

# Karakteristik Geoteknik Rencana Lokasi Pembangunan Dermaga Peti Kemas Kota Raha, Sulawesi Tenggara

Anafi Minmahddun<sup>1,\*</sup>

<sup>1</sup>Jurusan Teknik Sipil, Universitas Halu Oleo, Kota Kendari, Sulawesi Tenggara

\*penulis koresponden: [anafi.minmahddun@uho.ac.id](mailto:anafi.minmahddun@uho.ac.id)

Submit : 5/06/2024

Revisi : 27/06/2024

Diterima : 28/06/2024

**Abstrak.** Karakteristik tanah yang homogen atau bahkan sebaliknya sangat berbeda bahkan pada jarak yang dekat menjadi salah satu alasan pentingnya dilakukan investigasi geoteknik dalam sebuah perencanaan infrastruktur. Investigasi geoteknik penting dilakukan untuk mengetahui karakteristik tanah untuk keperluan desain fondasi bangunan untuk mencegah terjadinya kegagalan atau penurunan berlebih. Penelitian ini bertujuan untuk mengetahui karakteristik geoteknik rencana lokasi pembangunan dermaga peti kemas di Kota Raha. *Deep boring* dan uji SPT dilakukan sebanyak 2 titik, BH-02 pada area dermaga serta BH-01 pada area jalan akses menuju dermaga (*trestle* dan *causeway*). Selain itu, dari dua titik pengeboran dilakukan pengambilan sampel untuk diuji di laboratorium. Hasil uji laboratorium diperoleh berdasarkan klasifikasi USC seluruh sampel diklasifikasikan menjadi tanah pasir berlanau (SM) dengan plastisitas rendah. Hasil *boring* menunjukkan lapisan tanah keras pada BH-01 dan BH-02 secara berturut-turut berada pada kedalaman 12,5 m dan 16,5 m. Daya dukung izin (Qa) tiang pancang bulat diameter 45 cm pada kedalaman 9 m, 10 m dan 11 m dengan faktor aman 4 secara berturut-turut adalah 892 kN, 919 kN dan 946 kN untuk BH-01 serta 913 kN, 940 kN dan 968 kN untuk BH-02. Daya dukung izin (Qa) tiang pancang bulat diameter 50 cm pada kedalaman 9 m, 10 m dan 11 m dengan faktor aman 4 secara berturut-turut adalah 1057 kN, 1084 kN dan 1112 kN untuk BH-01 serta 1079 kN, 1106 kN dan 1133 kN untuk BH-02.

**Kata kunci:** Bor dalam; N-SPT; Daya dukung izin

**Abstract.** The characteristics of soil, which are homogeneous or even very different even at short distances, are one of the reasons why it is important to carry out geotechnical investigations for building foundation design to prevent failure or excessive settlement. This research aims to determine the geotechnical characteristics of the container port location plan in Raha City. Deep boring and SPT tests were carried out at 2 points: BH-01 in the wharf area and BH-02 at the access road area to the dock (*trestle* and *causeway*). Apart from that, samples were taken from two drilling holes to be tested in the laboratory. Laboratory test results obtained based on the USC classification of all samples were classified as silty sand soil (SM) with low plasticity. The boring results show that the hard soil layers in BH-01 and BH-02 are, respectively, at a depth of 12.5 m and 16.5 m. The allowable bearing capacity (Qa) of round piles with a diameter of 45 cm at a depth of 9 m, 10 m, and 11 m with a safety factor of 4 is respectively 892 kN, 919 kN, and 946 kN for BH-01 and 913 kN, 940 kN, and 968 kN for BH-02. The allowable bearing capacity (Qa) of round piles with a diameter of 50 cm at a depth of 9 m, 10 m, and 11 m with a safety factor of 4 is respectively 1057 kN, 1084 kN, and 1112 kN for BH-01 and 1079 kN, 1106 kN, and 1133 kN for BH-02.

**Keywords:** Deep boring; N-SPT; Allowable bearing capacity

## Pendahuluan

Kondisi tanah dialam memiliki banyak variasi. Pada suatu area tertentu dapat kita temui tanah yang homogen baik dalam arah horizontal dan vertikal, tetapi tidak menutup kemungkinan bahkan area yang berjarak hanya 1 m memiliki karakteristik tanah yang sangat jauh berbeda [1]. Oleh karena itu penyelidikan tanah sangat penting dilakukan untuk mengetahui karakteristik tanah sehingga dapat memberikan hasil perencanaan yang baik.

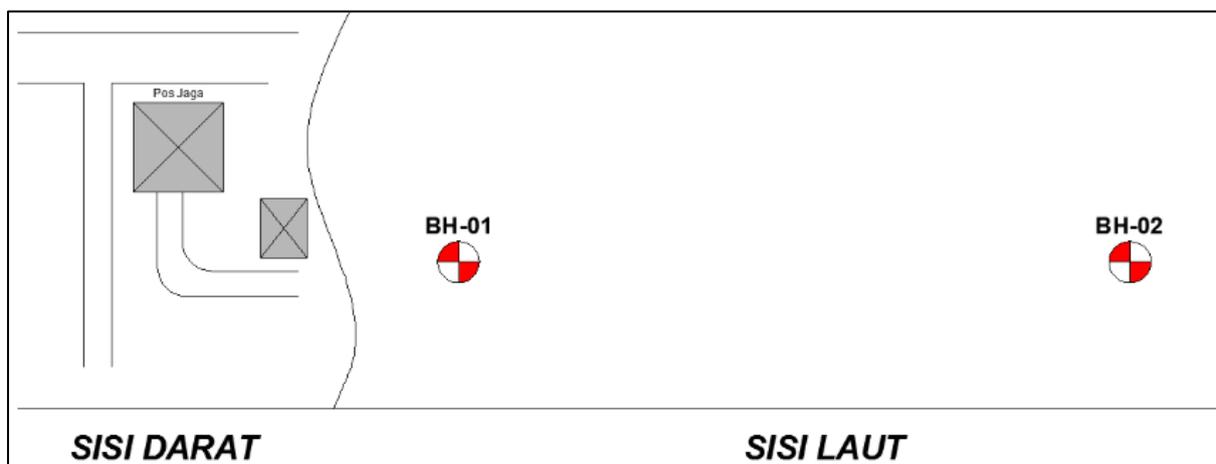
Pada umumnya bangunan teknik sipil dibuat atau didirikan di atas tanah dasar, baik dengan fondasi berupa struktur penyanggah atau penopang langsung di atas tanah dasar tersebut maupun berupa tanah timbunan. Struktur yang dibuat sedemikian rupa agar mampu menahan beban dan stabil terhadap pengaruh gerakan tanah dasar sekelilingnya. Besarnya daya dukung dan perubahan bentuk tanah akibat pembebanan dapat dianalisis dari data - data karakteristik tanah/batuan pada tempat yang akan diletakkan fondasi atau struktur lainnya. Oleh karena itu untuk merencanakan suatu struktur teknik sipil yang baik diperlukan informasi karakteristik tanah yang memadai khususnya kondisi bawah permukaan di tempat akan diletakkan bangunan bawah (*sub struktur*) dengan melakukan investigasi geoteknik.

Investigasi geoteknik dilakukan dengan tujuan untuk memperoleh informasi bawah permukaan dan karakteristik material yang akan digunakan agar tidak terjadi perencanaan yang berlebihan karena tidak adanya informasi bawah permukaan, dan sebaliknya untuk menghindari timbulnya bahaya akibat perencanaan yang tidak memadai karena kondisi yang belum dapat diperkirakan. Investigasi geoteknik dilakukan untuk memberikan informasi bagi Perencana tentang kondisi bawah permukaan, sifat - sifat mekanis dan sifat - sifat fisik termasuk kemampuan memikul beban dari material yang digunakan untuk struktur suatu bangunan teknik sipil.

Seperti halnya dalam proses perencanaan dermaga peti kemas di Kota Raha Provinsi Sulawesi Tenggara dibutuhkan penyelidikan tanah untuk mengetahui karakteristik tanah pada lokasi rencana pembangunan dermaga. Makalah ini bertujuan untuk mengetahui kedalaman, tebal struktur lapisan tanah dan parameter kekuatannya (N-SPT) guna keperluan perhitungan daya dukung tanah. Makalah ini akan memaparkan karakteristik geoteknik lokasi studi berdasarkan visualisasi hasil *deep boring*, N-SPT dan hasil uji laboratorium.

## Metode

Untuk mengetahui karakteristik geoteknik lokasi pembangunan dermaga dilakukan pengujian lapangan dengan *deep boring* [2] serta uji penetrasi standar (SPT) [3]. Pengujian SPT dilakukan dengan interval pengujian 2 m hingga mencapai kedalaman tanah dasar yaitu jika 5 kali berturut-turut didapatkan N-SPT > 60. Pengujian bor akan dilakukan sebanyak 2 (dua) titik yang berada pada lokasi rencana *causeway/trestle* dan dermaga (Gambar 1).



**Gambar 1.** Denah titik pengujian

Hasil pengujian N-SPT yang diperoleh harus dikoreksi terlebih dahulu sebelum digunakan karena terdapat pengaruh selama proses pengujian terhadap hasil yang diperoleh. Jenis *hammer*, diameter lubang dan panjang batang merupakan beberapa faktor yang mempengaruhi hasil uji SPT. Perbedaan jenis *hammer* yang digunakan akan memberikan hasil yang berbeda karena energi tumbukan yang dihasilkan juga berbeda. Diameter lubang yang digunakan akan berpengaruh terhadap hasil pengujian. Panjang batang berkaitan dengan kedalaman pengujian di mana energi yang diterima pada kedalaman < 10 m akan berbeda dengan kedalaman > 10 m [4]. Rumus koreksi N-SPT yang digunakan dapat dilihat pada Persamaan 1. Nilai masing-masing faktor koreksi merupakan modifikasi dari rumus Skempton [5] yang disempurnakan oleh Robertson dan Wride [6].

$$(N_1)_{60} = N_m C_N C_E C_B C_R C_S [7] \text{ (modifikasi dari rumus Skempton [5])} \quad (1)$$

dengan,

$(N_1)_{60}$	=	Nilai N SPT terkoreksi
$N_m$	=	Nilai pembacaan SPT
$C_N$	=	Faktor normalisasi $N_m$ terhadap tegangan <i>overburden</i> pada umumnya
$C_E$	=	Koreksi rasio energi <i>hammer</i>
$C_B$	=	Koreksi diameter <i>borelog</i>
$C_R$	=	Faktor koreksi panjang batang
$C_S$	=	Faktor koreksi sampel

Selain pengujian lapangan, proses karakterisasi lokasi rencana dermaga akan menggunakan data hasil pengujian laboratorium. Sampel uji akan diambil dari setiap lubang bor minimal 1 sampel. Sampel-sampel tersebut selanjutnya akan diuji untuk mengetahui klasifikasi tanah yang merupakan bagian penting dalam proses perencanaan fondasi dermaga serta infrastruktur penunjang dermaga lainnya. Jenis-jenis pengujian tanah yang dilakukan meliputi:

1. Pengujian berat jenis [8]
2. Pengujian kadar air [9]
3. Pengujian analisa ukuran butiran [10]
4. Pengujian batas-batas *atterberg* [11], [12]
5. Pengujian geser langsung [13]

Tahapan selanjutnya adalah analisis daya dukung fondasi untuk memberikan beberapa rekomendasi dimensi fondasi. Karena bangunan yang akan dibangun adalah dermaga, maka studi ini hanya memberikan rekomendasi dimensi fondasi tiang pancang bulat diameter 45 cm dan 50 cm dengan kedalaman 9, 10 dan 11 m. Luaran dari analisis ini adalah nilai daya dukung izin dengan nilai faktor keamanan 4.

Secara umum, daya dukung izin ( $Q_a$ ) tiang dihitung menggunakan persamaan:

$$Q_a = \frac{Q_u}{SF} \quad (2)$$

dimana,

$$Q_u = Q_b + Q_s - W_p = A_b f_b + A_s f_s - W_p \quad (3)$$

dengan,

- Q<sub>a</sub> = Daya dukung izin (kN)
- SF = Faktor keamanan
- Q<sub>u</sub> = Daya dukung *ultimate* (kN)
- Q<sub>b</sub> = Daya dukung ujung tiang (kN)
- Q<sub>s</sub> = Daya dukung ujung selimut tiang (kN)
- A<sub>b</sub> = Luas ujung tiang (m<sup>2</sup>)
- f<sub>b</sub> = Tahanan selimut tiang (kN/m<sup>2</sup>)
- A<sub>s</sub> = Luas selimut tiang (m<sup>2</sup>)
- f<sub>s</sub> = Tahanan ujung tiang (kN/m<sup>2</sup>)
- W<sub>p</sub> = Berat tiang (kN)

Dengan menggunakan data N-SPT, tahanan ujung tiang dan tahanan selimut tiang dapat dihitung menggunakan persamaan:

$$f_b = 0,4N_{60}'(L/d)\sigma_r \leq 4N_{60}'\sigma_r \text{ (untuk tanah pasir [14])} \quad (4)$$

$$f_b = 5c_u \leq 15000 \text{ kPa (untuk tanah lempung [15])} \quad (5)$$

$$f_s = 0,02\sigma_r N_{60} \text{ (untuk tanah pasir [14])} \quad (6)$$

$$f_s = \alpha c_u \text{ (untuk tanah lempung [15])} \quad (7)$$

dengan,

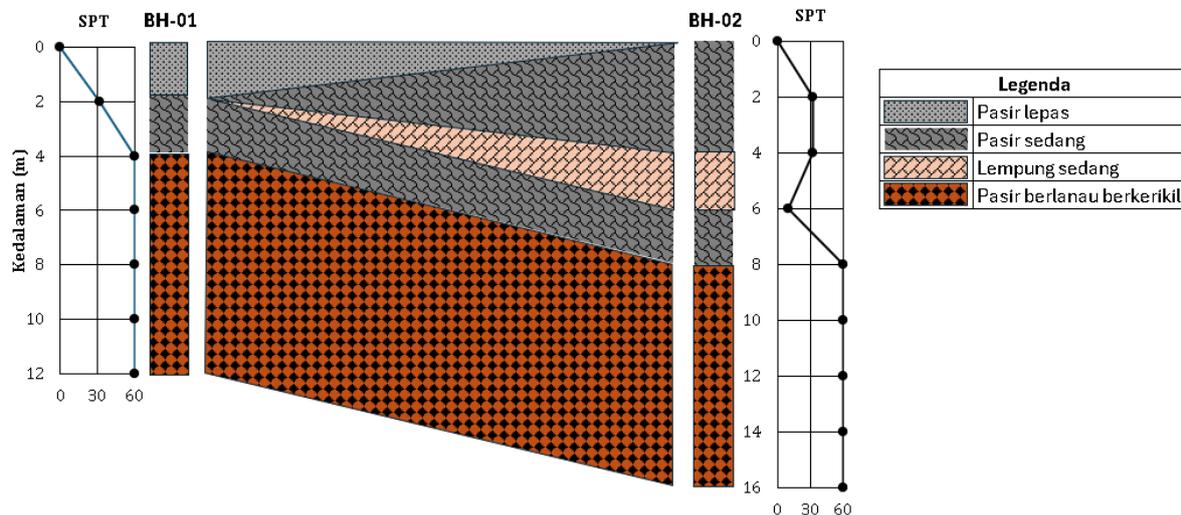
- N<sub>60</sub>' = N-SPT yang dikoreksi terhadap pengaruh prosedur lapangan dan tekanan *overburden*
- N<sub>60</sub> = N-SPT yang dikoreksi terhadap pengaruh prosedur lapangan saja
- σ<sub>r</sub> = tegangan referensi = 100 kN/m<sup>2</sup>
- L = kedalaman penetrasi tiang (m)
- d = diameter tiang (m)
- α = faktor adhesi (1 untuk lempung terkonsolidasi normal dan 0,5 untuk lempung terkonsolidasi berlebihan)
- c<sub>u</sub> = kohesi tak terdrainase (kPa)

## Hasil dan Pembahasan

Seperti telah dijelaskan pada bagian sebelumnya, pengeboran dilakukan sebanyak dua titik yaitu BH-01 (area *causeway* dan *trestle*) dan BH-02 (area dermaga). Kedalaman pengeboran yang berhasil dilakukan pada BH-01 adalah 12,5 m dan BH-02 16,5 m.

Deskripsi hasil pengeboran BH-01 adalah pada kedalaman 0-2 m terdapat lapisan pasir lepas dengan sedikit *boulder* batu karang, kedalaman 2-4 m terdapat lapisan pasir sedang, kedalaman 4-12,5 m terdapat lapisan pasir berlanau berkerikil dengan N-SPT > 60 ditemui sebanyak 5 kali pengujian secara berturut-turut, sehingga pengeboran dihentikan pada kedalaman 12,5 m.

Hasil yang diperoleh pada pengeboran titik BH-02 adalah kedalaman 0-8 m adalah lapisan pasir sedang yang diantara terdapat lapisan lempung sedang pada kedalaman 4-6 m dan kedalaman 8-16,5 m adalah lapisan pasir berlanau berkerikil. Pengeboran pada titik BH-02 dihentikan pada kedalaman 16,5 m karena pada telah diperoleh N-SPT > 60 sebanyak 5 kali secara kontinu. Stratigrafi lokasi rencana dermaga berdasarkan data bor yang ada terdapat pada Gambar 2.



**Gambar 2.** Stratigrafi lokasi studi

Pada BH-02 yang akan menjadi lokasi dermaga terdapat lapisan lempung yang bisa mengalami konsolidasi. Namun struktur dermaga dengan fondasi tiang yang kedalamannya menembus lapisan lempung tidak akan mengalami penurunan konsolidasi, sehingga tidak perlu dilakukan analisis konsolidasi secara khusus.

Titik BH-01 merupakan area yang direncanakan menjadi *causeway* atau jalan akses menuju dermaga yang terbentuk dari urugan tanah dengan perkuatan dinding penahan tanah. Karakteristik tanah pasir lepas yang mudah mengalami gerusan dapat menyebabkan ketidakstabilan pada struktur dinding penahan tanah [16]. Oleh karena itu dalam perencanaan *causeway* sangat penting untuk mempertimbangkan potensi terjadinya gerusan. Adapun *trestle*, gerusan yang mungkin terjadi tidak akan mempengaruhi strukturnya karena ditopang oleh fondasi tiang pancang.

Masing-masing lubang bor dilakukan pengambilan sampel untuk pengujian laboratorium. Titik BH-01 diambil 1 sampel tanah pada kedalaman 1,5-2 m, adapun pada titik BH-02 diambil 2 sampel pada kedalaman 1,5-2 m dan 5,5-6 m. Hasil uji laboratorium masing-masing sampel terdapat pada Tabel 1. Semua hasil pengujian menunjukkan tanah titik BH-01 dan BH-02 masuk dalam klasifikasi pasir berlanau (SM) kategori plastisitas rendah [17].

Berdasarkan hasil penyelidikan tanah, selanjutnya dianalisis daya dukung fondasi tiang untuk memberikan beberapa rekomendasi dimensi fondasi tiang. Perhitungan daya dukung tiang berupa perhitungan terhadap keruntuhan geser tahanan untuk fondasi tiang bulat dengan diameter 45 cm dan 50 cm, berat volume tiang adalah  $24 \text{ kN/m}^3$ . Panjang tiang yang akan dianalisis adalah 9 m, 10 m dan 11 m. Perhitungan daya dukung menggunakan Persamaan 2-7. Perhitungan daya dukung *ultimate* tiang terdapat pada Tabel 2 dan Tabel 3.

**Tabel 1.** Rangkuman hasil uji laboratorium

Titik pengujian				BH-01		BH-02	
Kedalaman (m)				1,5-2	1,5-2	5,5-6	
No	Uraian	Simbol	Unit				
1	Berat jenis	G <sub>s</sub>	-	2,66	2,64	2,70	
2	Analisis ukuran butiran						
	- Kerikil	G	%	3,81	2,14	7,05	
	- T. Berbutir kasar	S	%	78,81	93,33	57,27	
	- T. Berbutir halus	M/C	%	17,38	4,52	35,68	
3	<i>Atterberg limits</i>						
	- Batas cair	LL	%	18,00	19,31	19,28	
	- Batas plastis	PL	%	15,52	15,60	14,10	
	- Indeks plastisitas	IP	%	2,47	3,70	5,18	
4	Kuat geser langung						
	- Kohesi <i>drained</i>	c	kg/cm <sup>2</sup>	0,15	0,29	0,12	
	- Sudut gesek internal	φ	( <sup>0</sup> )	17,47	22,09	7,87	

**Tabel 2.** Perhitungan daya dukung *ultimate* tiang D=45 cm

L	f <sub>s</sub>	A <sub>s</sub>	Q <sub>s</sub>	f <sub>b</sub>	A <sub>b</sub>	Q <sub>b</sub>	W	Qu
m	kN/m <sup>2</sup>	m <sup>2</sup>	kN	kN/m <sup>2</sup>	m <sup>2</sup>	kN	kN	kN
<b>BH-01</b>								
9	86,963	8,48	737,646	18000	0,159	2862,776	34,353	3566,069
10	90,267	9,42	850,743	18000	0,159	2862,776	38,170	3675,349
11	92,970	10,37	963,841	18000	0,159	2862,776	41,987	3784,630
<b>BH-02</b>								
9	97,067	8,48	823,349	18000	0,159	2862,776	34,353	3651,772
10	99,360	9,42	936,446	18000	0,159	2862,776	38,170	3761,052
11	101,236	10,37	1049,543	18000	0,159	2862,776	41,987	3870,332

**Tabel 3.** Perhitungan daya dukung *ultimate* tiang D=50 cm

L	f <sub>s</sub>	A <sub>s</sub>	Q <sub>s</sub>	f <sub>b</sub>	A <sub>b</sub>	Q <sub>b</sub>	W	Qu
m	kN/m <sup>2</sup>	m <sup>2</sup>	kN	kN/m <sup>2</sup>	m <sup>2</sup>	kN	kN	kN
<b>BH-01</b>								
9	86,963	8,48	737,646	18000	0,196	3534,292	42,412	4229,526
10	90,267	9,42	850,743	18000	0,196	3534,292	47,124	4337,911
11	92,970	10,37	963,841	18000	0,196	3534,292	51,836	4446,296
<b>BH-02</b>								
9	97,067	8,48	823,349	18000	0,196	3534,292	42,412	4315,229
10	99,360	9,42	936,446	18000	0,196	3534,292	47,124	4423,614
11	101,236	10,37	1049,543	18000	0,196	3534,292	51,836	4531,999

Selanjutnya dilakukan perhitungan daya dukung izin fondasi menggunakan persamaan 2 dimana digunakan SF=4. Perhitungan daya dukung izin terdapat pada Tabel 4.

**Tabel 4.** Perhitungan daya dukung izin ( $Q_a$ )

L m	D=45 cm			D=50 cm		
	Qu kN	SF	Q <sub>a</sub> kN	Qu kN	SF	Q <sub>a</sub> kN
<b>BH-01</b>						
9	3566,069		892	4229,526		1057
10	3675,349	4	919	4337,911	4	1084
11	3784,630		946	4446,296		1112
<b>BH-02</b>						
9	3651,772		913	4315,229		1079
10	3761,052	4	940	4423,614	4	1106
11	3870,332		968	4531,999		1133

## Kesimpulan

Berdasarkan hasil *boring* lapisan tanah keras dengan N-SPT > 60 di titik BH-01 dan BH-02 secara berturut-turut terdapat pada kedalaman 12,5 m dan 16,5 m. Klasifikasi USCS masing-masing sampel menunjukkan hasil yang sama yaitu pasir berlanau (SM) dengan plastisitas rendah. Daya dukung izin ( $Q_a$ ) tiang pancang bulat diameter 45 cm pada kedalaman 9 m, 10 m dan 11 m dengan faktor aman 4 secara berturut-turut adalah 892 kN, 919 kN dan 946 kN untuk BH-01 serta 913 kN, 940 kN dan 968 kN untuk BH-02. Daya dukung izin ( $Q_a$ ) tiang pancang bulat diameter 50 cm pada kedalaman 9 m, 10 m dan 11 m dengan faktor aman 4 secara berturut-turut adalah 1057 kN, 1084 kN dan 1112 kN untuk BH-01 serta 1079 kN, 1106 kN dan 1133 kN untuk BH-02.

Berdasarkan kesimpulan di atas, Daya dukung tanah yang diperoleh merupakan daya dukung terhadap keruntuhan akibat beban vertikal, sehingga perlu dilakukan analisis terhadap beban horizontal seperti beban akibat arus, gelombang dan beban gempa. Selain itu analisis penurunan perlu dilakukan untuk mencegah terjadinya *angular distortion*.

## Daftar Pustaka

- [1] A. Desiani and P. P. Rahardjo, "Characterization of Bandung Soft Clay," *Electron. J. Geotech. Eng.*, vol. 22, no. 11, p p. 4377–4393, 2017.
- [2] Badan Standarisasi Nasional, *SNI 2436:2008 Tata cara pencatatan dan identifikasi hasil pengeboran inti*. Jakarta: Badan Standarisasi Nasional, 2008.
- [3] Badan Standardisasi Nasional, *SNI 4153:2019 Metode Uji Penetrasi Standar (SPT) dan Pengambilan Contoh Tanah Dengan Tabung Belah*. Jakarta: Badan Standarisasi Nasional, 2019.
- [4] H. C. Hardiyatmo, *Analisis dan Perancangan Fondasi 1*, 3rd ed. Yogyakarta: Gadjah Mada University Press, 2014.
- [5] A. W. Skempton, "Standard Penetration Tests Procedures and the Effects in Sand of Overburden Pressure, Relative Density, Particle Size, Aging and Overconsolidation," *Geotechnique*, vol. 36, no. 3, pp. 425–447, 1986.
- [6] P. K. Robertson and C. E. Wride, "Evaluating cyclic liquefaction potential using the cone penetration test," *Can. Geotech. J.*, vol. 35, no. 3, pp. 442–459, 1998.

- [7] T. L. Youd *et al.*, "Liquefaction Resistance of Soils: Summary Report from the 1996 NCEER and 1998 NCEER/NSF Workshops on Evaluation of Liquefaction Resistance of Soils," *J. Geotech. Geoenvironmental Eng.*, vol. 127, no. 4, pp. 297–313, 2001, doi: 10.1061/(asce)1090-0241(2001)127:4(297).
- [8] Badan Standarisasi Nasional, *SNI 1964:2008 Cara uji Berat Jenis Tanah*. Jakarta: Badan Standarisasi Nasional, 2008.
- [9] Badan Standardisasi Nasional, *SNI 1965:2008 Cara Uji Penentuan Kadar Air untuk Tanah dan Batuan di Laboratorium*. Jakarta: Badan Standarisasi Nasional, 2008.
- [10] Badan Standarisasi Nasional, *SNI 3423:2008 Cara Uji Analisis Ukuran Butir Tanah*. Jakarta: Badan Standarisasi Nasional, 2018.
- [11] Badan Standardisasi Nasional, *SNI 1967:2008 Cara Uji Penentuan Batas Cair Tanah*. Jakarta: Badan Standarisasi Nasional, 2008.
- [12] Badan Standardisasi Nasional, *SNI 1966:2008 Cara Uji Penentuan Batas Plastis dan Indeks Plastisitas Tanah*. Jakarta: Badan Standarisasi Nasional, 2008.
- [13] Badan Standarisasi Nasional, *SNI 3420:2016 Metode Uji Kuat Geser Langsung Tanah Terkonsolidasi dan Terdrainase*. Jakarta: Badan Standarisasi Nasional, 2008.
- [14] G. G. Meyerhof, "Bearing Capacity and Settlement of Pile Foundations," *ASCE J. Geotech. Eng. Div.*, vol. 102, no. 3, pp. 197–228, 1976.
- [15] J. DeRuiter and F. L. Beringen, "Pile foundations for large North Sea structures," *Mar. Geotechnol.*, vol. 3, no. 3, pp. 267–314, 1979, doi: 10.1080/10641197909379805.
- [16] S. Sugiarto, M. A. Maulana, and Y. T. Todingrara, "Analisis Penyebab dan Mekanisme Keruntuhan Lereng Sungai Konawe, Studi Kasus Ruas Bts. Kab. Konawe Utara/Kab. Konawe – Pohara Km 29+750," *J. Manaj. Aset Infrastruktur Fasilitas*, vol. 6, pp. 67–77, 2022, doi: 10.12962/j26151847.v6i0.12080.
- [17] A. R. Jumikis, *Soil Mechanics*. D. Van Nostrand: NJ., 1962.