

Analisis Konsolidasi Area *Stockpile* Lokasi Pit X Bangko Tengah PT Bukit Asam Tbk. Tanjung Enim

Analysis Consolidation Stockpile Area Location Pit X Middle Bangko PT Bukit Asam Tbk. Tanjung Enim

Tri Anggara^{1*}, Budhi Setiawan²

¹Universitas Sriwijaya, Palembang, Indonesia

*E-mail: budhi.setiawan@unsri.ac.id

ABSTRAK

Tempat *stockpile* merupakan tempat dalam menampung penimbunan batubara untuk waktu sementara. Penimbunan tersebut berlangsung lama menyebabkan penurunan tanah dalam jangka waktu yang lama. Penurunan tanah atau *settlement* perlu dilakukan kajian penelitian terhadap penurunan tanah akibat pembebanan. Penelitian bertujuan untuk mengetahui analisis karakteristik tanah dan perhitungan konsolidasi primer berupa penurunan dan waktu konsolidasi mencapai 90%. Pengujian sifat fisik berupa analisis kadar air, berat jenis, densitas, dan batas Atterberg. Pengujian konsolidasi dilakukan dengan pengujian alat konsolidasi atau oedemeter. Perhitungan konsolidasi dengan menggunakan perhitungan secara manual dengan teori Terzaghi. Hasil karakteristik sifat fisik tanah didapatkan berupa jenis tanah lempung dengan rata-rata nilai berupa kadar air 23,07%, berat jenis 2,75, densitas 15,66, dan jenis plastisitas tanah CL. Besar perhitungan rata-rata penurunan tanah konsolidasi adalah 0,36 m dengan rata-rata lama waktu penurunan 2,88 tahun

Kata kunci: Penurunan Tanah, Karakteristik Sifat Fisik Tanah, Konsolidasi, Teori Terzaghi

ABSTRACT

A stockpile is a place to store coal temporarily. The hoarding lasted a long time. Land subsidence or settlement needs to be carried out research studies on land subsidence due to loading. The research aims to analyze soil characteristics, calculate primary consolidation in settlement and consolidation time reaching 90%, and test physical properties by analyzing water content, specific gravity, density, and Atterberg limit. Consolidation testing is carried out by testing the consolidation tool or oedometer. Calculation of consolidation using manual analysis with Terzaghi's theory. The soil physical characteristics were obtained in clay soil with an average value of 23% water content, 2.75 specify gravity, 15.66 density, and type of soil plasticity CL. The average consolidated settlement of calculation soul is 0.36 m with an average settlement time of 2.88 years.

Keywords: Subsidence, Characteristics of Soil, Physical Properties, Consolidation, Terzaghi Theory

PENDAHULUAN

Stockpile merupakan kegiatan tempat dalam penumpukan hasil bahan galian ekonomis untuk waktu sementara kemudian bahan galian dipasarkan. Tempat *stockpile* sangat diperlukan pada perusahaan pertambangan terutama dalam perusahaan batubara. Penumpukan beban yang berlebih dan berlangsung sangat lama dapat menyebabkan *settlement* sehingga

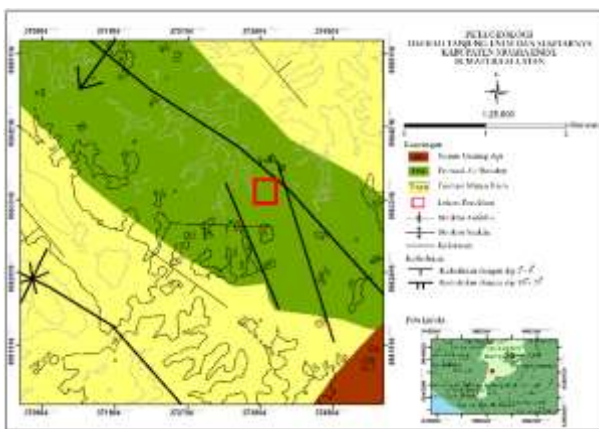
menurunkan ekonomis batubara. Penurunan tanah tersebut diperlukan kajian untuk dilakukan analisis konsolidasi.

Proses konsolidasi umumnya diperlukan dengan melakukan pembebanan sementara (*preloading*) untuk mengetahui nilai penurunan dan waktu konsolidasi. Proses konsolidasi tersebut terjadi akibat faktor adanya tegangan diatas permukaan tanah. Faktor lain terjadi proses konsolidasi

berupa karakteristik material, tegangan, dan kadar air dalam pori tanah.

Tujuan penelitian bertujuan untuk mengetahui perhitungan nilai konsolidasi primer dan waktu penurunan akibat pembebanan batubara diatas permukaan tanah lunak pada area lokasi *stockpile*. Analisis penelitian menggunakan perhitungan secara manual dengan menggunakan perhitungan analisis Terzaghi.

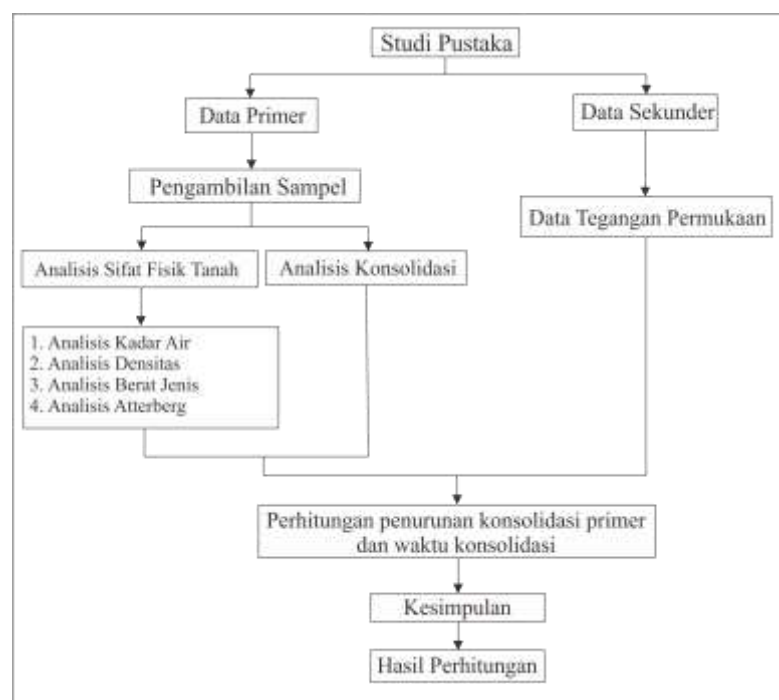
Lokasi penelitian dilakukan pada PT. Bukit Asam Tbk., Tanjung Enim, Sumatera Selatan. Secara geografis daerah penelitian terletak pada Antiklinorium Muara Enim (Barber, et al., 2005). Secara geologi regional daerah penelitian terdapat pada Formasi Air Benakat (Gambar.1) dengan litologi batulempung terdiri dari batulanau dan batuserpih (Gafoer, et al., 1986). Lokasi penelitian diasumsikan memiliki karakteristik tanah jenis lempung.



Gambar 1. Peta Geologi Regional daerah Lokasi Penelitian (Gafoer, et al., 1986)

METODOLOGI

Penelitian dilakukan dengan pengambilan data primer dan data sekunder. Data primer dilakukan berupa pengambilan sampel tanah secara *undisturbed* dan dilakukan analisa pada laboratorium mekanika tanah. Data sekunder digunakan berupa data tegangan permukaan atau beban ekuivalen. Analisa laboratorium dilakukan berupa analisa sifat fisik dan uji konsolidasi tanah.



Gambar 2. Diagram Alir Penelitian.

1. Klasifikasi Tanah

Klasifikasi tanah bertujuan untuk menentukan jenis tanah terhadap sifat fisik sampel tanah yang telah diambil. Analisa sifat fisik tanah bertujuan untuk menganalisis karakteristik sifat fisik, kadar air, dan jenis tanah. Klasifikasi tanah menggunakan klasifikasi USCS (*Unified Soil Classification System*). Pengujian sifat fisik pada analisis menggunakan ASTM (*American Standard Testing and Material*) antara lain:

- Analisa kadar air (ASTM D 2216-19).
- Analisis densitas (ASTM D 4531-15).
- Analisis berat jenis (ASTM D 854-15).
- Analisis batas Atterberg (ASTM D 4318-17).

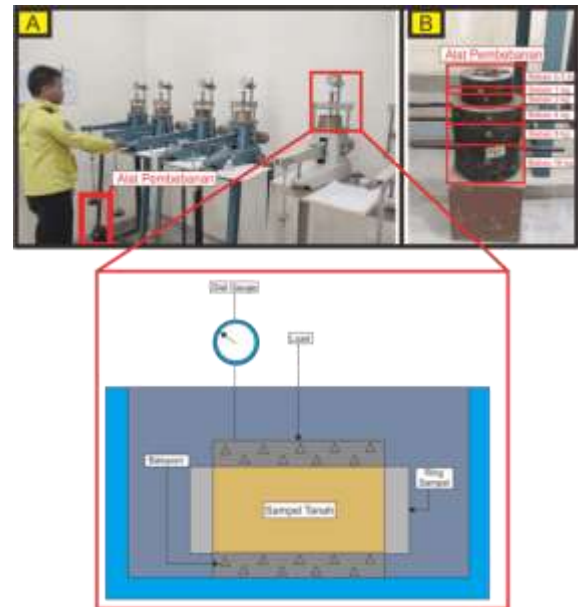
2. Karakteristik Tanah Lempung

Pada umumnya tanah lempung memiliki ukuran butir partikel berkisar 0,002 mm – 0,005 mm. Tanah lempung memiliki karakteristik yang bersifat tanah kohesif dan terdiri dari ukuran butir yang sangat kecil dengan sifat material yang kurang baik (Ovit, et al., 2022). Plastisitas tanah lempung memiliki potensi dalam pengembangan tinggi dari ukuran butir terhadap masuknya kadar air dalam pori tanah pada nilai indeks plastisitas atau nilai $PI > 35\%$ (Tantri, et al., 2021). Kajian pada tanah lempung diperlukan dikarenakan memiliki potensi terjadi *settlement* dan kerusakan pada penimbunan atau bangunan.

3. Konsolidasi dan Penurunan

Proses terhadap pengurangan volume atau penyusutan sehingga air keluar dari rongga pori pada tanah akibat pembebanan disebut konsolidasi. Analisa konsolidasi bertujuan untuk mengetahui besar penurunan dan waktu penurunan tanah akibat pembebanan. Analisis konsolidasi

pada laboratorium menggunakan standar analisa ASTM D 2345 M-11 dengan menggunakan alat konsolidasimeter atau oedemeter (Gambar.3).



Gambar 3. Pengujian sampel tanah dengan alat uji konsolidasimeter atau oedemeter.

Jenis konsolidasi dibagi menjadi 2 antara lain konsolidasi normal (*normal consolidation*) dan konsolidasi berlebih (*overconsolidation*). Penentuan konsolidasi tersebut ditentukan berdasarkan nilai OCR (*Over Consolidation Ratio*). Rumus OCR dapat ditulis dengan rumus persamaan :

$$OCR = \frac{P_c'}{P_o'}$$

Keterangan :

P_c' = Tekanan Prakonsolidasi (gr/cm^3)

P_o' = Tekanan Overburden Efektif (gr/cm^3)

Apabila nilai perhitungan $OCR = 1$, maka jenis tanah termasuk dalam konsolidasi normal. Pada nilai $OCR > 1$ maka jenis tanah termasuk konsolidasi berlebih. Sedangkan nilai $OCR < 1$ jenis konsolidasi termasuk dalam proses

kondolidasi. Nilai perhitungan konsolidasi primer ditentukan terhadap nilai P_1 dan P_c dengan teori Terzaghi antara lain:

- Untuk nilai $P_1 > P_c$, maka menggunakan rumus persamaan :

$$S = \frac{CcH}{1+e_0} \text{Log} \frac{P_0+\Delta P}{P_0}$$

- Apabila nilai $P_1 < P_c$, maka menggunakan rumus persamaan :

$$S = \frac{Cc}{1+e_0} H \text{Log} \frac{P_0+\Delta P}{P_0} + \frac{Cc}{1+e_0} \text{Log} \frac{P_0+\Delta P}{P_0}$$

Keterangan :

C_c = Indeks Pemampatan

e_0 = Angka pori

P_0 = Tekanan overburden efektif (gr/cm^3)

ΔP = Distribusi tegangan (gr/cm^3)

H = Tebal lapisan tanah (m)

S = Penurunan konsolidasi (m)

P_1 = Tegangan Efektif ($\Delta P + P_0$)

4. Parameter Perhitungan Konsolidasi

Pada perhitungan konsolidasi membutuhkan nilai tekanan *overburden* dan distribusi tegangan. Perhitungan tersebut dipengaruhi nilai pembebanan dan kekuatan tanah. Perhitungan nilai tekanan *overburden* efektif dipengaruhi oleh berat volume tanah efektif dan tebal lapisan tanah, perhitungan dengan rumus persamaan :

$$P_0 = \gamma' \cdot H$$

γ' = Berat volume tanah efektif (g/cm^3)

H = Kedalaman Tanah (m)

Pada distribusi tegangan dipengaruhi oleh nilai pembebanan pada permukaan dan faktor pengaruh. Nilai faktor pengaruh menggunakan klasifikasi pada Gambar.5 (NAVFAC, 1971) Penentuan distribusi tegangan dengan persamaan berikut :

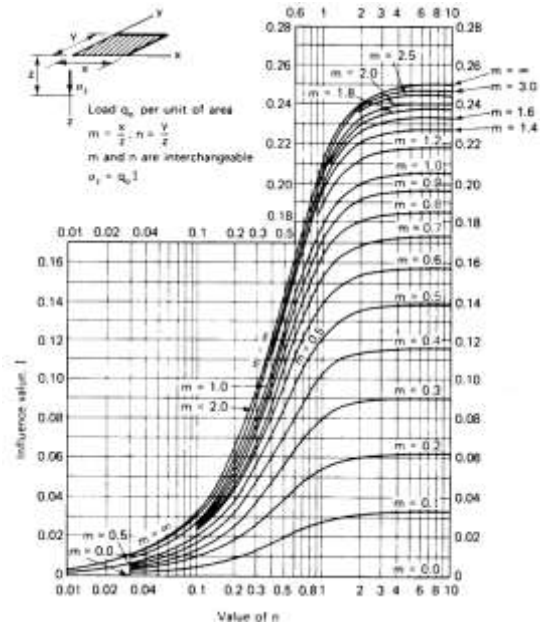
$$\Delta P = q_0 \cdot I$$

Keterangan :

ΔP = Distribusi tekanan (gr/cm^3)

I = Faktor pengaruh

q_0 = beban ekuivalen



Gambar 5. Tabel klasifikasi faktor pengaruh (NAVFAC, 1971).

5. Perhitungan Percepatan Konsolidasi

Kecepatan waktu penurunan memperhitungkan penurunan waktu konsolidasi. Perhitungan pada teori Terzaghi menentukan kecepatan waktu konsolidasi mencapai 90% atau dengan faktor waktu t_{90} pada daerah penelitian. Perhitungan dengan menggunakan rumus persamaan :

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

Keterangan

T_v = Faktor waktu

H_{dr} = Tebal lapisan tanah (m)

t = waktu konsolidasi

C_v = Koefisien konsolidasi

Tabel 1. Faktor waktu pada derajat konsolidasi (Das, et al., 1995)

Derajat Konsolidasi (U%)	Faktor Waktu (Tv)
0	0
10	0,008
20	0,031
30	0,071
40	0,126
50	0,197
60	0,287
70	0,403
80	0,567
90	0,848
100	∞

HASIL DAN PEMBAHASAN

1. Karakteristik Tanah

Karakteristik tanah daerah penelitian termasuk dalam jenis tanah lempung lunak. Karakteristik sifat fisik dan plastisitas tanah hasil analisis laboratorium dapat dilihat pada Tabel 2 dan Tabel 3.

Pada Gambar 6 menunjukkan bahwa pada sampel tanah dari hasil analisis laboratorium merupakan tanah lempung dan didukung dengan pengamatan langsung pada lapangan. Berdasarkan klasifikasi menurut USCS tanah daerah penelitian memiliki rata-rata tergolong tanah CL anorganik. Jenis lempung CL pada

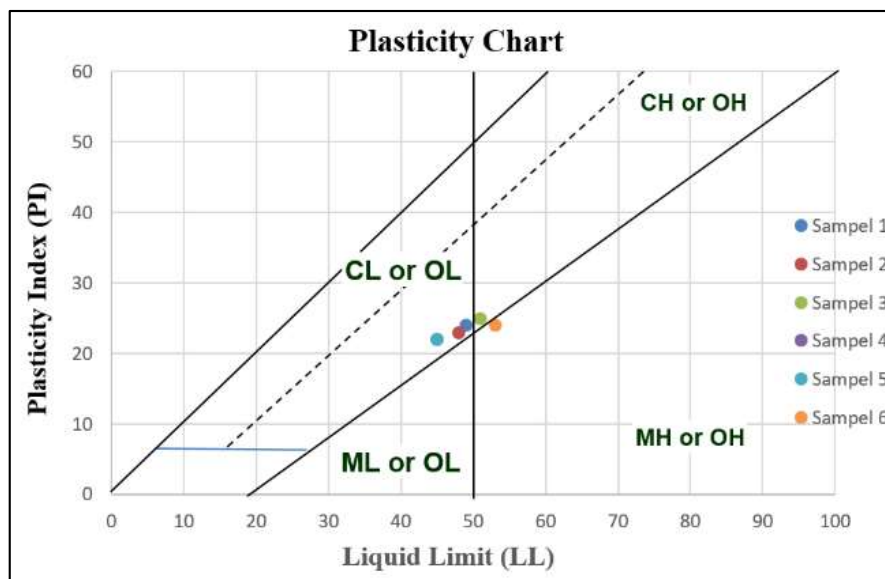
klasifikasi USCS termasuk dalam jenis lempung dengan memiliki rendah hingga sedang, lempung berkerikil, lempung berpasir, lempung berlanau dan lempung kurus (*lean clay*).

Tabel 2. Karakteristik Sampel Tanah.

Nomor Sampel	Kadar Air (%)	Berat Jenis (kN/m ³)	Densitas		
			Densitas (kN/m ³)	Angka Pori	Porositas
Sampel 1	23.12	2.78	17.07	0.60	37.38
Sampel 2	20.30	2.77	16.23	0.67	40.23
Sampel 3	30.07	2.78	13.94	0.95	48.76
Sampel 4	23.44	2.79	16.12	0.70	41.08
Sampel 5	20.74	2.75	14.33	0.88	46.93
Sampel 6	20.74	2.65	16.24	0.60	37.62
Rata-rata	23.07	2.75	15.66	0.73	42.00

Tabel 3. Hasil analisis Atterberg sampel tanah.

Nomor Sampel	Limit Liquid (%)	Plastic Limit (%)	Plasticity Index (%)
Sampel 1	49	24	25
Sampel 2	48	23	25
Sampel 3	51	25	26
Sampel 4	45	22	23
Sampel 5	45	22	23
Sampel 6	53	24	25
Rata-rata	48,50	23,33	24,50



Gambar 6. Klasifikasi Hasil Uji Plastisitas Tanah.

2. Analisis Konsolidasi

Analisis data tanah dilakukan dengan analisis konsolidasi primer dengan menggunakan perhitungan Terzaghi. Parameter perhitungan tanah dapat dilihat pada Tabel 4.

Tabel.4 Parameter Perhitungan Tanah Digunakan

Keterangan	Satuan	Sampel 1	Sampel 2	Sampel 3	Sampel 4	Sampel 5	Sampel 6
Berat Volume Efektif Tanah	gr/cm ³	0,58	0,649	0,643	0,618	0,624	0,79
Koefesien Kompresi (Cc)	-	0,02	0,02	0,02	0,02	0,02	0,01
Koefesien Konsolidasi (Cv)	cm ² /sec	0,0004	0,005	0,000	0,000	0,000	0,000
Angka Pori (eo)	-	0,6	0,67	0,95	0,7	0,88	0,6

Analisis konsolidasi primer membutuhkan perhitungan terhadap tekanan *overburden* efektif. Tanah lempung lunak daerah penelitian memiliki kedalaman 4 m. Hasil perhitungan tekanan *overburden* efektif dapat dilihat pada Tabel 5.

Tabel 5. Hasil perhitungan tekanan *overburden* efektif.

Nomor Sampel	Berat Jenis Tanah (Gs)	Berat volume tanah efektif (γ')	Angka Pori (eo)	Tegangan <i>Overburden</i> (Po)
Sampel 1	2,78	0,583	0,6	233,2
Sampel 2	2,77	0,649	0,67	259,6
Sampel 3	2,78	0,643	0,95	257,2
Sampel 4	2,79	0,618	0,7	247,2
Sampel 5	2,75	0,624	0,88	249,6
Sampel 6	2,65	0,79	0,6	316

3. Perhitungan distribusi tegangan

Perhitungan tegangan akibat beban timbunan diatas permukaan dilakukan perhitungan distribusi tegangan. Distribusi tegangan diperlukan beban ekuivalen dan faktor pengaruh dari beban dipermukaan. Perhitungan distribusi tegangan daerah penelitian sebagai berikut :

$$\Delta P = q_o \cdot I$$

$$\Delta P = (\gamma_{\text{timbunan}} \cdot H_{\text{timbunan}}) \cdot I$$

$$\Delta P = (6 \cdot 1000) \cdot 0,25$$

$$\Delta P = 1500 \text{ gr/ cm}^2$$

4. Perhitungan penurunan konsolidasi

Besar perhitungan penurunan konsolidasi dilakukan dengan penggunaan rumus Terzaghi. Data parameter perhitungan

penurunan konsolidasi didapatkan dari tekanan *overburden* dan distribusi tegangan. Hasil perhitungan penurunan konsolidasi dapat dilihat pada Tabel.6.

Tabel 6. Hasil Perhitungan Konsolidasi.

Sampel	Po	ΔP	Pc (kPa)	Penurunan (cm)
Sampel 1	233,2	1500	3,43	4,36
Sampel 2	259,6	1500	50,41	3,97
Sampel 3	257,2	1500	108,56	3,42
Sampel 4	247,2	1500	112,32	4,00
Sampel 5	249,6	1500	96,81	3,59
Sampel 6	316	1500	128,45	1,89
Rata-rata penurunan (cm)				3,54

5. Perhitungan waktu konsolidasi

Perhitungan waktu konsolidasi memiliki nilai Koefesien konsolidasi (Cv) dan *time factor* (Tv) digunakan pada perhitungan. Perhitungan derajat konsolidasi mencapai waktu 90% dengan faktor waktu 0,848. Hasil perhitungan dapat dilihat pada Tabel. 7.

Tabel 7 Hasil perhiutngan waktu konsolidasi.

Nomor sampel	Tv	Cv	T
Sampel 1	0,848	0,0024	0,45
Sampel 2	0,848	0,0012	0,90
Sampel 3	0,848	0,013	0,08
Sampel 4	0,848	0,0007	1,54
Sampel 5	0,848	0,0011	0,98
Sampel 6	0,848	0,0006	1,79
Rata-rata waktu penurunan (tahun)			0,96

KESIMPULAN

Berdasarkan hasil dan pembahasan, didapatkan hasil :

1. Pada analisis karakteristik sifat fisik tanah daerah penelitian memiliki karakteristik tanah rata-rata dengan kadar air 23,07 %, berat jenis 2,75, dan dengan densitas 15,66.
2. Analisis plastisitas pada uji batas Atterberg (LL, PL, dan PI) didapatkan klasifikasi tanah rata-rata daerah penelitian tergolong jenis tanah lempung CL dengan jenis tanah anorganik memiliki plastisitas sedang.
3. Besar perhitungan penurunan konsolidasi untuk mencapai konsolidasi 90% nilai penurunan rata-rata sebesar

3,54 cm dengan lama waktu penurunan rata rata 0,96 tahun.

UCAPAN TERIMA KASIH

Terima kasih kepada rekan-rekan seperjuangan dan keluarga besar Eksplorasi dan Geoteknik serta Laboratorium Mekanika Tanah yang telah banyak membantu dan memberikan dukungan dalam penelitian ini.

DAFTAR PUSTAKA

- Ardiansyah, R., Satibi, S. & Nugroho, S., 2017. Analisis Sistem Penurunan Konsolidasi Multi-Layer. Jurnal Online Mahasiswa (JOM) Bidang Teknik dan Sains, pp. 1-7.
- Barber, A., Crow, M. & and Milsom, J., 2005. *Sumatra: Geology, Resources and Tectonic Evolution..* London: Geological Society Memoir.
- Das, B. M., Noor. Endah & Indrasurya B., M., 1995. *Mekanika Tanah (Prinsip Prinsip*. Jilid 1 ed. Jakarta: Erlangga.
- Dewi, K., Priadi, E. & Faisal, A., 2020. Analisis Konsolidasi Tanah Lunak Akibat Pekerjaan PVD-PHD di Area Runway Bandara Supadio. JeLAST : Jurnal PWK, Laut, Sipil, Tambang. Volume 7, no 3, pp. 1-10.
- Farahnaz, N., Sophian, I., Mulyo, A. & Hendarmawan, 2018. Potensi Tanah Mengembang Hasil Lapukan Batuan Vulkanik Berdasarkan Indes Plastisitas Di Kawasan Desa Cilayung. Padjajaran Geoscience Journal, pp. 82-89.
- Gafoer, S., Cobrie, T. & Purnomo, J., 1986. Peta Geologi Lembar Lahat Skala 1 : 250.000, Sumatera Selatan. Pusat Penelitian dan Pengembangan Geologi.
- Kaliakin, V., 2017. *Soil Mechanics: Calculations, Principles, and Methods*. Britannia Raya: Butterworth-Heinemann.
- NAVFAC, 1971. *Design Manual: Soil, Mechanics, Foundation adn Earth*. USA: Dept of Navy.
- Ovit, Y. D., Hendri, O. & Sarie, F., 2022. Hubungan Batas Cair dan Indeks Plastisitas Tanah Lempung Distribusi Pasir Terhadap Nilai Kohesi Tanah Pada Uji Geser Langsung. Volume 7-2, pp. 183-192.
- Panguriseng, D., 2018. *Dasar - Dasar Mekanika Tanah*. Yogyakarta: Pena Indis.
- Prakoyo, A., Mukhlisin, M., Rahardjo, P. & Junaidi, 2019. Analisis Penurunan Timbunan Tanah Silt Pada Proyek Jalan Ruas Giriw. Volume 24, pp. 153-165.
- Putra, P. A., Sutiono, W. & Rokhman, 2019. Uji Eksperimental Stabilitas Tanah Lempung Dengan Menggunakan Pasir dan Kapur. Volume 5 nomor 2, pp. 4-11.
- Tangkudung, H., 2011. Perbandingan Penurunan Konsolidasi. Jurusan Teknik Sipil Fakultas Teknik Universitas Sam Ratulangi Manado : Manado. Volume 9 (55), pp. 37-41.
- Tantri, S. H. I., Iswan & Syah, A., 2021. Hubungan Sifat Fisik Tanah Yang Dicampur Dengan Kapur Terhadap. Volume 2, pp. 289-302.
- Terzaghi, K. & Peck, R. B., 1967. *Soil Mechanics in Engineering Praticce*. 2nd Edition ed. USA: John Wiley and Sons, Inc.