



TUGAS AKHIR - RF184838

**ANALISIS SIFAT FISIS DAN MEKANIS LEMPUNG DALAM
PENENTUAN DAYA DUKUNG TANAH (STUDI KASUS:
KECAMATAN MANYAR, KABUPATEN GRESIK)**

**AHMAD WIDODO
0341154000048**

**Dosen Pembimbing :
M. SINGGIH PURWANTO S.Si., MT
M. HARIS MIFTAKHUL FAJAR S.T., M.Eng**

**Departemen Teknik Geofisika
Fakultas Teknik Sipil Lingkungan dan Kebumihan
Institut Teknologi Sepuluh Nopember
Surabaya 2019**



TUGAS AKHIR - RF184838

**ANALISIS SIFAT FISIS DAN MEKANIS LEMPUNG DALAM
PENENTUAN DAYA DUKUNG TANAH (STUDI KASUS:
KECAMATAN MANYAR, KABUPATEN GRESIK)**

AHMAD WIDODO
0341154000048

Dosen Pembimbing :
M. SINGGIH PURWANTO S.Si., MT
M. HARIS MIFTAKHUL FAJAR S.T., M.Eng

Departemen Teknik Geofisika
Fakultas Teknik Sipil Lingkungan dan Kebumihan
Institut Teknologi Sepuluh Nopember
Surabaya 2019

Halaman ini sengaja dikosongkan



FINAL PROJECT - RF184838

**ANALYSIS THE PHYSICAL AND MECHANICAL PROPERTIES
OF CLAY TO DETERMINE BEARING CAPACITY OF SOILS
(CASE STUDY: KECAMATAN MANYAR, KABUPATEN GRESIK)**

AHMAD WIDODO
0341154000048

ADVISOR :
M. SINGGIH PURWANTO S.Si., MT
M. HARIS MIFTAKHUL FAJAR S.T., M.Eng

Department of Geophysical Engineering
Faculty of Civil Environment and Geo-Engineering
Institut Teknologi Sepuluh Nopember
Surabaya 2019

Halaman ini sengaja dikosongkan

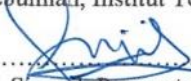
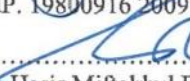


LEMBAR PENGESAHAN

Tugas akhir ini diajukan oleh

Nama : Ahmad Widodo
NRP : 0341154000048
Departemen : Teknik Geofisika
Judul Tugas Akhir : Analisis Sifat Fisis Dan Mekanis
Lempung Dalam Penentuan Daya
Dukung Tanah (Studi Kasus: Kecamatan
Manyar, Kabupaten Gresik)

Telah berhasil dipertahankan di hadapan tim penguji dan diterima sebagai bagian persyaratan yang diperlukan untuk memperoleh gelar Sarjana Teknik pada Departemen Teknik Geofisika, Fakultas Teknik Sipil, Lingkungan dan Kebumihian, Institut Teknologi Sepuluh Nopember.

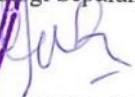
Surabaya, 11 Juli 2019

1. 
M. Singgih Purwanto S.Si., M.T. (Pembimbing 1)
NIP. 19800916 200912 1 002
2. 
M. Haris Miftakhul Fajar S.T., M.Eng. (Pembimbing 2)
NIP. 19890208 201803 1 001
3. 
Dr. Widya Utama, DEA (Penguji 1)
NIP. 19611024 198803 1 001
4. 
Juan Pandu G.M.R., S.Si, M.T. (Penguji 2)
NIP. 198906 201504 1 003

Mengetahui :

Kepala Laboratorium Eksplorasi
Departemen Teknik Geofisika
Fakultas Teknik Sipil, Lingkungan dan Kebumihian
Institut Teknologi Sepuluh Nopember




Syaeful Bahri S.Si, M. T.
NIP. 19690906 199702 1 001

Halaman ini sengaja dikosongkan

Analisis Sifat Fisis Dan Mekanis Lempung Dalam Penentuan Daya Dukung Tanah (Studi Kasus: Kecamatan Manyar, Kabupaten Gresik)

Nama : Ahmad Widodo
NRP : 0341154000048
Departemen : Teknik Geofisika
Pembimbing : M. Singgih Purwanto S.Si., MT
M. Haris Miftakhul Fajar S.T., M.Eng

ABSTRAK

Kawasan reklamasi di Kecamatan Manyar, Gresik merupakan daerah dengan kondisi tanahnya yang didominasi oleh tanah lempung. Sebelum dilakukan pembangunan dan pembebanan, perlu dilakukan investigasi untuk mendapatkan kapasitas atau daya dukung tanah lempung tersebut. Tujuan dari penelitian ini ialah untuk mendapatkan karakter fisis dan mekanis lempung di lokasi penelitian, yang kemudian dilakukan pemodelan pembebanan dengan model tanah lempung dan timbunan di *software*. Sehingga didapatkan kurva penurunan terhadap pembebanan, yang digunakan dalam penentuan nilai daya dukung optimum tanahnya. Penelitian ini menggunakan sampel lempung dari lapangan untuk dilakukan pengukuran sifat fisis secara langsung di laboratorium. Didapatkan hasil densitas $1,448 \text{ gr/cm}^3$, porositas $70,046 \%$, *specific gravity* $2,565$, kohesi $5,238 \text{ kN/m}^2$, dan koefisien konsolidasi $0,0339 \text{ m}^2/\text{hari}$. Hasil analisis hubungan antar parameter didapatkan bahwa antara *specific gravity* – porositas, kohesi – *specific gravity*, koefisien konsolidasi – *specific gravity*, dan koefisien konsolidasi – kohesi berbanding lurus. Kemudian antara kohesi – porositas didapatkan hubungan berbanding terbalik. Sedangkan parameter yang tidak menunjukkan adanya korelasi ialah antara porositas – densitas, *specific gravity* – densitas, kohesi – densitas, koefisien konsolidasi – densitas dan koefisien konsolidasi – porositas. Dari 4 model tanah dasar dan timbunan yang dimodelkan didapatkan hasil daya dukung optimum untuk model 1 sebesar 35 kN/m^2 , model 2 variasi 1 sebesar 40 kN/m^2 , model 2 variasi 2 sebesar 43 kN/m^2 , model 2 variasi 3 sebesar 47 kN/m^2 , model 3 sebesar 45 kN/m^2 , dan model 4 sebesar 7000 kN/m^2 .

Kata Kunci: Daya Dukung Tanah, Lempung, Parameter Fisis, Penurunan Tanah

Halaman ini sengaja dikosongkan

*Analysis The Physical And Mechanical Properties Of Clay To
Determine Bearing Capacity Of Soils (Case Study: Kecamatan
Manyar, Kabupaten Gresik)*

Name : Ahmad Widodo
NRP : 0341154000048
Departement : Teknik Geofisika
Supervisor : M. Singgih Purwanto S.Si., MT
M. Haris Miftakhul Fajar S.T., M.Eng

ABSTRACT

Reclamation area in Manyar Subdistrict, Gresik is an area with base soil dominated by clay. Before construction and loading carried out, an investigation is needed to obtain the bearing capacity of clay. The purpose of this study was to obtain physical and mechanical characteristics of clay at the site, and then performed loading modeling with clay models and embankments in software. So obtained the curve of settlement vs loading, which is used in determining the value of the optimum bearing capacity of soil. This study used clay samples from the field to measure physical properties directly in the laboratory. Obtained density results is 1,448 gr/cm³, porosity is 70,046 %, specific gravity is 2,565, cohesion is 5,238 kN/m², and coefficient of consolidation is 0.0339 m²/day. The results of analysis of the correlation between parameters found that between specific gravity – porosity, cohesion – specific gravity, coefficient of consolidation – specific gravity, and coefficient of consolidation – cohesion are directly proportional. Then between cohesion – porosity is inversely proportional. While the parameters that do not indicate a correlation are between porosity – density, specific gravity – density, cohesion – density, coefficient of consolidation – density and coefficient of consolidation – porosity. From the 4 base soil models and the embankments model the optimum bearing capacity for model 1 is 35 kN/m², model 2 1st variation is 40 kN/m², model 2 2nd variation is 43 kN/m², model 2 3rd variation is 47 kN/m², model 3 is 45 kN/m², and model 4 is 7000 kN/m².

Keywords: *Bearing Capacity of Soils, Clay, Physical Parameters, Settlement*

Halaman ini sengaja dikosongkan

KATA PENGANTAR

Bismillahirrahmanirahim, Alhamdulillah telah diselesaikan penulisan dan penelitian tugas akhir saya dengan judul *Analisis Sifat Fisis Dan Mekanis Lempung Dalam Penentuan Daya Dukung Tanah (Studi Kasus: Kecamatan Manyar, Kabupaten Gresik)*. Penelitian ini tentunya dapat terselesaikan dengan bantuan orang – orang terdekat saya, sehingga saya ingin mengucapkan terimakasih kepada,

1. Katno Arbiyanto S.Pd dan Nur Asiah S.Pd selaku orang tua, Arifah Andayani sebagai adik, dan Mbah Pariyem serta semua keluarga penulis yang telah memberikan dukungan dan doa pada pengerjaan tugas akhir,
2. Dr. Widya Utama, DEA selaku dosen pembimbing tim JIPE serta acuan penulis dalam menyelesaikan tugas akhir dan telah memberikan banyak motivasi,
3. M. Singgih Purwanto S.Si., MT dan M. Haris Miftakhul Fajar S.T., M.Eng selaku dosen pembimbing tugas akhir yang telah memberikan banyak masukan,
4. Seluruh dosen, tendik dan mahasiswa Teknik Geofisika ITS yang telah memberi dukungan,
5. Tim JIPE sebagai teman jihad tugas akhir selama satu semester ini,
6. Teman-teman seperjuangan TG04 yang telah menemani menyelesaikan masa studi selama 4 tahun ini,
7. Kontrakan SDR 1 dan kontrakan BME
8. Aliful Choirul Hakim yang telah bersedia meminjamkan kamarnya sebagai tempat mengerjakan tugas akhir,

Sehingga pengerjaan Tugas Akhir ini dapat berjalan dengan lancar. Semoga dengan adanya penelitian ini dapat memberikan pandangan yang lebih luas terkait metode Geofisika dan meningkatkan kontribusi Teknik Geofisika ITS pada dunia keilmiah.

Penulis,

Ahmad Widodo
0341154000048

Halaman ini sengaja dikosongkan

PERNYATAAN KEASLIAN TUGAS AKHIR

Saya menyatakan bahwa isi sebagian maupun keseluruhan tugas akhir saya dengan judul “Analisis Sifat Fisis Dan Mekanis Lempung Dalam Penentuan Daya Dukung Tanah (Studi Kasus: Kecamatan Manyar, Kabupaten Gresik)” adalah benar-benar hasil karya intelektual mandiri, diselesaikan tanpa menggunakan bahan-bahan yang tidak diizinkan dan bukan merupakan karya pihak lain yang saya akui sebagai karya sendiri. Semua referensi yang dikutip maupun dirujuk telah ditulis secara lengkap pada daftar pustaka.

Apabila ternyata pernyataan ini tidak benar, saya bersedia menerima sanksi sesuai peraturan yang berlaku.

Surabaya, 11 Juli 2019

Ahmad Widodo
NRP. 0341154000048

Halaman ini sengaja dikosongkan

DAFTAR ISI

ABSTRAK	vii
ABSTRACT	ix
KATA PENGANTAR.....	xi
PERNYATAAN KEASLIAN TUGAS AKHIR	xiii
DAFTAR ISI	xv
DAFTAR GAMBAR	xvii
DAFTAR TABEL.....	xix
BAB 1 PENDAHULUAN.....	1
1.1 Latar Belakang	1
1.2 Rumusan Masalah	1
1.3 Batasan Masalah.....	2
1.4 Tujuan.....	2
1.5 Manfaat.....	2
1.6 Target Luaran.....	2
BAB 2 DASAR TEORI.....	3
2.1 Geologi Regional.....	3
2.2 Parameter Fisis Tanah dan Batuan	3
2.3 Kekuatan Geser Tanah.....	10
2.4 Karakteristik Lempung	11
2.5 Kapasitas Dukung Tanah	12
2.6 Analisis Regresi.....	13
2.7 Penelitian Terdahulu.....	13
BAB 3 METODE PENELITIAN.....	17
3.1 Alat dan Bahan	17
3.2 Lokasi Penelitian	17
3.3 Skema Kerja.....	18
3.4 Alur Kerja	20
BAB 4 HASIL DAN PEMBAHASAN	25
4.1 Analisis Parameter Fisis dan Mekanis Lempung.....	25
4.1.1 Analisis Densitas Lempung.....	25
4.1.2 Analisis Porositas Lempung.....	27
4.1.3 Analisis <i>Specific gravity</i> Lempung.....	30
4.1.4 Analisis Kohesi Lempung.....	32
4.1.5 Analisis Koefisien Konsolidasi Lempung.....	35
4.2 Analisis Hubungan Parameter Fisis Lempung	38
4.3 Analisis Daya Dukung Optimum Tanah	47
BAB 5 KESIMPULAN DAN SARAN	61
5.1 Kesimpulan	61
5.2 Saran.....	61

DAFTAR PUSTAKA.....	63
LAMPIRAN.....	65
PROFIL PENULIS	69

DAFTAR GAMBAR

Gambar 2.1 Peta Geologi Lembar Surabaya-Sapulu	3
Gambar 2.2 Diagram Fase Tanah (Hardiyatmo, 2002).....	5
Gambar 2.3 Kriteria keruntuhan Mohr dan Coulomb.....	11
Gambar 2.4 Kurva penurunan terhadap beban yang diterapkan (Hardiyatmo, 2003)	12
Gambar 2.5 Kurva Pembebanan Untuk Penentuan Daya Dukung Tanah (Nusantara 2014).....	15
Gambar 3.1 Lokasi pengambilan sampel lempung.....	17
Gambar 3.2 Skema kerja penelitian secara umum.....	18
Gambar 3.3 Skema kerja analisis sifat fisis lempung	19
Gambar 3.4 Skema kerja analisis daya dukung tanah.....	20
Gambar 4.1 (a) Kurva persebaran nilai densitas lempung, (b) Histogram persebaran nilai densitas lempung.....	27
Gambar 4.2 (a) Kurva persebaran nilai porositas lempung, (b) Histogram persebaran nilai porositas lempung	29
Gambar 4.3 (a) Kurva persebaran nilai <i>specific gravity</i> lempung, (b) Histogram persebaran nilai <i>specific gravity</i> lempung.....	32
Gambar 4.4 (a) Kurva persebaran nilai kohesi lempung, (b) Histogram persebaran nilai kohesi lempung	34
Gambar 4.5 (a) Kurva persebaran nilai koefisien konsolidasi lempung, (b) Histogram persebaran nilai koefisien konsolidasi lempung.....	37
Gambar 4.6 <i>Crossplot</i> hubungan Porositas dan <i>Specific gravity</i>	38
Gambar 4.7 <i>Crossplot</i> hubungan Porositas dan Kohesi.....	39
Gambar 4.8 <i>Crossplot</i> hubungan <i>Specific gravity</i> dan Kohesi.....	40
Gambar 4.9 <i>Crossplot</i> hubungan <i>Specific gravity</i> dan Koefisien Konsolidasi	41
Gambar 4.10 <i>Crossplot</i> hubungan Kohesi dan Koefisien Konsolidasi	42
Gambar 4.11 <i>Crossplot</i> hubungan Densitas dan Porositas.....	43
Gambar 4.12 <i>Crossplot</i> hubungan Densitas dan <i>Specific gravity</i>	44
Gambar 4.13 <i>Crossplot</i> hubungan Densitas dan Kohesi.....	45
Gambar 4.14 <i>Crossplot</i> hubungan Densitas dan Koefisien Konsolidasi.....	46
Gambar 4.15 <i>Crossplot</i> hubungan Porositas dan Koefisien Konsolidasi.....	47
Gambar 4.16 Model 1 (Lapisan lempung).....	50
Gambar 4.17 (a) Kurva daya dukung tanah model 1, (b) Kontur penurunan tanah pada 35 kN/m ² , (c) Kontur penurunan tanah pada beban 36 kN/m ²	51
Gambar 4.18 Model 2 (Lapisan lempung dan timbunan <i>limestone</i>).....	52

Gambar 4.19 (a) Kurva daya dukung tanah model 2 dengan tebal <i>limestone</i> 2 m, (b) Kurva daya dukung tanah model 2 dengan tebal <i>limestone</i> 4 m, (c) Kurva daya dukung tanah model 2 dengan tebal <i>limestone</i> 6 m.....	55
Gambar 4.20 Model 3 (Lapisan lempung dan timbunan pasir + <i>limestone</i>).....	56
Gambar 4.21 (a) Kurva daya dukung tanah model 3, (b) Kontur penurunan tanah pada 45 kN/m ² , (c) Kontur penurunan tanah pada beban 46 kN/m ²	58
Gambar 4.22 Model 4 (lapisan lempung dan timbunan batu + pasir + <i>limestone</i> + agregat).....	59
Gambar 4.23 Kurva daya dukung tanah model 4	60

DAFTAR TABEL

Tabel 2.1 Berat spesifik jenis tanah (Hardiyatmo, 2002).....	7
Tabel 2.2 Nilai perkiraan modulus elastis tanah (Bowles, 1977)	8
Tabel 2.3 Perkiraan angka <i>poisson</i> tanah (Bowles, 1977)	8
Tabel 4.1 Hasil pengukuran densitas lempung.....	25
Tabel 4.2 Hasil pengukuran porositas lempung	28
Tabel 4.3 Hasil pengukuran <i>specific gravity</i> lempung.....	30
Tabel 4.4 Hasil pengukuran kohesi lempung	33
Tabel 4.5 Hasil pengukuran koefisien konsolidasi lempung	35
Tabel 4.6 Data parameter fisis yang digunakan	48
Tabel 4.7 Rincian perilaku yang ditetapkan untuk setiap model penelitian	49
Tabel 4.8 Nilai penurunan tanah terhadap beban	50
Tabel 4.9 Nilai penurunan tanah terhadap beban pada <i>limestone</i> 2 m.....	52
Tabel 4.10 Nilai penurunan tanah terhadap beban pada <i>limestone</i> 4 m	53
Tabel 4.11 Nilai penurunan tanah terhadap beban pada <i>limestone</i> 6 m	53
Tabel 4.12 Nilai penurunan tanah terhadap beban	56
Tabel 4.13 Nilai penurunan tanah terhadap beban	59

Halaman ini sengaja dikosongkan

BAB 1

PENDAHULUAN

1.1 Latar Belakang

Daerah pembangunan industri di kawasan industri *Java Integrated Industrial and Port Estate* (JIPE) merupakan wilayah yang masih berada dalam tahap awal rencana pembangunan. Kawasan ini berada di Kecamatan Manyar, Kabupaten Gresik yang memiliki kondisi geologi berupa endapan aluvium yang didominasi oleh lempung (Supandjono dkk., 1992). Sebelum melakukan pembangunan perlu adanya perencanaan pondasi dengan mempertimbangkan kondisi tanah. Tanah yang berada dibawah suatu konstruksi bangunan harus dapat memikul beban yang ada diatasnya tanpa mengalami kegagalan geser dan dengan penurunan tanah yang dapat ditolerir (Nusantara, 2014). Jenis tanah lempung kurang ideal untuk dilakukan pembangunan langsung diatas tanahnya karena kurangnya faktor keamanan dari lempung (Feld, 2017). Tanah lempung memiliki tegangan geser dan permeabilitas yang rendah, oleh karena itu tanah tersebut harus diperbaiki terlebih dahulu sebelum digunakan sebagai landasan konstruksi agar memperoleh daya dukung yang lebih baik (Nusantara, 2014).

Menurut Najooan (2002), daya dukung tanah adalah kemampuan tanah untuk menahan tekanan atau beban bangunan pada tanah dengan aman tanpa menimbulkan keruntuhan geser dan penurunan berlebihan (Nusantara, 2014). Pada tanah lempung, sifat fisis dan mekanis lempung seperti porositas, kuat geser dan kehadiran air akan sangat mempengaruhi kualitas tanahnya. Tanah berbutir halus khususnya tanah lempung akan banyak dipengaruhi oleh air. Karena pada tanah berbutir halus, luas permukaan spesifik akan menjadi lebih besar, variasi kadar air akan mempengaruhi plastisitas tanah (Hardiyatmo, 2002). Jika lapisan tanah dibebani, maka tanah akan mengalami regangan atau penurunan. Penurunan ini terjadi akibat berubahnya susunan tanah maupun pengurangan rongga pori/air di dalam tanah tersebut (Hardiyatmo, 2003).

Berdasarkan faktor yang dapat mempengaruhi daya dukung tanah tersebut, perlu diketahuinya karakteristik tanah secara fisis dan mekanis sebelum dilakukan pembebanan diatasnya. Sehingga pada penelitian ini dilakukan pengukuran dan analisis parameter fisis dan mekanis lempung. Kemudian digunakan dalam analisis pembebanan guna mengetahui daya dukung optimum tanah lempung dan tanah timbunan dari berbagai model yang digunakan.

1.2 Rumusan Masalah

Rumusan masalah pada penelitian ini adalah

1. Bagaimana sifat fisis dan mekanis dari tanah lempung di daerah penelitian?
2. Bagaimana hubungan tiap parameter fisis dan mekanis pada lempung?
3. Berapa daya dukung optimum tanah lempung dan tanah timbunan terhadap beban permukaan?

1.3 Batasan Masalah

Batasan masalah dalam penelitian ini adalah

1. Sampel tanah yang diukur dalam skala lab ialah tanah lempung
2. Parameter fisis dan mekanis yang dianalisis hubungannya ialah porositas, densitas, *specific gravity*, kohesi dan koefisien konsolidasi
3. Tanah timbunan yang digunakan ialah pasir, *limestone*, batu (andesit) dan agregat
4. Parameter fisis dan mekanis tanah timbunan didapatkan dari data sekunder perusahaan dan data referensi.
5. Tidak dilakukan pengukuran untuk mengetahui tinggi muka air tanah dan batas lapisan keras, sehingga nilainya ditetapkan oleh penulis pada penelitian ini.

1.4 Tujuan

Tujuan dilakukannya penelitian ini adalah

1. Mendapatkan sifat fisis dan mekanis dari tanah lempung di daerah penelitian.
2. Mengetahui hubungan tiap parameter fisis dan mekanis pada lempung.
3. Mendapatkan daya dukung optimum tanah terhadap beban permukaan

1.5 Manfaat

Manfaat dari penelitian ini adalah

1. Sebagai acuan data dalam mengetahui kondisi dan kualitas tanah lempung yang ada di lokasi penelitian
2. Sebagai referensi data sebelum melakukan konstruksi dan pembebanan terhadap tanah lempung di kawasan JIPE
3. Mengetahui daya dukung optimum tanah di lokasi penelitian.

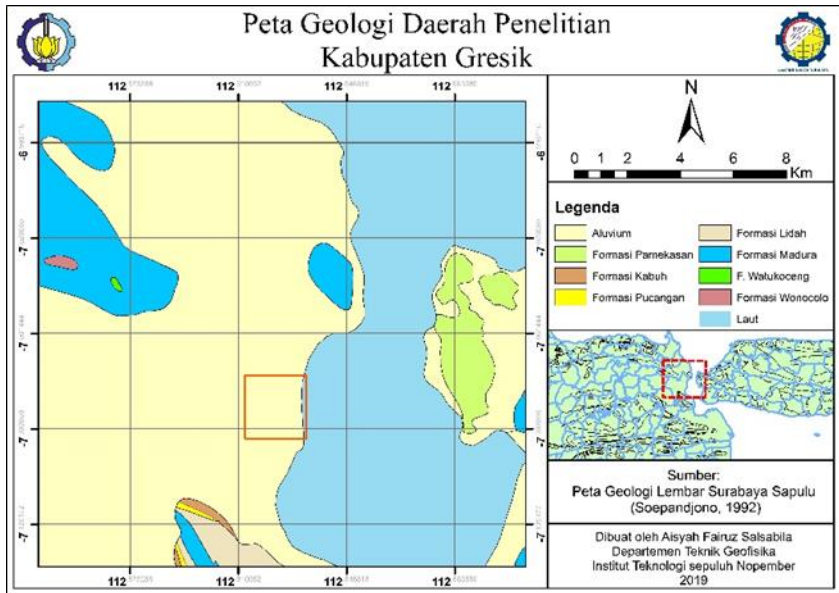
1.6 Target Luaran

Penelitian tugas akhir ini dilakukan sebagai salah satu syarat untuk mendapatkan gelar Sarjana Teknik pada Departemen Teknik Geofisika, Fakultas Teknik Sipil Lingkungan dan Kebumihan, Institut Teknologi Sepuluh Nopember Surabaya. Selain itu, penelitian ini juga ditargetkan menghasilkan luaran berupa karya tulis yang dapat dipublikasikan pada acara konferensi maupun jurnal.

BAB 2 DASAR TEORI

2.1 Geologi Regional

Lokasi penelitian berada di Kecamatan Manyar, Kabupaten Gresik yang merupakan daerah dengan kondisi geologi berupa endapan aluvium (Qa) yang didominasi oleh lempung, bisa dilihat pada gambar 2.1. Daerah ini berada di daerah lepas pantai, yang berbatasan langsung dengan Laut Selat Madura. Endapan sedimen sepanjang Selat Madura dibentuk oleh endapan pantai yang masuk ke daratan sampai ± 5 km. Berdasarkan Peta Geologi Lembar Surabaya dan Sapulu (Supandjono dkk., 1992) endapan aluvium di daerah penelitian terdiri atas kerikil, pasir, lempung, dan pecahan cangkang fosil di beberapa tempat.



Gambar 2.1 Peta Geologi Lembar Surabaya-Sapulu

2.2 Parameter Fisis dan Mekanis Tanah atau Batuan

Fisika batuan merupakan studi yang bertujuan mengkarakterisasikan sifat batuan. Fisika batuan menyediakan koneksi antara sifat elastik yang diukur pada lapisan bumi. Dalam lingkungan lubang bor dan laboratorium, hal yang dapat dipelajari melalui fisika batuan ada mineralogi, porositas, bentuk pori, fluida pori, tekanan pori, permeabilitas, viskositas, tegangan, laminasi, dan rekahan. Fisika batuan menyediakan pemahaman serta alat bantu untuk medapat

gambaran dan solusi karakterisasi berdasarkan data elastik (Schon, 2011). Sedangkan sifat mekanis tanah merupakan sifat perilaku dari struktur massa tanah yang diberi gaya atau tekanan yang dijelaskan secara teknis mekanis (Kusuma, 2016).

2.2.1 Porositas

Porositas merupakan sifat batuan secara volumetrik. Porositas menggambarkan potensi volume penyimpanan fluida (air, gas, minyak) pada batuan, porositas mempengaruhi oleh beberapa parameter fisis batuan lain seperti kecepatan gelombang elastis, resistivitas, dan densitas (Schon, 2011).

Secara definisi, porositas (ϕ) ialah perbandingan antar volume ruang pori (V_p) terhadap volume total atau volume bulk (V) dari massa batuan yang secara matematis dituliskan pada persamaan 2.1.

$$\phi = \frac{V_p}{V} = \frac{V - V_m}{V} \quad (2.1)$$

Dimana V_m ialah volume batuan bagian padatnya atau volume matriks (Schon, 2011).

Jenis dan derajat hubungan antar pori adalah suatu hal yang tidak mudah diklasifikasikan, karena geometri bentuknya sangat kompleks. Pori-pori bisa saja terhubung seluruhnya atau sebagian terisolasi satu sama lainnya. Oleh karena itu didefinisikan beberapa pengertian porositas sebagai berikut (Schon, 2011)

1. Porositas total adalah porositas yang berkaitan dengan semua ruang pori, lubang, retakan dan lainnya. Porositas total merupakan jumlahan dari porositas primer dan porositas sekunder.
2. Porositas interkoneksi, adalah porositas yang hanya berkaitan dengan ruang yang saling berhubungan saja. Ruang pori-pori dipandang saling berhubungan bila dapat mengalirkan arus listrik atau fluida di antara dinding-dinding pori tersebut.
3. Porositas potensial, adalah bagian dari porositas interkoneksi yang mempunyai diameter saluran koneksi cukup besar untuk meloloskan/ mengalirkan fluida. Porositas potensial ini memiliki batas diameter minimum agar dapat berfungsi sebagai saluran koneksi.
4. Porositas efektif, adalah porositas yang tersedia untuk fluida dapat bergerak bebas. Porositas ini yang sering digunakan dalam analisis *log* (Sismanto, 2012).

Terdapat beberapa cara untuk mendapatkan nilai porositas, pertama melalui pengukuran secara langsung di laboratorium berdasarkan pengukuran volume bulk dan volume padatan batuan, ekspansi gas atau teknik pemindahan. Kedua, melalui pengukuran tidak langsung (metode *logging*, metode seismik) berdasarkan korelasi antara porositas dan parameter fisis lainnya (Schon, 2011).

2.2.2 Densitas

Densitas merupakan salah satu karakter fisis batuan yang dapat berubah secara signifikan terhadap perubahan tipe batuan akibat mineral dan porositas yang dimiliki batuan tersebut. Densitas (ρ) merupakan perbandingan massa (m) batuan per satuan unit volume (V):

$$\rho = \frac{m}{V} \quad (2.2)$$

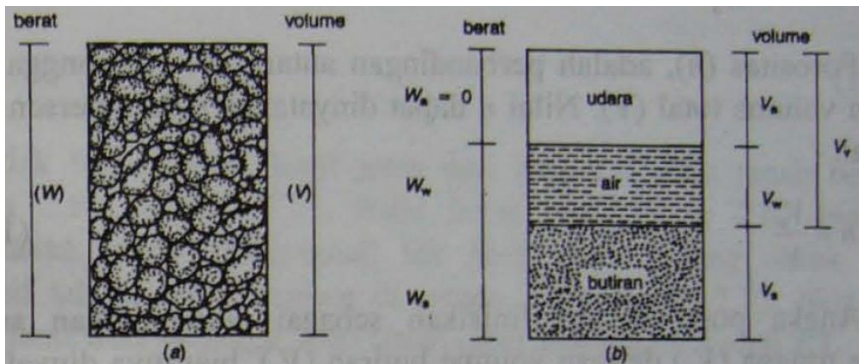
Sedangkan untuk mengetahui densitas bulk ada beberapa faktor yang mempengaruhi nilainya diantaranya komposisi mineral (densitas mineral dan fraksi volume); porositas (pori dan *fracture*) dan porositas fluida pori batuan. Untuk mendapatkan nilai densitas *bulk* batuan digunakan persamaan dibawah ini

$$\rho = \sum_{i=1}^n \rho_i \cdot V_i \quad (2.3)$$

(Schon, 2011)

2.2.3 Berat Volume Tanah dan Hubungannya

Tanah yang kering terdiri dari dua bagian yaitu butir-butir tanah dan pori-pori udara. Dalam tanah yang jenuh juga terdapat dua bagian yaitu bagian padat atau butiran dan air pori. Dalam keadaan tidak jenuh, tanah terdiri dari tiga bagian yaitu bagian padat, pori-pori udaran dan air pori. Bagian-bagian tanah dapat digambarkan dalam fase seperti pada gambar 2.2.



Gambar 2.2 Diagram Fase Tanah (Hardiyatmo, 2002).

Dari memperhatikan gambar tersebut dapat dibentuk persamaan

$$W = W_s + W_w \quad (2.4)$$

Dan

$$V = V_s + V_w + V_a \quad (2.5)$$

$$V_v = V_w + V_a \quad (2.6)$$

Dengan

- W_s = berat butiran padat
- W_w = berat air
- V_s = Volume butiran padat
- V_w = Volume air
- V_a = Volume udara

Berat udara (W_a) dianggap sama dengan nol. Hubungan-hubungan volume yang sering digunakan dalam mekanika tanah adalah kadar air (w), angka pori (e), porositas (n) dan derajat kejenuhan (S).

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

$$w(\%) = \frac{W_w}{W_s} \times 100 \quad (2.7)$$

Porositas (n) adalah perbandingan antara volume rongga (V_v) dengan volume total (V). Nilai n dapat dinyatakan dalam persen atau desimal

$$n = \frac{V_v}{V} \quad (2.8)$$

Angka pori didefinisikan sebagai perbandingan antara volume rongga (V_v) dengan volume butiran (V_s) biasanya dinyatakan dalam desimal

$$e = \frac{V_v}{V_s} \quad (2.9)$$

Berat volume lembab atau basah (γ_b), adalah perbandingan antara berat butiran tanah termasuk air dan udara (W) dengan volume tanah (V)

$$\gamma_b = \frac{W}{V} \quad (2.10)$$

Dengan $W = W_w + W_s + W_a$ ($W_a=0$). Bila ruang udara terisi oleh air seluruhnya ($V_a=0$) maka tanah menjadi jenuh.

Berat volume butiran padat (γ_s) adalah perbandingan antara berat butiran padat (W_s) dengan volume butiran padat (V_s)

$$\gamma_s = \frac{W_s}{V_s} \quad (2.11)$$

Berat spesifik atau *specific gravity* tanah (G_s) adalah perbandingan antara berat volume butiran padat (γ_s) dengan berat volume air (γ_w) pada temperature 4° C.

$$G_s = \frac{\gamma_s}{\gamma_w} \quad (2.12)$$

G_s tidak berdimensi, berat spesifik dari berbagai jenis tanah berkisar antara 2,65 sampai 2,75. Nilai berat spesifik $G_s = 2,67$ biasanya digunakan untuk tanah-tanah tak berkohesi. Sedang untuk tanah kohesif tak organik berkisar antara 2,68 sampai 2,72. Nilai-nilai berat spesifik tanah diberikan pada tabel 2.1.

Tabel 2.1 Berat spesifik jenis tanah (Hardiyatmo, 2002)

Macam Tanah	Berat Spesifik (G_s)
Kerikil	2,65 – 2,68
Pasir	2,65 – 2,68
Lanau anorganik	2,62 – 2,68
Lempung organik	2,58 – 2,65
Lempung anorganik	2,68 – 2,75
Humus	1,37
Gambut	1,25 – 1,80

Derajat kejenuhan (S) adalah perbandingan volume air (V_w) dengan volume total rongga pori tanah (V_v). Biasanya dinyatakan dalam persen.

$$S(\%) = \frac{V_w}{V_v} \times 100 \quad (2.13)$$

Bila tanah dalam keadaan jenuh air, maka $S = 1$ (Hardiyatmo, 2002).

2.2.4 *Poisson's ratio*

Bhatia (1986) menyatakan *poisson's ratio* atau angka *poisson* (μ) sebagai kontraksi lateral yang berhubungan dengan perbandingan antara perpanjangan longitudinal terhadap perubahan lateralnya dalam kasus *stress uniaxial*-nya (Schon, 2011). Harga maksimum *poisson's ratio* adalah 0,5. Dimana 0,05 untuk batuan yang sangat keras dan 0,45 untuk batuan sedimen rapuh. Apabila rasio ini 0,33 kecepatan gelombang-S setengah dari kecepatan gelombang-P. Bila *stress* diberikan tidak searah, maka kemungkinan deformasi terjadi pada semua arah (Akmam, 2002).

2.2.5 **Modulus Elastisitas**

Menghitung penurunan tanah dibutuhkan nilai modulus elastisitas atau modulus Young (E). Modulus elastisitas (E) dan angka *poisson* (μ) sangat penting untuk hitungan penurunan tanah. Dalam paraktiknya, sangat sulit untuk menentukan nilai modulus elastisitas E , karena modulus elastis bertambah jika kedalaman bertambah. Umumnya, modulus elastis ditentukan dari uji triaksial kondisi *undrained*, dimana E ditentukan dari pendekatan kemiringan kurva

regangan-regangan yang diambil pada ½ dari beban batas aksial. Angka poisson dapat dihitung dari pengukuran regangan kompresi aksial dan regangan lateral selama uji triaksial (Hardiyatmo, 2003).

Karena sulitnya pengambilan contoh asli di lapangan untuk tanah granular, maka beberapa pengujian lapangan telah digunakan untuk mengestimasi nilai modulus elastis tanah. Selain nilai perkiraan modulus elastis yang diusulkan oleh Schmertmann (1970), terdapat beberapa usulan nilai E yang diberikan oleh peneliti lain. Hasil-hasil uji sondir yang dilakukan De Beer (1965) dan Webb (1970) memberikan korelasi antara tahanan kerucut (qc) dan E. Nilai perkiraan modulus elastis dapat diperoleh juga dari uji SPT. Mitchell dan Gardner (1975) mengusulkan nilai modulus elastis yang dihubungkan dengan nilai SPT sebagai berikut:

$$E = 10 (N + 15) \text{ k/ft}^2 \quad (\text{untuk pasir}) \tag{2.14}$$

$$E = 6 (N + 5) \text{ k/ft}^2 \quad (\text{untuk pasir berlempung}) \tag{2.15}$$

Dengan $1 \text{ k/ft}^2 = 4.882 \text{ t/m}^2$ dan N adalah jumlah pukulan dalam uji SPT. Nilai-nilai modulus elastis (E) dan angka *poisson* (μ) perkiraan untuk berbagai macam tanah berturut-turut disajikan dalam Tabel 2.2 dan 2.3 (Hardiyatmo, 2003).

Tabel 2.2 Nilai perkiraan modulus elastis tanah (Bowles, 1977)

Jenis Tanah	E (kN/m ²)
<i>Lempung</i>	
Sangat lunak	300 – 3000
Lunak	2000 – 4000
Sedang	4500 – 9000
Keras	7000 – 20000
Berpasir	30000 – 42500
<i>Pasir</i>	
Berlanau	5000 – 20000
Tidak padat	10000 – 25000
Padat	50000 – 100000
<i>Pasir dan Kerikil</i>	
Padat	80000 – 200000
Tidak padat	50000 – 140000
<i>Lanau</i>	2000 – 20000
<i>Loess</i>	15000 – 60000
<i>Cadas</i>	140000 – 1400000

Tabel 2.3 Perkiraan angka *poisson* tanah (Bowles, 1977)

Jenis Tanah	Angka <i>Poisson</i>
Lempung jenuh	0,40 – 0,50

Jenis Tanah	Angka <i>Poisson</i>
Lempung tak jenuh	0,10 – 0,30
Lempung berpasir	0,20 – 0,30
Lanau	0,30 – 0,35
Pasir padat	0,20 – 0,40
Pasir kasar	0,15
Pasir halus	0,25
Batu	0,10 – 0,40
<i>Loess</i>	0,10 – 0,30

2.2.6 Koefisien Konsolidasi (C_v) dan Koefisien Permeabilitas (k)

Tanah mempunyai sifat kemampatan yang sangat besar jika dibandingkan dengan bahan konstruksi seperti baja atau beton. Baja dan beton adalah bahan yang tidak mempunyai pori. Itulah sebabnya volume pemampatan baja dan beton itu adalah sangat kecil, sehingga dalam keadaan tegangan biasa baja dan beton tidak mempunyai masalah. Sebaliknya karena tanah mempunyai pori yang besar, maka pembebanan biasa akan mengakibatkan deformasi tanah yang sangat besar. Hal ini tentu akan mengakibatkan penurunan pondasi yang akan merusak konstruksi (Nakazawa, 2000). Bila lapisan tanah jenuh berpermeabilitas rendah dibebani, maka tekanan air pori di dalam tanah tersebut segera bertambah. Perbedaan tekanan air pori pada lapisan tanah, berakibat air mengalir ke lapisan tanah dengan tekanan air pori yang lebih rendah, yang diikuti penurunan tanahnya. Karena permeabilitas tanah yang rendah, proses ini membutuhkan waktu. Konsolidasi adalah proses berkurangnya volume atau berkurangnya rongga pori dari tanah jenuh berpermeabilitas rendah akibat pembebanan, dimana prosesnya dipengaruhi oleh kecepatan terperasnya air pori keluar dari rongga tanah.

Kecepatan penurunan konsolidasi dapat dihitung dengan menggunakan koefisien konsolidasi (C_v). Kecepatan penurunan perlu diperhitungkan bila penurunan konsolidasi yang terjadi pada struktur diperkirakan besar. Bila penurunan sangat kecil, kecepatan penurunan tidak begitu penting diperhatikan, karena penurunan yang terjadi sejalan dengan waktunya tidak menghasilkan perbedaan yang berarti (Hardiyatmo, 2003).

Hubungan antara koefisien konsolidasi dengan koefisien permeabilitas (k) dapat dinyatakan dalam persamaan berikut

$$C_v = \frac{k}{\gamma_w m_v} \quad (2.16)$$

atau

$$C_v = \frac{k E_{oed}}{\gamma_w} \quad (2.17)$$

Dengan γ_w ialah berat volume air, m_v ialah koefisien perubahan volume, dan E_{oed} ialah modulus oedometrik (Das, 2007).

Permeabilitas didefinisikan sebagai sifat bahan berpori yang memungkinkan aliran rembesan dari cairan yang berupa air atau minyak mengalir lewat rongga pori. Pori-pori tanah saling berhubungan antara satu dengan yang lainnya, sehingga air dapat mengalir dari titik dengan energi tinggi ke titik dengan tinggi energi yang lebih rendah. Untuk tanah, permeabilitas digambarkan sebagai sifat tanah yang mengalirkan air melalui rongga pori tanah. Koefisien permeabilitas memiliki satuan yang sama dengan kecepatan yaitu menunjukkan ukuran tahanan tanah terhadap aliran air. (Hardiyatmo, 2003).

2.3 Kekuatan Geser Tanah

Kuat geser tanah adalah kemampuan tanah melawan tegangan geser yang terjadi pada saat terbebani. Keruntuhan geser tanah terjadi bukan disebabkan karena hancurnya butir-butir tanah tersebut tetapi karena adanya gerakan relatif antar butir-butir tanah. Kekuatan geser yang dimiliki suatu tanah disebabkan oleh

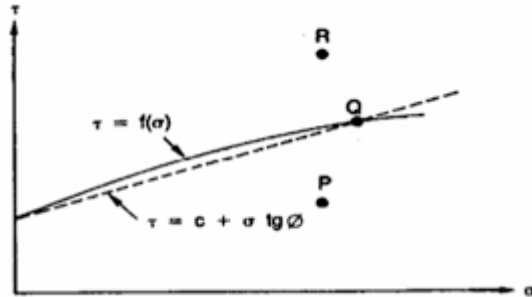
1. Pada tanah berbutir halus (kohesif) misalnya lempung, kekuatan geser yang dimiliki tanah disebabkan oleh adanya kohesi atau lekatan antara butir-butir tanah (*c soil*)
2. Pada tanah berbutir kasar (*non-kohesif*), kekuatan geser disebabkan karena adanya gesekan antara butir-butir tanah sehingga sering disebut sudut geser dalam (ϕ *soil*)
3. Pada tanah yang merupakan campuran antara halus dan kasar, kekuatan geser disebabkan adanya kohesi dan gesekan antar butir-butir tanah.

Kekuatan geser dinyatakan dengan rumus

$$S = c + \sigma \tan \phi \quad (2.18)$$

S ialah kekuatan geser tanah, c ialah kohesi tanah, σ ialah tegangan normal, ϕ ialah sudut geser dalam tanah (Sijabat, 2010).

Parameter kuat geser tanah diperlukan untuk analisis- analisis kapasitas dukung tanah, stabilitas lereng, dan gaya dorong pada dinding penahan. Menurut teori Mohr (1910) kondisi keruntuhan suatu bahan terjadi akibat adanya kombinasi keadaan kritis dari tegangan normal dan tegangan geser. Kurva keruntuhan ditunjukkan oleh gambar 2.3.



Gambar 2.3 Kriteria keruntuhan Mohr dan Coulomb

Persamaan 2.18 disebut kriteria keruntuhan Mohr-Coulomb, garis selubung persamaan tersebut ditunjukkan pada gambar 2.3.

Pengertian mengenai keruntuhan suatu bahan dapat diterangkan sebagai berikut (Gambar 2.3). Jika tegangan-tegangan baru mencapai titik P, keruntuhan tanah akibat geser tidak akan terjadi. Keruntuhan geser akan terjadi jika tegangan-tegangan mencapai titik Q yang terletak pada garis selubung kegagalan (*failure envelope*). Kedudukan tegangan yang ditunjukkan oleh titik R tidak akan pernah terjadi, karena sebelum tegangan yang terjadi mencapai titik R, bahan sudah mengalami keruntuhan (Nakazawa, 2000).

2.4 Karakteristik Lempung

Pembeda batuan sedimen adalah ukuran butir yang menjadi komponen pada batuan tersebut. Lempung merupakan batuan yang memiliki komponen *fine-grained* ketika memiliki bentuk dan ukuran *silt* dan *clay*. Batuan ini terbentuk akibat dari sedimentasi yang panjang ketika proses transportasi yang dilalui ialah sangat banyak. Karena proses tersebut menghasilkan butiran yang sangat halus. Hasilnya, letak deposit dari lempung adalah wilayah muara seperti rawa, danau, delta dan lain sebagainya.

Dikarenakan ukuran butir dari lempung yang sangat kecil dan halus, membuat pori yang bisa diisi oleh fluida sangat sedikit. Sehingga secara geologi, biasanya lempung menjadi pembatas atau pengahambat suatu fluida untuk dilewati yang dianggap sebagai *caprock*. Sedangkan untuk pembangun infrastruktur, wilayah lempung sangat dihindari karena kesensitifannya terhadap suatu gaya yang mengenainya. Selain itu lempung memiliki daya tahan geser yang kecil, sehingga dengan banyaknya gaya yang diberikannya dapat mengakibatkan longsoran.

Air biasanya tidak banyak mempengaruhi kelakuan tanah *non*-kohesif (*granuler*). Tanah berbutir halus khususnya tanah lempung akan banyak

dipengaruhi oleh air. Karena pada tanah berbutir halus, luas permukaan spesifik menjadi lebih besar, variasi kadar air akan mempengaruhi plastisitas tanah (Hardiyatmo, 2002).

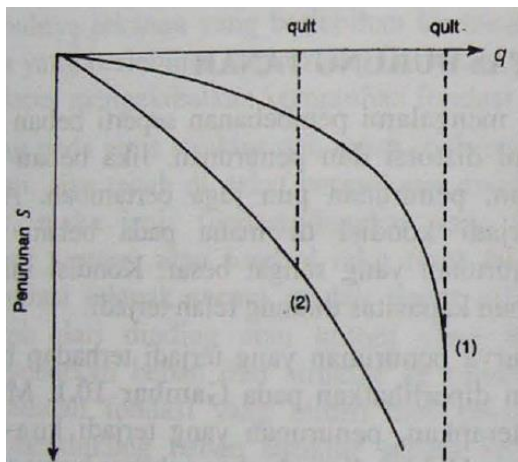
2.5 Kapasitas Dukung Tanah

Analisis kapasitas dukung tanah mempelajari kemampuan tanah dalam mendukung beban pondasi yang bekerja di atasnya. Kapasitas/daya dukung tanah (*bearing capacity*) adalah kekuatan tanah untuk menahan suatu beban yang bekerja padanya yang biasanya disalurkan melalui pondasi. Kapasitas/daya dukung batas (*ultimate bearing capacity*) (q_u) didefinisikan sebagai beban maksimum persatuan luas dimana tanah masih dapat mendukung beban dengan tanpa mengalami keruntuhan. Bila dinyatakan dalam persamaan, maka seperti pada persamaan 2.8 (Hardiyatmo, 2003).

$$q_u = \frac{P_u}{A} \quad (2.19)$$

Dengan q_u adalah kapasitas dukung *ultimate* atau kapasitas dukung batas (kN/m^2), P_u ialah beban batas (kN), dan A luas beban (m^2).

Jika tanah padat, sebelum terjadi keruntuhan didalam tanah, penurunan kecil dan bentuk kurva penurunan beban akan seperti kurva (1) pada gambar 2.2 yang menunjukkan kondisi keruntuhan geser umum (*general shear failure*). Pada waktu beban batas tercapai, tanah melewati fase kedudukan keseimbangan plastis.



Gambar 2.4 Kurva penurunan terhadap beban yang diterapkan (Hardiyatmo, 2003)

Kondisi lain jika tanah sangat tidak padat atau lunak, penurunan yang terjadi sebelum keruntuhan sangat besar. Pada kasus ini, keruntuhannya terjadi sebelum keseimbangan plastis tanah termobilisasi, seperti yang ditunjukkan pada kurva (2). Kurva (2) menunjukkan kondisi keruntuhan geser local (*local shear failure*).

Dari pengamatan kelakuan tanah selama pembebanan hingga tercapainya keruntuhan, diperoleh kenampakan sebagai berikut:

1. Terjadi perubahan bentuk tanah yang berupa pengembangan kolom tanah tepat dibawah dasar fondasi (beban) ke arah lateral dan penurunan permukaan di sekitar fondasi.
2. Terdapat retakan lokal atau geseran tanah di sekeliling fondasi.
3. Suatu baji tanah terbentuk tepat dibawah beban yang mendesak tanah bergerak ke bawah maupun ke atas.
4. Umumnya pada saat keruntuhan terjadi zona geser melebar dalam batas tertentu dan suatu permukaan geser berbentuk lengkungan berkembang yang diikuti dengan gerakan fondasi turun ke bawah. Permukaan tanah di sekitar fondasi selanjutnya mengembang ke atas yang diikuti oleh retakan dan gerakan muka tanah di sekitar fondasi. Keadaan ini menunjukkan keruntuhan geser telah terjadi (Hardiyatmo, 2003).

2.6 Analisis Regresi

Analisis regresi digunakan untuk memprediksikan seberapa jauh perubahan nilai variabel dependen, bila nilai variabel independen dimanipulasi atau dinaik-turunkan. Kuat hubungan antar variabel yang dihasilkan dari analisis korelasi dapat diketahui berdasarkan besar kecilnya koefisien korelasi yang harganya antara minus satu (-1) sampai dengan plus satu (+1). Koefisien korelasi yang mendekati -1 atau +1 berarti hubungan variabel tersebut sempurna negatif atau sempurna positif. Bila koefisien korelasi (r) tinggi, pada umumnya koefisien regresi (b) juga tinggi, sehingga daya prediktifnya akan tinggi. Bila koefisien korelasi minus, maka pada umumnya koefisien regresi juga minus dan sebaliknya. Jadi antara korelasi dan regresi terdapat hubungan yang fungsional sebagai alat untuk analisis.

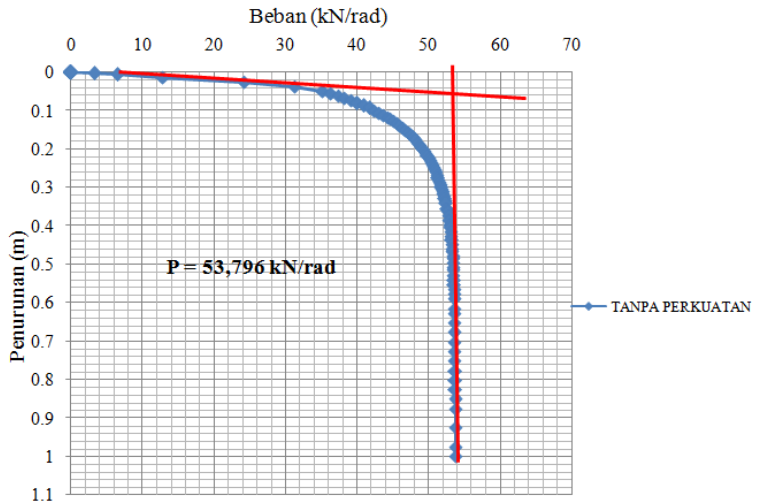
Manfaat dari hasil analisis regresi adalah untuk membuat keputusan apakah naik dan menurunnya variabel dependen dapat melalui peningkatan variabel independen atau tidak (Sugiyono, 2007).

2.7 Penelitian Terdahulu

Penelitian terdahulu terkait analisis hubungan parameter fisis batuan telah dilakukan oleh Fajrina (2016) dengan studi kasus batuan vulkanik Arjuno-Welirang. Tujuan dari penelitian yang dilakukan oleh Fajrina ialah untuk

mengkarakterisasi secara fisis batuan vulkanik terutama parameter densitas, resistivitas, kecepatan Vp dan atenuasi. Kemudian dianalisis hubungan antar parameter tersebut dalam kondisi *dry rocks*. Penelitian tersebut diawali dengan mengambil sampel batuan dan disiapkan untuk uji laboratorium dalam bentuk sampel *core*. Kemudian dilakukan pengukuran tiap parameter fisis untuk masing-masing sampel. Setiap parameter kemudian diplot pada *crossplot* untuk didapatkan hubungan antar parameter. Hubungan parameter yang didapatkan diantaranya ialah hubungan parameter densitas-kecepatan Vp, resistivitas-kecepatan Vp, densitas-resistivitas, densitas-koefisien atenuasi, kecepatan Vp-koefisien atenuasi, dan resistivitas-koefisien atenuasi. Dianalisis juga hubungan inversnya dari setiap hubungan parameter, sehingga pada akhirnya akan didapatkan hubungan dalam bentuk persamaan sederhana hasil dari regresi linier pada *crossplot* hubungan antar parameter tersebut (Fajrina, 2016).

Penelitian yang pernah dilakukan terkait analisis daya dukung dengan menggunakan perangkat lunak *plaxis* pernah dilakukan oleh Nusantara (2014) yang menganalisis daya dukung dengan perkuatan anyaman bambu dan *grid* bambu dan Yulianti (2014) yang melakukan pemodelan perkuatan pondasi dangkal pada tanah lempung menggunakan kombinasi geotekstil *woven* dan *grid* bambu dengan bantuan perangkat lunak *plaxis*. Tujuan dari penelitian Nusantara ialah untuk mengetahui besarnya daya dukung pondasi dangkal yang berada pada tanah lempung yang diberi perkuatan dengan berbagai variasi jarak perkuatan dan jumlah lapisan perkuatan dengan bantuan program *plaxis* versi 8.2. Dengan menggunakan model yang dibuat, Nusantara dan Yulianti melakukan perhitungan daya dukung tanah didasarkan pada metode Michael T. Adams dan James G. Collins yaitu dengan pembuatan grafik hubungan pembebanan dan penurunan. Salah satu contoh kurva pembebanan untuk menentukan daya dukung dari penelitian Nusantara dapat dilihat pada gambar 2.5.



Sumber: Dokumen Penulis

Gambar 2.5 Kurva Pembebanan Untuk Penentuan Daya Dukung Tanah (Nusantara 2014).

Halaman ini sengaja dikosongkan

BAB 3 METODE PENELITIAN

3.1 Alat dan Bahan

Alat dan bahan yang digunakan pada penelitian ini terbagi dalam beberapa proses. Pertama pada saat pengambilan sampel di lapangan, alat yang digunakan ialah 12 buah tabung *PVC* dengan diameter 8 cm dan tinggi 15 cm, 1 buah cangkul, aluminium *foil* dan kantong plastik secukupnya, lakban hitam, kertas label, spidol, pisau, palu dan *GPS handheld*. Saat pengukuran sampel di laboratorium, digunakan alat dan bahan seperti 12 sampel lempung undisturbed, piston untuk mengeluarkan sampel dari tabung, pisau pemotong sampel tanah, cawan atau wadah 24 buah, neraca digital, air raksa, mangkok peluberan, kaca datar yang mempunyai tiga pisau, *oven*, 24 buah piknometer, air suling, termometer dan pompa vakum. Sedangkan untuk tahap pengolahan data, dibutuhkan perangkat lunak *Microsoft Word*, *Microsoft Excel*, dan perangkat lunak untuk perhitungan penurunan tanah serta data sekunder dari perusahaan berupa parameter fisis tanah.

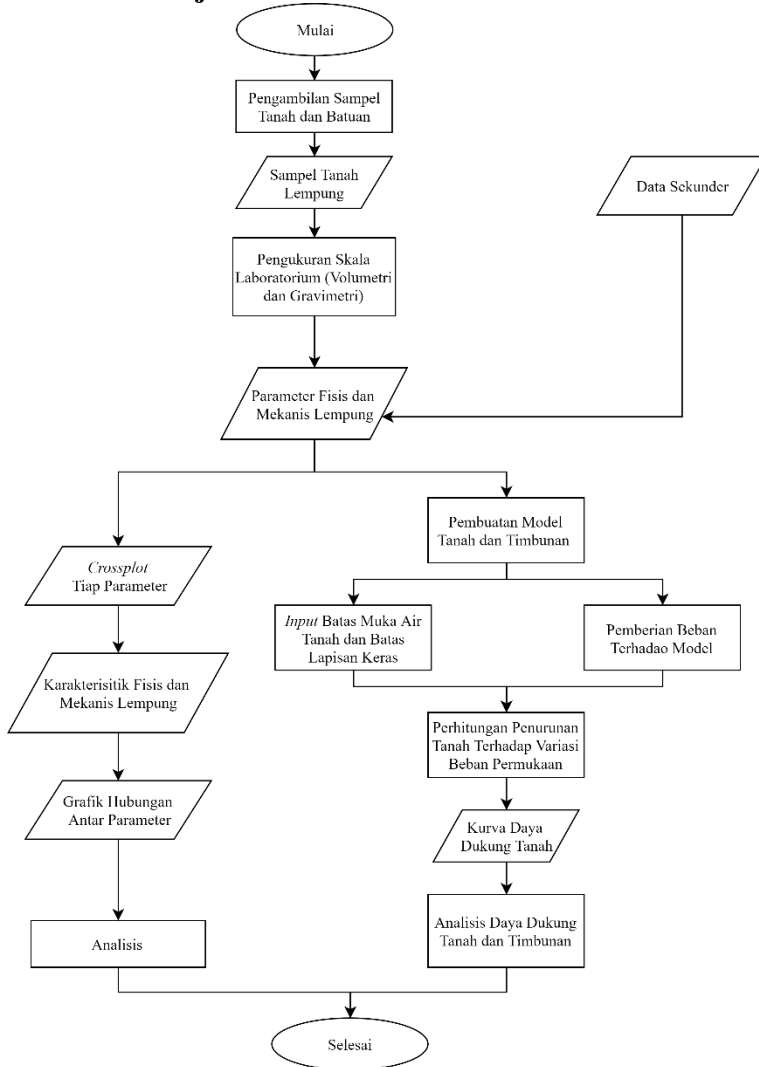
3.2 Lokasi Penelitian

Penelitian ini dilakukan di kawasan industri *Java Integrated Industrial and Port Estate* (JIPE) di Kecamatan Manyar, Kabupaten Gresik, Jawa Timur. Berdasarkan peta geologi lokasi penelitian berada di daerah pesisir pantai dengan endapan alluvium (Qa). Lokasi pengambilan sampel lempung berada di area reklamasi dengan 12 titik pengambilan sampel yang ditandai dengan pin kuning seperti pada gambar 3.1. Jarak antar titik pengambilan sampel 30 m.

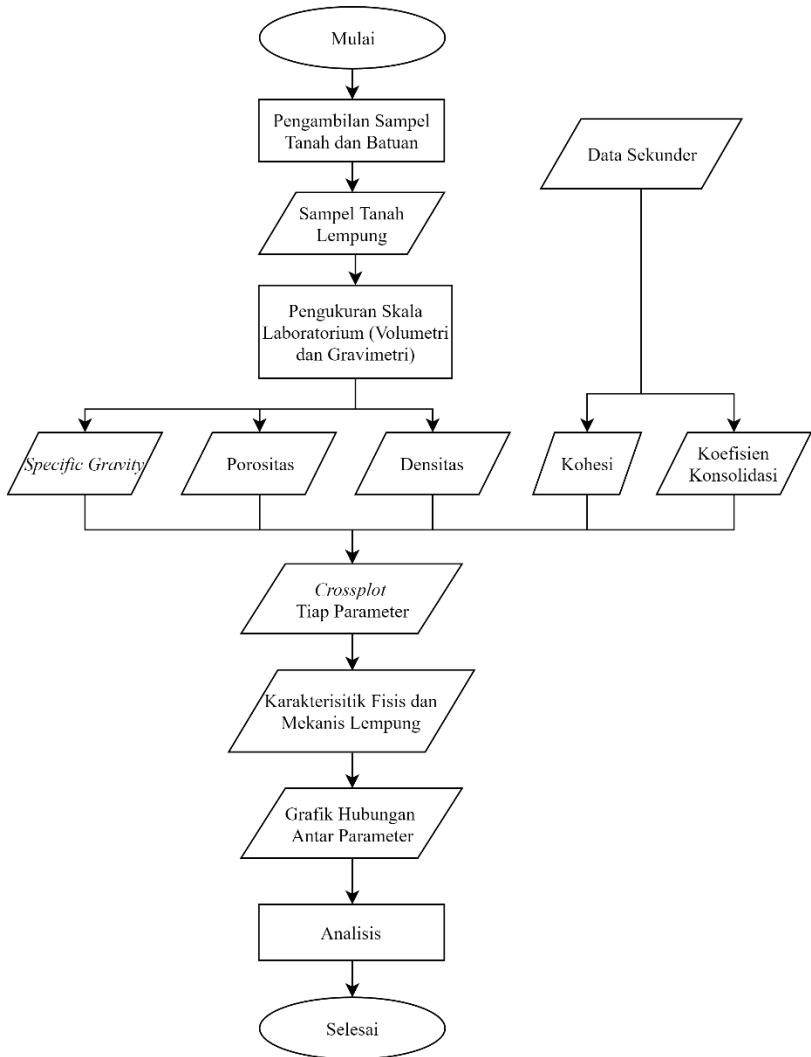


Gambar 3.1 Lokasi pengambilan sampel lempung

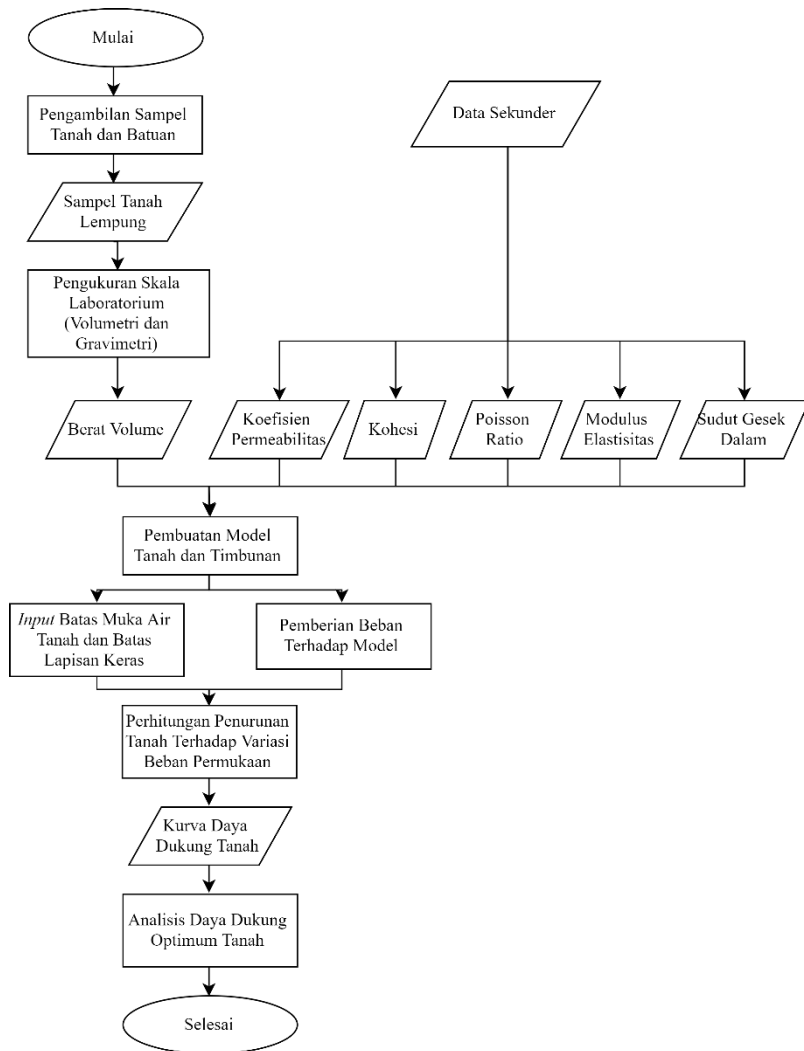
3.3 Skema Kerja



Gambar 3.2 Skema kerja penelitian secara umum



Gambar 3.3 Skema kerja analisis sifat fisis lempung



Gambar 3.4 Skema kerja analisis daya dukung tanah

3.4 Alur Kerja

Alur kerja pada penelitian ini terbagi menjadi beberapa tahap yang dimulai dengan pengambilan sampel lempung di lapangan penelitian, dilanjutkan dengan pengukuran volumetri / gravimetri, dan terakhir pengolahan dan analisis data. Pengambilan sampel dilakukan setelah menentukan lokasi atau titik

koordinat pada *Google Earth*, adapun langkah pengambilan sampel lempung sebagai berikut,

1. Tanah di lokasi digali dengan cangkul sedalam kurang lebih 10 – 20 cm, untuk mendapatkan sampel tanah asli
2. Permukaan tanah yang sudah digali diratakan
3. Tabung sampel (tabung *PVC*) diletakkan tegak lurus diatas permukaan tanah. Kemudian tabung ditekan hingga tenggelam semua. Palu bisa digunakan untuk mendorong tabung hingga sepenuhnya tenggelam
4. Tanah digali untuk diambil tabung sampelnya
5. Kedua sisi tabung diratakan dengan pisau, kemudian ditutup dengan aluminium foil dan kantong plastik agar sampel tetap terjaga keasliannya. Berikan kode sampel pada tabung dengan menggunakan kertas label
6. Langkah 1 – 6 diulangi untuk lokasi dan sampel lainnya.
7. Sampel disimpan pada wadah yang telah disediakan

Setelah sampel didapatkan, selanjutnya dilakukan pengukuran data di laboratorium mekanika tanah. Uji yang dilakukan ialah uji volumetri dan gravimetri guna mendapatkan parameter tanah berupa berat volume, densitas, porositas, kadar air, *specific gravity* dan lain-lain. Langkah-langkah yang dilakukan pada uji volumetri dan gravimetri ialah sebagai berikut:

- a. Tes untuk mendapatkan berat volume
 1. Sampel tanah yang akan diuji dikeluarkan dari dalam tabung secara perlahan sehingga keadaan tanahnya tidak berubah.
 2. Dengan menggunakan pisau, sampel tanah yang telah disiapkan pada langkah no. 1 dipotong secara perlahan-lahan dan sedikit demi sedikit hingga didapatkan bentuk persegi dengan ukuran 2 x 2 x 2 cm
 3. Sampel tanah dimasukkan kedalam cawan dan kemudian ditimbang untuk mengetahui beratnya.
 4. Sampel tanah yang telah disiapkan pada langkah no. 2 ditentukan volumenya dengan menggunakan air raksa, gelas kaca, dan kaca datar yang mempunyai tiga paku. Caranya, gelas kaca diisi dengan air raksa hingga penuh (gelas kaca harus diletakkan didalam mangkok peluberan). Dengan menggunakan kaca datar yang mempunyai tiga paku, ratakan permukaan air raksa didalam gelas kaca (kelebihan air raksa yang tumpah ditampung dalam mangkok peluberan).
 5. Bersihkan kelebihan air raksa yang tertumpah kedalam mangkok peluberan dan letakkan gelas kaca kembali kedalam mangkok peluberan.

6. Masukkan tanah yang telah disiapkan pada langkah no. 2 kedalam gelas kaca yang berisi air raksa (tanah akan mengapung). Dengan menggunakan kaca datar yang mempunyai tiga paku, tanah ditekan masuk kedalam air raksa secara perlahan-lahan hingga tanah terendam kedalam air raksa. Kelebihan air raksa yang mengalir keluar dari gelas kaca akan ditampung dalam mangkok peluberan. Timbang berat air raksa dalam mangkok peluberan untuk digunakan dalam menentukan volume tanah yang diuji.
 7. Langkah no. 1 – 6 diulangi untuk setiap sampel tanah, masing-masing tabung sampel diambil 2 buah sampel untuk disiapkan pada langkah no. 2.
- b. Tes untuk menentukan kadar air
1. Sampel tanah dan cawan yang sudah ditentukan beratnya pada uji berat volume dimasukkan kedalam oven kira-kira selama 24 jam
 2. Setelah 24 jam dikeringkan dalam oven, timbang kembali cawan + sampel tanah yang kering untuk mendapatkan berat kering tanah.
 3. Lakukan perhitungan untuk mendapatkan kadar air
 4. Langkah no. 1 – 4 diulangi untuk semua sampel yang diuji
- c. Tes untuk menentukan *specific gravity*
1. Sampel tanah yang telah dioven pada uji sebelumnya dihancurkan dengan cara ditumbuk hingga halus
 2. Piknometer yang kering dan bersih disiapkan, kemudian ditimbang berat kosongnya
 3. Piknometer diisi dengan sampel tanah yang telah dihancurkan, kemudian ditimbang beratnya
 4. Piknometer yang telah diisi dengan sampel tanah kemudian ditambahkan air suling sebanyak 250 ml dan ditunggu kurang lebih 15 menit.
 5. Hilangkan udara dari campuran tanah + air tersebut secara perlahan-lahan dengan cara, memasang piknometer pada pompa vakum. Kemudian nyalakan pompanya sehingga campuran air + tanah akan digodok dan pompa vakum akan menarik keluar gelembung-gelembung udara yang ada didalam piknometer, langkah ini dilakukan selama kurang lebih 30 menit
 6. Setelah selesai divakum, piknometer + air + tanah ditambahkan air suling hingga mencapai garis batas piknometer
 7. Kemudian ditimbang beratnya, dan diukur temperature campuran air + tanahnya dengan menggunakan termometer
 8. Temperatur air suling juga diukur
 9. Dilakukan perhitungan untuk mendapatkan *specific gravity*.

Setelah uji di laboratorium dilakukan, selanjutnya dilakukan perhitungan dan pengolahan data. Data sekunder yang didapatkan dari uji triaxial dan uji

konsolidasi yang dilakukan perusahaan diolah dan dihitung juga. Setelah parameter fisis yang ingin dianalisis didapatkan, dilakukan plot persebaran data untuk mengetahui apakah data terdistribusi secara normal. Kemudian dianalisis hubungan parameter secara regresi dengan menggunakan *Microsoft Excel*. Selanjutnya dilakukan pemodelan pembebanan untuk mengetahui nilai penurunan tanahnya, sehingga dapat dianalisis daya dukung optimum tanah untuk setiap model yang digunakan dengan bantuan perangkat lunak untuk perhitungan penurunan tanah.

Halaman ini sengaja dikosongkan

BAB 4 HASIL DAN PEMBAHASAN

Dalam bab ini akan dibahas mengenai analisis hasil pengukuran volumetri dan gravimetri yang didapatkan nilai parameter fisis berupa berat volume, porositas, densitas, dan *specific gravity*. Selain itu akan dibahas mengenai data sekunder hasil pengukuran sampel lempung di lapangan. Dari parameter fisis yang didapatkan tersebut akan dianalisis hubungan persamaannya dengan parameter lain dan analisa persebaran datanya. Pada akhirnya akan dilakukan analisis pemodelan tanah lempung dan tanah timbunan untuk dianalisis daya dukung optimum tanahnya terhadap beban permukaan. Pada penelitian ini terdapat 12 sampel lempung yang diuji, dan 24 titik *borehole* hasil pengujian langsung di lapangan.

4.1 Analisis Parameter Fisis dan Mekanis Lempung

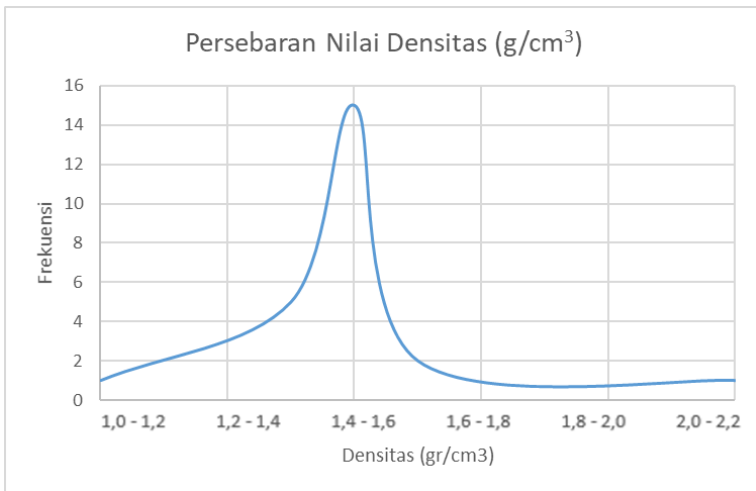
4.1.1 Analisis Densitas Lempung

Nilai densitas lempung didapatkan dari hasil pengukuran volumetri dan gravimetri, sehingga didapatkan 24 data dari 12 sampel tanah yang diuji. Setelah didapatkan nilainya, kemudian data diplot untuk mengetahui persebaran nilai densitas yang didapat, persebaran dan histogram nilai densitas disajikan pada gambar 4.1. Untuk mengetahui keberagaman data maka dihitung nilai varians dan standar deviasinya, sehingga bisa diketahui seberapa representatif nilai densitas lempung yang didapatkan di daerah penelitian ini. Data hasil pengukuran densitas ditampilkan pada tabel 4.1.

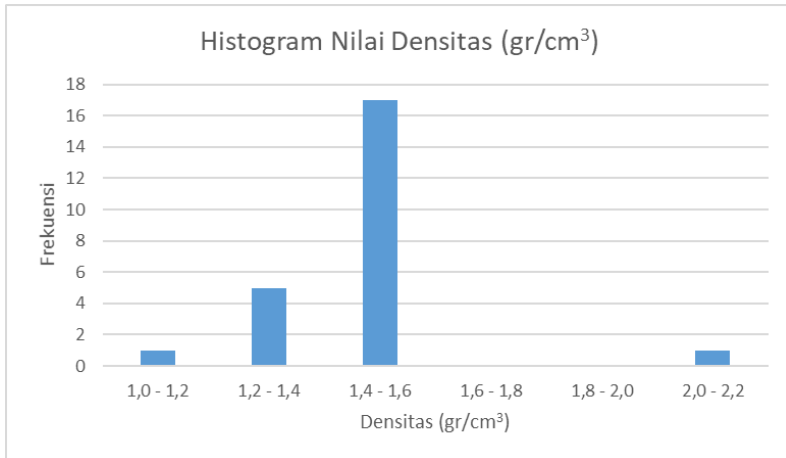
Tabel 4.1 Hasil pengukuran densitas lempung

Sampel Tanah	Densitas (gr/cm ³)	Densitas Rata-rata (gr/cm ³)	Varians	Standar Deviasi
1	1,472	1,448	0,024	0,154
	1,499			
2	1,421			
	1,423			
3	1,388			
	1,382			
4	1,343			
	1,456			
5	1,530			
	1,493			

Sampel Tanah	Densitas (gr/cm ³)	Densitas Rata-rata (gr/cm ³)	Varians	Standar Deviasi
6	1,491			
	1,410			
7	1,457			
	1,487			
8	1,359			
	1,356			
9	2,020			
	1,048			
10	1,441			
	1,427			
11	1,454			
	1,416			
12	1,471			
	1,521			



(a)



(b)

Gambar 4.1 (a) Kurva persebaran nilai densitas lempung, (b) Histogram persebaran nilai densitas lempung

Berdasarkan hasil pengukuran densitas didapatkan variasi nilai densitas lempung pada kisaran nilai 1,048 – 2,020 gr/cm³. Berdasarkan perhitungan statistik, didapatkan nilai rata-rata (*mean*) densitas 1,448 gr/cm³ dengan nilai varians 0,024 dan standar deviasi 0,154. Varians menunjukkan keberagaman data, nilai varians pada data densitas ini sangat kecil yang menunjukkan data densitas yang didapatkan tidak terlalu beragam. Sedangkan Standar deviasi digunakan untuk menggambarkan seberapa jauh bervariasi data. Jika nilai standar deviasi jauh lebih besar dibandingkan nilai *mean*, maka nilai *mean* merupakan representasi yang buruk dari keseluruhan data. Sedangkan jika nilai standar deviasi sangat kecil dibandingkan nilai *mean*, maka nilai *mean* dapat digunakan sebagai representasi dari keseluruhan data. Pada data densitas didapatkan nilai standar deviasi yang lebih kecil sehingga data densitas ini bisa dianggap representatif terhadap kondisi di lapangan.

Berdasarkan sebaran data yang ditunjukkan oleh kurva dan histogram pada gambar 4.1, dapat dilihat bahwa data densitas terpusat pada rentang nilai 1,4 – 1,6. Puncak (*peak*) yang dihasilkan juga hanya 1 puncak sehingga nilai *mean* 1,448 merupakan nilai *mean* yang bisa diterima, karena memang data terpusat di rentang nilai tersebut.

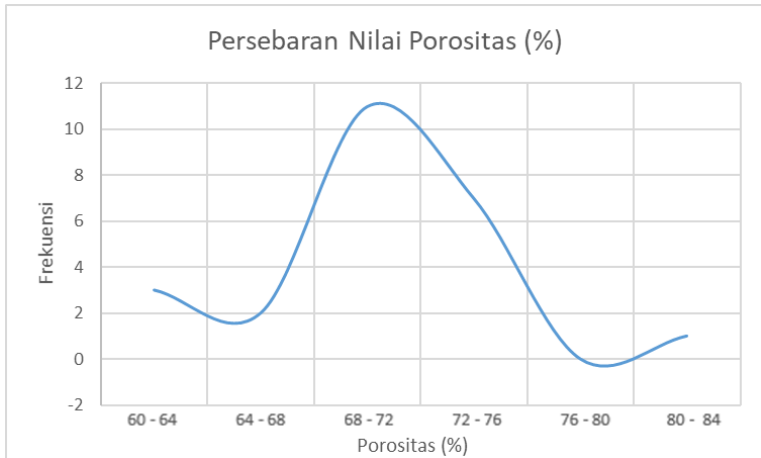
4.1.2 Analisis Porositas Lempung

Nilai porositas lempung didapatkan dari hasil pengukuran volumetri dan gravimetri. Sama dengan densitas terdapat 24 data dari 12 sampel tanah yang

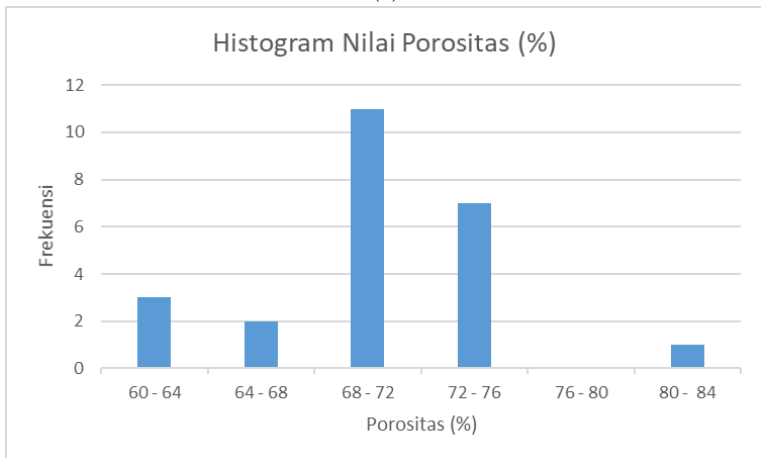
diuji. Setelah didapatkan nilainya, kemudian data diplot untuk mengetahui persebaran nilai porositas yang didapat, persebaran dan histogram nilai porositas disajikan pada gambar 4.2. Untuk mengetahui keberagaman data maka dihitung nilai varians dan standar deviasinya, sehingga bisa diketahui seberapa representatif nilai porositas lempung yang didapatkan di daerah penelitian ini. Data hasil pengukuran porositas ditampilkan pada tabel 4.2.

Tabel 4.2 Hasil pengukuran porositas lempung

Sampel Tanah	Porositas (%)	Porositas Rata-rata (%)	Varians	Standar Deviasi
1	72,54925	70,046	17,468	4,179
	67,80555			
2	73,42861			
	72,77267			
3	70,37358			
	70,67289			
4	72,75092			
	80,99441			
5	64,7803			
	69,86791			
6	69,88461			
	75,97003			
7	68,98905			
	63,89775			
8	70,11473			
	68,65712			
9	69,26657			
	69,35868			
10	72,37001			
	74,3353			
11	68,45547			
	68,59987			
12	62,46804			
	62,74665			



(a)



(b)

Gambar 4.2 (a) Kurva persebaran nilai porositas lempung, (b) Histogram persebaran nilai porositas lempung

Untuk data porositas didapatkan variasi nilai porositas lempung pada kisaran nilai 62,468 – 80,994 %. Berdasarkan perhitungan statistik, didapatkan nilai rata-rata (*mean*) porositas 70,046 % dengan nilai varians 17,468 dan standar deviasi 4,179. Dari nilai varians dan standar deviasi yang didapat, persebaran data yang didapat sudah baik walaupun tidak sebaik data densitas. Hal ini karena adanya

rentang data yang cukup jauh antara nilai porositas terendah dan porositas tertinggi.

Sedangkan berdasarkan sebaran data yang ditunjukkan oleh kurva dan histogram pada gambar 4.2, dapat dilihat bahwa data porositas terpusat pada 2 rentang nilai yang berdekatan yakni 68 – 72 % dan 72 – 76 %. Nilai *mean* yang didapatkan pada data porositas ini ialah 70,046 % dan masih dalam rentang nilai yang menjadi pusat persebaran data. Sehingga nilai *mean* tersebut masih dianggap representatif.

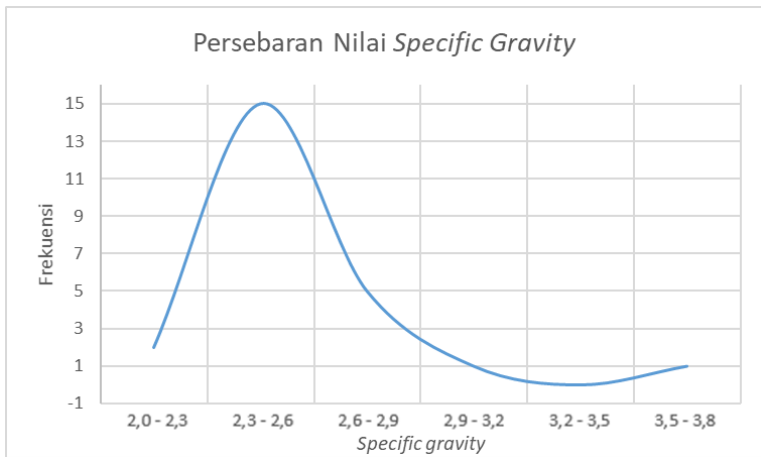
4.1.3 Analisis *Specific gravity* Lempung

Nilai *specific gravity* lempung didapatkan dari hasil pengukuran volumetri dan gravimetri. Sama dengan densitas dan porositas terdapat 24 data dari 12 sampel tanah yang diuji. Setelah didapatkan nilainya, kemudian data diplot untuk mengetahui persebaran nilai *specific gravity* yang didapat, persebaran dan histogram nilai *specific gravity* disajikan pada gambar 4.3. Untuk mengetahui keberagaman data maka dihitung nilai varians dan standar deviasinya, sehingga bisa diketahui seberapa representatif nilai *specific gravity* lempung yang didapatkan di daerah penelitian ini. Data hasil pengukuran *specific gravity* ditampilkan pada tabel 4.3.

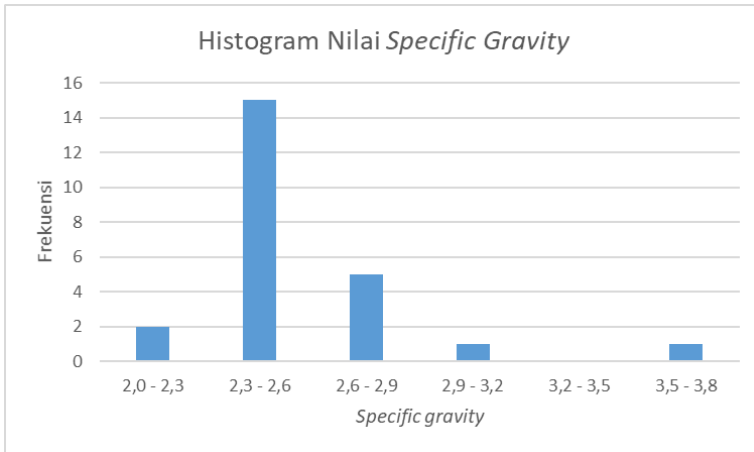
Tabel 4.3 Hasil pengukuran *specific gravity* lempung

Sampel Tanah	<i>Specific gravity</i>	<i>Specific gravity</i> Rata-rata	Varians	Standar Deviasi
1	2,8473	2,565	0,089	0,298
	2,4740			
2	2,5643			
	2,5594			
3	2,3411			
	2,3758			
4	2,6009			
	3,6511			
5	2,4168			
	2,6243			
6	2,5521			
	2,9884			
7	2,4833			
	2,2314			
8	2,4467			
	2,4648			

Sampel Tanah	<i>Specific gravity</i>	<i>Specific gravity</i> Rata-rata	Varians	Standar Deviasi
9	2,4316			
	2,4316			
10	2,6869			
	2,9004			
11	2,3896			
	2,5129			
12	2,2351			
	2,3516			



(a)



(b)

Gambar 4.3 (a) Kurva persebaran nilai *specific gravity* lempung, (b) Histogram persebaran nilai *specific gravity* lempung

Untuk data *specific gravity* didapatkan variasi nilai *specific gravity* lempung pada kisaran nilai 2,231– 3,651. Berdasarkan perhitungan statistik, didapatkan nilai rata-rata (*mean*) *specific gravity* 2,565 dengan nilai varians 0,089 dan standar deviasi 0,298. Nilai standar deviasi pada data ini kecil, dan lebih kecil dari nilai *mean* datanya. Sehingga data densitas ini bisa dianggap representatif terhadap kondisi di lapangan.

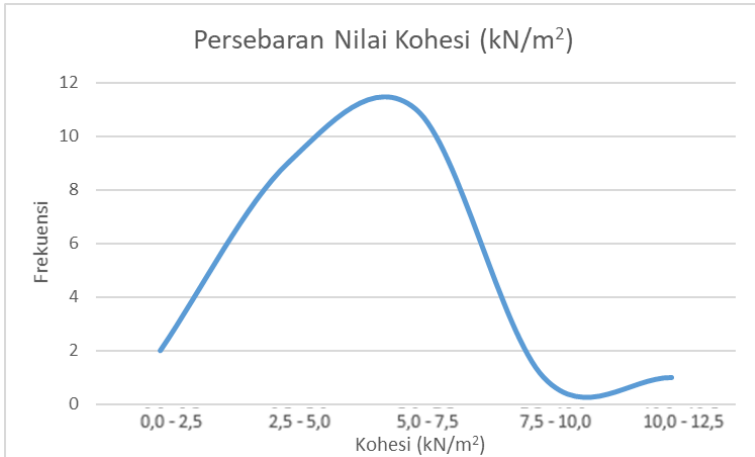
Sedangkan berdasarkan sebaran data yang ditunjukkan oleh kurva dan histogram pada gambar 4.3, dapat dilihat bahwa data *specific gravity* terpusat pada 1 rentang nilai yaitu 2,3 – 2,6. Puncak (*peak*) yang dihasilkan juga hanya 1 puncak sehingga nilai *mean* 2,565 yang berada dikelas pemusatan data merupakan nilai *mean* yang bisa diterima.

4.1.4 Analisis Kohesi Lempung

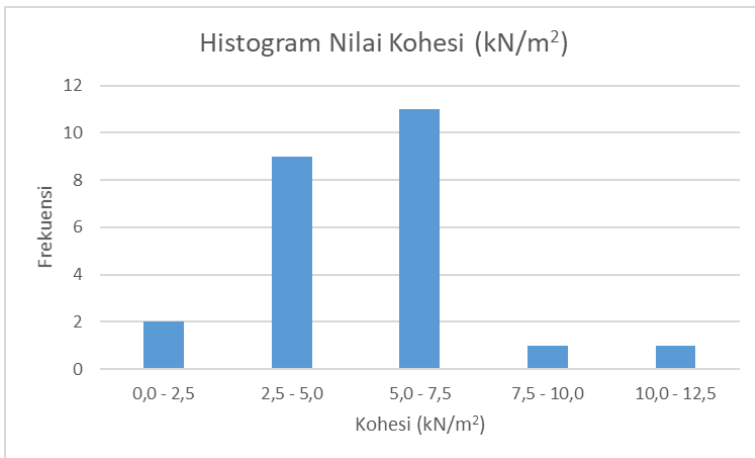
Nilai kohesi lempung didapatkan dari sata sekunder hasil uji triaxial oleh pihak perusahaan. Terdapat 24 nilai kohesi lempung yang diperoleh dari 24 titik *borehole* yang dipilih. Setelah didapatkan nilainya, kemudian data diplot untuk mengetahui persebaran nilai kohesi yang didapat, persebaran dan histogram nilai kohesi disajikan pada gambar 4.4. Untuk mengetahui keberagaman data maka dihitung nilai varians dan standar deviasinya, sehingga bisa diketahui seberapa representatif nilai kohesi lempung yang didapatkan di daerah penelitian ini. Data hasil pengukuran kohesi ditampilkan pada tabel 4.4.

Tabel 4.4 Hasil pengukuran kohesi lempung

<i>Borehole</i>	Kohesi (KN/m²)	Kohesi Rata-rata (KN/m²)	Varians	Standar Deviasi
BH17	5,785924	5,238	5,297	2,301
BH18	12,16025			
BH19	3,138128			
BH20	8,433719			
BH21	3,726527			
BH22	2,647796			
BH23	2,25553			
BH24	4,707192			
BH25	6,962722			
BH26	3,726527			
BH27	1,96133			
BH28	7,060788			
BH29	5,197525			
BH30	3,432328			
BH31	6,472389			
BH32	5,393658			
BH33	7,060788			
BH34	4,020727			
BH35	3,92266			
BH36	3,138128			
BH37	7,354988			
BH38	6,276256			
BH39	5,687857			
BH40	5,197525			



(a)



(b)

Gambar 4.4 (a) Kurva persebaran nilai kohesi lempung, (b) Histogram persebaran nilai kohesi lempung

Untuk data kohesi didapatkan variasi nilai kohesi lempung pada kisaran nilai $1,96 - 12,16 \text{ kN/m}^2$. Berdasarkan perhitungan statistik, didapatkan nilai rata-rata (*mean*) kohesi $5,238 \text{ kN/m}^2$ dengan nilai varians $5,297$ dan standar deviasi $2,301$. Nilai standar deviasi yang didapat tidak terlalu kecil, persebaran data yang didapat sudah baik sama halnya dengan data porositas.

Sedangkan berdasarkan sebaran data yang ditunjukkan oleh kurva dan histogram pada gambar 4.4, dapat dilihat bahwa data porositas terpusat pada 2 rentang nilai yang berdekatan yaitu 2,5 – 5,0 kN/m² dan 5,0 – 7,5 kN/m². Nilai *mean* yang didapatkan pada data kohesi ini ialah 5,238 kN/m² dan masih dalam rentang nilai yang menjadi pusat persebaran data. Sehingga nilai *mean* tersebut masih dianggap representatif.

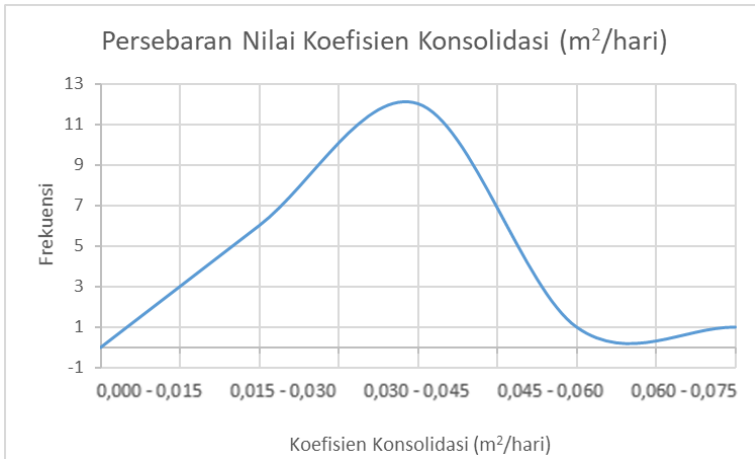
4.1.5 Analisis Koefisien Konsolidasi Lempung

Nilai koefisien konsolidasi lempung didapatkan dari data sekunder hasil uji konsolidasi oleh pihak perusahaan. Terdapat 20 nilai koefisien konsolidasi lempung yang diperoleh dari 20 titik *borehole* yang dilakukan uji ini. Setelah didapatkan nilainya, kemudian data diplot untuk mengetahui persebaran nilai koefisien konsolidasi yang didapat, persebaran dan histogram nilai kohesi disajikan pada gambar 4.5. Untuk mengetahui keberagaman data maka dihitung nilai varians dan standar deviasinya, sehingga bisa diketahui seberapa representatif nilai koefisien konsolidasi lempung yang didapatkan di daerah penelitian ini. Data hasil pengukuran koefisien konsolidasi ditampilkan pada tabel 4.5.

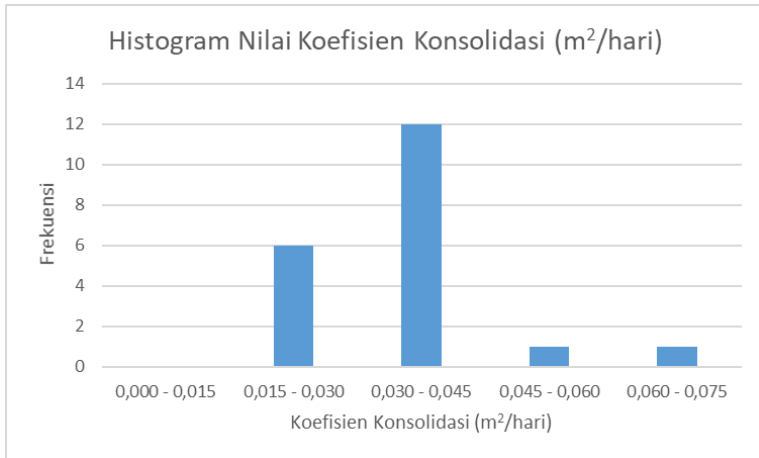
Tabel 4.5 Hasil pengukuran koefisien konsolidasi lempung

<i>Borehole</i>	Koefisien Konsolidasi (m ² /day)	Koefisien Konsolidasi Rata-rata (m ² /day)	Varians	Standar Deviasi
BH1	0,024743	0,339	9,348x10 ⁻⁵	0,0096
BH3	0,039318			
BH5	0,019586			
BH7	0,018838			
BH9	0,030804			
BH11	0,025507			
BH13	0,032571			
BH15	0,034715			
BH17	0,040375			
BH19	0,061553			
BH21	0,047439			
BH23	0,042745			
BH25	0,035576			
BH27	0,033761			
BH29	0,035331			
BH31	0,028833			
BH33	0,030128			

Borehole	Koefisien Konsolidasi (m²/day)	Koefisien Konsolidasi Rata-rata (m²/day)	Varians	Standar Deviasi
BH35	0,028235			
BH37	0,032801			
BH39	0,03553			



(a)



(b)

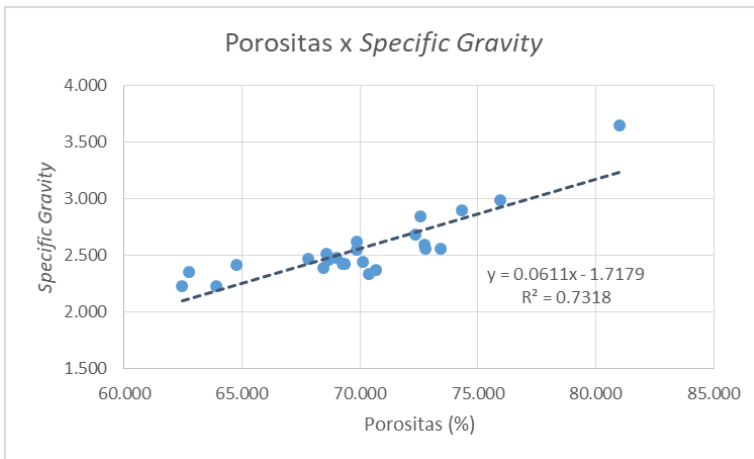
Gambar 4.5 (a) Kurva persebaran nilai koefisien konsolidasi lempung, (b) Histogram persebaran nilai koefisien konsolidasi lempung

Untuk data koefisien konsolidasi didapatkan variasi nilai koefisien konsolidasi lempung pada kisaran nilai 0,0118 – 0,0616 m²/hari. Berdasarkan perhitungan statistik, didapatkan nilai rata-rata (*mean*) koefisien konsolidasi 0,0339 m²/hari dengan nilai varians $9,348 \times 10^{-5}$ dan standar deviasi 0,0096. Nilai standar deviasi pada data ini kecil, dan lebih kecil dari nilai *mean* datanya. Sehingga data densitas ini bisa dianggap representatif terhadap kondisi di lapangan.

Sedangkan berdasarkan sebaran data yang ditunjukkan oleh kurva dan histogram pada gambar 4.5, dapat dilihat bahwa data koefisien konsolidasi terpusat pada 1 rentang nilai yaitu 0,030 – 0,045. Puncak (*peak*) yang dihasilkan juga hanya 1 puncak (unimodal) sehingga nilai *mean* 0,0338 yang berada dikelas pemusatan data merupakan nilai *mean* yang baik.

4.2 Analisis Hubungan Parameter Fisis Lempung

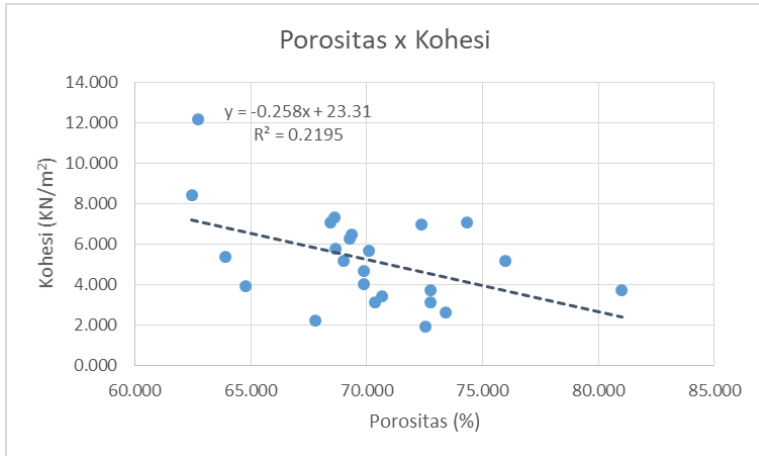
4.2.1 Analisis Hubungan Porositas dan *Specific gravity*



Gambar 4.6 *Crossplot* hubungan Porositas dan *Specific gravity*

Dari hasil *crossplot* pada gambar 4.6 didapatkan bahwa kenaikan *specific gravity* berpengaruh terhadap kenaikan nilai porositas lempung. Dari persamaan yang dihasilkan menunjukkan bahwa semakin besar nilai *specific gravity* maka akan semakin besar juga nilai porositasnya atau berbanding lurus. Dari perhitungan pada *Microsoft Excel*, didapatkan nilai koefisien korelasinya sebesar 0,855475 dan koefisien determinasi 0,7318 yang berarti korelasi antara porositas dan *specific gravity* kuat. Karena semakin nilai koefisien korelasi mendekati 1 atau -1 maka korelasinya sangat baik. Sehingga didapatkan persamaan sederhana hubungan *specific gravity* – porositas $y = 0,0611x - 1,7179$.

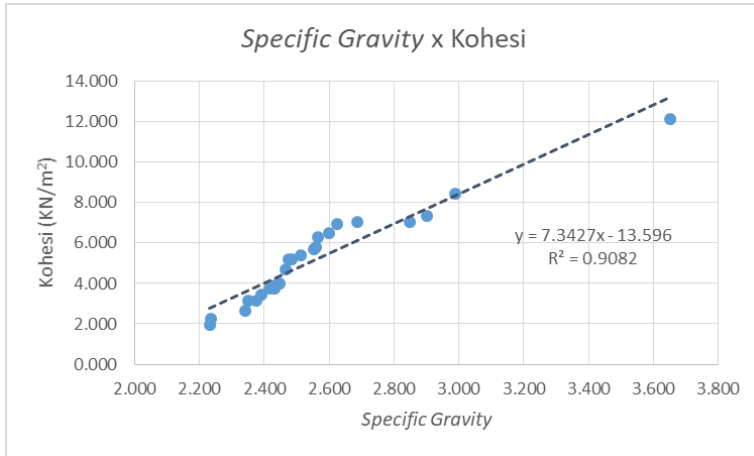
4.2.2 Analisis Hubungan Porositas dan Kohesi



Gambar 4.7 *Crossplot* hubungan Porositas dan Kohesi

Dari hasil *crossplot* pada gambar 4.7 didapatkan bahwa kenaikan porositas berpengaruh terhadap nilai kohesi lempung. Dari persamaan yang dihasilkan menunjukkan bahwa semakin besar nilai porositas maka akan semakin kecil nilai kohesinya atau berbanding terbalik. Dari perhitungan pada *Microsoft Excel*, didapatkan nilai koefisien korelasinya sebesar $-0,46848$ dan koefisien determinasinya 0.2195 yang berarti korelasi antara porositas dan kohesi sedang, perubahan nilai porositas tidak terlalu berpengaruh terhadap perubahan nilai kohesi. Sehingga didapatkan persamaan sederhana hubungan kohesi – porositas $y = -0,258x - 23,31$.

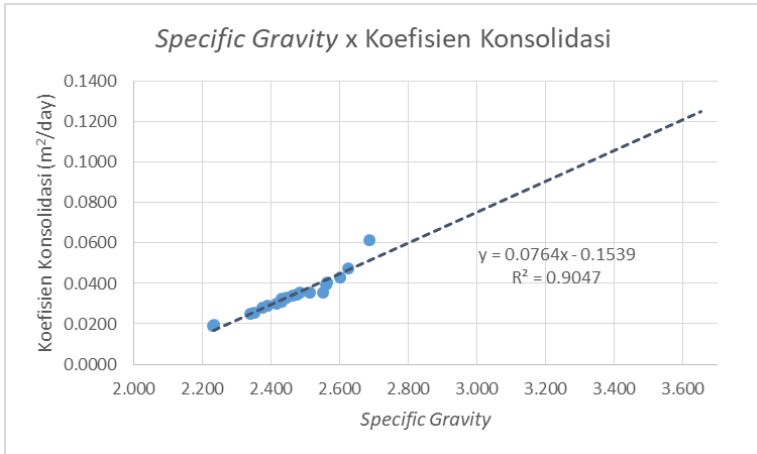
4.2.3 Analisis Hubungan *Specific gravity* dan Kohesi



Gambar 4.8 *Crossplot* hubungan *Specific gravity* dan Kohesi

Dari hasil *crossplot* pada gambar 4.8 didapatkan bahwa kenaikan *specific gravity* berpengaruh terhadap kenaikan nilai kohesi lempung. Dari persamaan yang dihasilkan menunjukkan bahwa semakin besar nilai *specific gravity* maka akan semakin besar juga nilai kohesinya atau berbanding lurus. Dari perhitungan pada *Microsoft Excel*, didapatkan nilai koefisien korelasinya sebesar 0,953009 dan koefisien determinasinya 0.9082 yang berarti korelasi antara porositas dan *specific gravity* sangatlah kuat karena hampir mendekati 1, perubahan nilai *specific gravity* akan sangat berpengaruh terhadap perubahan nilai kohesi. Sehingga didapatkan persamaan sederhana hubungan kohesi - *specific gravity* $y = 7,3427x - 13,596$.

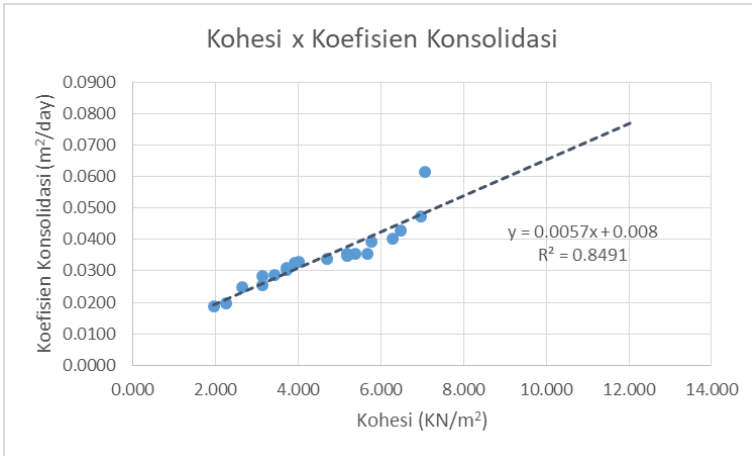
4.2.4 Analisis Hubungan *Specific gravity* dan Koefisien Konsolidasi



Gambar 4.9 *Crossplot* hubungan *Specific gravity* dan Koefisien Konsolidasi

Dari hasil *crossplot* pada gambar 4.9 didapatkan bahwa kenaikan *specific gravity* berpengaruh terhadap kenaikan nilai koefisien konsolidasi lempung. Dari persamaan yang dihasilkan menunjukkan bahwa semakin besar nilai *specific gravity* maka akan semakin besar juga nilai koefisien konsolidasinya atau berbanding lurus. Dari perhitungan pada *Microsoft Excel*, didapatkan nilai koefisien korelasinya sebesar 0,951179 dan koefisien determinasinya 0.9047 yang berarti korelasi antara porositas dan *specific gravity* sangatlah kuat karena hampir mendekati 1, perubahan nilai *specific gravity* akan sangat berpengaruh terhadap nilai koefisien konsolidasi. Sehingga didapatkan persamaan sederhana hubungan koefisien konsolidasi - *specific gravity* $y = 0,0764 x - 0,1539$

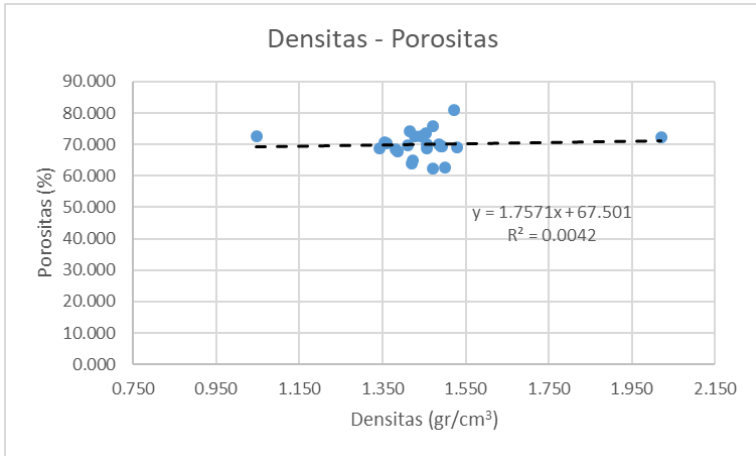
4.2.5 Analisis Hubungan Kohesi dan Koefisien Konsolidasi



Gambar 4.10 *Crossplot* hubungan Kohesi dan Koefisien Konsolidasi

Dari hasil *crossplot* pada gambar 4.10 didapatkan bahwa kenaikan koefisien konsolidasi berpengaruh terhadap kenaikan nilai kohesi lempung. Dari persamaan yang dihasilkan menunjukkan bahwa semakin besar nilai koefisien konsolidasi maka akan semakin besar juga nilai kohesinya atau berbanding lurus. Dari perhitungan pada *Microsoft Excel*, didapatkan nilai koefisien korelasinya sebesar 0,921476 dan koefisien determinasinya 0,8491 yang berarti korelasi antara porositas dan koefisien konsolidasi sangatlah kuat karena hampir mendekati 1, perubahan nilai kohesi akan mempengaruhi nilai koefisien konsolidasi. Sehingga didapatkan persamaan sederhana hubungan koefisien konsolidasi - kohesi $y = 0,0057x - 0,008$.

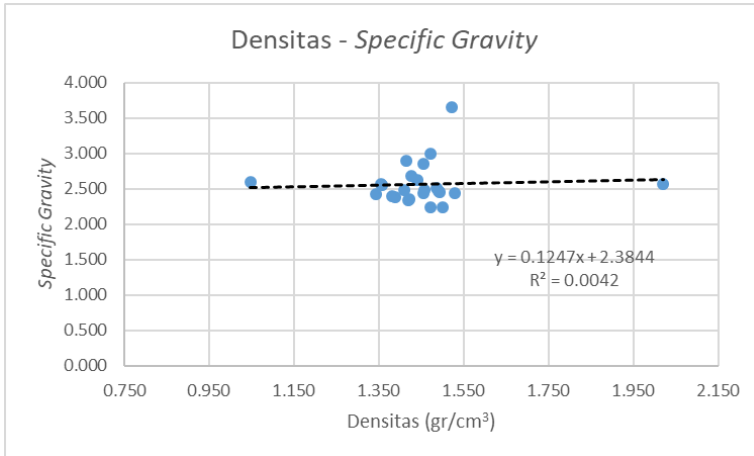
4.2.6 Analisis Hubungan Densitas dan Porositas



Gambar 4.11 *Crossplot* hubungan Densitas dan Porositas

Dari hasil *crossplot* pada gambar 4.11 dapat dilihat bahwa *trend* data yang dihasilkan tidak menunjukkan hubungan positif maupun negatif yang kuat, nilai koefisien korelasi yang didapatkan ialah 0,064 dan koefisien determinasinya 0,0042 yang berarti korelasi antara densitas dan porositas sangatlah lemah karena dibawah 0,1 dan jauh dari -1 atau 1. Sehingga dapat disimpulkan bahwa perubahan nilai pada kedua parameter ini tidak mempengaruhi nilai satu sama lain.

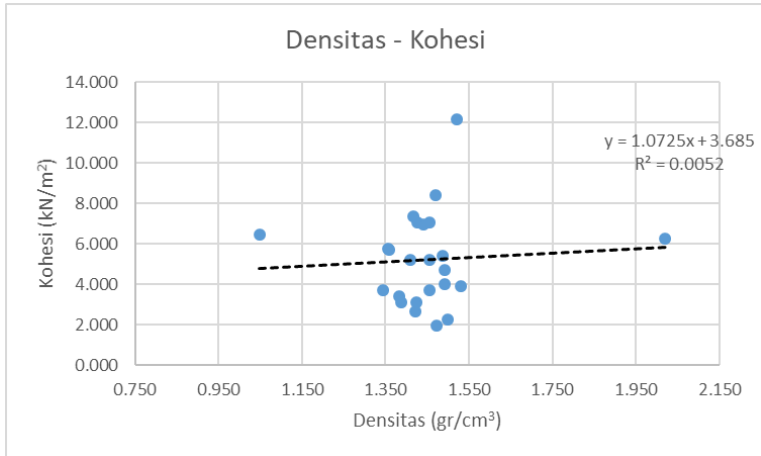
4.2.7 Analisis Hubungan Densitas dan *Specific gravity*



Gambar 4.12 *Crossplot* hubungan Densitas dan *Specific gravity*

Dari hasil *crossplot* pada gambar 4.12 dapat dilihat bahwa *trend* data yang dihasilkan tidak menunjukkan hubungan positif dan negatif yang kuat, nilai koefisien korelasi yang didapatkan ialah 0,064 dan koefisien determinasinya 0,0042 yang berarti korelasi antara densitas dan *specific gravity* sangatlah lemah karena dibawah 0,1 dan jauh dari -1 atau 1. Sehingga dapat disimpulkan bahwa perubahan nilai pada kedua parameter ini tidak mempengaruhi nilai satu sama lain.

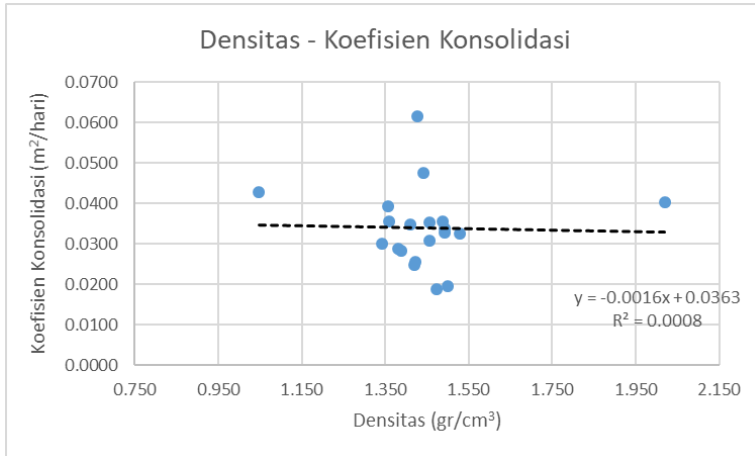
4.2.8 Analisis Hubungan Densitas dan Kohesi



Gambar 4.13 *Crossplot* hubungan Densitas dan Kohesi

Dari hasil *crossplot* pada gambar 4.13 dapat dilihat bahwa *trend* data yang dihasilkan tidak menunjukkan hubungan positif maupun negatif yang kuat, nilai koefisien korelasi yang didapatkan ialah 0,072 dan koefisien determinasinya 0,0052 yang berarti korelasi antara densitas dan kohesi sangatlah lemah karena dibawah 0,1 dan jauh dari -1 atau 1. Sehingga dapat disimpulkan bahwa perubahan nilai pada kedua parameter ini tidak mempengaruhi nilai satu sama lain.

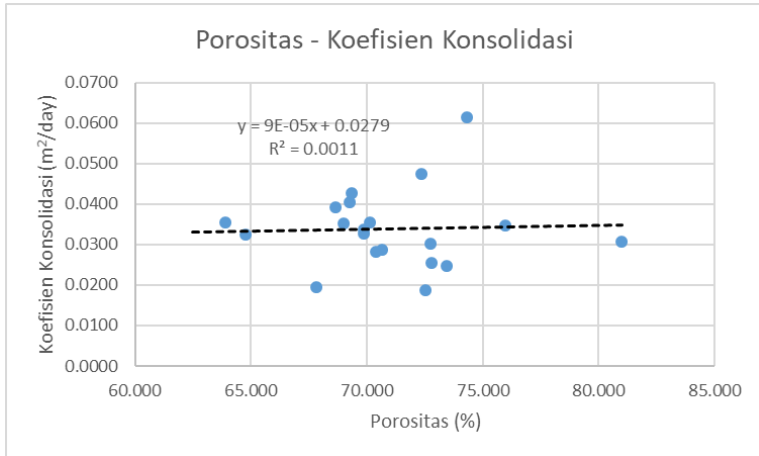
4.2.9 Analisis Hubungan Densitas dan Koefisien Konsolidasi



Gambar 4.14 *Crossplot* hubungan Densitas dan Koefisien Konsolidasi

Dari hasil *crossplot* pada gambar 4.14 dapat dilihat bahwa *trend* data yang dihasilkan tidak menunjukkan hubungan positif maupun negatif yang kuat, nilai koefisien korelasi yang didapatkan ialah -0,028 dan koefisien determinasinya 0,0008 yang berarti korelasi antara densitas dan koefisien konsolidasi sangatlah lemah karena dibawah 0,1 dan jauh dari -1 atau 1. Sehingga dapat disimpulkan bahwa perubahan nilai pada kedua parameter ini tidak mempengaruhi nilai satu sama lain.

4.2.10 Analisis Hubungan Porositas dan Koefisien Konsolidasi



Gambar 4.15 *Crossplot* hubungan Porositas dan Koefisien Konsolidasi

Dari hasil *crossplot* pada gambar 4.15 dapat dilihat bahwa *trend* data yang dihasilkan tidak menunjukkan hubungan positif maupun negatif yang kuat, nilai koefisien korelasi yang didapatkan ialah 0,033 dan koefisien determinasinya 0,0011 yang berarti korelasi antara porositas dan koefisien konsolidasi sangatlah lemah karena dibawah 0,1 dan jauh dari -1 atau 1. Sehingga dapat disimpulkan bahwa perubahan nilai pada kedua parameter ini tidak mempengaruhi nilai satu sama lain.

4.3 Analisis Daya Dukung Optimum Tanah

Penentuan daya dukung tanah dilakukan dengan melakukan pemodelan tanah lempung dan tanah timbunan dengan bantuan perangkat lunak untuk perhitungan penurunan tanah. Setelah model tanah lempung dan timbunan dibuat, selanjutnya diberikan beban yang bervariasi untuk melihat perpindahan / penurunan tanah akibat adanya beban di permukaan. Daya dukung optimum didapatkan dari kurva beban dan penurunan, dimana beban optimum yang bisa diterima oleh tanah bisa dilihat di kurva ini yaitu saat terjadinya pembelokan kurva yang awalnya linier menjadi parabola. Pada penelitian ini terdapat 4 buah model tanah, yang pertama ialah model tanah dasar (lempung) saja, model kedua tanah lempung dan tanah timbunan (*limestone*), model yang ketiga ialah tanah lempung dan tanah timbunan (pasir + *limestone*), dan model yang keempat ialah model JETTY dimana timbunannya terdiri dari batu (andesit), pasir, *limestone* dan agregat.

Untuk membuat model dan analisis daya dukung di perangkat lunak untuk perhitungan penurunan tanah, dibutuhkan *input* data parameter fisis tanah. Berikut pada tabel 4.6 ditampilkan parameter fisis untuk masing-masing tanah atau batuan yang digunakan. Data yang digunakan selain dari pengukuran langsung dan data sekunder, juga didapatkan dari penelitian dan referensi lain. Nilai *Poisson's ratio* dari lempung didapatkan dari buku Mekanika Tanah 1 oleh Hardiyatmo (2002), data *limestone* didapatkan dari penelitian Putra (2018) dan Haras (2017), koefisien permeabilitas dari penelitian Ishibashi (2011), dan koefisien konsolidasi andesit dan agregat dari penelitian Adajar (2016).

Tabel 4.6 Data parameter fisis yang digunakan

Parameter	Lempung	Limestone	Pasir	Batu (andesit)	Agregat
Unit Weight (γ) (kN/m ³)	14,2	18,838	17	22	21
Koefisien Permeabilitas (k) (m/hari)	$9,00 \times 10^{-5}$	$5,16 \times 10^{-6}$	0,432	$4,49 \times 10^{-8}$	$9,63 \times 10^{-8}$
Modulus Elastisitas (E) (kN/m ²)	1723,538	6965,536	120000	6670000	5700000
Poisson's ratio (μ)	0,4	0,24	0,3	0,2	0,2
Kohesi (c) (kN/m ²)	5,238	5,129	15	10	12
Sudut gesek dalam (ϕ)	6	44	33	35	35
Keterangan	Data Primer	Data Sekunder		Data Referensi	

Dalam analisis daya dukung, pertama yang dilakukan ialah membuat model tanah dan timbunan. Kemudian menentukan jenis tanah atau batuan tiap lapisan, menentukan tinggi muka air tanah dan batas lapisan keras. Pada penelitian ini tidak dilakukan pengamatan tinggi muka air tanah dan batas lapisan keras, sehingga tinggi muka air tanah pada penelitian ini ditentukan yakni pada kedalaman 4 m, berada tepat pada batas lapisan antara tanah dasar (lempung) dan tanah timbunan. Lapisan keras pada penelitian ini juga ditetapkan yakni pada kedalaman 20 m atau tepat dibatas bawah lapisan lempung. Rincian perilaku yang dijadikan batasan (ditetapkan) untuk masing-masing model bisa dilihat

pada tabel 4.7. Kemudian setiap model diberi beban permukaan yang berbeda guna mengamati penurunan tanahnya yang kemudian digunakan untuk analisis daya dukung optimum tanahnya.

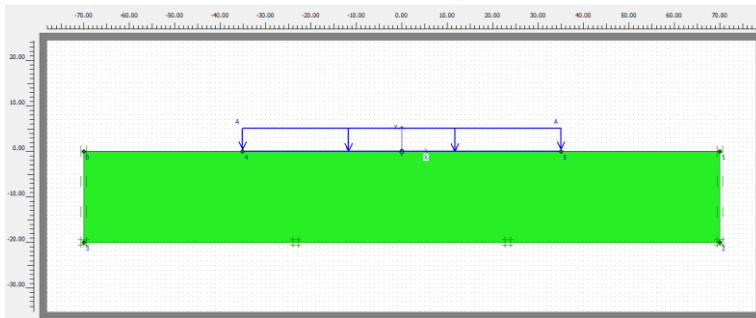
Tabel 4.7 Rincian perilaku yang ditetapkan untuk setiap model penelitian

Model	Perilaku						
	Panjang model	Tebal Model	Tinggi Muka Air Tanah	Batas Lapisan Keras	Panjang Beban Permukaan	Waktu Pembebanan	Jumlah Lapisan
1	140 m	20 m	-4 m	-20 m	70 m	365 hari	1
2							2
3							3
4							5

Penentuan daya dukung optimum tanah berdasarkan kurva yang dihasilkan. Daya dukung batas ialah nilai beban ketika kurva mulai berbelok yang awalnya garis lurus linier. Hal ini karena ketika suatu tanah atau material diberi tekanan (beban) maka sifat elastis dari tanah akan merespon beban tersebut sehingga terjadi penurunan tanah. Awalnya penurunan tanah akan berhubungan secara linier dengan penambahan beban, tetapi ketika sudah mencapai batas elastisnya yakni fase keruntuhan. Maka penurunan tanah akan naik dan terus terjadi walaupun beban yang diberikan konstan. Sehingga ketika diberikan beban terus menerus maka kondisi tanah akan runtuh dan mengalami penurunan tanah yang sangat besar. Batas dari beban sebelum tanah mengalami keruntuhan inilah yang disebut dengan daya dukung batas / optimum tanah. Secara kurva, daya dukung batas ialah titik ketika perbedaan nilai beban sedikit namun perbedaan penurunannya sangat besar.

4.3.1 Model 1

Model 1 untuk penelitian ini terdiri dari 1 lapisan tanah yakni tanah lempung saja dengan ketebalan 20 m dengan beban merata sepanjang 70 m. Model 1 bisa dilihat pada gambar 4.16.

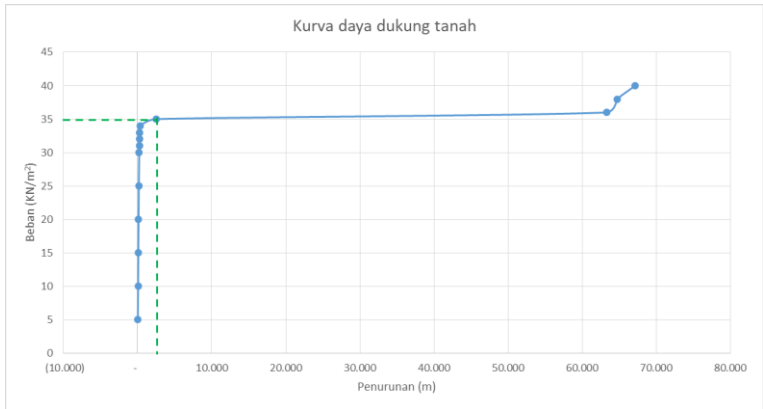


Gambar 4.16 Model 1 (Lapisan lempung)

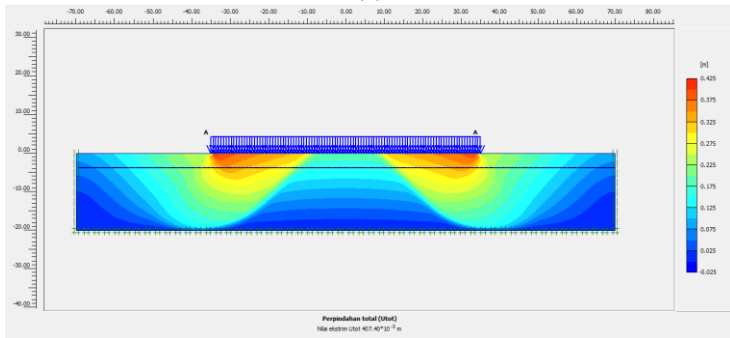
Pada model 1 yang terdiri dari lapisan lempung diberikan beban secara bervariasi sehingga menghasilkan penurunan dari masing-masing beban, datanya bisa dilihat pada tabel 4.8. Berdasarkan data tersebut, dibuat kurva penurunan tanah terhadap beban (gambar 4.17 (a)). Kontur perpindahan tanah pada model 1 bisa dilihat pada gambar 4.17 (b) dan (c), yakni pada batas beban optimum dan beban ketika tanah mulai mengalami keruntuhan.

Tabel 4.8 Nilai penurunan tanah terhadap beban

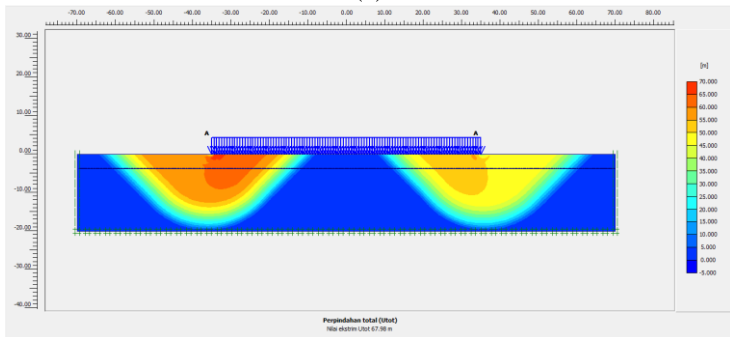
Penurunan (m)	Beban q (kN/m ²)
0,031	5
0,061	10
0,092	15
0,123	20
0,156	25
0,216	30
0,233	31
0,254	32
0,280	33
0,324	34
0,407	35
67,980	36
71,710	38
69,390	40



(a)



(b)



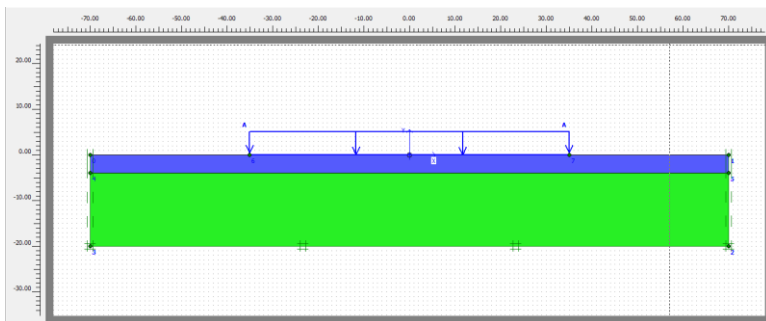
(c)

Gambar 4.17 (a) Kurva daya dukung tanah model 1, (b) Kontur penurunan tanah pada 35 kN/m², (c) Kontur penurunan tanah pada beban 36 kN/m².

Dari kurva daya dukung tanah tersebut dapat dilihat bahwa kurva awalnya berupa garis lurus yang kemudian berbelok, dan nilai peurunan tanahnya langsung tinggi secara drastis. Sehingga bisa diambil kesimpulan bahwa daya dukung batas dari model 1 ialah 35 kN/m^2 . Artinya tiap m^2 area tersebut baik menahan beban 35 kN atau setara dengan $3,569 \text{ ton}$.

4.3.2 Model 2

Model 2 untuk penelitian ini terdiri dari 2 lapisan tanah yakni tanah lempung sebagai tanah dasar dengan tebal 16 m (dari kedalaman -4 m hingga -20 m), dan tanah timbunan yakni *limestone* dengan tebal 4 m (dari 0 m hingga -4 m). Beban permukaan yang diberikan pada model 2 ini sama dengan model 1 yakni beban merata sepanjang 70 m bisa dilihat pada gambar 4.18. Pada model 2 ini dilakukan variasi ketebalan timbunan *limestone* setebal 2 m , 4 m dan 6 m .



Gambar 4.18 Model 2 (Lapisan lempung dan timbunan *limestone*)

Pada model 2 yang terdiri dari lapisan lempung dan timbunan *limestone* diberikan beban secara bervariasi sehingga menghasilkan penurunan dari masing-masing beban, datanya bisa dilihat pada tabel 4.9 untuk ketebalan *limestone* 2 m , table 4.10 untuk ketebalan 4 m , dan table 4.11 untuk ketebalan 6 m . Berdasarkan data tersebut, dibuat kurva penurunan tanah terhadap beban (gambar 4.19).

Tabel 4.9 Nilai penurunan tanah terhadap beban pada *limestone* 2 m

Penurunan (m)	Beban q (kN/m^2)
0,051	10
0,102	20
0,170	30
0,239	35

Penurunan (m)	Beban q (kN/m ²)
0,256	36
0,278	37
0,308	38
0,364	39
6,560	40
8,480	41
19,110	42
14,080	43
11,010	44
8,290	46
16,900	48

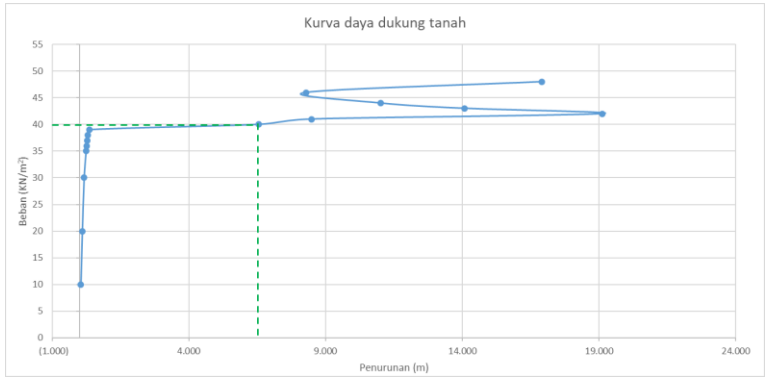
Tabel 4.10 Nilai penurunan tanah terhadap beban pada *limestone* 4 m

Penurunan (m)	Beban q (kN/m ²)
0,026	5
0,061	10
0,079	15
0,123	20
0,132	25
0,167	30
0,227	35
0,307	40
0,328	41
0,358	42
0,916	43
2,990	44
2,880	45
3,420	46
3,550	47
3,580	48
3,870	49
2,950	50

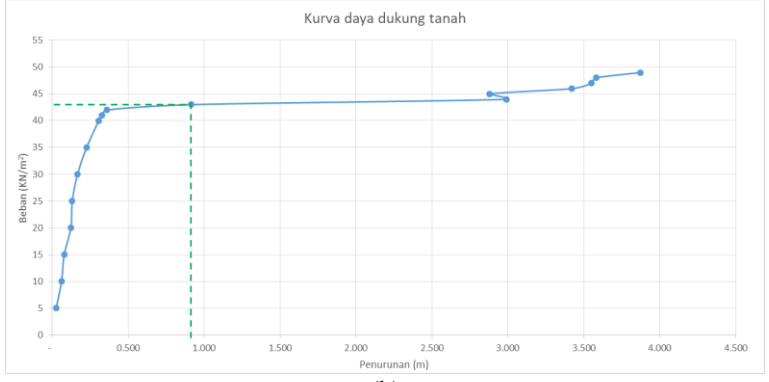
Tabel 4.11 Nilai penurunan tanah terhadap beban pada *limestone* 6 m

Penurunan (m)	Beban q (kN/m ²)
0,055	10

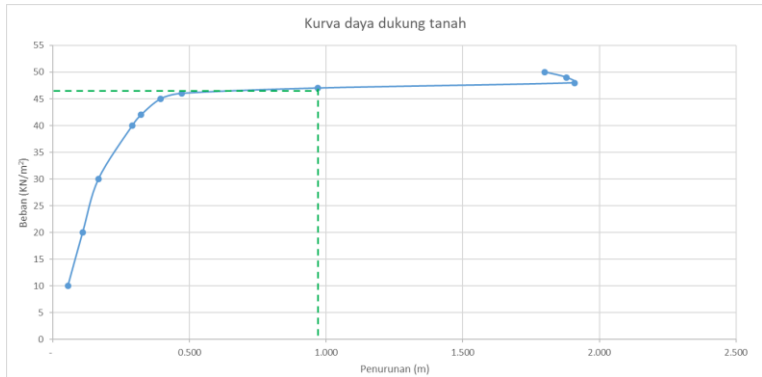
Penurunan (m)	Beban q (kN/m ²)
0,109	20
0,167	30
0,291	40
0,323	42
0,395	45
0,471	46
0,970	47
1,910	48
1,880	49
1,800	50



(a)



(b)



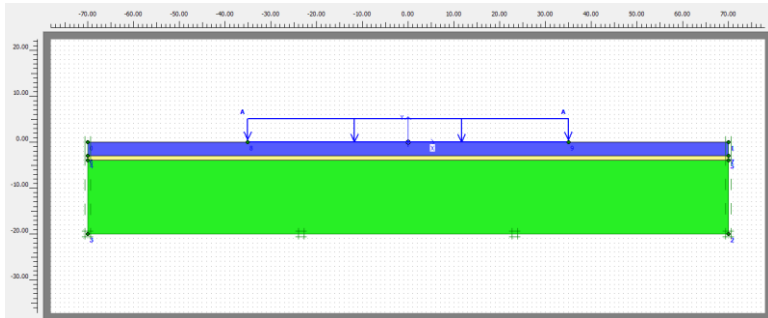
(c)

Gambar 4.19 (a) Kurva daya dukung tanah model 2 dengan tebal *limestone* 2 m,
 (b) Kurva daya dukung tanah model 2 dengan tebal *limestone* 4 m,
 (c) Kurva daya dukung tanah model 2 dengan tebal *limestone* 6 m.

Hasil yang didapatkan untuk model 2, daya dukung batas / optimumnya untuk variasi 1 dengan tebal *limestone* 2 m ialah 40 kN/m², variasi 2 dengan tebal *limestone* 4 m ialah 43 kN/m², dan variasi 3 dengan tebal *limestone* 6 m ialah 47 kN/m².

4.3.3 Model 3

Model 3 untuk penelitian ini terdiri dari 3 lapisan tanah yakni tanah lempung sebagai tanah dasar dengan tebal 16 m (dari kedalaman -4 m hingga -20 m), tanah timbunan pertama ialah pasir setebal 0,5 m (dari -3,5 m hingga -4 m) dan tanah timbunan kedua ialah *limestone* setebal 3,5 m (dari 0 m hingga -3,5 m). Beban permukaan yang diberikan pada model 3 ini merata sepanjang 70 m bisa dilihat pada gambar 4.20



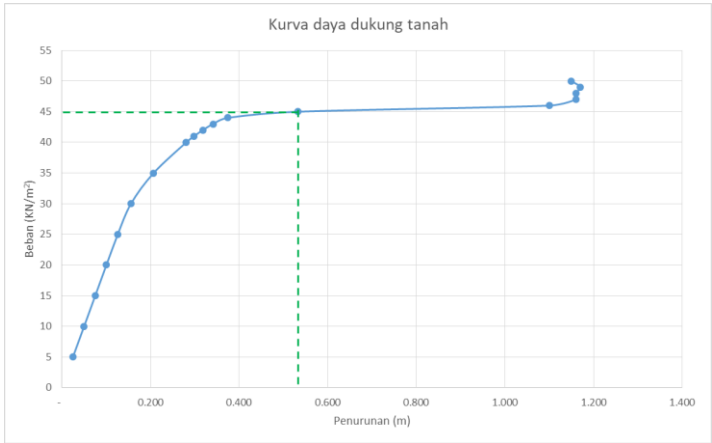
Gambar 4.20 Model 3 (Lapisan lempung dan timbunan pasir + *limestone*)

Pada model 3 yang terdiri dari lapisan lempung, timbunan pasir dan *limestone* diberikan beban secara bervariasi sehingga menghasilkan penurunan dari masing-masing beban, datanya bisa dilihat pada tabel 4.12. Berdasarkan data tersebut, dibuat kurva penurunan tanah terhadap beban (gambar 4.21 (a)). Kontur perpindahan tanah pada model 3 bisa dilihat pada gambar 4.21 (b) dan (c), yakni pada batas beban optimum dan beban ketika tanah mulai mengalami keruntuhan.

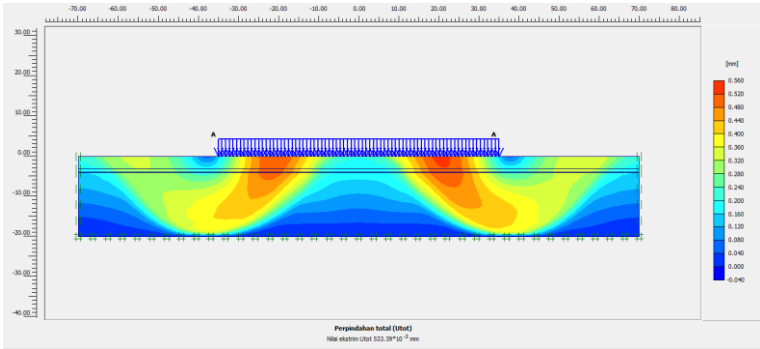
Tabel 4.12 Nilai penurunan tanah terhadap beban

Penurunan (m)	Beban q (kN/m ²)
0,025	5
0,050	10
0,075	15
0,101	20
0,126	25
0,156	30
0,207	35
0,281	40
0,298	41
0,318	42
0,341	43
0,375	44
0,533	45
1,100	46
1,160	47
1,160	48
1,170	49

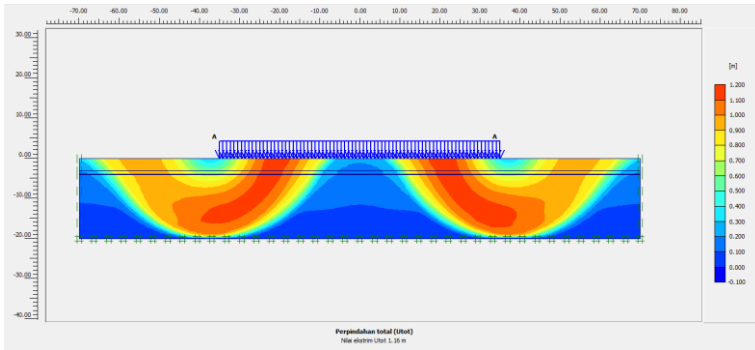
Penurunan (m)	Beban q (kN/m ²)
1,150	50



(a)



(b)



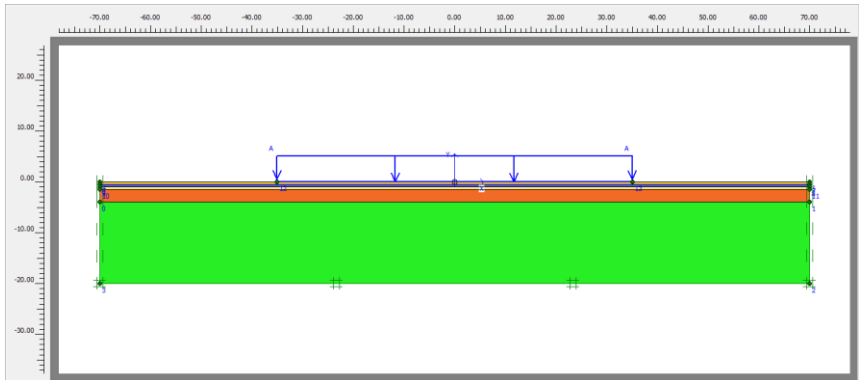
(c)

Gambar 4.21 (a) Kurva daya dukung tanah model 3, (b) Kontur penurunan tanah pada 45 kN/m^2 , (c) Kontur penurunan tanah pada beban 46 kN/m^2 .

Hasil yang didapatkan untuk model 3, daya dukung batas / optimumnya ialah 45 kN/m^2 . Artinya tiap m^2 area tersebut baik menahan beban 45 kN atau setara dengan $4,589 \text{ ton}$.

4.3.4 Model 4

Model 4 untuk penelitian ini terdiri dari 5 lapisan tanah yakni tanah lempung sebagai tanah dasar dengan tebal 16 m , timbunan pertama ialah batu setebal $2,5 \text{ m}$, timbunan kedua ialah pasir setebal $0,5 \text{ m}$, timbunan ketiga ialah *limestone* setebal $0,5 \text{ m}$ dan timbunan terakhir ialah agregat setebal $0,5 \text{ m}$. Beban permukaan yang diberikan pada model 4 ini merata sepanjang 70 m bisa dilihat pada gambar 4.22

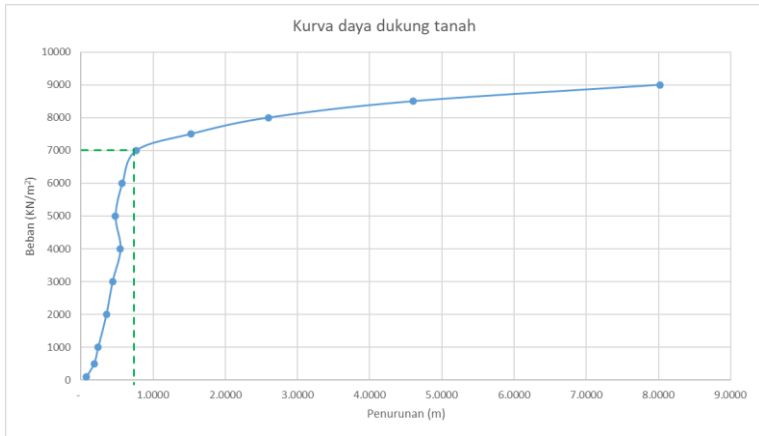


Gambar 4.22 Model 4 (lapisan lempung dan timbunan batu + pasir + *limestone* + agregat)

Pada model 4 yang terdiri dari lapisan lempung dan 4 lapis timbunan ini diberikan beban secara bervariasi sehingga menghasilkan penurunan dari masing-masing beban, datanya bisa dilihat pada tabel 4.13. Berdasarkan data tersebut, dibuat kurva penurunan tanah terhadap beban (gambar 4.23 (a)). Kontur perpindahan tanah pada model 4 bisa dilihat pada gambar 4.23 (b) dan (c), yakni pada batas beban optimum dan beban ketika tanah mulai mengalami keruntuhan.

Tabel 4.13 Nilai penurunan tanah terhadap beban

Penurunan (m)	Beban q (KN/m ²)
0,0753	100
0,181	500
0,238	1000
0,351	2000
0,436	3000
0,546	4000
0,477	5000
0,572	6000
0,766	7000
1,520	7500
2,600	8000
4,600	8500
8,020	9000



Gambar 4.23 Kurva daya dukung tanah model 4

Nilai beban optimum yang didapat sangat besar yakni 7000 kN/m², hal ini dikarenakan jenis material timbunan yang kompleks dan terdapat batuan keras. Beban tersebut setara dengan massa 700 ton, yang berarti tiap m² area tersebut mampu menahan beban dengan massa 700 ton. Timbunan dengan model 4 tentunya memiliki nilai daya dukung yang sangat baik, akan tetapi perlu dipertimbangkan dalam memilih model ini. Karena banyak jenis material yang digunakan dan tentunya berkaitan dengan biaya yang akan dikeluarkan. Selain itu juga dipertimbangkan mengenai rencana pembangunan di area tersebut. Misal jika rencana pembangunan hanya memberikan beban maksimal di angka 45 kN/m², maka tidak perlu menggunakan model 4 akan tetapi cukup menggunakan model 2 saja.

BAB 5

KESIMPULAN DAN SARAN

5.1 Kesimpulan

Setelah dilakukan penelitian analisis sifat fisis dan mekanis lempung dalam penentuan daya dukung tanah di Kecamatan Manyar, Gresik, maka dapat diambil kesimpulan

1. Sifat fisis dan mekanis lempung di daerah penelitian memiliki nilai densitas pada rentang $1,048 - 2,020 \text{ gr/cm}^3$, porositas pada rentang $62,468 - 80,994 \%$, *specific gravity* pada rentang $2,231 - 3,651$, kohesi pada rentang $1,96 - 12,16 \text{ kN/m}^2$ dan koefisien konsolidasi pada rentang $0,0118 - 0,0616 \text{ m}^2/\text{hari}$. Berdasarkan parameter-parameter ini dapat diketahui bahwa bahwa lempung yang diteliti merupakan lempung yang sangat lunak dan berpotensi jenuh air. Sehingga kurang ideal untuk dibangun konstruksi secara langsung di atasnya.
2. Berdasarkan hasil hubungan parameter didapatkan bahwa
 - *Specific gravity*, porositas, kohesi dan koefisien konsolidasi memiliki korelasi yang baik, yang artinya nilai dari parameter tersebut saling berpengaruh satu sama lain
 - Densitas memiliki korelasi yang buruk dengan parameter *specific gravity*, porositas, dan kohesi. Antara koefisien konsolidasi dan porositas memiliki korelasi yang buruk. Artinya perubahan nilai salah satu parameter tidak mempengaruhi nilai parameter yang lain, begitupun sebaliknya.
3. Daya dukung optimum yang didapatkan untuk model 1 yang merupakan tanah dasar ialah 35 kN/m^2 . Terjadi peningkatan daya dukung ketika tanah ditimbun yakni paling besar pada model 4 dengan timbunan batu, pasir, *limestone* dan agregat sebesar 7000 kN/m^2 . Sedangkan untuk timbunan dengan material *limestone*, daya dukung terbesar pada model 2 variasi 3 (*limestone* 6 m) sebesar 47 kN/m^2 .

5.2 Saran

Dari penelitian yang dilakukan, adapun saran yang diberikan untuk meningkatkan hasil analisis yang baik ialah

1. Jumlah sampel pengukuran perlu diperbanyak sehingga distribusi data yang didapat lebih jelas dan lebih baik yang akan berpengaruh pada analisis sebaran nilai dan analisis hubungan parameter

2. Menambah jenis tanah yang diukur secara langsung di laboratorium, tidak hanya lempung melainkan tanah atau batuan yang lain (*limestone*, pasir, andesit dan agregat)
3. Menambah jenis pengujian pada skala lab, seperti uji konsolidasi untuk mendapatkan nilai koefisien konsolidasi dan koefisien permeabilitas. Uji kuat tekan untuk mendapatkan nilai kohesi, sudut geser dalam, *poisson's ratio* dan modulus elastisitas.
4. Melakukan penelitian untuk mendapatkan kondisi riil di lapangan penelitian, seperti penelitian untuk mendapatkan kondisi muka air tanah dan batas lapisan keras.
5. Kedepannya bisa melakukan variasi nilai parameter pada analisis pemodelan, guna mengetahui pengaruh parameter tersebut terhadap daya dukung tanah.

DAFTAR PUSTAKA

- Adajar, M.A.Q., dan Zarco, M.A.H. (2016), *Estimating Hydrocompression Settlement of Mine Tailings*, University Manila, Philippines.
- Akmam (2002), *Penentuan Parameter Elastis Batuan Beku Dan Aspek Geofisikanya Menggunakan Instrumen Sonic Viewer*, Universitas Negeri Padang, Padang.
- Bowles, J.E. (1977), *Foundation Analysis and Design*, McGraw-Hill Kogakusha, Ltd, Tokyo, Japan.
- Das, B.M. (2007), *Advanced Soil Mechanics Third Edition*, Taylor & Francis e-Library, USA.
- Fajrina, Y.N. (2016), *Karakterisasi Parameter Fisik Batuan Vulkanik Gunung Arjuno-Welirang , Jawa Timur Gunung Api Sulawesi Utara-Kepulauan Sangihe.*
- Feld, J. (2017), *The Factor of Safety in Soil and Rock Mechanics.*
- Haras, M., E, Turangan A., dan Legrans, R.R.I. (2017), *Pengaruh Penambahan Kapur Terhadap Kuat Geser Tanah Lempung*, Universitas Sam Ratulangi, Manado.
- Hardiyatmo, H.C. (2002), *Mekanika TANAH I*, Gadjah Mada University Press, Yogyakarta.
- Hardiyatmo, H.C. (2003), *Mekanika TANAH II*, Gadjah Mada University Press, Yogyakarta.
- Ishibashi, I. and Hazarika, H. (2011). *Soil Mechanics Fundamentals*, CRC Press Taylor & Francis Group, USA.
- Kusuma, Rama I., Mina Enden, dan Ikhsan Ismaul (2016), *Tinjauan Sifat Fisis Dan Mekanis Tanah*, UNTIRTA, Cilegon.
- Nakazawa, K., dan Sosrodarsono, S. (2000), *Mekanika Tanah dan Teknik Pondasi*, PT. Pradnya Paramita, Jakarta.
- Nusantara, M.A. (2014), *Analisis daya dukung pondasi dangkal pada tanah lempung menggunakan perkuatan anyaman bambu dan grid bambu dengan bantuan program plaxis*, Vol.2, No.3.
- Putra, Maulana.H.R. (2018), *Analisis Sifat Fisis Batuan Karbonat Untuk Evaluasi Bahan Timbunan*, Institut Teknologi Sepuluh Nopember, Surabaya.
- Schon, J.. (2011), *Physical Properties Of Rocks*, 8th Ed., Elsevier, Amsterdam.
- Sijabat, David M.F. (2010), *Analisa Perkuatan Daya Dukung Tanah Lunak Dengan Geosintetik Menggunakan Pemodelan Perangkat Lunak (Program Plaxis)*, Universitas Indonesi, Depok.
- Sismanto (2012), *Handout Kuliah Fisika Batuan*, FMIPA, UGM, Yogyakarta.
- Sugiyono (2007), *Statistika Untuk Penelitian*, Alfabeta, Bandung.
- Supandjono, J., Hasan, K., Panggabean, H., Satria, D. dan Sukardi (1992), *Peta Geologi Lembar Surabaya-Sapulu*, Pusat Penelitian dan Pengembangan

Geologi, Bandung.

Yulianti, P. (2014), *Studi pemodelan perkuatan pondasi dangkal pada tanah lempung lunak menggunakan kombinasi geotekstil woven dan grid bambu dengan bantuan program plaxis*, Vol.2, No.3.

LAMPIRAN

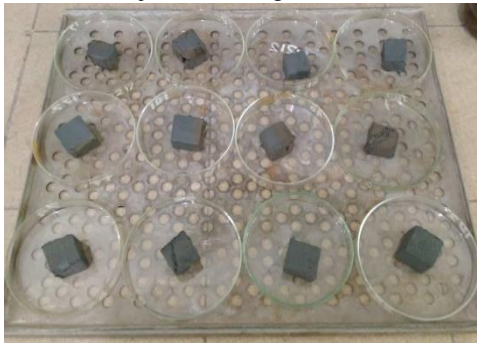
1. Pengambilan sampel di lapangan



2. Sampel lempung penelitian



3. Sampel tanah basah untuk uji volumetri gravimetri



4. Pengukuran berat air raksa dan cawan peluberan



5. Pengukuran massa kering tanah setelah dioven



6. Proses penggodakan campuran tanah + air suling, dan penghilangan udara dengan pompa vacuum



7. Pengukuran suhu campuran tanah + air suling



Halaman ini sengaja dikosongkan

PROFIL PENULIS



Ahmad Widodo lahir di Curup Patah, Kabupaten Way Kanan, Lampung tanggal 30 Mei 1997 dari pasangan Bapak Katno Arbiyanto dan Ibu Nur Asiah. Penulis merupakan anak pertama dari dua bersaudara. Pendidikan formal penulis dimulai dari SD Negeri Curup Patah (2003 – 2009), kemudian melanjutkan sekolah di SMP Negeri 4 Gunung Labuhan (2009 – 2012), lalu bersekolah di SMA Negeri 1 Bukit Kemuning (2012 – 2015), dan sekarang penulis masih menempuh pendidikan sarjana di Departemen Teknik

Geofisika, Institut Teknologi Sepuluh Nopember Surabaya.

Selama menjadi mahasiswa, penulis ikut berkontribusi dalam kegiatan akademik dan non akademik. Bidang akademik meliputi kerja praktek mengenai pengolahan data Magnetotelurik di Star Energy Geothermal Ltd., Bandung. Selanjutnya dalam organisasi penulis pernah berkontribusi dalam kegiatan organisasi meliputi menjadi Ketua Departemen Syiar, Keluarga Muslim Teknik Geofisika ITS periode 2017 - 2018 dan Staff Ahli Departemen Pengabdian Masyarakat Himpunan Mahasiswa Teknik Geofisika ITS. Jika ingin berdiskusi lebih lanjut mengenai tugas akhir ini dapat menghubungi email: ahmadwidodo02@gmail.com