



Analisis Karakteristik Tanah Berdasarkan Uji Lapangan Sondir (*Cone Penetration Test*) & Uji Laboratorium pada PIT North PT Karya Putra Borneo

Yuana Saputra^{1*}, Revia Oktaviani², Rety Winonazada³, Tommy Trides⁴, Albertus Juvensius Pontus⁵

¹⁻⁵Program Studi S1 Teknik Pertambangan, Universitas Mulawarman, Samarinda, Kalimantan Timur, Indonesia

Email : yuanaalfarizie@gmail.com¹, revia.oktaviani@email.com²

*Penulis Korespondensi : yuanaalfarizie@gmail.com

Abstract. *This study aims to analyze the characteristics of the soil at PIT North with two highwall and lowwall locations at PT Karya Putra Borneo, Kutai Kartanegara Regency, East Kalimantan Province. The research method was carried out by collecting primary data from the results of field tests using the sondir method with the Cone Penetration Test (CPT) tool and laboratory tests using physical properties, specific gravity, grain size, soil consistency, and consolidation tests, as well as secondary data from the results of literature studies. The parameters analyzed for soil characteristics include the sondir cone resistance (q_c) value, grain size fraction distribution, soil plasticity index, and the rate of land subsidence through consolidation. The results showed that at PIT North the highwall area had a q_c value of 5.6 Mpa, Fr 0.2%, IP 8.06%, Cc 1, a large rate of land subsidence of 3.3 mm with a settlement period of 4 years. In the lowwall area with a q_c value of 10.31 Mpa, Fr 0.16%, IP 6.39%, Cc 0.535, the rate of settlement was 4.4 mm with a settlement period of 3 years. From these results, it is concluded that the soil at the highwall and lowwall locations has different compressibility, seeing the different soil Cc values and the soil plasticity index that affect the compressibility level of the soil and the value of the land settlement rate.*

Keywords: *Compressibility Index; Geotechnical Engineering; Plasticity Index; Soil Mechanics; Sounding.*

Abstrak. Penelitian ini bertujuan untuk menganalisis karakteristik tanah pada PIT North dengan dua titik lokasi *highwall* dan *lowwall* di PT Karya Putra Borneo Kabupaten Kutai Kartanegara, Provinsi Kalimantan Timur. Metode penelitian dilakukan dengan pengumpulan data primer dari hasil uji lapangan menggunakan metode sondir dengan alat *Cone Penetration Test* (CPT) dan uji laboratorium menggunakan uji sifat fisik, berat jenis, *grain size*, konsistensi tanah, dan konsolidasi, serta data sekunder dari hasil studi literatur. Parameter yang dianalisis untuk karakteristik tanah meliputi nilai resistensi konus (q_c) sondir, distribusi fraksi ukuran butir, indeks plastisitas tanah, dan laju penurunan tanah melalui konsolidasi. Hasil penelitian didapatkan bahwa pada PIT North area *highwall* memiliki nilai q_c 5,6 Mpa, Fr 0,2%, IP 8,06%, Cc 1, besar laju penurunan tanah sebesar 3,3 mm dengan lama penurunan 4 tahun. Pada area *lowwall* dengan nilai q_c 10,31 Mpa, Fr 0,16%, IP 6,39%, Cc 0,535, besar laju penurunan 4,4 mm dengan lama penurunan 3 tahun. Dari hasil tersebut disimpulkan bahwa tanah pada lokasi *highwall* dan *lowwall* memiliki kompresibilitas yang berbeda, melihat nilai Cc tanah yang berbeda dan indeks plastisitas tanah yang mempengaruhi tingkat kompresibel tanah tersebut serta nilai laju penurunan tanah.

Kata Kunci: Indeks Kompresibilitas; Indeks Plastisitas; Mekanika Tanah; Pemboran; Teknik Geoteknik.

1. LATAR BELAKANG

PIT North PT, Karya Putra Borneo merupakan salah satu area tambang terbuka yang memiliki kondisi geologi bervariasi, termasuk lapisan tanah pasir, lanau dan lempung jenuh air. Kondisi ini menimbulkan tantangan tersendiri dalam analisis geoteknik, khususnya terkait daya dukung tanah serta potensi penurunan konsolidasi. Apabila tidak dianalisis dengan baik, permasalahan seperti penurunan tanah berlebihan, ketidakstabilan, hingga risiko likuifaksi dapat terjadi dan mengganggu operasional tambang. Dengan menggabungkan hasil uji sondir

dan uji konsolidasi, dapat diperoleh karakteristik lengkap tanah pada lokasi penelitian, yang kemudian dijadikan dasar dalam analisis geoteknik pada PIT North PT. Karya Putra Borneo.

2. KAJIAN TEORITIS

Tanah

Menurut Das (1991), material padat yang dikenal dengan tanah terdiri dari butiran (agregat) dan berbagai mineral padat yang mengalami proses yang dikenal sebagai sedimentasi (terikat secara kimia), dan dari bahan organik yang membusuk (yang memiliki partikel padat), bersamaan dengan cairan dan gas yang masuk ke ruang yang dibiarkan terbuka di antara partikel padat.

Kadar Air

Kadar air (w), adalah perbandingan antara berat air (W_w) dengan berat butiran padat (W_s) dalam tanah tersebut, dinyatakan dalam persen (Hardiyatmo, 2002).

$$w(\%) = \frac{W_w}{W_s} \times 100\%$$

(1)

Keterangan:

w = Kadar air (%)

W_w = Berat air (gr)

W_s = Berat butiran padat (gr)

Uji Sondir (*Cone Penetration Test*)

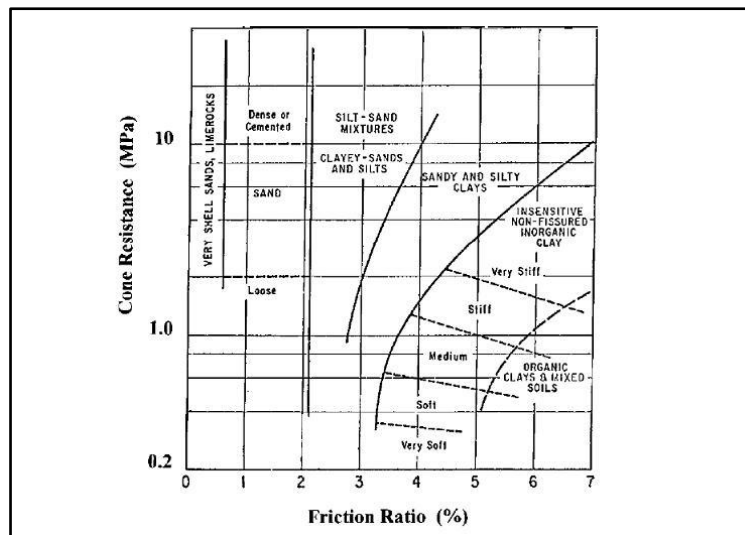
Uji sondir atau *Cone Penetration Test* (CPT) adalah metode investigasi tanah di lapangan dengan cara menekan konus ke dalam tanah secara konstan (2 cm/detik) sambil mengukur parameter perlawanan tanah. Parameter yang diperoleh meliputi: q_c (*Cone Resistance*/Perlawanan ujung konus dan f_s (*Sleeve Friction*/Tahanan Gesek Selimut). Menurut Robertson (2010), data q_c dan f_s dapat dipetakan dalam diagram *Soil Behavior Type* (SBT) untuk menentukan jenis tanah (pasir, lanau, lempung, atau campuran).

Klasifikasi Tanah dengan CPT

Tabel 1. Klasifikasi Tanah dengan Data Sondir (Das, 1998).

Hasil Sondir		Klasifikasi
qc (kg/cm ²)	Fs (kg/cm ²)	
6	0,15-0,40	Humus, lempung sangat lunak
6,0-10,0	0,2	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
	0,80-2,00	lempung agak kenyal
30-60	1,5	Pasir kelanauan, pasir agak padat
	1,0-3,0	lempung atau lempung kelanauan kenyal
60-150	1	Kerikil kepasiran lepas
	1,0-3,0	pasir padat, pasir kelanauan atau lempung padat dan lempung kelanauan
150-300	3	lempung kerikilan kenyal
	1,0-2,0	Pasir padat, pasir kerikilan, dan pasir kasar

Jenis tanah dapat dihubungkan dari nilai qc dan FR. Grafik yang menunjukkan hubungan antara *conus pressure* (qc), *Friction Ratio* (FR), dan jenis tanah (Schmertmann, 1969).



Gambar 1. Grafik Hubungan Antara (FR), (qc) Serta Jenis Tanah (Schmertmann, 1970).

Konsolidasi Tanah

Konsolidasi adalah proses keluarnya air pori dari tanah jenuh akibat pembebanan sehingga menimbulkan penurunan (*settlement*). Menurut Terzaghi (1943), konsolidasi primer terjadi akibat disipasi tekanan air pori berlebih, sedangkan konsolidasi sekunder merupakan deformasi lanjutan akibat pergeseran struktur tanah.

Settlement Pada Tanah

$$S_c = C_c \frac{H}{1+e_0} \text{Log} \frac{P_0+\Delta P}{P_0}$$

(2)

$$t = \frac{T_v H_{dr}^2}{C_v}$$

(3)

Keterangan:

- C_c : indeks kompresibilitas
H : ketebalan tanah (m)
e₀ : angka pori awal
P₀ : tegangan efektif tanah (T/m²)
ΔP : tambahan tegangan (T/m²)
T_v : faktor waktu
C_v : koefisien konsolidasi (m²/tahun)
H_{dr} : panjang aliran (m)

Konsistensi Tanah

Konsistensi menggambarkan perubahan perilaku tanah dari keadaan padat, semi padat, plastis, hingga cair seiring bertambahnya kadar air (Das, 2016; Hardiyatmo, 2012). Untuk menggambarkan batas perubahan tersebut, Atterberg (1911) memperkenalkan batas-batas konsistensi tanah yang dikenal sebagai *Atterberg Limits*, meliputi batas cair (*Liquid Limit*, LL), dan batas plastis (*Plastic Limit*, PL).

$$PI = LL - PL$$

(4)

$$LL = WN \frac{N}{25} \tan \beta$$

(5)

Keterangan:

- PI : indeks plastisitas (*plasticity index*)
LL : batas cair (*liquid limit*)
PL : batas plastis (*plastic limit*)
WN : Kadar air, pada jumlah pukulan N.
N : Jumlah ketukan
tan β : 0,121 harga tersebut merupakan hasil penelitian pada kebanyakan tanah.

Skempton (1953) mendefinisikan suatu besaran yang dinamakan aktivitas (*activity*) yang merupakan kemiringan dari garis yang menyatakan hubungan antara PI dan persen butiran yang lolos ayakan 2μ

$$A = \frac{PI}{(\% \text{ berat fraksi berukuran lempung})} \quad (6)$$

Keterangan:

A : Aktivitas

PI : *Index plasticity*

3. METODE PENELITIAN

Metode yang digunakan dalam penelitian ini yaitu metode kuantitatif dimana menggunakan proses data-data berupa angka untuk menganalisis dan melakukan kajian penelitian, terutama mengenai penelitian yang sudah dilakukan. Dalam pelaksanaannya terdapat beberapa tahapan yaitu tahap pra lapangan, tahap lapangan dan tahap pasca lapangan.

Tabel 2. Standar Pengujian.

No	Uji	Standar Uji	Sampel
1	Sondir/CPT	SNI 2827:2008	2 Titik
2	Sifat fisik tanah (kadar air, berat isi, berat jenis)	SNI 1964:2008 SNI 03-6793-2002 SNI 03-3637-1994	10 Sampel
3	Konsolidasi	SNI 2812:2011 ASTM D-2435	2 sampel
4	Konsistensi tanah (batas <i>atterberg</i>)	SNI 1966:2008 SNI 1967:2008	2 sampel

Data primer pada penelitian kali ini yaitu uji sondir (*Cone Penetration Test*) dan sampel tanah tidak terganggu (*undisturbed sample*).

Setelah didapatkan hasil dari pengujian sifat fisik dan pengujian kuat geser langsung, selanjutnya dilakukan pengolahan data menggunakan *excel*.

Pengolahan Data Sifat Fisik

Adapun data yang dihasilkan yaitu kadar air, porositas, angka pori, berat volume basah, berat volume kering, berat volume butiran padat, dan derajat kejenuhan.

Pengolahan Data Pengujian Kuat Geser Langsung

Persamaan garis lurus hasil regresi linear dari grafik τ - σ memberikan nilai *intercept* sebagai kohesi (c) dan sudut kemiringan garis sebagai sudut geser dalam (ϕ). Dengan demikian, pengolahan data *direct shear* menghasilkan parameter kuat geser tanah yang digunakan dalam analisis pengaruh derajat kejenuhan terhadap stabilitas tanah.

Pembuatan Grafik Hubungan Derajat Kejenuhan dengan Kuat Geser Tanah

Data hasil perhitungan derajat kejenuhan (Sr) dari pengujian sifat fisik tanah dipadukan dengan hasil uji *direct shear* berupa nilai kuat geser maksimum (τ), kohesi (c), maupun sudut geser dalam (ϕ). Data tersebut kemudian diplot dalam bentuk grafik dengan sumbu horizontal menunjukkan derajat kejenuhan (Sr) dan sumbu vertikal menunjukkan parameter kuat geser.

4. HASIL DAN PEMBAHASAN

Uji Sondir (CPT)

Pengujian ini mendapatkan hasil korelasi data sondir (CPT) yaitu nilai q_c (*cone resistance*) dan nilai f_r (*friction ratio*) menggunakan grafik pada gambar 2.2 menurut (schmertmann, 1970). Setelah itu didapat jenis tanah pada area *highwall* dengan kedalaman 0,00-5,40 meter jenis tanah pasir lepas, dan area *lowwall* dengan 2 (dua) jenis tanah pada kedalaman 0,00-0,02 jenis tanah gambut/organik dan kedalaman 0,02-4,40 meter jenis tanah pasir padat.

Tabel 3. Klasifikasi Tanah Hasil Pengujian Sondir.

Area	Kedalaman (m)	q_c rata-rata (kg/cm ²)	q_c rata-rata (MPa)	FR rata-rata (%)	Jenis Tanah
<i>Highwall</i>	0,00-5,4	56,82	5,6	0,2	Pasir Lepas
<i>Lowwall</i>	0,00-0,02	0,1	0,0098	0,3	Gambut/organik
	0,02-4,4	105,2	10,31	0,16	Pasir Padat

Pada hasil pengujian dua titik memiliki nilai resistensi konus yang sangat berbeda, pada area *lowwall* nilai resistensi konus lebih tinggi dibandingkan area *highwall* dan memiliki dua jenis kondisi tanah. Perbedaan hasil pengujian ini dikarenakan adanya perbedaan elevasi tanah dimana pada area *lowwall* memiliki elevasi tanah lebih tinggi dibandingkan area *highwall* dan pada area *highwall* yang berada dekat dengan aliran sungai.

Sifat Fisik

Pada pengujian sifat fisik sampel tanah pada lokasi *highwall* dan *lowwall* dilakukan pengujian kadar air, bobot isi, berat volume, dan berat jenis dengan total masing-masing sampel yaitu 5 (lima) contoh sampel. Pengujian sifat fisik dilakukan untuk mendapatkan beberapa

parameter seperti porositas dan angka pori, yang selanjutnya diklasifikasikan nilai berat jenisnya sesuai dengan nilai berat jenis tanah tersebut

Tabel 4. Hasil Uji Sifat Fisik Tanah Area *Highwall*.

HW	satuan	A302	A303	A304	A305	A306
Berat Ring	gr	54,17	56,46	55,96	55,8	54,2
Berat Ring + Sampel Basah	gr	206,51	212,96	206,85	205,7	211,9
Berat Ring + Sampel Kering	gr	180,6	185,4	179,8	180,2	186,7
Berat Air	gr	25,91	27,56	27,05	25,5	25,2
Berat Tanah Kering	gr	126,43	128,94	123,84	124,4	132,5
Kadar Air	%	20%	21%	22%	20%	19%
Rata-rata kadar air	%			21%		
Berat natural	gr	152,34	156,5	150,89	149,9	157,7
berat jenis				2,162		
Volume Solid	cm ³			58,47		
Volume void	cm ³			31,60		
Angka Pori				0,540		
Derajat kejenuhan	%			84,95		

Tabel 5. Hasil Uji Sifat Fisik Tanah Area *Lowwall*.

LW	satuan	A302	A303	A304	A305	A306
Berat Ring	gr	53,1	55,34	52,45	54,8	52,6
Berat Ring + Sampel Basah	gr	204,2	210,4	202,8	211,3	203,4
Berat Ring + Sampel Kering	gr	180,6	185,4	179,8	178,8	184,5
Berat Air	gr	23,6	25	23	32,5	18,9
Berat Tanah Kering	gr	127,5	130,06	127,35	124	131,9
Kadar Air	%	19%	19%	18%	26%	14%
Rata-rata kadar air	%			19%		
berat natural		151,1	155,06	150,35	156,5	150,8
berat jenis				2,236		
Volume solid	cm ³			57,38		
Volume void	cm ³			32,68		
Angka pori				0,570		
Derajat kejenuhan	%			73,03		

Nilai rata-rata porositas pada kondisi asli yaitu 48,21%, pada kondisi kering yaitu 27,88%, pada kondisi jenuh yaitu 47,65%, dan nilai rata-rata angka pori pada kondisi asli yaitu 0,932, kondisi kering yaitu 0,388, dan pada kondisi jenuh 0,911.

Grain Size

Tabel 6. Persentase/Fraksi Tanah.

Lokasi	Kerikil >2,0	Pasir 2,0 – 0,075	Lanau 0,075 – 0,002	Lempung 0,002 – 0,001
Highwall	1,81%	74,92%	12,34%	10,92%
Lowwall	0,76%	74,50%	17,63%	7,10%

Presentase fraksi ukuran butir menunjukkan golongan tanah tersebut, tanah dengan ukuran butir 60mm – 0,06mm tergolong dengan tanah tak berkohepsi karena tanah memiliki ukuran butir yang kasar, sedangkan tanah dengan ukuran butir yang halus 0,06 – 0,002mm memiliki golongan tanah yang berkohepsi.

Konsistensi Tanah

Tabel 7. Nilai Derajat Kejenuhan.

Area	Material	Batas Cair	Batas Plastis	Indeks Plastisitas	Macam Tanah
Highwall	Sandclay	25,51%	17,45%	8,06%	Lempung berlanau
Lowwall	Sand	33,37%	26,98%	6,39%	Lanau

Area *highwall* dengan material sampel *sandclay* setelah dilakukan pengujian *atterberg limit* didapatkan jenis macam tanah yaitu lempung berlanau dengan indeks plastisitas 8,06% dan memiliki kohesi. Pada area *lowwall* dengan material *sand* memiliki nilai indeks plastisitas 6,39% dan memiliki parameter kohesi sebagian.

Konsolidasi

Pengujian kuat geser tanah yang dilakukan yaitu pengujian kuat geser langsung (*Direct shear test*). Pengujian ini dilakukan dalam 3 kondisi yaitu kondisi asli, kering dan jenuh. Beban yang digunakan yaitu 1 kg, 1,52 kg dan 2,055 kg.

Tabel 8. Laju Penurunan Area *Highwall*.

Tegangan	Cv	Rata-rata Cv	T90	2H	H _{dr}	Tv T90	t (Tahun)	Sc (meter)
0,00	0,28		1,20	10,680				
0,03	0,31		1,20	11,330				
0,05	0,03	0,24	3,90	11,710	5,34	0,848	18,94	0,0046
0,08	0,11		2,28	12,560				
0,11	0,32		1,41	13,330				
0,13	0,39		1,41	14,720				

Berdasarkan data tersebut didapatkan nilai waktu penurunan untuk area *highwall* dengan jumlah penurunan dengan nilai sebesar 0,0046 meter dan untuk waktu penurunan dengan nilai sebesar 18,93 Tahun.

Tabel 9. Laju Penurunan Area *Lowwall*.

Tegangan	Cv	Rata-rata Cv	T90	2H	H_{dr}	Tv T90	t (Tahun)	Sc (meter)
0,00	0,20	0,15	1,94	14,000	5,34	0,848	164,47	0,994
0,03	0,20		1,94	14,530				
0,05	0,34		1,54	15,080				
0,08	0,17		2,23	15,500				
0,11	0,18		2,25	16,100				
0,13	0,07		3,89	17,300				

Untuk area *lowwall* dengan persamaan yang sama juga pada area *highwall* didapatkan nilai jumlah penurunan sebesar 0,994 meter dengan waktu penurunan sebesar 164 Tahun. Jumlah angka penurunan dan waktu sejalan dengan jenis material pada area *lowwall* yang dimana material tersebut memiliki nilai kekuatan tanah yang lebih besar pada pengujian sondir, sedangkan pada area *highwall* rentan lebih pendek waktu penurunannya dikarenakan memiliki tingkat kekuatan tanah yang kecil berdasarkan uji sondir lapangan.

Klasifikasi Tanah

Tabel 10. Klasifikasi CPT & Konsistensi Tanah.

Sampel	Pengujian		Mineral	Aktivitas (A)	Keaktifan
	Sondir - CPT	Konsistensi Tanah			
<i>Highwall</i>	Pasir lepas	CL (<i>Clay Low-Plasticity</i>)	Illite	0,7	Sedang
<i>Lowwall</i>	Tanah gambut - Pasir padat	ML (<i>Silt Low-Plasticity</i>)	Illite	0,9	Sedang

Pada sampel *highwall*, hasil CPT menunjukkan tanah berupa pasir lepas yang ditandai oleh nilai qc yang rendah hingga nilai fs yang kecil, sehingga rasio gesekan (Rf) relatif rendah. Berdasarkan hasil pengujian konsistensi tanah, tanah diklasifikasikan sebagai CL (*Clay Low-Plasticity*). Keberadaan fraksi lempung dengan plastisitas rendah menunjukkan tanah masih memiliki kohesi, serta mineral lempung pada sampel teridentifikasi adalah *illite*, *attapulgit*, dan *allophane* yang merupakan mineral dengan tingkat keaktifan sedang.

5. KESIMPULAN DAN SARAN

Berdasarkan hasil penelitian, dapat disimpulkan bahwa derajat kejenuhan memiliki pengaruh yang signifikan terhadap sifat mekanik lempung. Material dengan kandungan air yang tinggi atau berada pada kondisi jenuh cenderung mengalami penurunan nilai kuat geser. Kondisi tersebut dapat menyebabkan stabilitas tanah menurun, sehingga material yang memiliki nilai derajat kejenuhan yang tinggi lebih rentan terhadap terjadinya longsor. Dalam

pengujian selanjutnya, ada baiknya menambah jenis material pengujian, atau menggunakan jenis alat kuat geser yang lain.

UCAPAN TERIMA KASIH

Penulis mengucapkan terima kasih kepada kedua orang tua, saudara, teman-teman, dosen pembimbing dan penguji, serta semua pihak yang terlibat didalam penulisan hasil penelitian ini.

DAFTAR REFERENSI

- Craig, R. F. (1987). Mekanika tanah (Edisi keempat). Penerbit Erlangga.
- Das, B. M. (1994). Mekanika tanah (Jilid 2). Penerbit Erlangga.
- Das, B. M. (1995). Mekanika tanah (Jilid 1). Penerbit Erlangga.
- Fredlund, D. G., & Rahardjo, H. (1993). Soil mechanics for unsaturated soils. John Wiley & Sons. <https://doi.org/10.1002/9780470172759>
- Hafidz, M. (2025). Analisis kestabilan lereng dan penanganan kelongsoran dengan dinding penahan tanah menggunakan finite element method di Kecamatan Palaran Kota Samarinda Provinsi Kalimantan Timur. Fakultas Teknik, Universitas Mulawarman.
- Halawa, F. P. (2023). Pengaruh derajat kejenuhan tanah gambut terhadap perilaku penurunan tanah. Universitas Medan Area.
- Hardiyatmo, H. C. (2002). Mekanika tanah jilid 1. Gajah Mada University Press. ISBN: 979-420-504-4.
- Irfan. (2022). Studi perbandingan nilai kuat geser batulempung berdasarkan kondisi jenuh, kondisi natural, dan kondisi kering formasi Pulaubalang menggunakan metode direct shear di Kalimantan Timur. Fakultas Teknik, Universitas Mulawarman.
- Santosa, B., dkk. (1998). Dasar mekanika tanah. Seri Diktat Kuliah. Penerbit Gunadarma.
- Sebayang, A. H. (2022). Studi penanganan longsoran dengan dinding penahan tanah di daerah Teluk Bajau Kecamatan Samarinda Seberang Kota Samarinda. Fakultas Teknik, Universitas Mulawarman.
- Sivakumar, V. (1993). A critical state framework for unsaturated soil. University of Sheffield.
- SNI 1964-2008. (2008). Cara uji berat jenis tanah.
- SNI 1965-2008. (2008). Cara uji penentuan kadar air untuk tanah dan batuan di laboratorium.
- SNI 3420-2016. (2025). Metode uji kuat geser langsung tanah tidak terkonsolidasi dan tidak terdrainase.
- Terzaghi, K., & Peck, R. B. (1987). Mekanika tanah dalam praktek rekayasa (Jilid 1). Penerbit Erlangga.
- Wesley, L. D. (2010). Mekanika tanah untuk tanah endapan residu. Penerbit ANDI. ISBN: 978-979-29-2633-