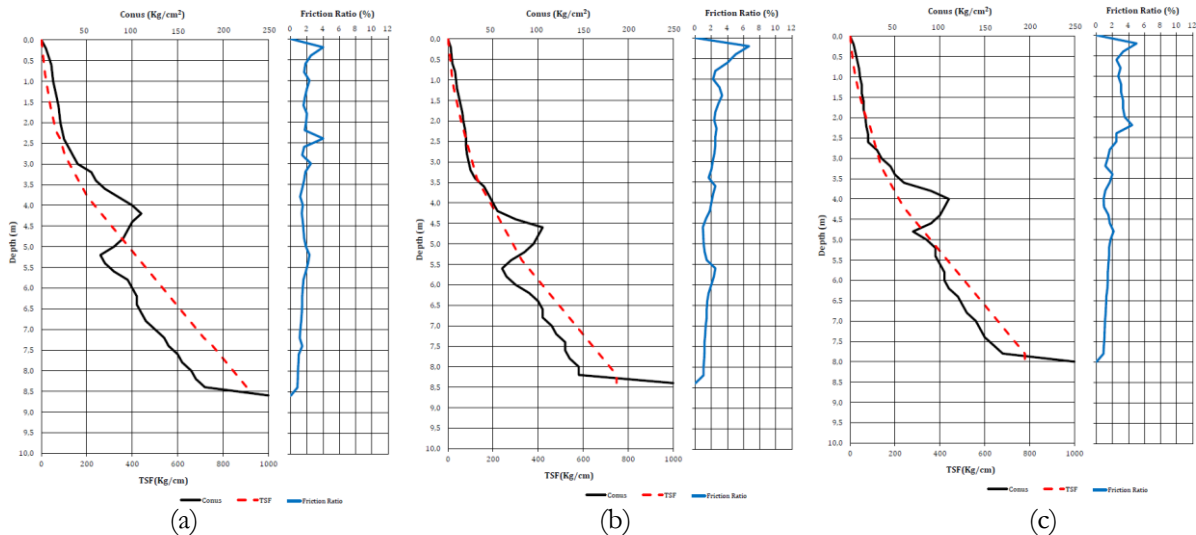
Penafsiran tanah dapat ditentukan berdasarkan besar rasio lekatan (FR) jika (1) FR = 1, jenis tanah gravel; (2) FR = 2, jenis tanah pasir; (3) FR = 3, jenis tanah lanau; dan (4) FR ≥ 4, jenis tanah lempung. Das[9] membuat klasifikasi tanah berdasarkan hasil sondir yang lebih detail. Dimana klasifikasi tersebut dibagi menjadi 6 kelompok yang ditunjukkan pada Tabel 3.

Tabel 3. Klasifikasi Tanah berdasarkan Hasil Sondir [9]

| Konsistensi |             | Klasifikasi  |
|-------------|-------------|--|
| qc          | Fs          |  |
| 6.0         | 0.15 – 0.40 | Humus, lempung sangat lunak  |
| 6.0 - 10.0  | 0.20        | Pasir kelanauan lepas, pasir sangat lepas                                  |
|             | 0.20 – 0.60 | Lempung lembek, lempung kelanauan lembek                                   |
| 10.0 – 30.0 | 0.1         | Kerikil lepas  |
|             | 0.10 – 0.40 | Pasir lepas  |
|             | 0.40 – 0.60 | Lempung atau lempung kelanauan   |
|             | 0.80 – 2.00 | Lempung agak kenyal  |
| 30 – 60     | 1.50        | Pasir kelanauan, pasir agak padat  |
|             | 1.0 – 3.0   | Lempung atau lempung kelanauan kenyal                                      |
| 60 - 150    | 1.0         | Kerikil kepasiran lepas  |
|             | 1.0 – 3.0   | Pasir padat, pasir kelanauan atau lempung padat dan lempung kelanauan      |
|             | 3.0         | Lempung kekerikilan kenyal   |
| 150 - 300   | 1.0 – 2.0   | Pasir padat, pasir kekerikilan, pasir kasar, pasir kelanauan sangat padat. |

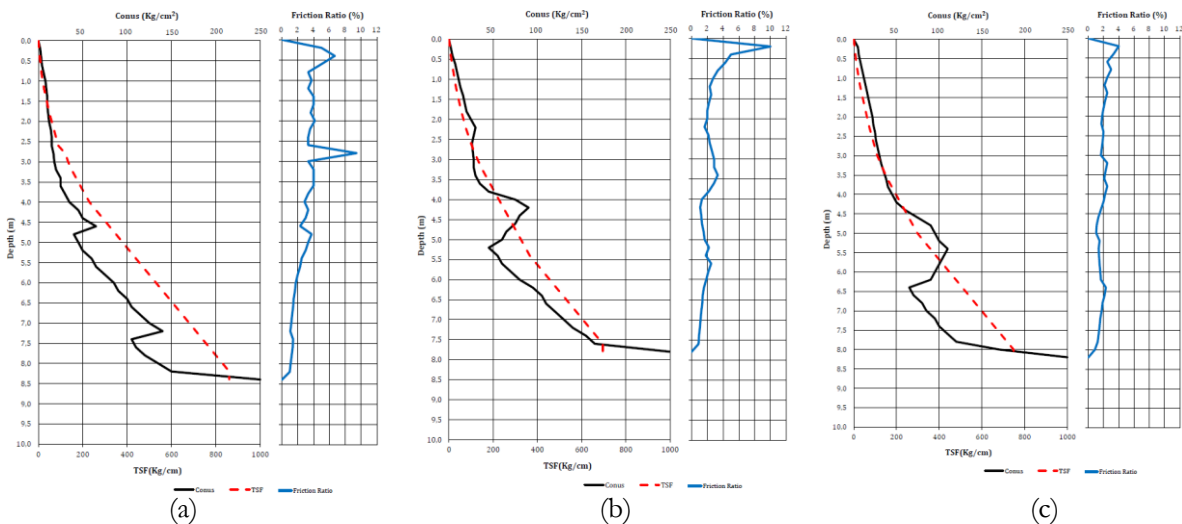
## Hasil dan Pembahasan

Pengujian dilakukan secara berturut-turut dengan target satu hari didapat maksimal tiga titik pengujian. Pada pengujian titik S1, didapat pada kedalaman 7.40 meter terdapat perlawanan konus ( $q_c$ ) sebesar 160 kg/cm<sup>2</sup>, namun diteruskan hingga mendapatkan  $q_c$  sebesar 250 kg/cm<sup>2</sup> pada kedalaman 8,60 meter (Gambar 2a). Sedangkan titik S2 didapat perlawanan konus ( $q_c$ ) sebesar 250 kg/cm<sup>2</sup> pada kedalaman 8.40 meter dan titik S3 didapat perlawanan konus ( $q_c$ ) sebesar 160 kg/cm<sup>2</sup> pada kedalaman 7.60 meter (Gambar 2a dan 2b).



Gambar 2 Grafik perlawanan konus ( $q_c$ ), geseran total (TSF), dan angka banding geser (FR) titik S1-S3

Pada titik uji S4, didapat pada kedalaman 8.40 meter nilai tekanan konus ( $q_c$ ) sebesar 250 kg/cm<sup>2</sup> (Gambar 3a). Titik S5 didapat tekanan konus ( $q_c$ ) sebesar 155 kg/cm<sup>2</sup> pada kedalaman 7.40 meter, sedangkan titik S6 pada kedalaman 8 meter didapat tekanan konus ( $q_c$ ) sebesar 170 kg/cm<sup>2</sup> (Gambar 3b & 3c).



Gambar 3 Grafik perlawanan konus ( $q_c$ ), geseran total (TSF), dan angka banding geser (FR) titik S4-S6

## Klasifikasi Lapisan Tanah

Jika menggunakan tabel klasifikasi tanah pada tabel 3 dan dikombinasikan dengan tingkat kepadatan tanah pada tabel 1 dan 2, maka karakteristik tanah pada titik uji S1 – S6 didominasi oleh jenis tanah pasir karena sebelum mendapatkan kedalaman tanah keras, lapisan tanah didominasi oleh jenis klasifikasi tanah pasir. Deskripsi tanah hasil uji sondir ditunjukkan pada Tabel 4 – 9.

Tabel 4 Deskripsi tanah hasil uji sondir titik S.1

| Kedalaman (m) | Deskripsi | Qc (kg/cm <sup>2</sup> ) | Klasifikasi  |
|---------------|-----------|--------------------------|--------------|
| 0.00 – 0.20   | Lempung   | 5                        | Sangat Lunak |
| 0.20 – 0.40   | Pasir     | 8                        | Lunak        |
| 0.40 – 2.60   | Pasir     | 11 – 30                  | Medium       |
| 2.60 – 3.40   | Pasir     | 35 – 60                  | Agak Padat   |
| 3.40 – 7.60   | Pasir     | 65 – 150                 | Padat        |
| 7.60 – 8.60   | Pasir     | 155 – 250                | Sangat Padat |

Tabel 5 Deskripsi tanah hasil uji sondir titik S.2

| Kedalaman (m) | Deskripsi        | Qc (kg/cm <sup>2</sup> ) | Klasifikasi  |
|---------------|------------------|--------------------------|--------------|
| 0.00 – 0.40   | Lempung berlanau | 4 – 6                    | Sangat Lunak |
| 0.40 – 0.80   | Lanau berpasir   | 8 – 10                   | Lunak        |
| 0.80 – 2.80   | Lanau berpasir   | 11 – 30                  | Medium       |
| 2.80 – 3.60   | Pasir            | 35 – 60                  | Agak Padat   |
| 3.60 – 7.40   | Pasir            | 70 – 150                 | Padat        |
| 7.40 – 8.00   | Pasir            | 160 – 250                | Sangat Padat |

Tabel 6 Deskripsi tanah hasil uji sondir titik S.3

| Kedalaman (m) | Deskripsi         | Qc (kg/cm <sup>2</sup> ) | Klasifikasi  |
|---------------|-------------------|--------------------------|--------------|
| 0.00 – 0.80   | Lempung kelanauan | 2 – 6                    | Sangat Lunak |
| 0.80 – 1.60   | Lempung berlanau  | 8 – 10                   | Lunak        |
| 1.60 – 3.80   | lanau berlempung  | 11 – 30                  | Medium       |
| 3.80 – 4.40   | Lanau             | 35 – 50                  | Agak Padat   |
| 4.40 – 4.60   | Pasir             | 65                       | Padat        |
| 4.60 – 5.40   | Lanau berpasir    | 40 – 60                  | Agak Padat   |
| 5.40 – 8.20   | Pasir             | 65 – 150                 | Padat        |
| 8.20 – 8.40   | Pasir             | 250                      | Sangat Padat |

Tabel 7 Deskripsi tanah hasil uji sondir titik S.4

| Kedalaman (m) | Deskripsi         | Qc (kg/cm <sup>2</sup> ) | Klasifikasi  |
|---------------|-------------------|--------------------------|--------------|
| 0.00 – 0.80   | Lempung kelanauan | 2 – 6                    | Sangat Lunak |
| 0.80 – 1.60   | Lempung berlanau  | 8 – 10                   | Lunak        |
| 1.60 – 3.80   | Lanau berlempung  | 11 – 30                  | Medium       |
| 3.80 – 4.40   | Lanau             | 35 – 50                  | Agak Padat   |
| 4.40 – 4.60   | Pasir             | 65                       | Padat        |
| 4.60 – 5.40   | Lanau berpasir    | 40 – 60                  | Agak Padat   |
| 5.40 – 8.20   | Pasir             | 65 – 150                 | Padat        |
| 8.20 – 8.40   | Pasir             | 250                      | Sangat Padat |

Tabel 8 Deskripsi tanah hasil uji sondir titik S.5

| Kedalaman (m) | Deskripsi           | Qc (kg/cm <sup>2</sup> ) | Klasifikasi  |
|---------------|---------------------|--------------------------|--------------|
| 0.00 – 0.40   | Lempung             | 2 – 4                    | Sangat Lunak |
| 0.40 – 0.80   | Lempung berlanau    | 7 – 9                    | Lunak        |
| 0.80 – 3.40   | Pasir sedikit lanau | 11 – 30                  | Medium       |
| 3.40 – 5.60   | Pasir               | 35 – 60                  | Agak Padat   |
| 5.60 – 7.20   | Pasir               | 70 – 140                 | Padat        |
| 7.20 – 7.80   | Pasir               | 155 – 250                | Sangat Padat |

Tabel 9 Deskripsi tanah hasil uji sondir titik S.6

| Kedalaman (m) | Deskripsi        | Qc (kg/cm <sup>2</sup> ) | Klasifikasi  |
|---------------|------------------|--------------------------|--------------|
| 0.00 – 0.40   | Lempung berlanau | 5 – 6                    | Sangat Lunak |
| 0.40 – 0.80   | Lanau berpasir   | 8 – 10                   | Lepas        |
| 0.80 – 3.00   | Pasir            | 12 – 30                  | Medium       |
| 3.00 – 4.40   | Pasir            | 32 – 60                  | Agak Padat   |
| 4.40 – 7.80   | Pasir            | 65 – 140                 | Padat        |
| 7.80 – 8.20   | Pasir            | 170 – 250                | Sangat Padat |

### Analisis Daya Dukung Tanah

Berdasarkan hasil penyelidikan tanah dengan sondir, kedalaman maksimum yang dapat dicapai ditunjukkan

dalam Tabel 10, ringkasan hasil uji di enam titik sondir pada lokasi penelitian. Kedalaman tanah keras ( $q_c > 150 \text{ kg/cm}^2$ ) disemua titik uji sondir memiliki kedalaman  $>7$  meter. Data hasil penyelidikan tanah dengan uji sondir ini dapat dipakai untuk menentukan daya dukung pondasi dengan anggapan bajwa perlawanan pada pondasi dengan tanah sama dengan nilai yang diperoleh dari uji sondir.

Tabel 10 Ringkasan hasil uji sondir

| Titik Sondir | Kedalaman (m) | Qc (kg/cm <sup>2</sup> ) | Geseran total TSF (kg/cm <sup>2</sup> ) |
|--------------|---------------|--------------------------|---|
| S1           | 7.80          | 155                      | 814.0                                   |
| S2           | 8.40          | 250                      | 748.0                                   |
| S3           | 7.60          | 160                      | 748.0                                   |
| S4           | 8.40          | 250                      | 860.0                                   |
| S5           | 7.40          | 155                      | 666.0                                   |
| S6           | 8.00          | 170                      | 748.0                                   |

Untuk mencapai tanah keras ada dua cara yang dapat dibuat, pertama adalah dengan metode *cut and fill*, dimana di lokasi titik sondir yang akan dibangun workshop dilakukan cut sedalam 5 – 7 meter sehingga jarak dari permukaan ke tanah keras  $\pm 2$  meter dan dapat digunakan pondasi dangkal. Cara lain yang dapat dibuat adalah dengan memasang pondasi dalam berupa *mini pile* ataupun *bored pile* tergantung hasil analisis lanjutan pondasi dalam[10].

### Kesimpulan

Hasil uji sondir menunjukkan lapisan tanah didominasi lapisan pasir. Pada lapisan permukaan terdapat lapisan tanah kohesif konsistensi sangat lunak hingga lunak dengan ketebalan bervariasi, yaitu berkisar 0.20 – 1.60 meter. Lapisan tanah selanjutnya merupakan lapisan pasir sangat lepas hingga lepas dengan kedalaman yang bervariasi, yaitu hingga sekitar kedalaman 2.60 – 3.60 meter. Lapisan tanah keras berupa pasir sangat padat dengan  $q_c 155 - 250 \text{ kg/cm}^2$  ditemukan mulai kedalaman 7.00 – 8.20 meter merata di seluruh titik uji. Rekomendasi jenis pondasi yang dapat digunakan berdasarkan hasil uji sondir adalah pondasi dalam, yaitu fondasi *minipile* atau *bored pile* jika kondisi lahan tidak dilakukan rekayasa *cut and fill*.

### Daftar Rujukan

- [1] B. Surendro, "Rekayasa Fondasi; Teori dan Penyelesaian Soal", Yogyakarta: Graha Ilmu, 2015
- [2] I. Ridhayani and I. Saputra, "Studi Analisis Daya Dukung Tanah Berdasarkan Data Sondir di Kampus Padhang-Padhang Universitas Sulawesi Barat", *Bandar: Journal of Civil Engineering*, vol 3, no 2, pp. 37-42, Okt 2021.
- [3] Dinas Kehutanan Provinsi Kalimantan Tengah. (2022, Jun 20) *Topografi* [online] Available <https://dishut.kalteng.go.id/page/88/topografi>
- [4] E. Tanuwijaya, A. Kawanda, and H. Wijaya, "Studi Korelasi Nilai Tahanan Konus Sondir Terhadap Parameter Tanah pada Proyek di Jakarta Barat", *Jurnal Mitra Teknik Sipil*, vol 2, no 4, pp. 169-176, Nov 2019.
- [5] P.P. Rahardjo, "Manual Fondasi Tiang, Edisi 5", Bandung: Universitas Katolik Parahyangan, 2017.
- [6] Petunjuk Teknis Pengujian Tanah, *Direktorat Jenderal Bina Marga, Kementerian Pekerjaan Umum dan Perumahan Rakyat, Jakarta, Indonesia*, 2017, pp. 1-57
- [7] A.H. Vakili, M. Salimi, and M. Shamsi, "Application of the Dynamic Cone Penetrometer Test for Determining the Geotechnical Characteristics of Marl Soils Treated By Lime" *J. Heliyon* 7, Sept 2021, <https://doi.org/10.1016/j.heliyon.2021.e08062>
- [8] K. Terzaghi and R. B. Peck, "Mekanika Tanah dalam Peraktek Rakayasa, Jilid 2", Jakarta: Penerbit Erlangga, 1993.
- [9] B.M. Das, "Mekanika Tanah (Prinsip-prinsip Rekayasa Geoteknis), Jilid 1", Jakarta: Penerbit Erlangga, 1995
- [10] H. C. Hardiyatmo, "Analisis dan Perancangan Fondasi II, Edisi Kedua", Yogyakarta: Gadjah Mada University Press, 2011.
- [11] Darwis, "Dasar-dasar Mekanika Tanah", Yogyakarta: Penerbit Pena Indis, 2018
- [12] H.C. Hardiyatmo, "Mekanika Tanah 1", Yogyakarta: Gadjah Mada University Press, 2002
- [13] S. Sosrodarsono dan K. Nakazawa, "Mekanika Tanah & Teknik Pondasi", Jakarta: Pradnya Paramita, 2000
- [14] G.D. Soedarmo dan S.J.E. Purnomo, "Mekanika Tanah 1", Malang: Penerbit Kanisius, 1993
- [15] V. Sunggono, "Buku Teknik Sipil", Bandung: Penerbit Nova, 1995.