SKRIPSI

GROUTING KAPUR AKTIF PADA TANAH LEMPUNG TERHADAP KONSOLIDASI DAN DAYA DUKUNG

Oleh :

ELING
NIM. DAB 116 041

JURUSAN/PROGRAM STUDI TEKNIK SIPIL
FAKULTAS TEKNIK
UNIVERSITAS PALANGKA RAYA
2022

GROUTING KAPUR AKTIF PADA TANAH LEMPUNG TERHADAP KONSOLIDASI DAN DAYA DUKUNG

SKRIPSI

Sebagai salah satu syarat untuk menyelesaikan
Program Strata-1 pada Jurusan/program Studi Teknik Sipil
Fakultas Teknik Universitas Palangka Raya

Oleh :

ELING
NIM. DAB 116 041

Disetujui sesuai dengan revisi dalam Form Rekomendasi
Dan Berita Acara Ujian Skripsi

Pembimbing Utama	Pembimbing Pendamping
(Ir. H. SURADJI GANDI, M.M.)	**(M. IKHWAN YANI, S.T., M.T.)**
NIP. 19570706 198701 1 002	NIP. 19710225 199802 1 001

Mengetahui,
Jurusan/Program Studi Teknik Sipil
Fakultas Teknik Universitas Palangka Raya
Ketua,

(Dr. RUDI WALUYO, S.T., M.T.)
NIP. 19780608 200501 1 003

GROUTING KAPUR AKTIF PADA TANAH LEMPUNG TERHADAP KONSOLIDASI DAN DAYA DUKUNG

SKRIPSI

Sebagai salah satu syarat untuk menyelesaikan
Program Strata-1 pada Jurusan/Program Studi Teknik Sipil
Fakultas Teknik Universitas Palangka Raya

Oleh :

ELING
NIM. DAB 116 041

Telah dipertahankan di depan Tim Penguji, pada:

Hari/Tanggal	: Kamis, 02 Juni 2022
Waktu	: 13.00 – 15.00 WIB
Tempat	: Ruang Sidang Sarjana (offline)

Tim Penguji :

1. **Ir. H. SURADJI GANDI, M.M.**
   NIP. 19570706 198701 1 002 ..... (Pembimbing Utama/Ketua Penguji)
2. **M. IKHWAN YANI, S.T., M.T.**
   NIP. 19710225 199802 1 001 ..... (Pembimbing Pendamping/Sekretaris)
3. **a.n. OKROBIANUS HENDRI, S.T., M.T.**
   NIP. 19751001 200604 1 003
   Ketua KBK Geoteknik
   M. Ikhwan Yani, S.T., M.T. ..... (Penguji 3)
4. **Dr. FATMA SARIE S.T., M.T.**
   NIP. 19720219 199702 2 001 ..... (Penguji 4)

Mengetahui:

Fakultas Teknik
Universitas Palangka Raya
Dekan,

Ir. WALUYO NUSWANTORO, M.T.
NIP. 19651119 199302 1 001

Jurusan/Program Studi Teknik Sipil
Fakultas Teknik Universitas Palangka Raya
Ketua,

Dr. RUDI WALUYO, S.T., M.T.
NIP. 19780608 200501 1 003

BIODATA MAHASISWA

Data Pribadi

Nama	: Eling
NIM	: DAB 116 041
Tempat, Tanggal Lahir	: Pontianak, 11 November 1997
Status	: Belum Menikah
Agama	: Budha
Pekerjaan	: Mahasiswa
Alamat di Palangka Raya	: Jl. Patimura No. 054A
No. Telp Rumah	: -
Alamat Asal	: Jl. Parit Makmur No. 41, Pontianak Utara
Email	: alingbung21@gmail.com
No.Hp	: 0821 5763 6649
No.Wa	: 0821 5763 6649
Facebook	: -
Instagram	: -
Line	: -
Nama Ayah	: Bong Njuk Min
Pekerjaan Ayah	: Wiraswasta
Alamat	: Jl. Parit Makmur No. 41, Pontianak Utara
No.Hp	: 0813 5150 7388
Nama Ibu	: Chang Po Chin
Pekerjaan Ibu	: Ibu Rumah Tangga
Alamat	: Jl. Parit Makmur No. 41, Pontianak Utara
No.Hp	: 0896 3616 1108
Wali	: -

Riwayat Pendidikan*)

- TK : TK Katolik Cahaya Mulia Pangkalan Bun (2003-2004)
- SD : SD Negeri 1 Natai Raya Arut Selatan (2004-2010)
- SLTP : SMP ABDI Pangkalan Bun (2010-2013)
- SLTA : SMA ABDI Pangkalan Bun (2013-2016)
- Mulai mengikuti perkuliahan Program Strata-1 pada Jurusan/Program Studi Teknik Sipil Universitas Palangka Raya bulan September tahun 2016

HALAMAN PERSEMBAHAN

Puji dan syukur kepada Tuhan Yang Maha Esa oleh karena kasih dan karunia-Nya sehingga Skripsi ini dapat diselesaikan dengan baik. Taburan cinta dan kasih sayang-Mu telah memberikanku kekuatan untuk tidak menyerah, membekaliku dengan ilmu serta memperkenalkanku dengan cinta kasih. Atas karunia serta kemudahan yang Engkau berikan akhirnya skripsi yang sederhana ini dapat terselesaikan.

Orang Tua Tercinta

Sebagai tanda bakti, hormat dan rasa terimakasih yang tiada terhingga kupersembahkan karya kecil ini kepada kedua Orang Tua saya yang telah memberikan kasih sayang, cinta, kesabaran, ketulusan serta dukungan yang selalu menyertai saya, yang tiada mungkin dapat kubalas hanya dengan selembar kertas yang bertuliskan kata persembahan. Semoga ini menjadi langkah awal untuk membuat kalian bahagia karena kusadar, selama ini belum bisa berbuat lebih. Terima kasih Mama dan Papa.

Keluarga

Sebagai tanda terima kasih, saya persembahkan karya ini untuk kakak dan adik saya yang selalu mendukung setiap keputusan yang saya ambil dan selalu menghargai serta merayakan pencapaian kecil saya selama ini . Terima kasih karena selalu ada dan selalu memotivasi serta menyemangati dalam menyelesaikan Skripsi ini. Terima kasih Cece Novie (si cerewet), Cece Santi (si baik hati), Fransiska (si cantik) dan Atan (si cuek). Dan untuk kedua anabulku tersayang dan tercinta Bewee dan Chipom, terimakasih karna selalu menemani, bertingkah lucu dan menghibur dalam penyelesaian penulisan skripsi ini.

Teman-Teman Seperjuangan (Angkatan 2016)

Untuk teman-teman Teknik Sipil Angkatan 2016, terima kasih banyak atas segala bentuk dukungan dan kebaikan yang telah kalian perbuat dalam kehidupan perkuliahan saya yang tidak akan pernah saya lupakan, semoga kita bisa bertemu lagi dengan keadaan sukses.

Dosen Pembimbing Skripsi

Terima kasih juga kepada dosen pembimbing saya, Bapak Ir. H. Suradji Gandi, M. M dan Bapak H. M. Ikhwan Yani, S.T., M.T. yang telah membimbing dan mengarahkan pada saat penulisan Skripsi ini. Serta terima kasih kepada dosen penguji Bapak Okrobianus Hendri, S.T., M.T. dan Ibu Dr. Fatma Sarie, S.T., M.T. dan Bapak Apria B.P. Gawei, S.T., M.T. selaku Dosen Pembimbing Akademik dan yang telah memberikan masukan-masukan yang sangat penting kepada saya sehingga Skripsi ini dapat diselesaikan.

SURAT PERNYATAAN

Saya yang bertanda tangan di bawah ini menyatakan dengan sungguh bahwa Skripsi saya belum pernah dipakai sebelumnya untuk memperoleh gelar kesarjanaan diperguruan tinggi manapun. Segala kutipan dan pikiran dari berbagai sumber telah diungkapkan sebagaimana disebutkan lengkap dalam daftar pustaka. Apabila kemudian hari pernyataan saya ini tidak benar, maka saya bersedia, menerima segala konsekuensinya akibat ketidakbenaran pernyataan saya.

Palangka Raya, 2022

Yang membuat pernyataan

Eling

DAB 116 041

RINGKASAN

GROUTING KAPUR AKTIF PADA TANAH LEMPUNG TERHADAP KONSOLIDASI DAN DAYA DUKUNG, Eling, 2022, Jurusan/Program Studi Teknik Sipil, Fakultas Teknik Universitas Palangka Raya.

Salah satu permasalahan bagunan konstruksi adalah terdapat penurunan pada tanah yang dapat mengakibatkan terjadinya kerusakan pada konstruksi bangunan itu sendiri. Seperti yang diketahui, tanah memegang peranan yang cukup besar dan penting terhadap berdirinya suatu bangunan maka dari itu tanah harus memenuhi beberapa syarat sebagai tanah yang baik dan layak. Pada tanah lempung permasalahan yang sering ditemukan adalah terjadinya penurunan, penyusutan dan pengembangan yang dipengeruhi oleh lingkungan, iklim dan curah hujan. Tujuan dari penelitian ini adalah untuk mengetahui sifat fisik dan sifat mekanik tanah lempung yang terletak di Desa Tanjung Taritak, Kecamatan Sepang, Kabupaten Gunung Mas, Kalimantan Tengah, Kilometer 98 (Palangka Raya – Kuala Kurun) menganalisis besar nilai konsolidasi dan daya dukung tanah lempung asli, dan menganalisis pengaruh penambahan *grouting* kapur aktif yang diperam 3 hari terhadap penurunan konsolidasi dan daya dukung. Metode perbaikan tanah yang digunakan dalam penelitian ini adalah *grouting* kapur aktif yang bertujuan untuk meningkatkan nilai daya dukung pada tanah lempung di lokasi penelitian. Variasi titik dan diameter yang digunakan yaitu 1 titik (diameter 1,5 cm), 2 titik (diameter 1 cm) dan 4 titik (diameter 0,75 cm).

Setelah dilakukan pengujian sifat fisik tanah lempung didapatkan, kadar air (*w*) = 42,78%, berat isi (γ) = 1,65 gr/cm^3, berat jenis (Gs) = 2,53, batas-batas *Atterberg*, Batas Cair (LL*)* = 41,08%, Batas Plastis (PL) = 24,24%, Batas Susut (SL) = 12,55%, Indeks Plastisitas (PI) = 16,85%, Analisis saringan persentase tanah lolos saringan No.200 = 52,05%. Berdasarkan klasifikasi AASHTO dilihat dari hasil pengujian sifat fisik pada tanah lempung, tanah diklasifikasikan sebagai tanah berlempung dalam kelompok A-7-6 (6) dan menurut sistem USCS tanah termasuk kelompok CL. Pada Hasil pengujian sifat mekanik tanah didapatkan nilai konsolidasi tanah lempung asli, Sc = 0,198 cm. Variasi 4 titik *grouting* (diameter 0,75 cm) yang dilakukan pemeraman selama 3 hari mengalami perbaikan pada tanah dengan Sc = 0,132 cm (33,33%). Kemudian untuk kuat geser pada tanah lempung asli (τ) = 0,2804 kg/cm^{2,} nilai daya dukung (q_{ult}) = 4,8747 kg/cm^2 dan (q_{ijin}) = 0,16249 Kg/cm^2. Variasi 4 titik *grouting* yang dilakukan pemeraman selama 3 hari, kuat geser (τ) = 0,1948 Kg/cm^2, nilai daya dukung (q_{ult}) = 9,5126 kg/cm^2 dan (q_{ijin}) = 0,3,1709 kg/cm^2. Nilai daya dukung mengalami kenaikan sebesar 95,14%.

Kata Kunci: Daya Dukung, *Grouting*, Kapur Aktif, Konsolidasi, Tanah Lempung

SUMMARY

GROUTING OF ACTIVE LIME ON CLAY SOIL TO CONSOLIDATION AND BEARING CAPACITY, *Eling, 2022, Civil Engineering Department / Program of Civil Engineering, Faculty of Engineering, University of Palangka Raya.*

One of the problems of building construction is that there is a decrease in the soil which can result in damage to the construction of the building itself. As is known, land plays a fairly large and important role in the establishment of a building, therefore land must meet several requirements as good and proper land. In clay soil the problems that are often found are the occurrence of subsidence, shrinkage and expansion which are influenced by the environment, climate and rainfall. The purpose of this study was to determine the physical and mechanical properties of clay located in Tanjung Taritak Village, Sepang District, Gunung Mas Regency, Central Kalimantan, Kilometer 98 (Palangka Raya – Kuala Kurun) to analyze the consolidation value and carrying capacity of the original clay. , and analyzed the effect of adding active lime grouting which was cured for 3 days on the decrease in consolidation and bearing capacity. The soil improvement method used in this study is active lime grouting which aims to increase the carrying capacity of the clay soil at the study site. Variations of points and diameters used are 1 point (diameter 1.5 cm), 2 points (1 cm diameter) and 4 points (0.75 cm diameter).

After testing the physical properties of the clay obtained, water content (w) = 42.78%, density (γ) = 1.65 gr/cm3, specific gravity (Gs) = 2.53, Atterberg limits, Liquid Limit (LL) = 41.08%, Plastic Limit (PL) = 24.24%, Shrinkage Limit (SL) = 12.55%, Plasticity Index (PI) = 16.85%, Sieve analysis percentage of soil passing sieve No. 200 = 52.05%. Based on the AASHTO classification seen from the results of testing the physical properties of clay soils, the soils are classified as loamy soils in group A-7-6 (6) and according to the USCS system the soils are classified as CL groups. The results of testing the mechanical properties of the soil obtained the original clay consolidation value, Sc = 0.198 cm. Variations of 4 grouting points (0.75 cm diameter) which were cured for 3 days experienced improvements in the soil with Sc = 0.132 cm (33.33%). then for the shear strength of the original clay (τ) = 0.2804 kg/cm2, the value of the bearing capacity (qult) = 4.8747 kg/cm2 and (qijin) = 0.16249 Kg/cm2. Variations of 4 grouting points that were done curing for 3 days, shear strength (τ) = 0.1948 Kg/cm2, value of bearing capacity (qult) = 9.5126 kg/cm2 and (qijin) = 0.3.1709 kg/cm2 . The carrying capacity value increased by 95.14%.

Keywords: Bearing Capacity, Grouting, Activated Lime, Consolidation, Clay

PRAKATA

Puji dan Syukur kepada Tuhan Yang Maha Esa oleh karena Kasih Karunia-Nya sehingga Skripsi ini dapat diselesaikan dengan baik. Skripsi dengan judul, "***Grouting* Kapur Aktif Pada Tanah Lempung Terhadap Konsolidasi Dan Daya Dukung"** ini disusun sebagai salah satu syarat untuk menyelesaikan studi Program Strata-1 Jurusan Teknik Sipil, Fakultas Teknik, Universitas Palangka Raya (UPR).

Pada kesempatan ini penulis mengucapkan terima kasih yang sebesar-besarnya kepada:

1. Bapak **Ir. Waluyo Nuswantoro, M.T.** selaku Dekan Fakultas Teknik Universitas Palangka Raya.
2. Ibu **Frieda, S.T., M.T.** selaku Wakil Dekan Bidang Akademik Fakultas Teknik Universitas Palangka Raya.
3. Bapak **Dr. Sutan P. Silitonga, S.T.P., S.T., M.T.** Selaku Wakil Dekan Bidang Umum dan Keuangan Fakultas Teknik Universitas Palangka Raya.
4. Bapak **Deddy Nan Setya Putra Tanggara, S.T., M.T.** Selaku Wakil Dekan Bidang Kemahasiswaan Fakultas Teknik Universitas Palangka Raya.
5. Bapak **Dr. Rudi Waluyo, S.T., M.T.** Selaku Ketua Jurusan Teknik Sipil Universitas Palangka Raya.
6. Ibu **Veronika Happy P., S.T., M.T.** Selaku Sekretaris Jurusan Teknik Sipil Universitas Palangka Raya.
7. Bapak **Ir. Suradji Gandi, M.M.** Selaku Dosen Ketua Penguji Skripsi.
8. Bapak **M. Ikhwan Yani, S.T., M.T.** Selaku Dosen Penguji II Skripsi.

9. Bapak **Okrobianus, S.T.,M.T.** selaku Dosen Penguji III Skripsi.
10. Ibu **Dr. Fatma Sarie, S.T., M.T.** Selaku Dosen Penguji IV Skripsi.
11. Bapak **Apria B.P. Gawei, S.T., M.T.** selaku Dosen Pembimbing Akademik.
12. Seluruh Dosen Jurusan/Program Studi Teknik Sipil beserta Staf Tata Usaha Fakultas Teknik Universitas Palangka Raya.
13. Rekan-rekan mahasiswa Teknik Sipil angkatan 2016 dan semua pihak yang telah membantu dalam penyusunan Skripsi ini.
14. Kedua Orangtua Saya yang telah membatu saya baik secara moril maupun material selama pelaksanaan penyelesaian Skripsi.

Akhir kata, dengan segala kerendahan hati dan menyadari akan segala kekurangan dalam penyajian Skripsi ini. Oleh karena itu diharapkan berbagai tanggapan, kritik dan saran yang sifatnya membangun dari semua pihak. Terima Kasih

Palangka raya, 2022

ELING
NIM. DAB 116 041

DAFTAR ISI

LEMBAR PENGESAHAN ii

RINGKASAN iii

SUMMARY iv

PRAKATA iv

DAFTAR ISI vi

DAFTAR TABEL ix

DAFTAR GAMBAR xi

I PENDAHULUAN

1.1 Latar Belakang 1

1.2 Rumusan Masalah 2

1.3 Tujuan Penelitian 2

1.4 Batasan Masalah 3

1.5 Manfaat Penelitian 4

1.6 Lokasi Penelitian 4

II TINJAUAN PUSTAKA

2.1 Tanah 6

2.2 Tanah Lempung 7

2.3 Permasalahan Pada Tanah Lempung 8

2.3.1. konsolidasi 9

2.3.2. Uji Konsolidasi Satu Dimensi (Terzaghi) 10

2.3.3. Kuat Geser Langsung 14

2.3.4. Daya Dukung Tanah 17

2.4 Kapur Aktif (Kapur Tohor) 19

2.5 *Grouting* 20

III METODE PENELITIAN

3.1 Umum 24

3.2 Pengambilan Sampel Tanah 24

3.3 Pengujian di Laboratorium 25

3.3.1. Pengujian Sifat Fisik Tanah Lempung 25

3.3.2. Pengujian Sifat Mekanik Tanah Lempung 27

3.4 Perencanaan *Grouting* Uji Penurunan Konsolidasi dan Uji Geser Geser Langsung (*Direct Shear Test*) 28

3.5 Bagan Alir Penelitian 32

IV HASIL ANALISIS DAN PEMBAHASAN

4.1 Umum 33

4.2 Hasil Penelitian Sifat Fisik Tanah 33

4.2.1. Hasil Pemeriksaan Sifat – Sifat Fisik Tanah 33

4.2.2. Klasifikasi Tanah 34

4.3 Hasil Penelitian Sifat Mekanik Tanah 38

4.3.1. Hasil Pengujian Konsolidasi 38

4.3.1.1. Data Awal Konsolidasi Sampel Tanah Lempung Asli 38

4.3.1.2. Perhitungan Konsolidasi Sampel Tanah Lempung Asli 41

4.3.1.3 Hubungan Angka Pori Dengan Tegangan Sampel Tanah Lempung Asli..... 43

4.3.1.4. Koefisien Konsolidasi (Cv) Sampel Tanah Lempung Asli..... 44

4.3.1.5. Indeks Pemampatan (CC) Sampel Tanah Lempung Asli..... 46

4.3.1.6. Penurunan Konsolidasi (Sc) Sampel Tanah Lempung Asli 46

4.3.1.7. Rekapitulasi Hasil Pengujian Konsolidasi Pada Semua Sampel..... 46

4.3.2. Hasil Pengujian Kuat Geser Langsung..... 50

4.3.2.1. Perhitungan Kuat Geser Tanah ( ) 54

4.3.2.2. Perhitungan Daya Dukung (q_{ult})..... 56

V. Kesimpulan dan Saran

5.1 Kesimpulan..... 61

5.2 Saran 63

DAFTAR PUSTAKA..... 65

LAMPIRAN

L. 1 Dokumentasi Lapangan..... 68

L. 2 Data Sifat Fisik Tanah..... 69

L. 3 Data Sifat Mekanik Tanah..... 74

L.4 Dokumentasi Bahan *Grouting* 77

DAFTAR TABEL

Halaman

Tabel 2.1 Tabel Mekanik Uji Konsolidasi 14

Tabel 2.2 Tabel Mekanik Uji Kuat Geser Langsung 16

Table 2.3 Nilai – Nilai Faktor Daya Dukung Tanah Terzaghi 19

Table 2.4 Penelitian Terdahulu 22

Tabel 2.5 Lanjutan Penelitian Terdahulu 23

Tabel 4.1 Hasil Pemeriksaan Sifat Fisik Pada Tanah Lempung Asli 34

Tabel 4.2 Klasifikasi Tanah Sistem AASHTO 36

Tabel 4.3 Pengujian Konsolidasi Pada Sampel Tanah Lempung Asli 38

Tabel 4.4 Kadar Air dan Berat Isi Sampel Tanah Lempung Asli 39

Tabel 4.5 Angka Pori dan Derajat Kejenuhan Sampel Tanah Lempung Asli 39

Tabel 4.6 Ukuran Ring Sampel Tanah Lempung Asli 40

Tabel 4.7 Perhitungan Koefisien Konsolidasi (Cv) Sampel Tanah Lempung Asli 42

Tabel 4.8 Perhitungan Permeabilitas (K) Sampel Tanah Lempung Asli .. 43

Tabel 4.9 Hitungan Angka Pori dengan Tegangan Sampel Tanah Lempung Asli diambil dari Tabel 4.7 43

Tabel 4.10 Nilai Cv (t_{50}) dan Cv (t_{90}) pada Sampel Tanah Lempung Asli Diambil dari Tabel 4.7 44

Tabel 4.11 Rekapitulasi Hasil Rata – Rata Pengujian Konsolidasi Pada Semua Sampel 47

Tabel 4.12 Hasil Pengujian Geser Langsung Tanah Lempung Asli 51

Tabel 4.13 Rekapitulasi Uji Geser Langsung dengan Variasi Titik *Grouting* 52

Tabel 4.14 Rekapitulasi Nilai Geser Langsung Pada Tanah Lempung Asli 55

Tabel 4.15 Nilai – Nilai Faktor Kapasitas Dukung Tanah 56

Tabel 4.16 Rekapitulasi Hasil Perhitungan Daya Dukung Tanah Berdasarkan Pengujian Geser Langsung Tanah Lempung 58

DAFTAR GAMBAR

Halaman

Gambar 1.1 Lokasi Pengambilan Sampel Tanah Lempung 5

Gambar 2.1 Konsolidometer 10

Gambar 2.2 Grafik Waktu Pemampatan Selama Konsolidasi Untuk Suatu Penambahan Beban Yang Diberikan..... 11

Gambar 2.3 Perubahan Tinggi Contoh Tanah Pada Uji Konsolidasi Satu Dimensi..... 12

Gambar 2.4 Bentuk Grafik E Vs Log P 13

Gambar 2.5 Hubungan φ dan N_γ, N_c, N_q..... 18

Gambar 3.1 Sedotan *Stainless* dan Pipa PVC 29

Gambar 3.2 Suntikan Sebagai Alat Penginjeksian Larutan Kapur Aktif.. 29

Gambar 3.3 Sampel Variasi 1 Titik Grouting (diameter 1,5 cm) Untuk Uji Penurunan Konsolidasi 30

Gambar 3.4 Sampel Variasi 2 Titik Grouting (diameter 1 cm) Untuk Uji Penurunan Konsolidasi 30

Gambar 3.5 Sampel Variasi 4 Ttitik Grouting (diameter 0,75 cm) Untuk Uji Penurunan Konsolidasi 30

Gambar 3.6 Sampel Variasi 1 Titik Grouting (diameter 1,5 cm) Untuk Uji Geser Langsung..... 31

Gambar 3.7 Sampel Variasi 2 Titik Grouting (diameter 1 cm) Untuk Uji Geser Langsung..... 31

Gambar 3.8 Sampel Variasi 4 Titik Grouting (diameter 0,75 cm) Untuk Uji

Geser Langsung 31

Gambar 3.9 Bagan Alir Penelitian 32

Gambar 4.1 Grafik Hubungan Batas Cair dan Indeks Plastisitas 35

Gambar 4.2 Grafik Hubungan Batas Cair dan Indeks Plastisitas 37

Gambar 4.3 Grafik Nilai t_{90} Pada Beban 1 kg Sampel Tanah Lempung Asli 40

Gambar 4.4 Grafik Nilai t_{50} Pada Beban 1 kg Sampel Tanah Lempung Asli 41

Gambar 4.5 Grafik Penentuan Tekanan Pra Konsolidasi Pada Sampel Tanah Lempung Asli 44

Gambar 4.6 Grafik Hubungan Cv (t_{50}) Dengan Tekanan Sampel Tanah Lempung Asli 45

Gambar 4.7 Grafik Hubungan Cv (t_{90}) Dengan Tekanan Sampel Tanah Lempung Asli 45

Gambar 4.8 Grafik Hubungan Cv (t_{50}) Dengan Variasi Diameter 47

Gambar 4.9 Grafik Hubungan Cv (t_{90}) Dengan Variasi Diameter 48

Gambar 4.10 Grafik Hubungan Indeks Pemampatan (CC) Dengan Varisi Diameter 49

Gambar 4.11 Grafik Hubungan Penurunan Konsolidasi (Sc) Dengan Variasi Diameter 49

Gambar 4.12 Grafik Hubungan Sudut Geser Geser Langsung Pada Tanah Lempung Asli 52

Gambar 4.13 Grafik Hubungan Sudut Geser Dalam Dengan Variasi Titik

Grouting..... 53

Gambar 4.14 Grafik Hubungan Nilai Kohesi (c) Dengan Variasi Titik *Grouting* 54

Gambar 4.15 Grafik Hubungan Kuat Geser Langsung Dengan Variasi Titik *Grouting*..... 55

Gambar 4.16 Grafik Hubungan Daya Dukung Tanah (q_{ult}) dengan Variasi Titik *Grouting*..... 59

Gambar 4.17 Grafik Hubungan Daya Dukung Tanah (q_{ijin}) dengan Variasi Titik *Grouting*..... 60

BAB I

PENDAHULUAN

1.1 Latar Belakang

Tanah merupakan suatu unsur yang tidak dapat dipisahakan dalam suatu proyek pembangunan dalam dunia Teknik Sipil, karena tanah berguna sebagai unsur pendukung pada bangunan. Maka dari itu tanah memiliki peranan yang sangat penting dalam suatu proyek bangunan.

Penurunan, penyusutan dan pengembangan tanah adalah beberapa permasalahan yang terjadi pada tanah lempung. Sehingga sifat teknis tanah dasar harus diperhatikan agar struktur bangunan yang akan dibangun dapat stabil. Pada umumnya tanah lempung memiliki fluktasi kembang susut yang tinggi yang dipengaruhi oleh lingkungan, iklim, dan curah hujan sehingga apabila terkena air maka tanah lempung akan mengembang.

Tanah lempung yang digunakan berasal dari Desa Tanjung Taritak, Kecamatan Sepang, Kabupaten Gunung Mas, Kalimantan Tengah, Kilometer 98 (Palangka Raya - Kuala Kurun) karena di lokasi tersebut terdapat beberapa titik area yang jalannya mengalami kerusakan atau amblas.

Permasalahan utama bila suatu bangunan atau jalan dibangun di atas tanah lunak adalah daya dukung yang rendah dan terjadinya penurunan (Bowles 1979). Dari permasalahan diatas perlu dilakukan upaya perbaikan dengan menggunakan metode *grouting.*

Grouting merupakan suatu metode atau teknik yang dilakukan untuk memperbaiki keadaan bawah tanah dengan cara memasukkan bahan yang masih

dalam keadaan cair, dalam penelitian ini menggunakan kapur aktif, dengan cara diinjeksikan, sehingga bahan tersebut akan mengisi semua retakan-retakan, dan lubang-lubang yang ada di bawah permukaan tanah, kemudian setelah beberapa saat bahan tersebut akan mengeras, dan menjadi satu kesatuan dengan tanah sehingga diharapkan kestablilan suatu permukaan tanah akan terjaga. Dari beberapa hal yang telah diuraikan pada latar belakang, maka dibuat rumusan masalah sebagai berikut:

1.2 Rumusan Masalah

Rumusan masalah pada penelitian ini adalah:

1. Bagaimana sifat fisik dan mekanik tanah lempung asli di Desa Tanjung Taritak, Kecamatan Sepang, Kabupaten Gunung Mas, Kalimantan Tengah, Kilometer 98 (Palangka Raya - Kuala Kurun)?
2. Berapa besar nilai penurunan konsolidasi dan daya dukung tanah lempung asli?
3. Bagaimana pengaruh penambahan *grouting* kapur aktif yang diperam 3 hari terhadap konsolidasi dan daya dukung?

1.3 Tujuan Penelitian

Adapun tujuan dari penelitian ini adalah:

1. Menganalisis sifat fisik dan mekanik tanah lempung asli di Desa Tanjung Taritak, Kecamatan Sepang, Kabupaten Gunung Mas, Kalimantan Tengah, Kilometer 98 (Palangka Raya - Kuala Kurun).
2. Menganalisis besar nilai konsolidasi dan daya dukung tanah lempung asli.

3. Menganalisis pengaruh penambahan *grouting* kapur aktif yang diperam 3 hari terhadap penurunan konsolidasi dan daya dukung.

1.4 Batasan Masalah

Adapun batasan masalah dari penelitian ini yaitu:

1. Sample tanah Lempung yang diambil di Desa Tanjung Taritak, Kecamatan Sepang, Kabupaten Gunung Mas, Kalimantan Tengah, Kilometer 98 (Palangka Raya - Kuala Kurun).
2. Sampel tanah yang diambil pada kedalaman 1 meter.
3. Menggunakan campuran kapur aktif.
4. Penelitian ini dilakukan di Laboratorium Mekanika Tanah Jurusan Teknik Sipil Fakultas Teknik Universitas Palangka Raya.
5. Pengujian sifat fisik tanah lempung meliputi:
   a. Pengujian Kadar Air *(Water Content)*
   b. Pengujian Berat Volume (*Unit Weight*)
   c. Pengujian Berat Jenis *(Specific Test)*
   d. Pengujian Batas-batas *(Atterberg)*
   e. Pengujian Analisis Saringan *(Sieve Analysis)*
   f. Pengujian Analisis hidrometer (*Hydrometer Analysis)*
6. Perencanaan jumlah variasi titik *grouting* yang akan direncanakan pada sempel tanah dengan metode coba-coba *(trial and error)* adalah 1 titik (diameter 1,5 cm), 2 titik (diameter 1 cm) dan 4 titik (diameter 0,75 cm).
7. Pemeraman dilakukan selama 3 hari setelah di-*grouting*

8. Pengujian sifat mekanik tanah lempung meliputi :
    a. Pengujian Konsolidasi *(Consolidation Test)*
    b. Pengujian Geser Langsung *(Direct Shear Test)*
9. Perhitungan daya dukung tanah dilakukan dengan metode Terzaghi.

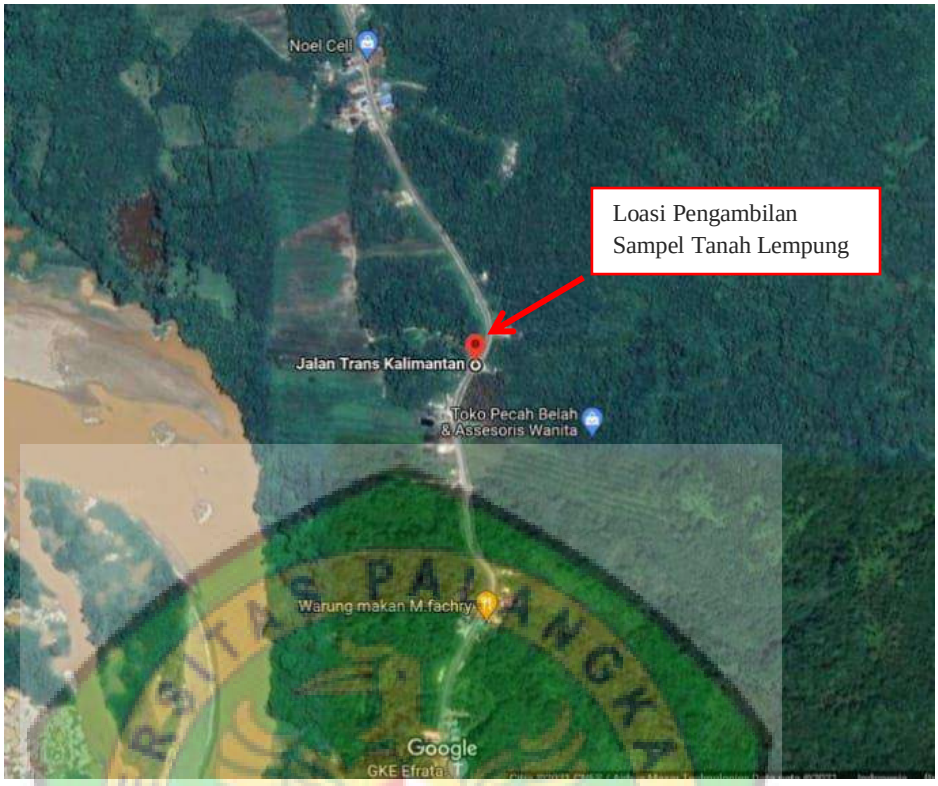
1.5 Manfaat Penelitian

Dari penelitian ini diharapkan:

1. Melalui penelitian ini diharapkan dapat memperoleh pengetahuan mengenai pemanfaatan tanah lempung dan dapat meminimalisir kerusakan pada struktur bangunan di atas tanah lempung.
2. Penelitian ini diharapkan dapat dijadikan sebagai bahan acuan dalam perancangan stabilisasi dan perkuatan tanah dasar pada daerah tanah lempung.
3. Diharapkan pula penelitian ini dapat digunakan sebagai bahan informasi juga bahan referensi lebih lanjut dibidang geoteknik terutama pada tanah-tanah yang bermasalah.

1.6 Lokasi Penelitian

Tanah yang akan digunakan sebagai sampel dari penelitian ini adalah tanah yang berasal dari Desa Tanjung Taritak, Kecamatan Sepang, Kabupaten Gunung Mas, Kalimantan Tengah, Kilometer 98, dengan koordinat lokasi berada pada 1°28’25.6’’S, 113°55’23.3’’E.



Sumber : Google Earth, (2021)

Gambar 1.1 Lokasi Pengambilan Sampel Tanah

BAB II

TINJAUAN PUSTAKA

2.1 Tanah

Kondisi tanah di Indonesia sangat bervariasi ditinjau dari segi kemampuan dukungnya. Tanah merupakan salah satu material yang memegang peranan penting dalam konstruksi atau pondasi, sehingga diperlukan tanah dengan sifat-sifat teknis yang memadai (Gunarti, 2014).

Tanah adalah Semua endapan yang lepas dan lunak, baik yang diangkut maupun tidak diangkut dari tempat asalnya, yang terjadi secara alamiah di atas lapisan batuan yang padat (Hetty,2019).

Tanah dibentuk oleh pelapukan fisika dan kimiawi pada batuan. Pelapukan fisika terdiri atas dua jenis. Jenis pertama adalah penghancuran disebabkan oleh pembasahan dan pengeringan terus-menerus ataupun pengaruh salju dan es. Jenis kedua adalah pengikisan, akibat air, angin, ataupun sungai es. Proses ini menghasilkan butir yang kecil sampai yang besar, namun komposisinya masih tetap sama dengan batuan asalnya. Pelapukan fisika tidak pernah menghasilkan tanah bersifat lempung sekalipun ukurannya sama kecilnya dengan butir lempung. Untuk menghasilkan lempung, harus ada juga pelapukan kimiawi (wesley,2010).

Pelapukan kimiawi adalah proses yang lebih rumit dari pada pelapukan fisika. Pelapukan kimiawi memerlukan air serta oksigen dan karbon dioksida. Proses kimiwi ini mengubah mineral yang terkandung dalam batuan menjadi jenis mineral lain yang sangat berbeda sifatnya. Mineral baru ini disebut mineral lempung (Wesley

2010).

Jenis-jenis tanah:

1. Kerikil (gravel) > 2.00 mm
2. Pasir (sand) 2.00 - 0.06 mm
3. Lanau (silt) 0.06 - 0.002 mm
4. Lempung < 0.002 mm

Pengelompokan jenis tanah berdasarkan campuran butir

1. Tanah berbutir kasar, adalah tanah yang sebagian besar butir-butir tanahnya berupa pasir dan kerikil.
2. Tanah berbutir halus, adalah tanah yang sebagian besar butir-butir tanahnya berupa lempung dan lanau
3. Tanah organik, adalah tanah yang cukup banyak mengandung bahan-bahan organik.

2.2 Tanah Lempung

Sebagian besar tanah di Indonesia adalah tanah lunak. Tanah lunak umumnya banyak ditemui di wilayah Sumatra, Kalimantan, dan Irian Jaya, ketebalannya mencapai lebih dari 30 m.

Di Kalimantan selain permasalahan tanah gambut, permasalahan tanah lempung tidak luput dari perhatian. Tanah lempung merupakan tanah dengan ukuran mikroskopis sampai dengan sub mikroskopis yang berasal dari pelapukan unsur-unsur kimiawi penyusun batuan. Tanah lempung sangat keras dalam keadaan kering, dan tidak mudah terkelupas hanya dengan jari tangan. Permeabilitas lempung sangat rendah, bersifat plastis pada kadar air sedang.

Jenis mineral lempung yang dihasilkan pada suatu keadaan tertentu bergantung pada batuan asal lingkungan pelapukan. Faktor-faktor penting adalah iklim, topografi, dan nilai ph dari air yang merembes dalam tanah. Kelimpahan mineral lempung sendiri sangat bervariasi dipengaruhi oleh berbagai macam hal diantaranya adalah jenis batuan asal, pelapukan serta proses diagenesis sehingga menyebabkan terdapatnya variasi baik secara vertikal maupun lateral (Priyono, 2012).

2.3 Permasalahan pada Tanah Lempung

Pada tanah berpasir yang sangat tembus air (permeable), air dapat mengalir dengan cepat sehingga pengaliran air pori keluar sebagai akibat dari kenaikan tekanan air pori dapat selesai dengan cepat. Keluarnya air dari dalam pori selalu disertai dengan berkurangnya volume tanah, proses ini dapat menyebabkan penurunan lapis tanah itu karena air pori di dalam tanah berpasir dapat mengalir keluar dengan cepat, maka penurunan segera dan penurunan konsolidasi terjadi secara bersamaan (Das, 1995).

Berbeda dengan lapis tanah lempung jenuh air yang compressible (mampu mampat). Koefisien rembesan lempung sangat kecil dibandingkan dengan koefisien rembesan kolom pasir sehingga penambahan tekanan air pori yang disebabkan oleh pembebanan akan berkurang secara lambat dalam waktu yang sangat lama. Untuk tanah lempung perubahan volume yang disebabkan oleh keluarnya air dari dalam pori (konsolidasi) akan terjadi sesudah penurunan segera. Penurunan konsolidasi biasanya jauh lebih besar dan lebih lambat serta lama dibandingkan dengan penurunan segera (Das, 1995).

2.3.1 Konsolidasi

Menurut Bowles (1986) selang waktu timbulnya penurunan konsolidasi ditentukan oleh kecepatan hilangnya kadar pori yang disebabkan oleh beban statis dalam waktu yang cukup lama, sehingga butiran tanah semakin merapat dan semakin erat dan menyebabkan air dan udara yang terkandung di dalamnya terusir menuju tempat lain yang memiliki tekanan lebih rendah. Konsolidasi merupakan proses yang terjadi pada lempung dan lanau yang jenuh air. Pada lempung, keadaannya berbeda dari pasir, dan lebih rumit. Pemberian beban pada tanah akan mengakibatkan meningkatnya tegangan yang bekerja pada tanah tersebut. Hal ini akan mengakibatkan berkurangnya volume tanah sehingga menyebabkan terjadinya penurunan konsolidasi. Pembebanan dan perilaku tanah dapat terjadi menurut salah satu dari ketiga cara dibawah ini (wesley, 2010).

kasus 1: Tidak terdrainase sepenuhnya selama pembebanan sesudah itu diikuti oleh proses konsolidasi yang perlahan-lahan. Ini terjadi pada tanah dengan permeabilitas rendah dan pembebanan cepat.

Kasus 2: Terdrainase sepenuhnya. Kasus ini terjadi jika permeabilitas tanah relatif tinggi dan pembebanan dilakukan secara perlahan-lahan. Penurunan konsolidasi seluruhnya akan berlangsung ketika terjadi pembebanan.

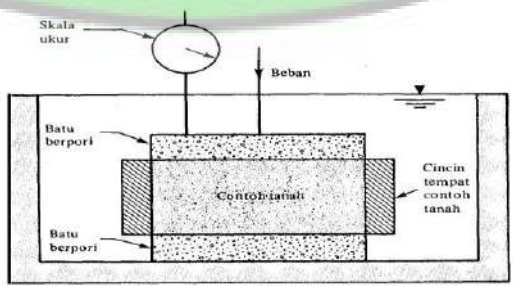
Kasus 3: Terdrainase sebagian. Keadaan ini berada di antara kedua kasus di atas dan mungkin merupakan kasus yang paling umum. Sebagian penurunan konsolidasi terjadi ketika pembebanan dilakukan dan sebagian lagi akan berlanjut dengan beban total yang konstan.

Pada umumnya konsolidasi ini akan berlangsung dalam satu jurusan saja, yaitu secara vertikal. Karena lapisan yang terkena beban itu tidak dapat bergerak dalam horizontal (ditahan oleh tanah sekelilingnya). Hal yang perlu diketahui mengenai konsolidasi, yaitu: besarnya penurunan yang akan terjadi dan kecepatan penurunan (Jalil, 2016).

2.3.1 Uji Konsolidasi Satu Dimensi

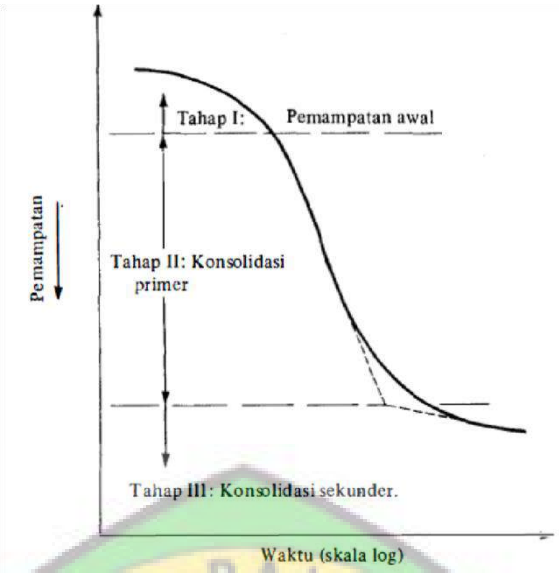
Apabila penekanan suatu lapisan tanah tergantung pada waktu, pengaruhnya disebut penurunan konsolidasi atau lebih biasa disebut konsolidasi (Terzaghi, 1987).

Prosedur untuk melakukan uji konsolidasi satu dimensi pertama diperkenalkan oleh Terzaghi. Uji tersebut dilakukan di dalam sebuah konsolidometer atau oedometer. Skema konsolidometer ditunjukkan dalam gambar 2.1. Pada umumnya, bentuk grafik yang menunjukkan hubungan antara pemampatan dan waktu adalah seperti yang ditunjukkan dalam gambar 2.2. Dari grafik tersebut dapat dilihat bahwa ada tiga tahapan yang berbeda yang dapat dijalankan.



(Sumber : Das, 1995)

Gambar 2.1 Konsolidometer



(Sumber : Das, 1995)

Gambar 2.2 Grafik Waktu-Pemampatan Selama Konsolidasi Untuk Suatu Penambahan Beban Yang Diberikan

Berdasarkan Gambar 2.2, terdapat tiga tahapan proses konsolidasi yaitu:

Tahap I : Pemampatan awal (*initial compression*), yang pada umumnya adalah disebabkan oleh pembebanan awal (*preloading).*

Tahap II : Konsolidasi primer (*primary consolidation*), yaitu periode selama tekanan air pori secara lambat laun dipindahkan kedalam tegangan efektif, sebagai akibat dari keluarnya air dari pori-pori tanah.

Tahap III : Konsolidasi sekunder (*secondary consolidation*), yang terjadi setelah tekanan air pori hilang seluruhnya. Pemampatan yang terjadi disini adalah disebabkan oleh penyesuaian yang bersifat plastis dari butir-butir tanah.

Setelah mendapatkan data yang langsung diperoleh dari suatu uji konsolidasi disajikan dalam bentuk penurunan (pembacaan alat ukur) terhadap waktu. Berikut ini adalah tahapan dalam perhitungan untuk membuat grafik angka pori-tegangan (Braja M.Das, 1995) :

1. Hitung tinggi butiran padat, H_s pada contoh tanah :

$$H_s = \frac{W_s}{AG_s\gamma_w} \quad (2\text{-}1)$$

Dimana :

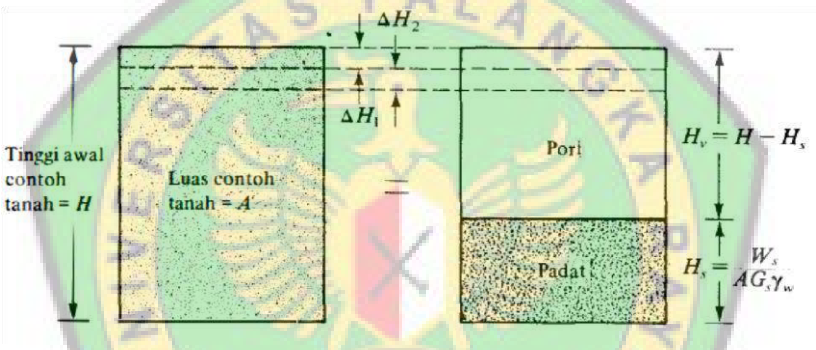
W_s : Berat kering contoh tanah

A : Luas penampang contoh tanah

G_s : Berat spesifik contoh tanah γ

γ_w : Berat volume air

2. Hitung tinggi awal dari ruang pori H_v :



(Sumber : Das, 1995)

Gambar 2.3 Perubahan Tinggi Contoh Tanah Pada Uji Konsolidasi Satu Dimensi

$H_v = H - H_s$ (2-2)

Dimana :

H = Tinggi awal contoh tanah

3. Hitung angka pori awal e_o dari contoh tanah :

$$e_o = \frac{V_v}{V_s} = \frac{H_v A}{H_s A} = \frac{H_v}{H_s} \quad (2\text{-}3)$$

Untuk penambahan beban pertama p_1 (beban total / luas penampang contoh tanah yang menyebabkan penurunan ΔH_1, hitung perubahan angka pori Δe_1 ;

$$\Delta e_1 = \frac{\Delta H_1}{H_s} \qquad (2\text{-}4)$$

ΔH_1 didapatkan dari pembacaan awal dan akhir pada skala ukur untuk beban sebesar p_1

4. Hitung angka pori yang baru, e_1 setelah konsolidasi yang disebabkan oleh penambahan tekanan p_1 :

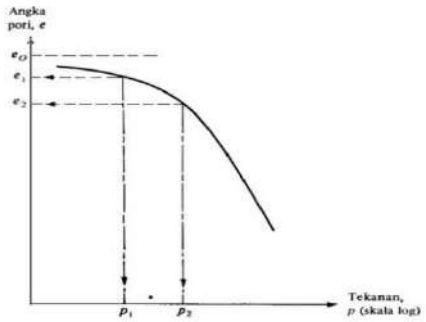
$$e_1 = e_o - \Delta e_1 \qquad (2\text{-}5)$$

Untuk beban berikutnya, yaitu p_2 yang menyebabkan penambahan Pemampatan sebesar ΔH_2, angka pori e_2 pada saat akhir konsolidasi dapat dihitung:

$$e_2 = e_1 - \frac{\Delta H_2}{H_s} \qquad (2\text{-}6)$$

Dengan melakukan cara yang sama, angka pori pada saat akhir konsolidasi untuk semua penambahan beban dapat diperoleh.

Tekanan total (p) dan angka pori yang bersangkutan (e) pada akhir konsolidasi digambar pada grafik logaritma.



(*Sumber : Das, 1995)*

Gambar 2.4 Bentuk Grafik E Vs Log P

Tabel 2.1 Tabel Mekanik Uji Konsolidasi

Beban (Kg)	1	2	4	8	16	8
Tegangan (kg/cm²)	0.32	0.63	1.27	2.53	5.07	2.53
Waktu Pembacaan	Pembacaan Arloji (cm)					
0 detik						
9,6 detik						
21,4 detik						
38,4 detik						
1 menit						
2,25 menit						
4 menit						
9 menit						
16 menit						
25 menit						
36 menit						
49 menit						
60 menit						
120 menit						
24 jam						

2.3.3 Kuat Geser Tanah

Kuat geser tanah adalah gaya perlawanan yang dilakukan oleh butir-butir tanah terhadap keruntuhan dan pergeseran yang terjadi akibat beban yang dialaminya. Secara khusus dalam bidang geoteknik untuk kekuatan tanah biasanya ditunjukkan pada kekuatan gesernya. Hal ini disebebkan kekuatan tarik tanah sangat kecil dan beban- beban yang bekerja akhirnya akan menyebabkan tanah mengalami keruntuhan dalam bentuk geser.

Menurut Mohr (1910) keruntuhan terjadi akibat adanya kombinasi keadaan kritis dari tegangan normal dan tegangan geser. Hubungan fungsi tersebut dinyatakan:

$$\tau = f(\sigma) \qquad (2.7)$$

Keterangan :

σ = Tegangan geser (kN/m2)

τ= Tegangan normal (kN/m2)

Dengan dasar pengertian ini, maka bila tanah mengalami pembebanan akan ditahan oleh :

1. Kohesi tanah yang tergantung pada jenis tanah dan kepadatannya, tetapi tidak tergantung pada tegangan vertikal yang bekerja pada bidang gesernya.
2. Gesekan antara butir-butir tanah yang besarnya berbanding lurus dengan tegangan vertikal pada bidang gesernya.

Tabel 2.2 Tabel Mekanik Uji Kuat Geser

Diameter Sampel		**……**	**Cm**						
Tinggi Sampel		**……**	**Cm**			**Calibration**		**…….. kg/div**	
Luas		**……**	**cm^2**			**Bentuk Sampel**		**Silinder**	
Horizontal Dial Reading (div)	**P1 =**	**3.167**	**Kg**	**P2 =**	**6.334**	**Kg**	**P3 =**	**12.668**	**Kg**
	σ1 =	**0.0985**	**kg/cm2**	**σ2 =**	**0.1970**	**kg/cm2**	**σ3 =**	**0.3940**	**kg/cm2**
	Dial Reading	**Kekuatan Geser**	**τ1 kg/cm^2**	**Dial Reading**	**Kekuatan Geser**	**τ2 kg/cm^3**	**Dial Reading**	**Kekuatan Geser**	**τ3 kg/cm^4**
20									
40									
60									
80									
100									
120									
140									
160									
180									
200									
220									
240									
260									
280									
300									

2.3.4 Daya Dukung Tanah

Daya dukung tanah adalah kemampuan tanah untuk menahan tekanan atau beban bangunan pada tanah dengan aman tanpa menimbulkan keruntuhan geser dan penurunan berlebihan (Najoan, 2020). Kapasitas nilai daya dukung dari suatu tanah didasarkan pada karakteristik tanah dasar dan dipertimbangkan terhadap kriteria penurunan dan stabilitas yang disyaratkan, termasuk faktor aman terhadap keruntuhan.

Menurut Hardiyatmo (2007), daya dukung ultimit (q_u) didefinisikan sebagai beban maksimum persatuan luas dimana tanah masih dapat mendukung beban dengan tanpa mengalami keruntuhan. Bila dinyatakan dalam persamaan, maka:

$$q_u = \frac{P_u}{A} \quad (2\text{-}8)$$

dengan: qu = Daya dukung ultimit atau daya dukung batas (kN/m^2)

P_u = Beban ultimit atau beban batas (kN)

A = Luas beban (m^2)

Menurut Terzaghi (1943) dalam Hardiyatmo (2007), persamaan umum daya dukung ultimit berdasarkan keruntuhan geser umum untuk pondasi menerus sebagai berikut:

$$q_u = cN_c + D_f \gamma N_q + 0{,}5 \gamma B N_\gamma \quad (2\text{-}9)$$

dengan: qu = Daya dukung ultimit untuk pondasi memanjang (kN/m^2)

c = Kohesi tanah (kN/m^2)

D_f = Kedalaman pondasi yang tertanam di dalam tanah (m)

γ = Berat volume tanah (kN/m^3)

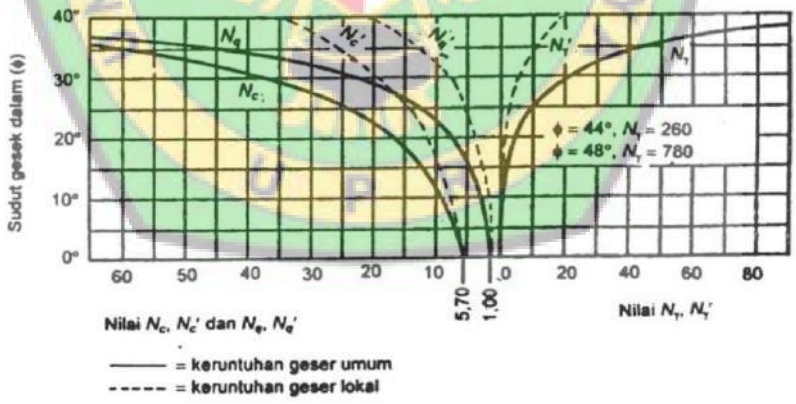
p_o = Tekanan *overburden* pada dasar pondasi (kN/m^2)

N_c = Faktor daya dukung tanah akibat kohesi tanah

N_q = Faktor daya dukung tanah akibat beban terbagi rata

N_γ = Faktor daya dukung tanah akibat berat tanah

Nilai-nilai dari N_γ, N_c, N_q dalam bentuk grafik yang diberikan Terzaghi dapat dilihat pada Gambar 2.5.



(Sumber: Hardiyatmo 2007)

Gambar 2.5 Hubungan ϕ dan N_γ, N_c, N_q

Tabel 2.3 Nilai-Nilai Faktor Daya Dukung Tanah Terzaghi

	Keruntuhan geser umum			Keruntuhan geser local		
Φ	N_γ	N_c	N_q	N_γ'	N_c'	N_q'
0	**5,7**	**1,0**	**0,0**	**5,7**	**1,0**	**0,0**
5	**7,3**	**1,6**	**0,5**	**6,7**	**1,4**	**0,2**
10	**9,6**	**2,7**	**1,2**	**8,0**	**1,9**	**0,5**
15	**12,9**	**4,4**	**2,5**	**9,7**	**2,7**	**0,9**
20	**17,7**	**7,4**	**5,0**	**11,8**	**3,9**	**1,7**
25	**25,1**	**12,7**	**9,7**	**14,8**	**5,6**	**3,2**
30	**37,2**	**22,5**	**19,7**	**19,0**	**8,3**	**5,7**
34	**52,6**	**36,5**	**35,0**	**23,7**	**11,7**	**9,0**
35	**57,8**	**41,4**	**42,4**	**25,2**	**12,6**	**10,1**
40	**95,7**	**81,3**	**100,4**	**34,9**	**20,5**	**18,8**
45	**172,3**	**173,3**	**297,5**	**51,2**	**35,1**	**37,7**
48	**258,3**	**287,9**	**780,1**	**66,8**	**50,5**	**60,4**
50	**347,6**	**415,1**	**1153,2**	**81,3**	**65,6**	**87,1**

(Sumber: Hardiyatmo 2007)

2.4 Kapur Aktif (Kapur Tohor)

Kapur aktif adalah salah satu bahan yang dipakai untuk stabilisasi tanah. Bahan ini mudah didapat karena banyak ditemukan di pasaran dan diproduksi secara besar-besaran. Kapur merupakan hasil endapan kerangka binatang yang hidup di lautan dan berlangsung hingga jutaan tahun. Oleh karena proses geologi terjadilah pergerakan kulit bumi dan endapan ini terangkat ke atas permukaan laut. Oleh peristiwa alam lainnya batuan ini kemudian dapat ditemui dalam berbagai bentuk mulai dari yang keras seperti marmer sampai yang keropos atau ringan, tergantung usia batuan ini (Palar, 2013).

Untuk tujuan stabilisasi tanah, bentuk kapur yang banyak digunakan adalah kapur aktif/tohor (CaO) dan kapur Hidrasi atau kapur Padam. Kapur CaO berasal dari pembakaran batu kapur/batu gamping *(lime stone)*, yang memiliki rumus kimia

$CaCO_3$ dengan reaksi kimia CaO_3 $CaO + CO_2$. Ada juga kapur padam merupakan hasil pemadaman kapur tohor dengan air, dengan reaksi $CaO + H_2O$ $Ca(OH)_2$.

Kapur aktif merupakan salah satu bahan stabilisasi yang efektif untuk jenis tanah tertentu. Jenis tanah yang paling sesuai dengan bahan kapur adalah tanah lempung. Sementara pada tanah yang sedikit atau tidak meengandung lempung sama sekali (tanah butiran) tidak terlalu berpengaruh.

2.5 *Grouting*

Grouting adalah suatu proses, dimana suatu campuran antara kapur dan air dimasukkan ke dalam lubang, pori, rekahan dan retakan batuan yang selanjutnya cairan tersebut dalam waktu tertentu akan menjadi padat secara fisika maupun kimiawi. Pekerjaan *grouting* merupakan salah satu cara dalam perbaikan pondasi *(Foundation Treatment)* pada bendungan air terutama bendungan.

Permeabilitas tanah berbutir-kasar dapat diperkecil dengan cara *grouting*. Proses tersebut terdiri dari penyuntikan suatu cairan yang sesuai, dikenal dengan sebutan *grout*, ke dalam pori-pori tanah. *Grout* tersebut secara berangsur-angsur akan mengeras, sehingga dapat mencegah atau memperkecil rembesan air. *Grouting* juga menghasilkan kenaikan rembesan 67 kekuatan tanah. Cairan yang digunakan untuk *grouting* meliputi campuran kapur aktif dan air, suspensi lempung, larutan kimia, seperti sodium silikat atau damar sintetis, dan emulsi bitumen. Penyuntikan *(Injection)* biasanya dilakukan ke dalam suatu pipa yang dimasukkan ke dalam tanah atau ditempatkan ke dalam lubang bor dan ditahan dengan sebuah selubung. (Craig, 1989).

Distribusi ukuran partikel tanah menunjukkan jenis *grout* yang akan digunakan. Partikel-partikel suspensi dalam *grout*, seperti semen atau lempung, akan merembes pori-pori tanah bila ukuran pori-pori tanah lebih besar dari ukuran partikel tersebut; pori-pori yang lebih kecil dari ukuran ini akan menghalangi partikel untuk menembus tanah. Grout semen dan lempung hanya cocok untuk kerikil dan pasir kasar. Untuk pasir sedang dan pasir halus, *grout* yang digunakan adalah jenis larutan atau emulsi. (Craig, 1989).

Tabel 2.4 Penelitian Terdahulu

No	Judul	Peneliti	Metode Analisis	Variabel	Hasil
1	Desain Campuran Semen Dan Air Pada Pekerjaan *Grouting* Proyek Bendungan/Waduk Nipah Madura-Jawa Timur	I Made Udiana (2013)	metode sementasi bertingkat (stage *grouting*). Menetapkan harga lugeon test = 1 - 5 lugeon, 5 - 15 lugeon dan > 15 lugeon, Menetapkan campuran dengan perbandingan semen : air, dimana dipakai campuran 1 : 10 ; 1 : 8 ; 1: 6.	terlebih dahulu dilakukan uji tekanan air (water pressure test) dengan pengepakan tunggal (single packer). Tekanan maksimum yang dipakai dalam percobaan ini ditentukan sebesar 0,50 kg/cm2 untuk stage pertama, sedangkan untuk stage selanjutnya tekanan dapat diperbesar sesuai dengan kedalaman lubang, yaitu tidak melampaui 0,15 kg/cm2 per meter kedalaman. Tekanan uji pada waktu melaksanakan percobaan ini dilakukan dalam variasi yang menurun, yaitu: 33%, 67%, 100%, 67% dan 33% dari tekanan maksimum yang diinjeksikan. Dalam pemakaian tekanan maksimum pada saat operasi, mempunyai hasil optimum dan dapat menjamin terhadap pecahnya (bursting) daerah yang digrouting akibat tekanan ke atas (up lift pressure) yang diinjeksikan.	1 Ternyata dari hasil perhitungan pada lubang P.1 stage pertama Lv = 31,534 lt/menit/m', pada P.2 stage kedua Lv = 31.822 lt/menit/m', pada S.1 stage pertama Lv = 31.373 lt/menit/m', pada S.2 stage kedua Lv = 31.525 lt/menit/m', pada T.1 stage pertama Lv = 53.644 lt/menit/m'dan pada T.2 stage kedua Lv = 51.955 lt/menit/m'. Dengan demikian, besarnya rata-rata angka lugeon (Lv) untuk semua lubang (P1, P2, S1, S2, T1 dan T2) dan stage (pertama dan kedua) > 15,000 lugeon, maka dapat ditentukan bahwa besarnya desain perbandingan campuran semen dan air (bubur sementasi) adalah 1:6 2 Berdasarkan angka lugeon (Lv) > 15 lugeon dipakai campuran 1 : 6, didapat berat jenis campuran 1 : 6 sebesar 19,90 t/m3 karena campuran dalam volume mixer sebesar 200 liter didapat berat semen yang ditentukan sebesar 31,66 kg. 3 Berdasarkan berat semen dan berat jenis semen, didapat volume cairan

BAB III

METODE PENELITIAN

3.1 Umum

Penelitian ini bertujuan untuk mengetahui apakah dengan teknik *grouting* kapur aktif dapat memperbaiki daya dukung dan konsolidasi pada tanah lempung khususnya jalan yang terletak di Desa Tanjung Tatitak, Kecamatan Sepang, Kabupaten Gunung Mas, Kalimantan Tengah. Kilometer 98 (Palangka Raya - Kuala Kurun). Pada penelitian ini dilakukan beberapa uji laboratorium untuk memperoleh informasi geoteknik yang meliputi uji kualitas fisik tanah dan uji mekanik tanah.

Penelitian ini dimulai dengan mengambil sampel tanah lempung di lokasi penelitian. Kemudian sampel tanah akan dilakukan uji fisik meliputi pengujian kadar air, berat isi, berat jenis, batas atterberg, analisa saringan dan analisis hidrometer. Dan uji mekanik tanah meliputi pengujian konsolidasi dan pengujian geser langsung di laboratorium.

3.2 Pengambilan Sampel Tanah

Tanah yang digunakan adalah tanah lempung, diambil pada kedalaman 1 meter dan merupakan tanah tidak terganggu *(Undisturbed Sample)* menggunakan tabung yang berbentuk silinder yang diameternya berukuran 6,85 cm. Pertama-tama, tabung dimasukkan ke dalam dasar tabung bor, kemudian ditekan atau dipukul ke dalam tanah asli yang akan diambil contohnya pada dasar lubang bor, tabung tidak boleh diangkat langsung karena tanah tersebut belum stabil dan melekat ke dinding tabung yang dimasukkan, saat diangkat kedua ujung tabung ditutup rapat menggunakan lilin parafin untuk mencegah pengaruh luar yang dapat merusak keaslian tanah dan diberi label yang mencantumkan lokasi, nomor

boring, kedalaman dan keterangan yang diperlukan pada setiap tabung sampel. Kemudian sampel tanah dibawa ke laboratorium untuk dilakukan pengujian. Pengambilan sampel tanah tidak terganggu (UDS) ini mengacu pada spesifikasi ASTM D-1587-83.

3.3 Pengujian Di Laboratorium

Uji laboratorium dilakukan dengan tujuan untuk memperoleh informasi geoteknik (parameter fisik dan mekanik tanah) yang dibutuhkan untuk desain bangunan yang aman dan ekonomis. Hasil pengujian akan memberikan dasar untuk mengidentifikasi dan mengklarifikasi serta untuk mengevaluasi karakteristik kekuatan dan kompresibilitas lapisan tanah.

Pengujian laboratorium dilakukan setelah sampel tanah diambil dari lokasi penelitian dan akan dilakukan pengolahan data. Pada pengujian ini mengacu pada ketentuan ASTM.

3.3.1 Pengujian Sifat Fisik Tanah Lempung

Pengujian sifat fisik tanah Lempung meliputi:

a. Pengujian Kadar Air *(Water Content)*

Kadar air adalah perbandingan berat air terkandung dalam tanah. Nilai kadar air biasanya dinyatakan dalam persen (%).Pengujian ini mengacu pada ASTM D-2216-71.

b. Pemeriksaan Berat Volume Tanah (*Unit Weight)*

Tujuan dari pemeriksaan ini untuk menentukan berat volume tanah basah dalam keadaan asli (*undisturbed sample*), yaitu perbandingan antara berat tanah dengan volume tanah (ASTM D 2167).

c. Pengujian Berat Jenis *(Specific Gravity)*

Berat jenis tanah (Gs) adalah perbandingan antar berat butir tanah dengan berat isi air pada temperature 4°C dan tekanan 1.0 atmosfir. Pengujian dilakukan dengan menggunakan botol erlenmeyer. Berat jenis tanah digunakan pada hubungan fungsional antara fase udara, air, dan butiran dalam tanah. Pengujian berat jenis bertujuan untuk menentukan berat jenis tanah yang mempunyai butiran lewat saringan No.4 dengan piknometer. Pengujian ini mengacu pada ASTM D-854-92.

d. Uji Batas-Batas *Atterberg*

Pengujian batas-batas Atterberg bertujuan untuk mencari nilai perbandingan berat air yang mengisi ruang pori dengan berat tanah kering pada kondisi batas cair/plastis. Penentuan batas-batas *atterberg* meliputi batas susut (*Shrinkage Limit*), batas plastis (*Plastis Limit*), dan batas cair (*Liquid Limit*) serta indeks plastisitas (*Plasticity Index*).

1. Pemeriksaan Susut (*Shrinkage Limit)*

Adalah batas kadar air dimana tanah dengan kadar air di bawah nilai tersebut tidak menyusut lagi. Bertujuan untuk mengetahui kadar air (Ws) terhadap berat kering tanah setelah dioven (ASTM D-4318).

2. Pemeriksaan Batas Plastis *(Plastic Limit)*

Adalah kadar air terendah dimana tanah mulai bersifat plastis (ASTM D-4318).

3. Pemeriksaan Batas cair *(Liquid Limit)*

Adalah kadar air tertentu dimana perilaku berubah dari kondisi plastis ke cair. Pada kadar air tersebut tanah mempunyai kuat geser yang terendah (ASTM D-4318-93).

e. Pengujian Analisa Saringan *(Sieve Analysis)*

Pengujian analisa saringan bertujuan untuk mengetahui ukuran butiran dan susunan butiran (gradasi) tanah yang tertahan di saringan nomor 200. Tanah benda uji disaring lewat satu set saringan standar. Berat tanah yang tertinggal dalam setiap saringan ditimbang. Pengujian ini mengacu pada ASTM D-421.

f. Pemeriksaan Analisis Hidrometer (*Hydrometer Analysis*)

Tujuan dari pemeriksaan ini adalah untuk mengetahui pembagian ukuran butir tanah yang berbutir halus dengan menghitung distribusi ukuran butir tanah berdasarkan sedimentasi tanah dalam air (ASTM D-442).

3.3.2 Pengujian Sifat Mekanik Tanah Lempung

Pengujian sifat mekanik tanah pada penelitian ini dilakukan dengan cara pengujian konsolidasi *(Consolidation Test)* dan uji geser langsung (*Direct Shear Test*) untuk mengetahui daya dukung pada tanah.

a. Pengujian Konsolidasi (*Consolidation Test)*

Penurunan konsolidasi terjadi sebagai akibat perubahan volume yang diakibatkan oleh disipasi pori berlebih, pemampatan sekunder terjadi sebagai akibat perubahan volume pada tegangan efektif konstan, yaitu setelah disipasi tekanan pori berlebih selesai. Uji konsolidasi bertujuan untuk menentukan sifat pemadatan suatu jenis tanah, yaitu sifat-sifat perubahan isi dan proses keluarnya air dari dalam tanah yang diakibatkan adanya tekanan vertikal yang bekerja pada tanah tersebut. Pengujian ini mengacu pada ASTM D-2435-90.

b. Pengujian Geser Langsung (*Direct Shear Test*)

Pengujian ini bertujuan untuk menentukan parameter kuat geser tanah kohesi (c) dan sudut geser dalam tanah (ϕ). Pengujian ini mengacu pada ASTM D-3080.

3.4 Perencanaan *Grouting* Uji Penurunan Konsolidasi dan Uji Geser Langsung (*Direct Shear Test*)

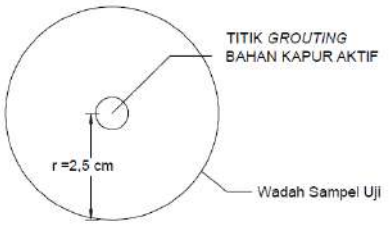
Grouting adalah suatu metode atau teknik yang dilakukan untuk memperbaiki keadaan bawah tanah dengan cara memasukkan bahan yang masih dalam keadaan cair, dengan cara diinjeksikan, sehingga cairan tersebut akan mengisi semua retakan-retakan dan lubang-lubang yang ada di bawah permukaan tanah. Dengan teknik *grouting* kapur aktif diharapkan akan memperbaiki daya dukung dan penurunan konsolidasi tanah lempung. Langkah pertama yang dilakukan adalah menetukan jumlah titik *grouting* pada sampel uji dimana pada penelitian ini menggunakan variasi 1 titik *grouting* (diameter 1,5 cm), 2 titik *grouting* (diameter 1 cm) dan 4 titik *grouting* (diameter 0,75 cm) yang dilubangi menggunakan sedotan *stainless* dan pipa PVC (dapat dilihat pada gambar 3.1), kemudian larutan kapur aktif yang telah dicampur dengan air diinjeksikan menggunakan suntikan (dapat dilihat pada gambar 3.2) ke dalam titik lubang sampel uji, dan akan dilakukan pemeraman selama 3 hari. Sampel yang telah diperam akan dilakukan pengujian uji konsolidasi dan uji geser tanah yang mengacu pada ketentuan ASTM. Berikut gambar dari alat dan perencanaan sampel penelitian untuk pengujian penurunan konsolidasi dan uji geser langsung (*direct shear test)*:

Sumber : Eling (2022)

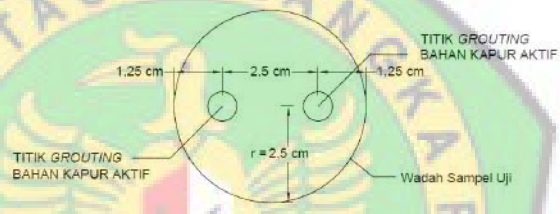
Gambar 3.1 Sedotan Stainless dan Pipa PVC

Sumber : Eling (2022)

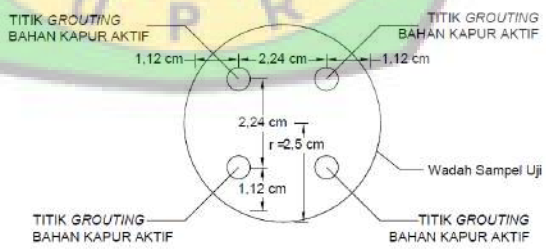
Gambar 3.2 Suntikan Sebagai Alat Penginjeksian Larutan Kapur Aktif



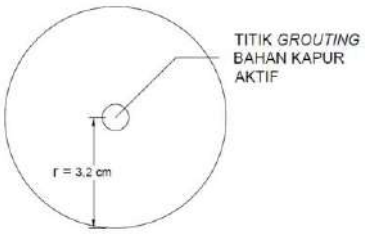
Gambar 3.3 Sampel Variasi 1 Titik *Grouting* (diameter 1,5 cm) Untuk Uji Penurunan Konsolidasi



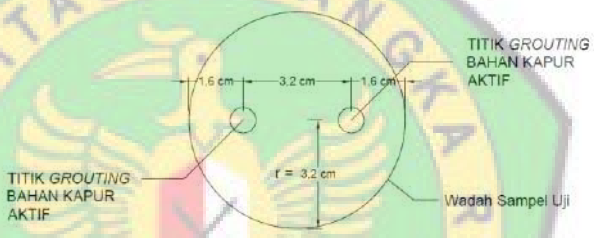
Gambar 3.4 Sampel Variasi 2 Titik *Grouting* (diameter 1 cm) Untuk Uji Penurunan Konsolidasi



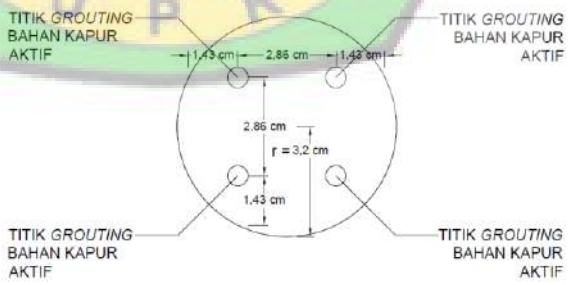
Gambar 3.5 Sampel Variasi 4 Titik *Grouting* (diameter 0,75 cm)Untuk Uji Penurunan Konsolidasi



Gambar 3.6 Sampel Variasi 1 Titik *Grouting* (diameter 1,5 cm) Untuk Uji Geser Langsung

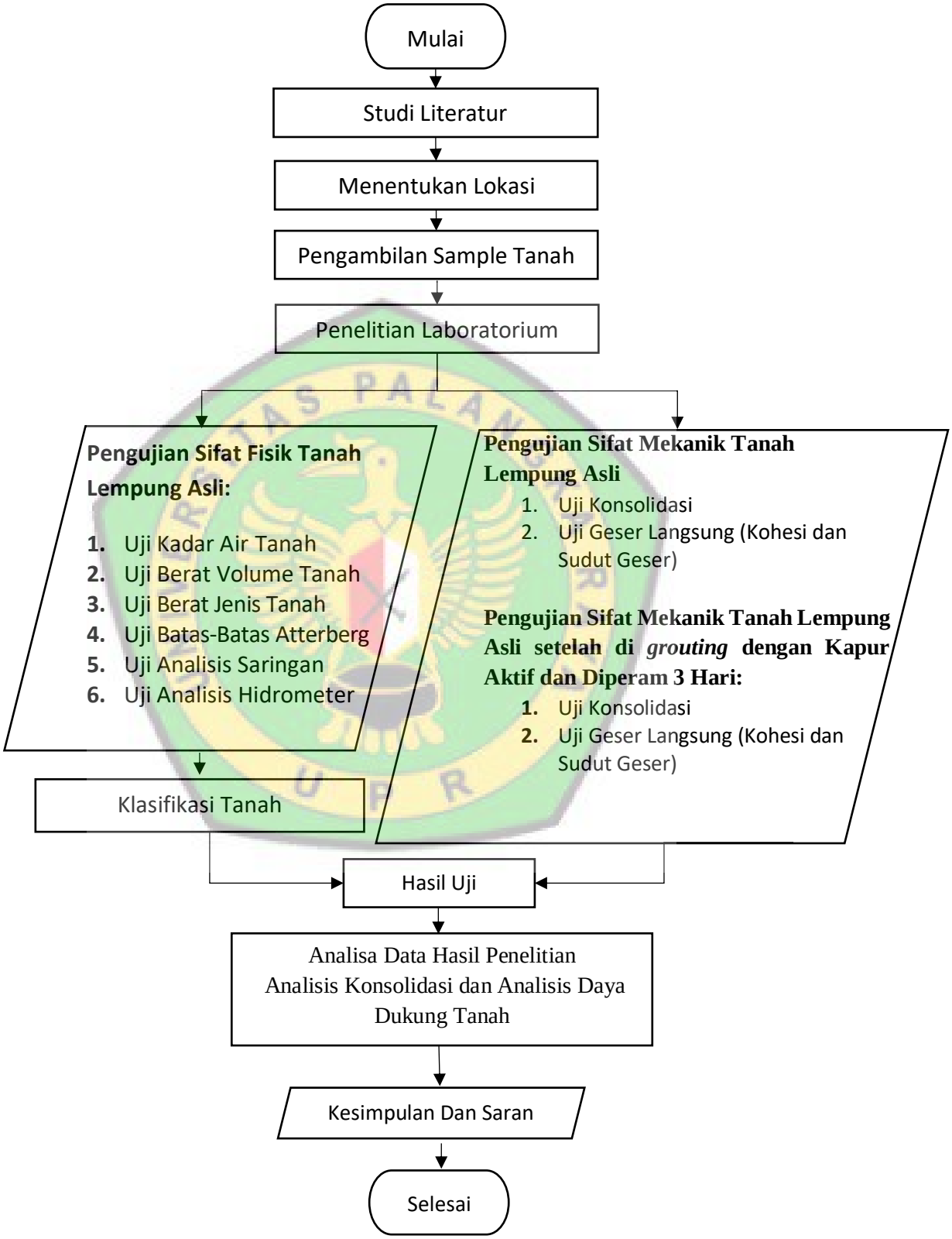


Gambar 3.7 Sampel Variasi 2 Titik *Grouting* (diameter 1 cm) Untuk Uji Geser Langsung



Gambar 3.8 Sampel Variasi 3 Titik *Grouting* (diameter 0,75 cm) Untuk Uji Geser Langsung

3.5 Bagan Alir Penelitian



Gambar 3.2 Bagan Alir Penelitian

BAB V

KESIMPULAN

5.1 Kesimpulan

Berdasarkan hasil penelitian dan analisis data yang telah dilakukan, maka dapat diambil kesimpulan bahwa:

1. Hasil pengujian sifat fisik tanah asli didapat nilai, yaitu: kadar air (*w*) = 42,78%, berat isi tanah (γ) = 1,65 gr/cm^3, berat jenis (Gs) = 2,53, batas-batas *Atterberg*, yaitu: Batas Cair (LL) = 41,08%, Batas Plastis (PL) = 24,24%, Batas Susut (SL) = 12,55%, Indeks Plastisitas (PI) = 16,85%, Analisis saringan persentase tanah lolos saringan No.200 = 52,05%. Menurut AASHTO yang dikelompokan dalam kelompok A-7-6 (6) termasuk tanah berlempung dengan kondisi sedang sampai buruk dan menurut sistem USCS tanah termasuk kelompok CL, tanah lempung anorganik dengan plastisitas rendah sampai dengan sedang. Dari hasil pengujian sifat mekanik tanah lempung asli didapat nilai konsolidasi Sc = 0,198 cm, kuat geser (τ) = 0,2804 Kg/cm^2 dan daya dukung tanah (q_{ult}) = 4,8747 Kg/cm^2 .
2. Berdasarkan pengujian konsolidasi dan pengujian geser langsung di laboratorium didapat nilai penurunan konsolidasi dan daya dukung terhadap tanah lempung asli, yaitu:
   a. Nilai penurunan konsolidasi tanah asli = Sc = 0,198 cm.
   b. Kuat geser tanah lempung asli (τ) = 0,2804 Kg/cm^2
   c. Daya dukung tanah (q_{ult}) = 4,8747 Kg/cm^2, dan daya dukung ijin (q_{ijin})

= 1,6249 Kg/cm^2.

3. a. Pengaruh dari pengujian konsolidasi terhadap penambahan variasi titik *grouting* kapur aktif pada tanah lempung mendapatkan hasil, yaitu:

   - Tanah lempung asli, Sc = 0,198 cm.
   - *Grouting* kapur aktif 1 titik (diameter 1,5 cm), Sc = 0,159 cm (Lebih kecil 19,70% dari tanah asli).
   - *Grouting* kapur aktif 2 (diameter 1 cm), Sc = 0,140 cm (Lebih kecil 29,29% dari tanah asli).
   - *Grouting* kapur aktif 4 (diameter 0,75 cm), Sc = 0,132 cm (Lebih kecil 33,33% dari tanah asli).

   Dari hasil diatas dapat dilihat bahwa *grouting* kapur aktif pada konsolidasi yang diperam selama 3 hari berpengaruh terhadap penurunan tanah.

b. Pengaruh dari variasi titik *grouting* kapur aktif pada tanah lempung yang diperam 3 hari terhadap daya dukung mendapatkan hasil, yaitu:

   - Kuat geser pada tanah lempung asli (τ) = 0,2804 Kg/cm^2, daya dukung tanah (q_{ult}) = 4,8747 Kg/cm^2 dan daya dukung ijin (q_{ijin}) = 1,6249 Kg/cm^2.
   - Kuat geser pada tanah *grouting* kapur aktif 1 titik (diameter 1,5 cm) (τ) = 0,2635 Kg/cm^2, daya dukung tanah (q_{ult}) = 7,0611 Kg/cm^2 dan daya dukung ijin (q_{ijin}) = 2,3537 Kg/cm^2.

     (Daya dukung ultimit (qult) mengalami kenaikan 44,85% dari tanah asli)

- Kuat geser pada tanah *grouting* kapur aktif 2 titik (diameter 1 cm) (τ) = 0,2204 Kg/cm^2, daya dukung tanah (q_{ult}) = 7,5631 Kg/cm^2 dan daya dukung ijin (q_{ijin}) = 2,5210 Kg/cm^2.

  (Daya dukung ultimit (qult) mengalami kenaikan 55,15% dari tanah asli)
- Kuat geser pada tanah *grouting* kapur aktif 4 titik (diameter 0,75 cm) (τ) = 0,1948 Kg/cm^2, daya dukung tanah (q_{ult}) = 9,5126 Kg/cm^{2}dan daya dukung ijin (q_{ijin}) = 3,1709 Kg/cm^2.

  (Daya dukung ultimit (qult) mengalami kenaikan 95,14% dari tanah asli).

Dari hasil daya dukung tanah yang telah diuraikan diatas dapat dilihat bahwa peningkatan terbesar terletak pada tanah lempung yang di-*grouting* kapur aktif 4 titik dan diperam selama 3 hari yaitu sebesar 95,14%.

Dari hasil uji konsolidasi dan uji geser langsung dapat dilihat bahwa dengan total luasan yang sama dan titik *grouting* yang berbeda maka semakin banyak jumlah titik, nilai daya dukung semakin besar dan nilai penurunan konsolidasi semakin kecil yang artinya tanah mengalami perbaikan setelah dilakukan *grouting* kapur aktif.

5.2 Saran

Adapun saran yang dapat diberikan dari penelitian ini adalah:

1. Tanah yang telah diambil harus segera dilakukan pengujian untuk menghindari kerusakan dan berkurangnya kadar air sampel tersebut.
2. Diameter titik *Grouting* harus diperhatikan dan disesuaikan dengan besarnya cetakan untuk masing-masing pengujian, karena besarnya cetakan

sangat berpengaruh terhadap besarnya diameter titik *grouting* pada saat pembuatan sampel benda uji.

3. Dalam pengolahan data ketelitian sangat dibutuhkan terutama pada penginputan data dan pemahaman grafik.

DAFTAR PUSTAKA

ASTM (*American Society for Testing and Material*) D 2216. Amerika: ASTM International

ASTM (*American Society for Testing and Material*) D 2166. Amerika: ASTM International

ASTM (*American Society for Testing and Material*) D 2435. Amerika: ASTM International

ASTM (*American Society for Testing and Material*) D 422. Amerika: ASTM International

ASTM (*American Society for Testing and Material*) D 4318 . Amerika: ASTM International

ASTM (*American Society for Testing and Material*) D 854. Amerika: ASTM International

ASTM, 1990. *Standards and Literature References for Composite Material Second Edition.* Philadelphia: American Society for Testing and Materials.

Bowles, J. E. (1991). *Sifat-sifat Fisis Tanah dan Geoteknis Tanah.* Jakarta: Erlangga.

Bowles, J. E. (1993). *Sifat-sifat Fisis dan Geoteknis Tanah.* Jakarta: Edisi Keempat, Penerbit Erlangga.

Chen, F. H. (1975). *Foundation on Expansive Soils.* New York: Development in Geotechnical Engineering, Elsevier Scientific Publication Company.

Craig, R. F. (1989). *Mekanika Tanah, Edisi keempat.* Jakarta: Penerbit Erlangga.

Das, B. M. (1995). *Mekanika Tanah (prinsip-prinsip Rekayasa Geoteknik), Jilid 1.* (N. E. Mochtar, & I. B. Mochtar, Trans.) Indonesia: Penerbit Erlangga.

Dhani, N., 2013. *Karakteristik Kolom Pasir Grouting Sebagai Metode Perkuatan Tanah Lempung Kepasiran*. Makasar: universitas hasanuddin.

Gunarti, Anita, Setyowati, S. 2014. *Atterberg Limit dan Direct Shear Strength Tanah Lempung Dengan Spent Catalyst RCC-15 Dan Ca(OH)$_2$.* Bekasi: Universitas Islam.

Hardiyatmo, H. C. (2002). *Mekanika Tanah I, Jilid 1, edisi 3.* Jakarta: P.T. Gramedia Pustaka.

Hardiyatmo, H. C. (2007). *Mekanika Tanah 2.* Yogyakarta: Gadjah Mada University Press.

Jalil, Abdul. 2016. *Studi campuran kapur pada tanah lempung terhadap permeabilitas dan kecepatan konsolidasi (studi kasus tanah desa cot girek kandang kecamatan muara dua kabupaten aceh utara*). Aceh: universitas malikussaleh.

Palar, Hariman, dkk. 2013, *Pengaruh Pencampuran Tras Dan Kapur Pada Lempung Ekspansif Terhadap Nilai Daya Dukung*. Jurnal Sipil Statik

Priyono, K.D. 2012. *Kajian Mineral Lempung Pada Kejadian Bencana Longsor Lahan Di Pegunungan Kulonprogo Daerah Istimewa Yogyakarta*. Forum Geografi.

Rohili, I. (2005). *Stabilisasi Tanah Gambut Rawa Pening Dengan Kapur Tumbuk dan Kapur Bakar.* Jurusan Teknik Sipil, Fakultas Teknik Sipil dan Perencanaan, Universitas Islam Indonesia.

Supriyono. (1995). Tekanan Pengembangan Untuk tanah tak terusik khususnya pada tanah Ekspansive. *Majalah Media Teknik*, No. 3, tahun XVII, edisi Desember.

Terzaghi, K., & Peck, R. B. (1987). *Mekanika Tanah dalam Praktek Rekayasa I.* Jakarta: Erlangga.

Udiana, I. M., 2013. *Desain Campuran Semen dan Air pada Pekerjaan Grouting Proyek Bendungan/Waduk Nipah Madura-Jawa Timur*. *Jurnal Teknik Sipil*, Vol. 2. 93-104.

Wesley, D. L., 2010. *Mekanika Tanah*, Andi, Yogyakarta.

Zuraidah, S., & Hastono, B. (2017). Serbuk Kapur Sebagai Cementitious Pada Mortar. *Jurnal Rekayasa Tenik Sipil Universitas Madura*, pp. 27-31.