

**SKRIPSI**

**ANALISIS PENGARUH PENGGUNAAN GROUTING SEMEN  
PORTLAND PADA TANAH LEMPUNG TERHADAP DAYA  
DUKUNG TANAH**

**Oleh:**

**SYAIFUL NUR ARIF  
DAB 115 165**



**JURUSAN/PROGRAM STUDI TEKNIK SIPIL**

**FAKULTAS TEKNIK**

**UNIVERSITAS PALANGKARAYA**

**PALANGKARAYA**

**2022**

**ANALISIS PENGARUH PENGGUNAAN GROUTING SEMEN  
PORTLAND PADA TANAH LEMPUNG TERHADAP  
DAYA DUKUNG TANAH**

**SKRIPSI**

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

oleh

**SYAIFUL NUR ARIF**  
NIM. DAB 115 165

**Disetujui untuk diajukan dalam Sidang Skripsi**

Ketua Penguji/Penguji 1



**Ir. Suradji Gandi, M.M.**  
NIP. 19570706 198701 1 002

Sekretaris/penguji 2



**Mohammad Ikhwan Yani, S.T., M.T.**  
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

**ANALISIS PENGARUH PENGGUNAAN GROUTING SEMEN PORTLAND PADA  
TANAH LEMPUNG TERHADAP DAYA DUKUNG TANAH**

**SKRIPSI**

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

Oleh :


**SYAIFUL NUR ARIF**  
NIM. DAB 115 165

Telah dipertahankan di depan Tim Penguji, pada:


Hari/Tanggal : Selasa, 12 Juli 2022  
Waktu : 15.00 – 17.00 WIB  
Tempat : Ruang Sidang Sarjana (offline)

Tim Penguji :


1. **Ir. H. SURADJI GANDI, M.M.**  
NIP. 195707061987011002

 (Pembimbing Utama/Ketua Penguji)


2. **M. IKHWAN YANI, S.T., M.T.**  
NIP. 197102251998021001

 (Pembimbing Pendamping/Sekretaris)

3. **Dr. FATMA SARIE, S.T., M.T.**  
NIP. 197202191997022001

 (Penguji 3)


4. **a.n. OKROBIANUS HENDRI, S.T., M.T.**  
NIP. 197510012006041003

 (Penguji 4)

Ketua KBK Geoteknik  
M. Ikhwan Yani, S.T., M.T.

Mengetahui:

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

  
**Dr. RUDI WALUYO, S.T., M.T.**  
NIP. 197806082005011003

Fakultas Teknik  
Universitas Palangka Raya  
Dekan,  
  
**Ir. WALUYO NUSWANTORO, M.T.**  
NIP. 196511191993021001

## BIODATA MAHASISWA

### Data Pribadi

Nama : Syaiful Nur Arif  
NIM : DAB 115 165  
Tempat, Tanggal lahir : Palangka Raya, 21 Januari 1996  
Status : Belum Menikah  
Agama : Islam  
Pekerjaan : Mahasiswa  
Alamat di Palangka Raya : Jl. Jendang Kota Palangka Raya  
No. Telp Rumah : -  
Alamat Asal : Ds. Mampuak II (Dua)  
Email : syaifulnurarif01@gmail.com  
No. Hp : 0813 4832 0001  
No. Wa : 0877 4893 4000  
Facebook : Syaiful Nur Arif  
Instagram : Syaiful Nur Arif  
Line : -  
Nama Ayah : Jamin Edi Suwito  
Pekerjaan Ayah : Pekebun/Petani  
Alamat : Ds. Mampuak II (Dua)  
No. Hp : 0852 5149 7903  
Nama Ibu : Supriyatin  
Pekerjaan Ibu : Ibu Rumah Tangga  
Alamat : Ds. Mampuak II (Dua)  
No. Hp : 0821 5660 3571  
Wali : -



### Riwayat Pendidikan \*)

- TK : -
- SD : SD-N 1 Mampuak II (Dua) (2001–2007)
- SLTP : SMP-N 2 Teweh Timur (2007–2010)
- SLTA : SMK-N 1 Muara Teweh (2010–2013)
- Mulai mengikuti perkuliahan Program Strata-1 pada Jurusan/Program Studi Teknik Sipil Universitas Palangka Raya bulan September 2015

Palangka Raya, Juli 2022  
Yang membuat pernyataan

**SYAIFUL NUR ARIF**  
NIM. DAB 115 165

## SURAT PERNYATAAN

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

Palangka Raya, Juli 2022



**SYAIFUL NUR ARIF**  
NIM. DAB 115 165

## RINGKASAN

**ANALISIS PENGARUH PENGGUNAAN GROUTING SEMEN PORTLAND PADA TANAH LEMPUNG TERHADAP DAYA DUKUNG TANAH**, Syaiful Nur Arif, DAB 115 165, Jurusan/Program Studi Teknik Sipil, Fakultas Teknik Universitas Palangka Raya.

Untuk menunjang pembangunan dan juga perbaikan mutu tanah di Desa Mantaren I, Kecamatan Kahayan Hilir, Kabupaten Pulang Pisau diperlukan analisa bila menemui kondisi tanah lempung yang stabilitasnya rendah akan menimbulkan biaya untuk pembangunan dan pemeliharannya lebih tinggi. Dalam upaya perbaikan mutu tanah sendiri perlu melakukan penyelidikan tanah terlebih dahulu, ada beberapa metode yang dapat dilakukan, salah satunya yaitu dengan menggunakan metode *grouting*.

Penelitian ini dimulai dengan tahap mengidentifikasi masalah, menetapkan tujuan, mengumpulkan kajian literatur, menyusun variable penelitian, melakukan survey lapangan, mengumpulkan data dilapangan, pengujian kuat geser (*direct shear*), pengujian daya dukung tanah, pengujian sifat fisik dan mekanik tanah di laboratorium mekanika tanah Fakultas Teknik Jurusan Teknik Sipil Universitas Palangka Raya.

Manfaat dari penelitian ini adalah Sebagai masukan untuk perkembangan ilmu pengetahuan, memberikan pengetahuan tentang sifat-sifat fisik dan mekanik tanah lempung, analisis daya dukung tanah lempung menggunakan metode *grouting*, untuk bahan masukan kepada pihak-pihak yang terkait dalam menganailis daya dukung tanah lempung.

Berdasarkan hasil pengujian geser langsung (*direct shear*) didapat nilai sudut geser dan nilai kohesi. Untuk tanah lempung asli  $\tau = 16,204 \text{ kg/cm}^2$ ,  $\phi = 16,05^\circ$ ,  $C = 0,2658 \text{ kg/cm}^2$ . Untuk hasil pengujian geser langsung (*direct shear*) tertinggi didapat dalam kondisi pemeraman selama 3 hari diameter 3 cm yang telah di *grouting* dengan semen *potrland* didapat nilai  $\tau = 16,344 \text{ kg/cm}^2$ ,  $\phi = 22,50^\circ$ ,  $C = 0,4028 \text{ kg/cm}^2$ .

### **Kata Kunci:**

*Grouting, semen portland, kuat geser, daya dukung tanah, lempung.*

## SUMMARY

*ANALYSIS OF THE EFFECT OF THE USE OF PORTLAND CEMENT GROUTING ON CLAY SOIL TO THE SOIL carrying capacity, Syaiful Nur Arif, DAB 115 165, Civil Engineering Department/Study Program, Faculty of Engineering, University of Palangka Raya.*

*To support development and also improve soil quality in Mantaren I Village, Kahayan Hilir District, Pulang Pisau Regency, an analysis is needed if you encounter clay soil conditions with low stability, which will result in higher costs for construction and maintenance. In an effort to improve the quality of the soil itself, it is necessary to conduct a soil investigation first, there are several methods that can be done, one of which is by using the grouting method.*

*This research begins with the stages of identifying problems, setting goals, collecting literature reviews, compiling research variables, conducting field surveys, collecting field data, testing direct shear, testing soil bearing capacity, testing physical and mechanical properties of soil in soil mechanics laboratory. Faculty of Engineering, Department of Civil Engineering, University of Palangka Raya.*

*The benefits of this research are as input for the development of science, providing knowledge about the physical and mechanical properties of clay, analysis of the bearing capacity of clay using the grouting method, for input to the parties involved in analyzing the bearing capacity of clay.*

*Based on the results of direct shear testing, the shear angle and cohesion values are obtained. For native clay  $\tau = 16,204 \text{ kg/cm}^2$ ,  $\phi = 16,05^\circ$ ,  $C = 0,2658 \text{ kg/cm}^2$ . The highest direct shear test results were obtained under curing conditions for 3 days with a diameter of 3 cm which had been grouted with portland cement, the value of  $\tau = 16,344 \text{ kg/cm}^2$ ,  $\phi = 22,50^\circ$ ,  $C = 0,4028 \text{ kg/cm}^2$ .*

**Keywords:**

*grouting. portland cement, shear strength, soil bearing capacity, clay*

## **PRAKATA**

Puji dan Syukur kepada Tuhan Yang Maha Esa, karena berkat rahmat dan karunia-Nya sehingga Skripsi ini dapat diselesaikan. Skripsi dengan judul “ANALISIS PENGARUH PENGGUNAAN GROUTING SEMEN PORTLAND PADA TANAH LEMPUNG TERHADAP DAYA DUKUNG TANAH” ini disusun sebagai salah satu syarat untuk menyelesaikan studi Program S1, pada Jurusan/Program Studi Teknik Sipil Fakultas Teknik Universitas Palangka Raya.

Penulis mengucapkan terimakasih 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, STP., S.T., M.T. selaku Wakil Dekan Bidang Umum dan Keuangan Fakultas Teknik Universitas Palangka Raya.
4. Bapak Dr. Deddy Nan Setya Putra Tenggara, 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/ Program Studi Teknik Sipil Universitas Palangka Raya.
6. Ibu Veronika Happy P, S.T.,M.T. selaku Sekretaris Jurusan/ Program Studi Teknik Sipil Universitas Palangka Raya.
7. Bapak Ir. Lilik Hermawan, M.T., M.M selaku Dosen Pembimbing Akademik.

8. Bapak Ir. Suradji Gandi, M.M. Selaku ketua penguji/penguji 1.
9. Bapak Mohammad Ikhwan Yani, S.T., selaku sekretaris/penguji 2.
10. Ibu Dr. Fatma Sarie, S.T., M.T. Selaku penguji 3.
11. Bapak Okrobianus Hendri, S.T., M.T. Selaku penguji 4.
12. Seluruh Dosen Jurusan Teknik Sipil, Staf Tata Usaha dan Staf Akademik di Fakultas Teknik Universitas Palangka Raya.
13. Kedua orang tua, yang selalu memberikan dukungan serta do'a dan motivasi yang tulus tiada henti.
14. Kepada teman-teman angkatan 2015, yang selalu memberikan dukungan dan motivasi yang tulus tiada henti.

Akhir kata, dengan segala kerendahan hati penulis menyadari akan segala kekurangan dalam penyajian Skripsi ini, sehingga segala bentuk tanggapan, kritik dan saran-saran yang bersifat membangun demi perbaikan di masa mendatang. Terima Kasih.

Palangka Raya, 2022

SYAIFUL NUR ARIF  
NIM. DAB 115 165

## DAFTAR ISI

|   |     |
|---|-----|
| RINGKASAN.....  | iii |
| SUMMARY .....   | iv  |
| PRAKATA .....   | v   |
| DAFTAR ISI .....  | vii |
| Daftar Tabel.....   | x   |
| Daftar Gambar .....   | xi  |
| BAB I PENDAHULUAN .....                                       | 1   |
| 1.1 Latar belakang.....                                       | 1   |
| 1.2 Rumusan masalah .....                                     | 2   |
| 1.3 Tujuan penelitian .....                                   | 3   |
| 1.4 Batasan masalah.....                                      | 3   |
| 1.5 Manfaat penelitian .....                                  | 4   |
| 1.6 Lokasi penelitian.....                                    | 5   |
| BAB II TINJAUAN PUSTAKA .....                                 | 6   |
| 2.1 Tanah .....   | 6   |
| 2.2 Klasifikasi Tanah .....                                   | 7   |
| 2.2.1. Sistem Unified Soil Classification System (USCS) ..... | 8   |
| 2.2.2. Sistem Klasifikasi AASHTO.....                         | 10  |
| 2.2.3. Tanah Lempung.....                                     | 11  |
| 2.2.4. Sifat Fisik Tanah.....                                 | 13  |
| 2.2.5. Berat volume .....                                     | 13  |
| 2.2.6. Kadar air .....  | 13  |
| 2.3 Batas – Batas <i>Atterberg</i> .....                      | 14  |
| 2.4 Analisis saringan.....                                    | 18  |
| 2.5 Analisis hydrometer.....                                  | 18  |
| 2.6 Sifat Mekanik Tanah.....                                  | 19  |
| 2.7 Teori Kuat Geser.....                                     | 19  |
| 2.8 Sement Portland.....                                      | 20  |
| 2.9 <i>Grouting</i> .....                                     | 20  |

|                                 |   |    |
|---------------------------------|---|----|
| 2.10                            | Teori daya dukung tanah.....                                | 21 |
| 2.11                            | Keruntuhan geser pondasi menerus .....                      | 21 |
| 2.12                            | Pondasi Lingkaran : .....                                   | 24 |
| 2.13                            | Penelitian terdahulu .....                                  | 25 |
| BAB III METODE PENELITIAN ..... |   | 27 |
| 3.1                             | Umum .....  | 27 |
| 3.2                             | Pengambilan Sampel Tanah Dari Lapangan.....                 | 27 |
| 3.2.1                           | Alat dan bahan .....  | 28 |
| 3.3                             | Metode penelitian .....                                     | 28 |
| 3.3.1                           | Pengujian Kadar Air .....                                   | 29 |
| 3.3.2                           | Pengujian Berat Volume.....                                 | 29 |
| 3.3.3                           | Pengujian Berat Jenis .....                                 | 29 |
| 3.3.4                           | Pengujian Analisa Saringan.....                             | 30 |
| 3.3.5                           | Pengujian Hidrometer.....                                   | 30 |
| 3.3.6                           | Pemeriksaan Sifat Mekanik Tanah.....                        | 30 |
| 3.3.7                           | Pengujian Batas Cair ( <i>Liquid Limit</i> ).....           | 30 |
| 3.3.8                           | Pengujian Batas Plastis ( <i>Plastic Limit</i> ) .....      | 30 |
| 3.3.9                           | Pengujian Geser Langsung ( <i>Direct Shear Test</i> ) ..... | 31 |
| 3.3.10                          | Proses Pembuatan Sampel Uji.....                            | 31 |
| 3.3.11                          | Proses <i>Grouting</i> Sampel Uji.....                      | 31 |
| 3.4                             | Analisis data.....  | 33 |
| 3.5                             | Bagan alir penelitian .....                                 | 34 |
| BAB IV.....                     |   | 35 |
| HASIL DAN PEMBAHASAN .....      |   | 35 |
| 4.1                             | Hasil Penelitian .....                                      | 35 |
| 4.1.1                           | Hasil Pengujian Sifat Fisik Tanah .....                     | 35 |
| 4.1.2                           | Klasifikasi Tanah.....                                      | 36 |
| 4.2                             | Pemeriksaan Perencanaan Campuran .....                      | 41 |
| 4.3                             | Pengujian Sifat-Sifat Mekanik Tanah.....                    | 41 |
| 4.3.1                           | Pengujian Kuat Geser Langsung ( <i>Direct Shear</i> ).....  | 41 |

|                      |   |    |
|----------------------|---|----|
| 4.3.2                | Hasil pengujian kuat geser langsung pada kondisi tanah asli dan penambahan <i>grouting</i> semen portland. .... | 44 |
| 4.4.1                | Daya dukung tanah asli.....   | 48 |
| 4.4                  | Pembahasan .....  | 50 |
| BAB V                | .....   | 52 |
| KESIMPULAN DAN SARAN | .....   | 52 |
| 5.1                  | Kesimpulan .....  | 52 |
| 5.2                  | Saran .....   | 53 |

## Daftar Tabel

|  |    |
|--|----|
| Tabel 2.1 Klasifikasi tanah menurut USCS ( <i>Klasifikasi sistem unified</i> ) kelompok tanah lanau dan tanah lempung..... | 9  |
| Tabel 2.2 Klasifikasi menurut AASHTO.....  | 11 |
| Tabel.2.3 Nilai Indeks plastisitas dan macam tanah .....   | 17 |
| Tabel 3.1 Alat dan Bahan.....  | 29 |
| Tabel 3.2 Sampel Tanah Tanpa pemeraman .....   | 32 |
| Tabel 3.3 Sampel Tanah Dengan Pemeraman Selama 3 Hari.....   | 32 |
| Tabel 4.1 Hasil Pemeriksaan Sifat Fisik Tanah .....  | 36 |
| Tabel 4.2 Sistem Klasifikasi USCS .....  | 38 |
| Tabel.4.3 Klasifikasi Tanah Berdasarkan Tabel Sistem Klasifikasi AASHTO .....  | 40 |
| Tabel 4.4 Hasil Pengujian Kuat Geser Langsung pada sampel tanah lempung asli ....  | 42 |
| Tabel 4.5 Nilai Kuat Geser Berdasarkan Uji Geser Langsung .....  | 43 |
| Tabel 4.6 Nilai Kuat Geser Berdasarkan Uji Geser Langsung .....  | 46 |
| Tabel 4.7 Faktor Daya Dukung Terzaghi Untuk Kondisi Keruntuhan Geser Umum ( <i>General Shear Failure</i> ) .....           | 49 |
| Tabel 4.8 Hasil Perhitungan Daya Dukung Tanah Berdasarkan Uji Geser Langsung ..  | 50 |

## Daftar Gambar

|   |    |
|---|----|
| Gambar 1.1 Lokasi Penelitian.....   | 5  |
| Gambar 2.1 Skema Batas Konsistensi Tanah.....   | 17 |
| Gambar 2.2 Daya Dukung Tanah Pondasi .....  | 22 |
| Gambar 2.3 Faktor – Faktor Daya Dukung .....  | 23 |
| Gambar 3.1 Titik Grouting Pada Sampel Uji .....   | 32 |
| Gambar 3.2 Bagan Alir Penelitian .....  | 34 |
| Gambar 4.1 Klasifikasi Tanah Berdasarkan Sistem Klasifikasi AASHTO .....                            | 37 |
| Gambar 4.2 Klasifikasi Tanah Berdasarkan Sistem Klasifikasi AASHTO .....                            | 39 |
| Gambar 4.3 Grafik Hubungan Tegangan Normal dan Tegangan Geser Maksimum<br>(Sampel Tanah Asli) ..... | 43 |
| Gambar 4.4 Grafik Presentase Grouting Semen Portland Dengan $\emptyset$ ) .....                     | 45 |
| Gambar 4.5 Grafik Presentase Grouting Semen Portland Dengan C .....                                 | 46 |
| Gambar 4.6 Grafik Presentase Grouting Semen Portland Dengan $\tau$ .....                            | 47 |

# BAB I

## PENDAHULUAN

### 1.1 Latar belakang

Seiring dengan bertambahnya jumlah penduduk setiap tahunnya diperlukan pembangunan pemukiman juga sarana dan prasarana yang memadai untuk mendukung kelancaran perpindahan angkutan barang dan jasa dari dan menuju Desa Mantaren I, Kecamatan Kahayan Hilir, Kabupaten Pulang Pisau.

Desa Mantaren 1 sendiri termasuk salah satu Desa lokal Kecamatan Kahayan Hilir Kabupaten Pulang Pisau yang secara Geografis dan secara administratif mempunyai titik koordinat X: 0193850 dan Y: 9692931 dan memiliki luas wilayah 55 km<sup>2</sup> atau ± 5500 Ha. (Sumber data Profil Desa Peduli Gambut oleh David Kristianto Eka Sinta, S.T Dkk; 2018). Berdasarkan profil desa yang ada, kondisi geografis Desa Mantaren I merupakan desa yang terletak di dataran rendah, dengan ketinggian 0 s/d 4 meter dari permukaan air laut.

Jika intensitas air hujan berkurang (musim kemarau) maka daerah sekitar jalan akan terjadi rekahan – rekahan tanah dengan demikian jalanya aktifitas dalam pembangunan di Desa Mantaren 1 akan terganggu, menilik kasus diatas maka diperlukan perbaikan guna mendukung aktifitas warga Desa Mantaren I. Sehingga perlu dilakukan analisa kembali bila menemui kondisi tanah lempung yang stabilitasnya rendah maka akan menimbulkan biaya yang di keluarkan untuk pembangunan dan pemeliharaannya lebih tinggi.

Dalam upaya perbaikan mutu tanah sendiri perlu melakukan penyelidikan tanah terlebih dahulu, ada beberapa metode yang dapat dilakukan, salah satunya yaitu dengan menggunakan metode *grouting*. Nilai-nilai yang didapatkan dari hasil pengujian digunakan untuk menentukan daya dukung tanah di Desa Mantaren I tersebut.

Metode *grouting* adalah suatu proses injeksi dengan menggunakan semen bertekanan, dimana suatu cairan diinjeksikan/disuntikan dengan tekanan sesuai uji tekanan air (*water pressure test*) ke dalam rongga, rekah dan retakan batuan/tanah, yang mana cairan tersebut dalam waktu tertentu menjadi padat secara fisika dan kimiawi. Tanah yang berada di alam pada umumnya mempunyai karakteristik yang kompleks, hal demikian juga berlaku pada tanah lempung yang mempunyai daya dukung cukup baik bila dalam keadaan tidak jenuh air dan buruk bila dalam keadaan jenuh air. Stabilisasi tanah dengan semen yaitu meningkatkan stabilitas tanah dengan mencampurnya dengan semen. Semen sendiri bersifat kaku dan cepat bereaksi dengan air, semen mengalami tingkat kekuatan maksimum pada umur pemeraman selama 28 hari.

## 1.2 Rumusan masalah

Berdasarkan latar belakang di atas, maka yang menjadi rumusan masalah sebagai berikut:

1. Bagaimana sifat-sifat fisik dan mekanik tanah di Desa Mentaren I?
2. Bagaimana nilai kuat geser dan daya dukung tanah di Desa Mentaren I?
3. Bagaimana pengaruh *Grouting semen Portland* pada kuat geser dan Kuat daya dukung tanah di Desa Mentaren I?

### 1.3 Tujuan penelitian

Maksud dan tujuan dari penelitian ini adalah:

1. Menganalisis sifat fisik dan Mekanik tanah yang berada di Desa Mentaren I.
2. Menganalisis nilai kuat geser dan kuat tekan tanah di Desa Mentaren I.
3. Menganalisis pengaruh *Grouting semen Portland* pada kuat geser dan daya dukung tanah di Desa Mentaren I.

### 1.4 Batasan masalah

Adapun batasan permasalahan dari penelitian ini adalah:

1. Lokasi penelitian berada di Desa Mantaren I, Kecamatan Kahayan Hilir, Kabupaten Pulang Pisau, Provinsi Kalimantan Tengah.
2. Pemeriksaan dilakukan di Laboratorium Mekanika Tanah Jurusan Teknik Sipil Fakultas Teknik Universitas Palangka Raya.
3. Pengujian sifat fisik tanah meliputi :
  - a. Kadar air
  - b. Berat isi
  - c. Berat jenis
  - d. Batas Atterberg
  - e. Analisis saringan
  - f. Analisis hydrometer
4. Pengujian sifat mekanis tanah meliputi :
  - a. Uji geser langsung (*Direct Sheer*)

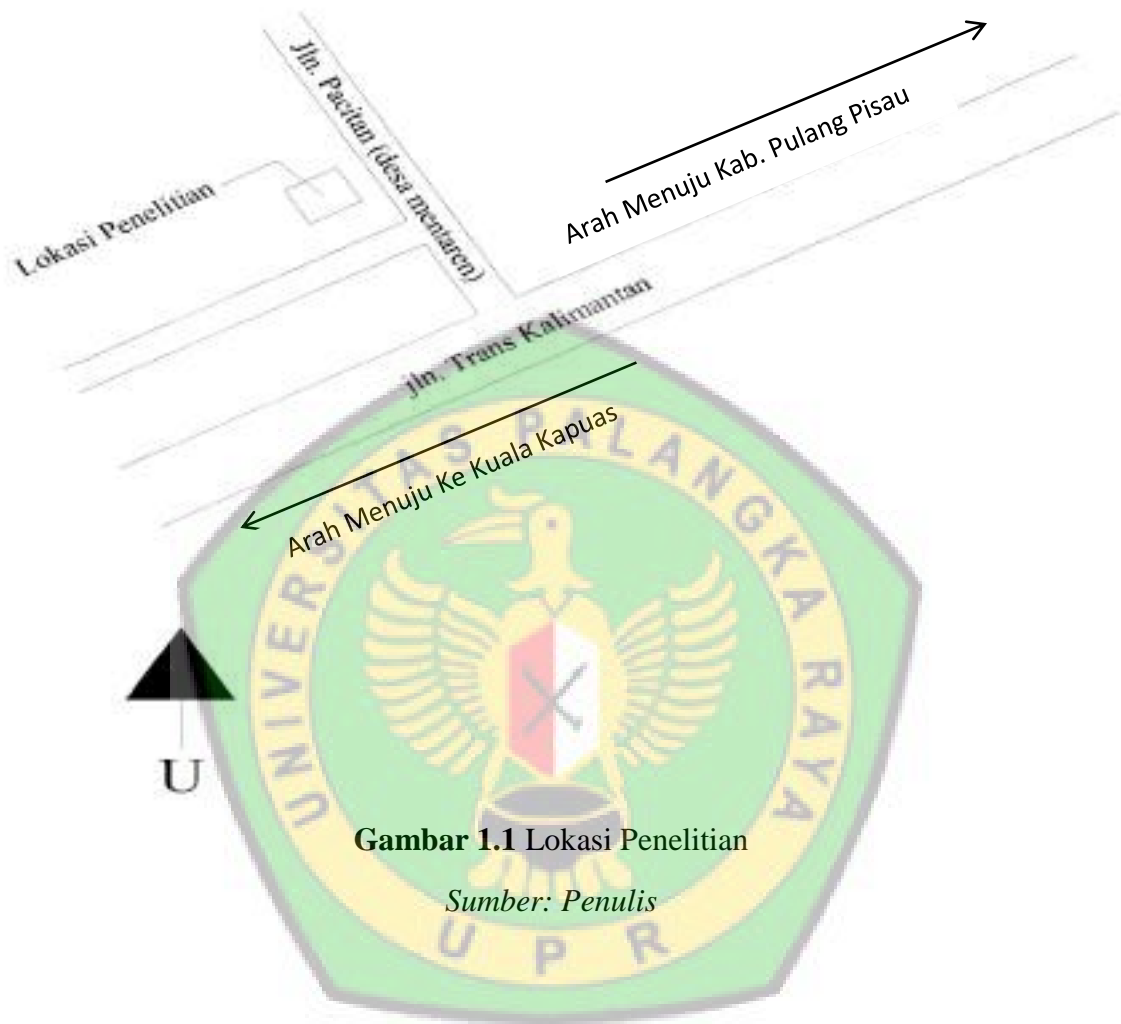
### 1.5 Manfaat penelitian

Manfaat yang ingin dicapai dari penelitian ini adalah:

1. Sebagai masukan untuk perkembangan ilmu pengetahuan.
2. Memberikan pengetahuan tentang sifat-sifat fisik dan mekanik tanah lempung.
3. Menambah pengetahuan mengenai analisis daya dukung tanah lempung menggunakan metode *grouting*.
4. Untuk bahan masukan kepada pihak-pihak yang terkait (konsultan, kontraktor dan pemerintah), dalam menganalisis daya dukung tanah lempung.



## 1.6 Lokasi penelitian



**Gambar 1.1** Lokasi Penelitian

*Sumber: Penulis*

## **BAB II**

### **TINJAUAN PUSTAKA**

#### 2.1 Tanah

Tanah dapat didefinisikan sebagai akumulasi partikel mineral yang lemah ikatan partikelnya dan terbentuk karena pelapukan dari batuan. Diantara partikel-partikel tanah terdapat ruang kosong yang disebut pori-pori yang berisi air dan udara. Tanah merupakan akumulasi partikel mineral yang tersementasi (terikat secara kimia) satu dengan lain yang terbentuk akibat pelapukan dari batuan. Proses penghancuran dalam pembentukan tanah dari batuan terjadi secara fisis dan kimiawi. Secara fisis dapat diakibatkan dengan erosi oleh air, angin atau perpecahan akibat pembekuan dan pencairan es dalam batuan.

Sedangkan proses kimiawi, mineral batuan induk diubah menjadi mineral-mineral baru melalui reaksi kimia. Air dan karbon dioksida dari udara membentuk asam-asam karbon yang kemudian bereaksi dengan mineral-mineral batuan dan membentuk mineral-mineral baru ditambah garam-garam terlarut. Akibat dari pembentukan tanah secara kimiawi, maka tanah mempunyai struktur dan sifat-sifat yang berbeda (Das, Braja M, 1985).

Proses penghancuran dalam pembentukan tanah dari batuan terjadi secara fisis atau kimiawi. Proses fisis antara lain berupa erosi akibat tiupan angin, pengikisan oleh air dan gletser, atau perpecahan akibat pembekuan dan pencairan es dalam batuan, proses kimiawi menghasilkan perubahan pada susunan mineral batuan asal.

Salah satu penyebab adalah air yang mengandung asam alkali, oksigen dan karbondioksida (Wesley, 1977). Selain itu dalam arti lain tanah merupakan akumulasi partikel mineral atau ikatan antar partikelnya, yang terbentuk karena pelapukan dari batuan (Craig, 1991). Tanah adalah material yang terdiri dari agregat (butiran) mineral-mineral padat yang tidak tersementasi (terikat secara kimia) dari baha-bahan organik yang telah melapuk (yang berpartikel padat) disertai zat cair juga gas yang mengisi ruang-ruang kosong diantara partikel - partikel padat tersebut (Das, 1995).

Media pengangkut tanah berupa gravitasi, angin, air, dan *gletsyer*. Pada saat berpindah tempat, ukuran dan bentuk partikel dapat berubah dan terbagi dalam beberapa rentang ukuran. Hasil pelapukan terangkut ke tempat lain dan mengendap di beberapa tempat yang berlainan disebut tanah bawaan (*transportation soil*). Bila hasil dari pelapukan tersebut berada pada tempat semula maka bagian ini disebut sebagai tanah sisa (*residu soil*).

## 2.2 Klasifikasi Tanah

Klasifikasi tanah adalah pengelompokan berbagai jenis tanah ke dalam kelompok yang sesuai dengan karakteristiknya. Sistem klasifikasi ini menjelaskan secara singkat sifat-sifat umum tanah yang sangat bervariasi namun tidak ada yang benar-benar memberikan penjelasan yang tegas mengenai kemungkinan pemakainya (Das, 1995). Tujuan klasifikasi tanah adalah untuk menentukan kesesuaian terhadap pemakaian tertentu, serta untuk menginformasikan tentang keadaan tanah dari suatu daerah kepada

daerah lainnya dalam bentuk berupa data dasar seperti karakteristik pemadatan, kekuatan tanah, berat isi, dan sebagainya (Bowles, 1989 dalam Adha 2014).

Dalam ilmu mekanika tanah terdapat dua sistem klasifikasi yang umum dikelompokkan kedua sistem tersebut memperhitungkan distribusi ukuran butiran dan batas-batas Atterberg, sistem-sistem tersebut adalah:

### 2.2.1. Sistem Unified Soil Classification System (USCS)

Sistem klasifikasi ini dikembangkan oleh Casagrande selama perang dunia kedua untuk Kesatuan Engineering Angkatan Darat Amerika. Pada tahun 1969 sistem ini diadopsi oleh *American Society for Testing and Materials* (ASTM) sebagai metode klasifikasi tanah (ASTM D 2487).

Sistem klasifikasi ini adalah hasil percobaan laboratorium yang paling banyak adalah sistem USCS. Standar Indonesia, SNI 03-6371-2000: Tata Cara Pengklasifikasian Tanah Dengan Cara Unifikasi Tanah, menguraikan prosedur untuk mengklasifikasikan tanah berdasarkan *Unified Soil Classification System* (USCS). Pengklasifikasian tanah ini dilakukan berdasarkan hasil pengujian laboratorium, yaitu: Analisa distribusi partikel dan Batas – batas Atterberg.

**Tabel 2.1** Klasifikasi tanah menurut USCS (*Klasifikasi sistem unified*)  
kelompok tanah lanau dan tanah lempung

| Prosedur Klasifikasi   | Symbol   | Nama Jenis | Identifikasi Lab  |  |
|--|--|------------|---|--|
| Tanah Berbutir Halus<br>(Lebih Dari 50% Lolos Pada Ayakan No. 200 (Ø0,075 mm)) | Lanau Bercampur Lempung Dengan Batas Cair (Liquid Limit) Kurang Dari 50% | Mi         | Lanau Tak Organi Dengan Sedikit Pasir Halus, Bubukan Batu, Atau Pasir Halus Berlempung Dengan Sedikit Plastis | Indeks Plastisitas < 7 Dan LL < 30 Ratio Indeks Plastisitas (Pi) Dan Batas Cair (Ll) < 225 |
|  |  | CL         | Lanau Berlempung Tak Organik Dengan Plastisitas Rendah Sampai Sedang, Lanau Bercampur Lempung, Pasir Halus    | Indeks Plastisitas < 7 Dan LL < 30 Ratio Indeks Plastisitas (PI) Dan Batas Cair (LL) < 225 |
|  |  | OL         | Lanau Organik Atau Lanau Berlempung Organik Dengan Plastisitas Rendah Sedang                                  | LL > 30 Ratio Indeks Plastisitas PI Dan Batas Cair (LL) < 225                              |
|  | Lempung Bercampur Lanau Dengan Batas Cair Lebih Dari 50%                 | MH         | Lempung Tak Organik, Lempung Bercampur Lanau, Pasir Halus   | LL > 50 Ratio Indeks Plastisitas PI Dan Batas Cair (LL) < 225                              |
|  |  | CH         | Lempung Tak Organik Dengan Plastisitas Tinggi, Lempung Gemuk  | Indeks Plastisitas > 7 Dan LL < 50 Ratio Indeks Plastisitas (PI) Dan Batas Cair (LL) < 225 |
|  |  | OH         | lempung organik dengan plastisitas sedang hingga tinggi   | LL > 30 ratio indeks plastisitas PI dan batas cair (LL) < 225                              |
|  |  | PT         | humus dan tanah dengan kadar organik tinggi   |  |

Sumber: Hary Christady, 1996

Keterangan:

G = Kerikil (*Gravel*)

S = Pasir (*Sand*)

C = Lempung (*Clay*)

M = Lanau (*Silt*)

O = Lanau Atau Lempung Organik (*Organic Silt Or Clay*)

Pt = Tanah Gambut Dan Tanah Organik Tinggi (*Peat And Highly Organic Soil*)

W = Gradasi Baik (*Well Graded*)

P = Gradasi Buruk (*Poorly-Graded*)

H = Plastisitas Tinggi (*High-Plasticity*)

L = Plastisitas Rendah (*Low-Plasticity*)

#### 2.2.2. Sistem Klasifikasi AASHTO

Sistem klasifikasi AASHTO (*American Association of State Highway and Transportation Officials Classification*) berguna untuk menentukan kualitas tanah dalam perencanaan timbunan jalan, subbase, dan subgrade berdasarkan butiran tanah. Sistem klasifikasi AASHTO membagi tanah ke dalam 8 kelompok, A-1 sampai A-7 termasuk sub-sub kelompok. Tanah-tanah dalam tiap kelompoknya dievaluasi terhadap indeks kelompoknya yang dihitung dengan rumus-rumus empiris. Pengujian yang dilakukan adalah analisis saringan dan batas-batas Atterberg.

Menurut Hardiyatmo (2006) sistem ini menggunakan sifat-sifat indeks tanah yang sederhana seperti distribusi ukuran butiran, batas cair dan indeks plastisitas. Sistem klasifikasi ini banyak digunakan untuk perancangan subbase dan subgrade jalan karena dapat menentukan kualitas tanah dalam perancangan timbunan jalan.

Tabel 2.2 Klasifikasi menurut AASHTO

| Klasifikasi Umum                        | material berbutir<br>(<35% lolos saringan no.200) |               |               |   |               |               |               | tanah lanau-lempung<br>(>35% lolos saringan no.200) |               |                 |               |
|---|---|---------------|---------------|---|---------------|---------------|---------------|---|---------------|-----------------|---------------|
|   | A-1   |               | A-3           | A-2                                       |               |               |               | A-4   | A-5           | A-6             | A-7           |
| Klasifikasi kelompok                    | A-1-a   | A-1-b         |               | A-2-4                                     | A-2-5         | A-2-6         | A-2-7         |   |               |                 | A-7-5         |
| Analisis ayakan<br>(% lolos)            | 50<br>maks  | -----         | -----         | -----                                     | -----         | -----         | -----         | -----   | -----         | -----           | -----         |
| No. 10                                  | 30<br>maks  | 50<br>maks    | 51<br>maks    | -----                                     | -----         | -----         | -----         | -----   | -----         | -----           | -----         |
| No. 40                                  | 15  | 25            | 10            | 35  | 35            | 35            | 35            | -----   | -----         | -----           | -----         |
| No. 200                                 | -----<br>maks                                     | -----<br>maks | -----<br>maks | -----<br>maks                             | -----<br>maks | -----<br>maks | -----<br>maks | 35 min  | 38 min        | 38 min          | 38 min        |
| Sifat Fraksi yang lewat :<br># No. 40 : | -----   | -----         | -----         | 40<br>maks                                | 41 min        | 40<br>maks    | 41 min        | 40<br>maks  | 40 min        | 40<br>maks      | 41 min        |
| Batas Cair                              | -----   | -----         | -----         | 10  | 10            | 10            | 11 min        | 10  | 10            | 10              | 11 min        |
| Indeks Plastisitas                      | 6 maks  | -----         | N.P           | -----<br>maks                             | -----<br>maks | -----<br>maks | -----<br>maks | -----<br>maks                                       | -----<br>maks | -----<br>maks   | -----<br>maks |
| Jenis Umum                              | Fragmen batuan<br>Kerikil dan pasir               |               | Pasir halus   | Kerikil atau pasir lanauan atau lempungan |               |               |               | Tanah lanauan                                       |               | Tanah lempungan |               |
| Tingkat umum sebagai Tanah dasar        | Sangat baik sampai baik                           |               |               |   |               |               |               | Cukup baik sampai buruk                             |               |                 |               |

Sumber : Braja M. Das (1998)

### 2.2.3. Tanah Lempung

Das. Braja M (1988) menerangkan bahwa tanah lempung sebagian besar terdiri dari partikel mikroskopis dan sub-mikroskopis (tidak dapat dilihat dengan mikroskopis biasa) yang berbentuk lempengan-lempengan pipih dan merupakan partikel-partikel dari mika, mineral-mineral lempung (*clay mineral*), dan mineral-mineral yang sangat halus lain. Tanah lempung sangat keras dalam kondisi kering dan bersifat plastis pada kadar air sedang. Namun pada kadar air yang lebih tinggi lempung akan bersifat lengket (*kohesif*) dan sangat lunak.

Kohesif menunjukkan kenyataan bahwa partikel-partikel itu melekat satu sama lainnya sedangkan plastisitas merupakan sifat yang memungkinkan bentuk bahan itu dirubah-rubah tanpa perubahan isi atau tanpa kembali ke bentuk aslinya dan tanpa terjadi retakan-retakan atau terpecah-pecah. Tanah lempung merupakan tanah dengan ukuran mikronis sampai dengan sub mikronis yang berasal dari pelapukan unsur-unsur kimiawi penyusutan batuan. Sedangkan pada keadaan air yang lebih tinggi tanah lempung akan bersifat lengket (*kohesif*) dan sangat lunak. (Terzaghi dan Peck, 1987).

Tanah lempung merupakan tanah yang bersifat *multi component*, yang terdiri dari tiga fase yaitu padat, cair, dan udara. Bagian yang padat merupakan *polyamorphous* terdiri dari mineral inorganik dan organik. Tanah lempung sangat keras dalam keadaan kering, dan tak mudah terkelupas hanya dengan jari tangan. Permeabilitas lempung sangat rendah, bersifat plastis pada kadar air sedang. Mineral-mineral lempung merupakan substansi-substansi kristal yang sangat tipis yang pembentukan utamanya berasal dari perubahan kimia pada pembentukan mineral-mineral batuan dasar, dengan adanya pengetahuan mengenai mineral tanah tersebut, pemahaman mengenai perilaku tanah lempung dapat diamati. Sifat-sifat yang dimiliki tanah lempung (Hardiyatmo, 1999) adalah sebagai berikut :

1. Ukuran butir halus, kurang dari 0,002 mm
2. Permeabilitas rendah
3. Kenaikan air kapiler tinggi
4. Bersifat sangat kohesif

## 5. Proses konsolidasi lambat

### 2.2.4. Sifat Fisik Tanah

Wilding (1985) merumuskan kisaran koefisien keragaman (KK) dari sifat-sifat tanah terpilih dengan membedakan antara sifat-sifat tanah yang statis seperti bahan organik, tekstur, susunan mineral, kedalaman solum dan warna tanah, dan sifat-sifat tanah yang dinamis seperti konduktivitas hidrolis, kadar air tanah, kandungan garam, mikroorganisme, kation dapat tukar, dan kondisi reduksi oksidasi.

### 2.2.5. Berat volume

Material tanah dapat terdiri atas dua atau tiga unsur, yakni butiran, air dan udara. Pada dalam kondisi tanah jenuh terdapat dua unsur, yakni butiran dan air, dan pada tanah yang kering juga hanya terdapat dua unsur yakni butiran dan udara. Sedangkan pada tanah dengan kondisi tak jenuh terdapat tiga unsur, yakni butiran, air dan udara. Masing-masing elemen tanah tersebut (butir, air dan udara), memiliki volume dan berat.

### 2.2.6. Kadar air

Pada dasarnya tanah terdiri dari beberapa bagian yaitu bagian padat dan bagian rongga. Bagian padat terdiri dari partikel-partikel tanah yang padat sedangkan bagian rongga terisi oleh air dan udara. Untuk menentukan suatu kadar air dari tanah tersebut dapat dilakukan pengujian sampel tanah dengan membandingkan antara berat yang terkandung dalam tanah dengan berat butir tanah tersebut dan dinyatakan dalam

persen.

Kadar air tanah ialah perbandingan berat air yang terkandung dalam tanah dengan berat kering tanah tersebut. Kadar air tanah dapat digunakan untuk menghitung parameter sifat-sifat tanah. Sedangkan pengeringan untuk benda uji yang tidak mengandung bahan organik dilakukan diatas kompor atau dibakar langsung setelah disiram dengan spirtus. Lakukan penimbangan dan pengeringan secara berulang-ulang sehingga mencapai berat yang tetap.

### 2.3 Batas – Batas *Atterberg*

Konsistensi (*consistency*) tanah lempung (*clays*) berubah seiring dengan perubahan kadar airnya. Tanah lempung akan menjadi lebih lunak bila kadar airnya meningkat dan sebaliknya akan mengeras bila kadar airnya berkurang. Pada volume butiran tanah (*solid*) yang konstan, bila kadar air di dalam tanah lempung tersebut relatif besar, maka tanah lempung menjadi lumpur (*slurry*) yang bersifat seperti cairan yang kental (*viscous liquid*), dan kondisi ini disebut fase cair (*liquid state*). Sebaliknya bila kadar air di dalam tanah lempung dibiarkan menguap sedikit demi sedikit, maka tanah lempung mulai mengeras dan mempunyai kemampuan untuk menahan perubahan bentuk. Kondisi ini dinamakan dinamakan fase plastis (*plastic state*).

Jika kadar air dibiarkan menguap lebih lanjut, maka tanah lempung mengalami penyusutan (*shrink*), kaku (*stiff*), dan mudah retak (*brittle*) (Setyo, 2011). Atterberg (1911), memberikan cara untuk menggambarkan batas-batas konsistensi dari tanah berbutir halus dengan mempertimbangkan kandungan kadar air tanah. Kedudukan

tersebut adalah batas cair (*liquid limit*), batas plastis (*plastic limit*) dan batas susut (*shrinkage limit*).

### 2.3.1 Batas Plastis (*Plastic Limit*)

Batas plastis (PL), didefinisikan sebagai kadar air pada kedudukan antara daerah plastis dan semi padat, yaitu presentase kadar air dimana tanah dengan diameter silinder 3,2 mm mulai retak – retak ketika digulung.

### 2.3.2 Batas Cair (*Liquid Limit*)

Batas cair biasanya ditentukan dari pengujian Casagrande (1948). Batas cair (LL), didefinisikan sebagai kadar air tanah pada batas antara keadaan cair dan keadaan plastis, yaitu batas atas dari daerah plastis. Contoh tanah dimasukkan dalam cawan. Tinggi contoh tanah dalam cawan kira-kira 8 mm. Alat pembuat alur (*grooving tool*) dikerukkan tepat di tengah-tengah cawan hingga menyentuh dasarnya.

Kemudian, dengan alat penggetar, cawan diketuk-ketukkan pada landasannya dengan tinggi jatuh 1 cm. Biasanya percobaan dilakukan beberapa kali, yaitu dengan kadar air yang berbeda dan dengan jumlah pukulan yang berkisar antara 15 sampai 35, dikarenakan sulitnya mengatur kadar air pada waktu celah menutup ada 25 kali pukulan. Kemudian, hubungan kadar air dan jumlah pukulan, digambarkan dalam grafik semi logaritmis untuk menentukan kadar air.

### 2.3.3 Batas Susut

Batas susut (SL), didefinisikan sebagai kadar air pada kedudukan antara daerah semi padat dan padat, yaitu persentase kadar air di mana pengurangan

kadar air selanjutnya tidak mengakibatkan perubahan volume tanahnya. Percobaan batas susut dilaksanakan dalam dengan bagian dalam cawan dilapisi dengan pelumas dan diisi dengan tanah jenuh sempurna. Kemudian dikeringkan dalam oven. Volume ditentukan dengan mencelupkannya dalam air raksa. Batas susut dinyatakan dalam persamaan:

$$SL = \left\{ \frac{(m_1 - m_2)}{m_2} - \frac{(v_1 - v_2) \gamma}{m_2} \right\} \times 10 \dots \dots \dots (2.1)$$

Keterangan :

$m_1$  = berat tanah basah dalam cawan percobaan (gr)

$m_2$  = berat tanah kering oven (gr)

$v_1$  = volume tanah basah dalam cawan ( $cm^3$ )

$v_2$  = volume tanah kering oven ( $cm^3$ )

$\gamma_w$  = berat jenis air

#### 2.3.4 Indeks plastisitas (*Plasticity Index*)

Indeks plastisitas adalah selisih batas cair dan batas plastis yang dapat di tulis sebagai berikut:

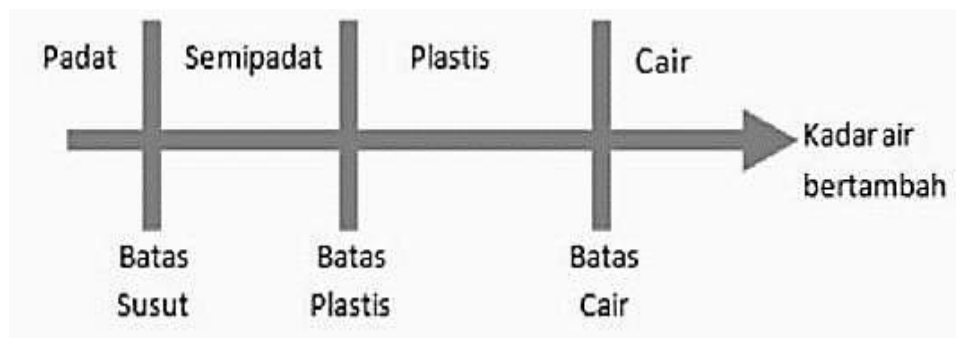
$$PI = LL - PL \dots \dots \dots (2.2)$$

Keterangan:

PI = indeks plastis

LL = selisih batas cair

PL = batas plastis



**Gambar 2.1** Skema Batas Konsistensi Tanah

Sumber: *Hardiyatmo, 2002*

Indeks plastisitas menunjukkan sifat keplastisan tanah, jika nilai PI tinggi maka tanah mengandung banyak lempung, dan jika nilai PI rendah maka tanah mengandung banyak lanau. Ciri dan sifat dari tanah lanau adalah dengan kadar air yang berkurang sedikit saja tanah akan menjadi kering.

**Tabel 2.3** Nilai Indeks plastisitas dan macam tanah

| PI     | Sifat              | Macam Tanah      | Kohesi           |
|--------|--------------------|------------------|------------------|
| 0      | Non Plastis        | Pasir            | Non Kohesif      |
| < 7    | Plastisitas Rendah | Lanau            | Kohesif Sebagian |
| 7 – 17 | Plastilitas Sedang | Lempung Berlanau | Kohesif          |
| > 17   | Plastisitas Tinggi | Lempung          | Kohesif          |

Sumber: *Hardiyatmo, 1992*

#### 2.4 Analisis saringan

Analisa saringan tanah adalah penentuan persentase berat butiran pada satu unit saringan, dengan ukuran diameter lubang tertentu. (Hardiyatmo, 1992). Analisis saringan dipergunakan untuk mengetahui distribusi ukuran butiran tanah yang berbutir kasar (*granuler*), dilakukan terhadap sampel tanah yang kering, biasanya secara langsung untuk menentukan ukuran partikel dengan didasarkan pada batas-batas bawah ukuran lubang saringan yang digunakan. Berat tanah yang tertinggal pada setiap saringan ditimbang, lalu diprosentasekan terhadap berat total sampel tanah yang dianalisis. Dalam analisis saringan, sejumlah saringan yang memiliki ukuran lubang berbeda-beda disusun dari yang terbesar di atas dan yang kecil dibawah.

#### 2.5 Analisis hydrometer

Analisa *Hidrometer* adalah cara yang didasarkan atas kecepatan pengendapan untuk menganalisa distribusi ukuran butiran tanah berbutir halus, dengan ukuran butir 0,075 mm dan 0,001 mm (lolos saringan no.200). Kecepatan mengendap tergantung ukuran butiran, semakin besar ukurannya semakin cepat mengendap. Menurut hukum *stokes* kecepatan mengendap dapat dilihat pada rumus dibawah ini:

$$V = \frac{\gamma_s - \gamma_w}{18\eta} D^2 \dots\dots\dots (2.4)$$

Keterangan :

$V$  = Kecepatan mengendap cm/ dtk

$\gamma_s$  = Berat isi partikel tanah =  $\rho_s \times g$

$\gamma_w$  = Berat isi air =  $\rho \times g$

$\eta$  = Kekentalan air, poise (dyne x det/cm<sup>3</sup>)

$D$  = Diameter partikel tanah, cm

## 2.6 Sifat Mekanik Tanah

Sifat mekanis tanah merupakan sifat perilaku dari struktur massa tanah pada suatu gaya atau tekanan yang dijelaskan secara teknis mekanik.

## 2.7 Teori Kuat Geser

Menurut Hardiyatmo (2002) kuat geser tanah adalah gaya perlawanan yang dilakukan oleh butir - butir tanah terhadap desakan atau tarikan. Sedangkan menurut Mohr (1910) kondisi keruntuhan suatu bahan terjadi akibat adanya kombinasi keadaan kritis dari tegangan normal dan tegangan geser.

Terzaghi (1925) mengubah persamaan Coulomb ke dalam bentuk tegangan efektif sebagai berikut :

$$\tau = c + (\sigma - u) \phi \quad \tau = c + \sigma \dots\dots\dots (2.5)$$

Keterangan :

$\tau$  : Kuat geser tanah (kN/m<sup>2</sup>)

$c$  : kohesi tanah

$\sigma$  : tegangan normal

$u$  : tekanan air pori ( $\text{kN/m}^2$ )

$\phi$  : sudut gesek dalam tanah

## 2.8 Sement Portland

Semen *portland* bersifat kaustik, sehingga menyebabkan luka bakar kimia. Bubuk tersebut dapat menyebabkan iritasi atau dengan paparan yang parah, kanker paru-paru dan dapat mengandung beberapa komponen berbahaya seperti kristal silika dan kromium heksavalensi. Semen *portland* adalah jenis semen yang paling umum yang digunakan secara umum di seluruh dunia sebagai bahan dasar beton, mortar, plester dan adukan non-spesialisasi.

## 2.9 Grouting

*Grouting* adalah salah satu proses sementasi untuk meningkatkan stabilitas pada bangunan dan tanah/batuan. Teknik *grouting* dilakukan dengan cara menginjeksikan bahan *grouting* (semen) ke dalam lubang tanah yang tidak stabil, dengan begitu pori-pori akan terisi dengan bahan *grouting*. Pengisian pori-pori tanah dengan bahan *grouting* akan membatasi daya lolos air dalam tanah (*permeabilitas*) dan memperbaiki faktor-faktor kompresibilitas dan kekuatan tanah.

Dengan adanya fenomena musim penghujan dan kemarau yang ada di Indonesia yang menyebabkan beberapa wilayah terjadi beberapa peristiwa di daerah, salah satunya adalah Desa Mentaren 1 yang akan mengalami keretakan pada tanah jika musim kemarau datang dan menimbulkan tidak efektifnya tanah jika akan di lakukan pembangunan, dengan menilik kasus tersebut maka diperlukan perbaikan guna mendukung aktifitas

warga di sarankan dengan metode *Fracture Grouting* atau Sementasi Rekahan, karena dengan metode ini dapat dimanfaatkan disekeliling tiang atau pondasi dalam memperkuat bangunan yang berdiri diatas tanah lempung.

## 2.10 Teori daya dukung tanah

Daya dukung tanah adalah kemampuan tanah untuk mednukung beban baik dari segi struktur pondasi maupun bangunan diatasnya tanpa terjadi keruntuhan geser. Daya dukung (*ultimate bearing capacity*) adalah daya dukung terbesar dari tanah. Daya dukung dapat dicari setelah nilai  $q_u$  didapat. Daya dukung ijin sendiri adalah beban per satuan luas yang diijinkan untuk dibebankan pada tanah dibawah pondasi, agar dapat dihindari kemungkinan keruntuhan terjadi. Daya dukung dicari menggunakan rumus:

$$q_a = \frac{q_u}{sf} \quad (2.6)$$

Dimana:

$q_a$  = daya dukung ijin ( $\text{Kg}/\text{cm}^2$ )

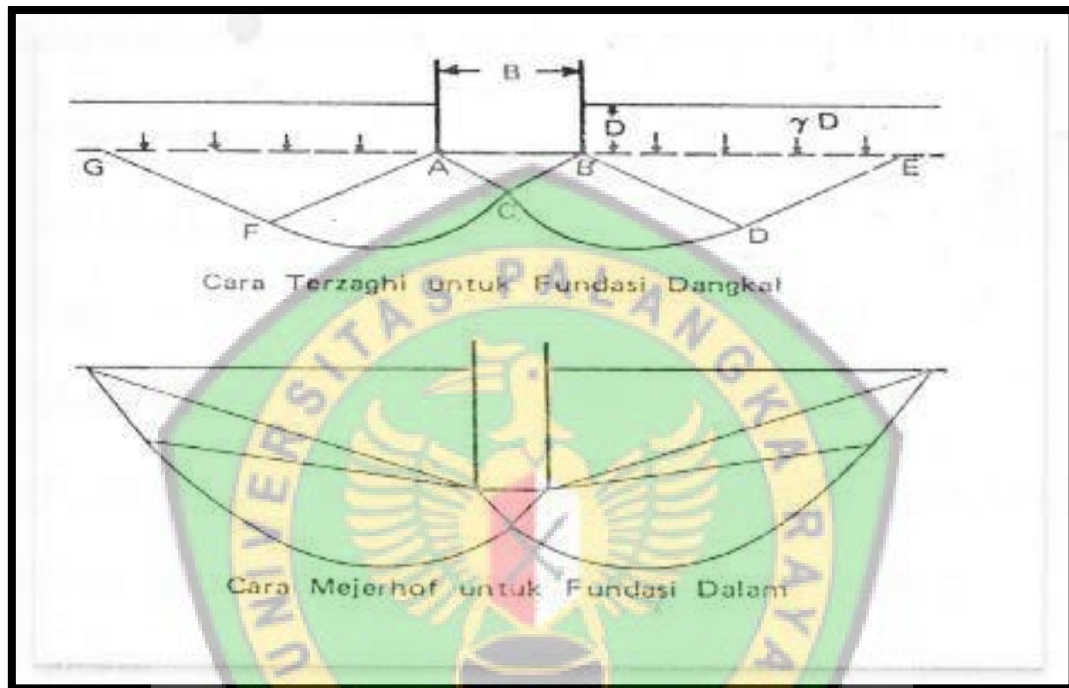
$q_u$  = daya dukung batas ( $\text{Kg}/\text{cm}^2$ )

$sf$  = faktor keamanan (1,5-3)

## 2.11 Keruntuhan geser pondasi menerus

Cara keruntuhan (*failure model*) yang dipergunakan dalam teori Terzaghi. Dianggap bahwa dasar pondasi tidak licin sehingga gesekan antara dasar pondasi dengan tanah cukup tinggi. Dengan demikian bagian ABC (lihat Gambar) akan

bergerak ke bawah bersama-sama dengan pondasi. Bagian BCD dianggap merupakan daerah “*raidal shear*” dan bagian BDE merupakan daerah tekanan tanah pasif. Kekuatan tanah diatas garis BE tidak diperhitungkan, hanya beratnya saja yang diperhatikan.



**Gambar. 2.2** Daya Dukung Tanah Pondasi  
*Sumber: Terzaghi, (1943)*

Teori terzaghi ini menghasilkan rumus keruntuhan geser umum pondasi menerus adalah:

$$q = cN_c + \gamma DN_q + \frac{1}{2} \gamma BN_\gamma \dots \dots \dots (2.7)$$

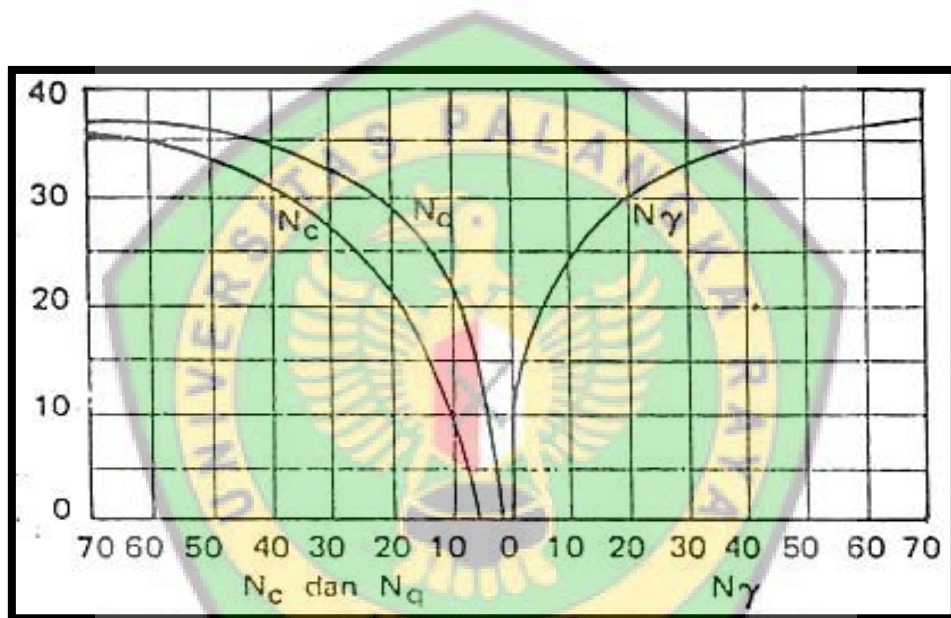
Dimana:

$q$  = daya dukung keseimbangan

$B$  = lebar pondasi

- D = dalam pondasi
- $\gamma$  = berat isi tanah
- C = kohesi
- $\phi$  = sudut perlawanan geser

$N_c$ ,  $N_q$  dan  $N$  adalah factor daya dukung yang tergantung kepada besarnya sudut perlawanan geser  $\phi$ . Nilai  $N_c$ ,  $N_q$  dan  $N$  terdapat pada gambar 2.3.



**Gambar 2.3** Faktor – Faktor Daya Dukung  
*Sumber: Terzaghi*

Dari rumus daya dukung pada gambar 2.3 dapat dijelaskan bahwa sifat tanah yang perlu diketahui untuk menentukan daya dukung adalah berat isi dan konstanta kekuatan geser C dan  $\phi$ . Demikian halnya dengan bertambahnya harga  $\phi$ , maka harga daya dukung bertambah dengan cepat. Seperti disebutkan diatas bahwa teori terzagi tidak memperhitungkan kekuatan geser tanah yang terletak diatas dasar pondasi. Oleh karena

itu teori terzaghi tersebut, hanya tepat untuk pondasi dangkal. Cara keruntuhan (*faiulure mode*) yang dipakai oleh Meyerhof dalam mengembangkan teori dapat dilihat pada gambar 2.2 . Dengan teori Meyrhof dapat digunakan untuk semua jenis pondasi, baik pondasi dalam maupun pondasi dangkal.

Pada bagian ini persamaan Meyerhof tidak dicantumkan, cukup diketahui saja bahwa rumus Terzaghi hanya benar – benar tepat bilamana dipaki untuk pondasi dangkal. Jika dipakai untuk pondasi dalam, daya dukung yang diperolehnya akan lebih rendah daripada nilai sebenarnya. Rumus Terzaghi juga berlaku untuk pondasi memanjang (*strip foundation*). Pada pondasi lingkaran atau pondasi bujur sangkar , daya dukungnya agak lebih tinggi. Utnuk pondasi tersebut Terzaghi mengusulkan rumus sebagai berikut :

2.12 Pondasi Lingkaran :

$$q = 1,3cN_c + \gamma DN_q + 0,6\gamma RN_\gamma \dots\dots\dots (2.8)$$

Dimana :

R = jari – jari

a. Pondasi bujur sangkar


$$q = 1,3cN_c + DN_q + 0,4\gamma RN_\gamma \dots\dots\dots (2.9)$$

Dimana :

B = Lebar Pondasi

## 2.13 Penelitian terdahulu

| Nama  | Judul  | Metode   | Hasil  |
|---|--|--|--|
| Surya Murdani<br>(2014)                                   | Metode Grouting Untuk Meningkatkan Daya Dukung Tanah Di Bangunan Stasiun Pompa Drainase Sibulanan, Pekalongan, Jawa Tengah | Penggunaan metode grouting terhadap nilai daya dukung tanah maka dilakukan pengujian sondir SD1, SD2, SD3, Dan SD4   | Dari hasil pengujian yang telah dilakukan maka dapat disimpulkan bahwa daya dukung tanah setelah grouting pada lokasi penelitian cukup kuat atau aman dengan Efektifitas grouting mencapai 500% untuk menanggung beban di atasnya.   |
| M. Ikbal Hermawan,<br>Lusmeilia Apriani,<br>Iswan. (2015) | Korelasi Kuat Tekan Bebas dengan Geser Langsung Pada Tanah Lempung yang Dicampur dengan Zeolit.                            | kenaikan nilai kohesi pada pengujian kuat geser langsung tanah lempung dan zeolit tersebut membentuk suatu reaksi kimia yang mana dengan bertambahnya waktu tanah tersebut akan menjadi keras sehingga tahanan geser tanah tersebut akan menjadi lebih kuat. | Hasil penelitian ini dapat dilihat peningkatan nilai kuat tekan tanah lempung sebesar 94,5% yaitu dari 0,2975kg/cm <sup>2</sup> menjadi 0,5787kg/cm <sup>2</sup> , dan peningkatan nilai kohesi tanah sebesar 54,17% dari 0,24kg/cm <sup>2</sup> menjadi 0,36kg/cm <sup>2</sup> , serta peningkatan nilai kuat geser maksimum sebesar 43,89% dari 0,4754kg/cm <sup>2</sup> menjadi 0,6841kg/cm <sup>2</sup> , Setelah tanah dicampurkan dengan zeolit pada penambahan maksimal 10%. Dari nilai tersebut dapat disimpulkan, kuat tekan serta kuat geser tanah semakin meningkat seiring ditambahkannya persentase campuran zeolit, meskipun peningkatan yang terjadi pada nilai kuat tekan bebas dan kuat geser langsungnya tidak sama besar. |

|                                   |   |   |   |
|-----------------------------------|---|---|---|
| <p>Rahadian Aksono<br/>(2012)</p> | <p>PENINGKATAN DAYA<br/>DUKUNG TANAH<br/>DENGAN METODE<br/><i>GROUTING</i> : STUDI<br/>KASUS KALI<br/>SEMARANG, JAWA<br/>TENGAH</p> |  <p>Pengujian Sondir</p> | <ol style="list-style-type: none"> <li>1. Dari ke 3 titik sondir sebelum grouting yang dilakukan pada kedalaman 4,0 sampai kisaran kedalaman 14,00m terdapat lempung sangat lunak dengan nilai tahanan konus (qc) 1 – 4 kg/cm<sup>2</sup>. Untuk kedalaman 14,00m –20,00 m terdapat lempung lunak dengan nilai tahanan konus (qc) 5 – 8 kg/cm<sup>2</sup>.</li> <li>2. Hasil sondir pada titik SD 1 kedalaman 7m sebelum grouting 18,93 kg/cm<sup>2</sup>. Setelah grouting 14 hari menjadi 24,60 kg/cm<sup>2</sup> mengalami peningkatan 1,2 kali.</li> <li>3. Hasil sondir pada titik SD 2 kedalaman 5m sebelum grouting 20,10 kg/cm<sup>2</sup>. setelah grouting 14 hari menjadi 22,33 kg/cm<sup>2</sup> mengalami peningkatan 1,1 kali.</li> <li>4. Hasil sondir pada titik SD 3 kedalaman 6m sebelum grouting 20,10 kg/cm<sup>2</sup>. setelah grouting 14 hari menjadi 31,40 kg/cm<sup>2</sup> mengalami peningkatan 1,56 kali.</li> <li>5. Daya dukung tanah setelah grouting semakin kedalam semakin kuat dan kecepatan peningkatan daya dukung tanah sesudah grouting semakin kebawah semakin lebih cepat daripada di atasnya.</li> </ol> |
|-----------------------------------|---|---|---|

## **BAB III**

### **METODE PENELITIAN**

#### 3.1 Umum

Studi penelitian ini dilakukan di Laboratorium Mekanika Tanah Jurusan/Program Studi Teknik Sipil Fakultas Teknik Universitas Palangka Raya. Penelitian ini menggunakan sampel tanah tidak terganggu, yaitu tanah lempung yang berasal Desa Mantaren I, Kecamatan Kahayan Hilir, Kabupaten Pulang Pisau dan sampel Semen *portland* yang digunakan pada penelitian ini dibeli di toko material.

Pada penelitian ini, penambahan semen *portland* akan dilakukan penyuntikan kedalam sampel tanah yang tak terganggu dengan metode tanpa peram dan pemeraman selama 3 hari pada diameter 1cm, 2cm, serta 3cm. untuk mengetahui seberapa besar pengaruh penambahan semen *portland* terhadap kuat geser dan daya dukung tanah.

#### 3.2 Pengambilan Sampel Tanah Dari Lapangan

Sampel tanah yang akan digunakan untuk penelitian ini merupakan sampel tanah tidak terganggu (*Undisturb soil*), diambil menggunakan tabung. Sampel tanah lempung yang akan di uji diambil dari Desa Mantaren I, Kecamatan Kahayan Hilir, Kabupaten Pulang Pisau.

### 3.2.1 Alat dan bahan

**Tabel 3.1** Alat dan Bahan

| Alat                                  | Bahan              |
|---------------------------------------|--------------------|
| 1. Tabung contoh dengan diameter 7 cm | 1. Tanah Lempung   |
| 2. Sekop                              | 2. Cement Portland |
| 3. Karung                             | 3. Air             |
| 4. Bor Tanah                          |                    |
| 5. Saringan No. 10                    |                    |
| 6. Timbangan                          |                    |
| 7. Oven                               |                    |
| 9. Cawan                              |                    |

### 3.3 Metode penelitian

Adapun metode yang digunakan dalam penelitian meliputi pengambilan sampel tanah lempung yang diambil di Desa Mantaren I, Kecamatan Kahayan Hilir, Kabupaten Pulang Pisau, dengan cara pengambilan sampel yang dilakukan. Untuk contoh tanah asli (*Undisturbed sample*) diambil dari kedalaman kira - kira 50 cm di bawah permukaan tanah guna menghilangkan sisa-sisa kotoran tanah.

Tabung contoh ini dimasukkan ke dalam dasar lubang bor. Contoh tanah asli dapat diambil dengan memakai tabung contoh (*samples tubes*). Untuk contoh tanah terganggu (*disturbed sample*), sampel tanah diambil secara langsung berupa bongkahan tanah.

Sedangkan untuk pengujian yang dilakukan di laboratorium meliputi pengujian kadar air, pengujian berat volume, pengujian berat jenis, pengujian batas atterberg, pengujian analisa saringan, pengujian hidrometer, pengujian kuat tekan bebas, pengujian kuat geser langsung.

### 3.3.1 Pengujian Kadar Air

Pengujian ini bertujuan untuk mengetahui kadar air suatu sampel tanah, yaitu perbandingan antara berat air yang terkandung dalam tanah dengan berat butir kering tanah tersebut. Pengujian berdasarkan ASTM D 2216-92.

### 3.3.2 Pengujian Berat Volume

Pengujian ini bertujuan untuk menentukan berat volume tanah basah dalam keadaan asli (*undisturbed sample*), yaitu perbandingan antara berat tanah dengan volume tanah. Pengujian berdasarkan ASTM D 2049.

### 3.3.3 Pengujian Berat Jenis

Selain mencari kadar air dalam tanah, parameter lain yang perlu dicari pada tanah adalah berat jenis butiran tanah ( $G_s$ ). Berat jenis adalah perbandingan berat volume tanah dengan berat volume air. Pengujian ini menggunakan standar ASTM D 654-92.

### 3.3.4 Pengujian Analisa Saringan

Pengujian analisis saringan hydrometer bertujuan untuk menentukan pembagian ukuran butiran dari tanah yang lolos saringan No.10, pengujian berdasarkan ASTM D 422.

### 3.3.5 Pengujian Hidrometer

Pengujian ini bertujuan untuk menentukan distribusi ukuran butir-butir tanah untuk tanah yang tidak mengandung butir tertahan saringan No.10.

### 3.3.6 Pemeriksaan Sifat Mekanik Tanah

Pemeriksaan sifat mekanik tanah dapat dilakukan dengan cara kuat geser langsung (*direct shear*).

### 3.3.7 Pengujian Batas Cair (*Liquid Limit*)

Tujuan pengujian ini adalah untuk menentukan kadar air suatu jenis tanah pada batas antara keadaan plastis dan keadaan cair. Pengujian berdasarkan ASTM D 4318-00.

### 3.3.8 Pengujian Batas Plastis (*Plastic Limit*)

Tujuannya adalah untuk menentukan kadar air suatu jenis tanah pada keadaan batas antara keadaan plastis dan keadaan semi padat. Pengujian berdasarkan ASTM D 4318-00.

### 3.3.9 Pengujian Geser Langsung (*Direct Shear Test*)

Pengujian geser langsung dilakukan untuk mendapatkan nilai parameter Kohesi ( $c$ ) dan sudut geser dalam ( $\phi$ ). Pengujian ini akan dilakukan dengan sampel tanah tanpa campuran, kemudian sampel tanah diberi campuran *cement Portland* pengujian berdasarkan ASTM D 3080.

### 3.3.10 Proses Pembuatan Sampel Uji

Tanah lempung yang sudah diambil dari lokasi yang dibawa menggunakan tabung silinder dikeluarkan dengan menggunakan ekstruder mol, selanjutnya dicetak menggunakan ring, dan didapatkanlah sampel uji untuk penelitian.

### 3.3.11 Proses *Grouting* Sampel Uji

Sampel tanah lempung akan digrouting dengan larutan semen. Semen *portland* dan kapur aktif yang digunakan dalam penelitian ini berasal dari Toko Bahan Bangunan yang terletak di Kota Palangka Raya. Sebelum sampel uji digrouting menggunakan larutan semen *Portland*, langkah pertama yang dilakukan adalah menentukan titik *grouting* pada sampel uji. Perencanaan jumlah titik yang akan digunakan pada sampel tanah adalah 1 titik *grouting*.

Selanjutnya menentukan letak titik *grouting* untuk bahan larutan semen *portland* yang dilakukan dengan konsisten antara titik *grouting* (Gambar 3.2). Kemudian titik yang telah disiapkan akan diinjeksi dengan larutan semen *portland* dengan menggunakan sedotan berbahan besi. Dalam pengujian ini terdapat tiga

variasi diameter titik *grouting* yang akan digunakan yaitu diameter  $D_1 = 1\text{cm}$ ,  $D_2 = 2\text{cm}$  dan  $D_3 = 3\text{cm}$ . Setiap variasi diameter titik *grouting* akan digunakan untuk satu sampel uji.

**Tabel 3.2** Sampel Tanah Tanpa pemeraman

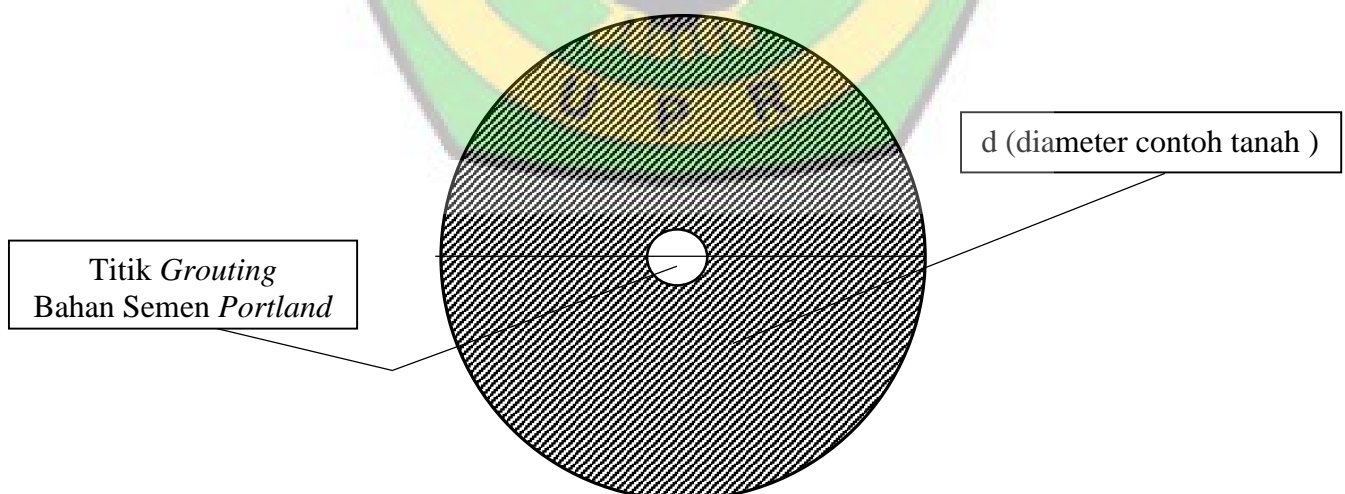
| No | Sampel Tanah | Banyaknya titik | Diameter <i>grouting</i> semen |
|----|--------------|-----------------|--------------------------------|
| 1  | 1            | 1               | $d = 1\text{ cm}$              |
| 2  | 2            | 1               | $d = 2\text{ cm}$              |
| 3  | 3            | 1               | $d = 3\text{ cm}$              |

Sumber : Penulis

**Tabel 3.3** Sampel Tanah Dengan Pemeraman Selama 3 Hari

| No | Sampel Tanah | Banyaknya Titik | Diameter <i>Grouting</i> Semen |
|----|--------------|-----------------|--------------------------------|
| 1  | 1            | 1               | $d = 1\text{ cm}$              |
| 2  | 2            | 1               | $d = 2\text{ cm}$              |
| 3  | 3            | 1               | $d = 3\text{ cm}$              |

Sumber : Penulis



**Gambar 3.1** Titik *Grouting* Pada Sampel Uji

Sumber : Penulis 2022

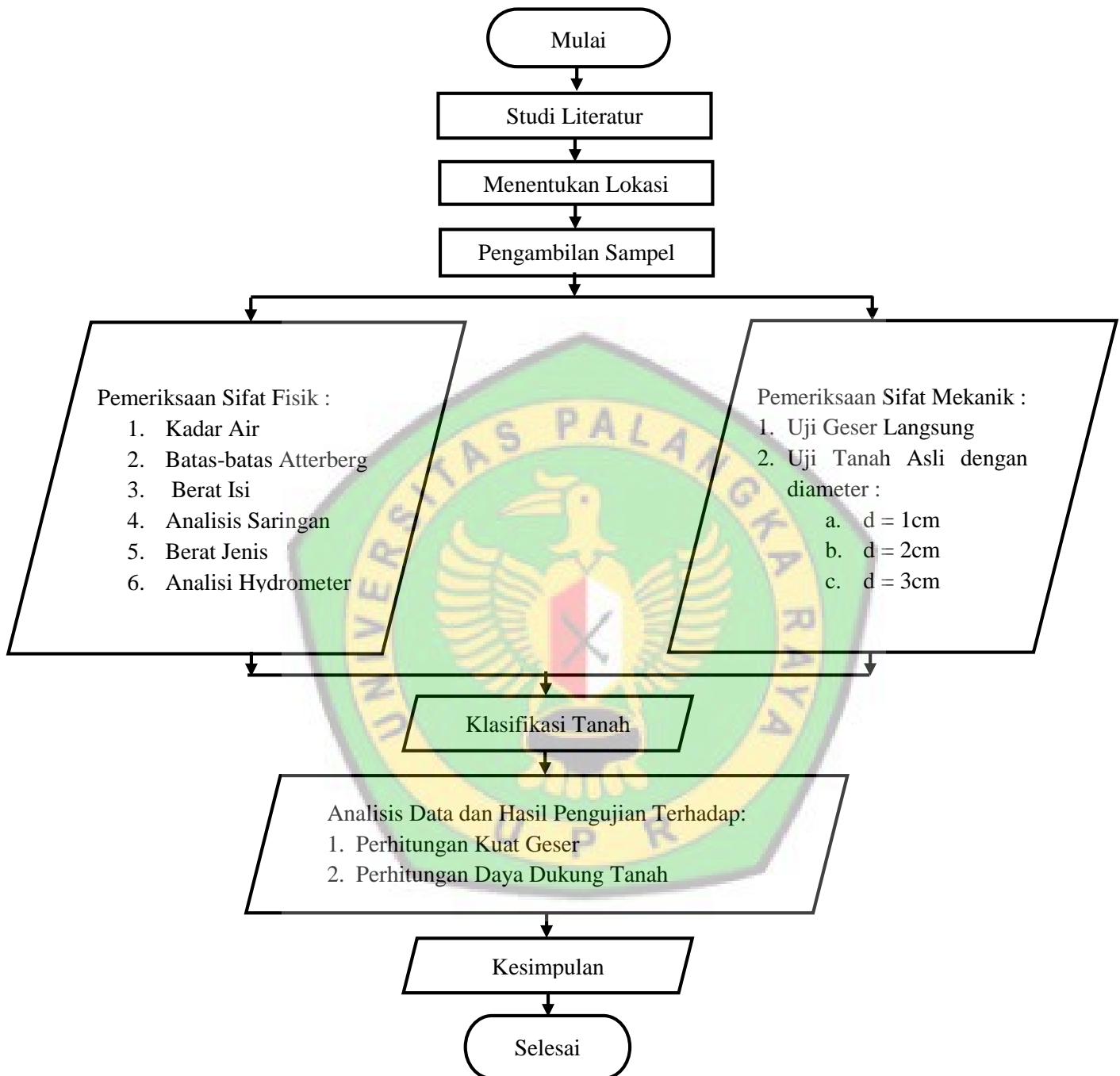
Rancangan penelitian ini nantinya dilakukan di laboratorium dengan melihat penyusutan sampel tanah menggunakan metode *Grouting* semen dengan presentase yang telah di tentukan.

#### 3.4 Analisis data

Berdasarkan data hasil penelitian yang diperoleh dari hasil pengujian laboratorium kemudian dilakukan analisa untuk masing - masing pengujian sehingga didapatkan sifat fisik tanah lempung. Dan pengujian untuk tiap sampel tanah guna mengetahui retakan dan juga efektifitas metode *Fracture Grouting* atau Sementasi rekahan dalam perbaikan tanah di sekitar pondasi yang akan dibangun.



## 3.5 Bagan alir penelitian

**Gambar 3.2** Bagan Alir Penelitian

## BAB V

### KESIMPULAN DAN SARAN

#### 5.1 Kesimpulan

Berdasarkan hasil analisis data yang telah dilakukan, maka diperoleh kesimpulan sebagai berikut.

1. Dari pemeriksaan yang telah dilakukan, tanah lempung yang terdapat pada Desa Mentaren 1 Kabupaten Pulang Pisau pada pemeriksaan sifat fisik tanah memperoleh nilai kadar air ( $w$ ) sebesar 42,04%, nilai berat volume tanah ( $\gamma$ ) sebesar 1,65 g/cm<sup>3</sup> dan nilai berat volume tanah kering ( $\gamma_d$ ) sebesar 1,16 g/cm<sup>3</sup>. Pemeriksaan berat jenis ( $G_s$ ) memperoleh nilai sebesar 2,59. Batas cair (*liquid limit*) sebesar 43,16%, batas plastis (*plastic limit*) sebesar 20,18%, batas susut (*shrinkage limit*) sebesar 16,79%, pemeriksaan analisa saringan memperoleh nilai dengan berat tertahan di saringan no. 200 sebesar 48,58% dan lolos sebesar 51,42%. Dengan nilai GI sebesar 8 tanah yang diuji termasuk kedalam kategori tanah lempung anorganik dengan plastisitas rendah sampai dengan sedang lempung berkerikil, lempung berpasir, lempung berlanau, lempung “kurus” (*lean clays*). Berdasarkan klasifikasi tanah menurut USCS (*Unified Soil Classification System*) tanah ini termasuk ke dalam kelompok CL, yaitu tanah lempung anorganik dengan plastisitas rendah berdasarkan sistem AASHTO tanah tersebut masuk kedalam kelompok A-7-6 (8) dengan jenis tanah adalah tanah lempung.

2. Dari hasil pengujian geser langsung (*direct shear*) didapat nilai sudut geser dan nilai kohesi. Untuk tanah lempung asli  $\tau = 16,204 \text{ kg/cm}^2$ ,  $\varphi = 16,05^0$ ,  $C = 0,2658 \text{ kg/cm}^2$ . Untuk tanah lempung yang telah di *grouting* semen *potrland* dengan massa pemeraman selama 0 hari diameter 1 cm  $\tau = 16,236 \text{ kg/cm}^2$ ,  $\varphi = 17,88^0$ ,  $C = 0,2739 \text{ kg/cm}^2$ , diameter 2 cm  $\tau = 16,264 \text{ kg/cm}^2$ ,  $\varphi = 18,45^0$ ,  $C = 0,2980 \text{ kg/cm}^2$ , diameter 3 cm  $\tau = 16,287 \text{ kg/cm}^2$ ,  $\varphi = 19,63^0$ ,  $C = 0,3061 \text{ kg/cm}^2$ . Untuk tanah lempung dalam kondisi pemeraman selama 3 hari diameter 1 cm  $\tau = 16,317 \text{ kg/cm}^2$ ,  $\varphi = 20,21^0$ ,  $C = 0,3222 \text{ kg/cm}^2$ , diameter 2 cm  $\tau = 16,321 \text{ kg/cm}^2$ ,  $\varphi = 21,37^0$ ,  $C = 0,3383 \text{ kg/cm}^2$ , diameter 3 cm  $\tau = 16,344 \text{ kg/cm}^2$ ,  $\varphi = 22,50^0$ ,  $C = 0,4028 \text{ kg/cm}^2$ .
3. Berdasarkan hasil perhitungan daya dukung tanah pada pengujian laboratorium, kuat geser sangat berpengaruh terhadap sifat mekanik tanah lempung dan nilai kuat geser dari tanah lempung asli. Hal ini disebabkan oleh penambahan semen *portland* pada tanah asli sehingga mempengaruhi kestabilan tanah lempung.

## 5.2 Saran

Adapun saran yang dapat diberikan dari hasil penelitian ini, yaitu sebagai berikut:

- 1 Pada penelitian selanjutnya diusahakan untuk melakukan pengujian dengan menggunakan bahan campuran dan diameter *grouting* yang bervariasi, sehingga dapat membandingkan daya dukung tanah dengan campuran dan tanpa campuran.

- 2 Sampel tanah yang digunakan untuk penelitian selanjutnya disarankan agar menggunakan sampel tanah dengan lokasi yang berbeda karena untuk melihat nilai daya dukung pada jenis tanah yang berbeda.
- 3 Untuk pengujian fisik dan mekanik tanah diharapkan dapat menggunakan sampel yang tidak terganggu dan dilakukan pengujian laboratorium secepatnya agar tanah tidak mengeras atau mengering.
- 4 Alat uji laboratorium harus terkalibrasi dengan baik guna mendapatkan hasil yang akurat.



## DAFTAR PUSTAKA

- ASTM (*American Society for Testing and Material*) D 2216-92. Amerika: ASTM International
- ASTM (*American Society for Testing and Material*) D 2049. Amerika: ASTM International
- ASTM (*American Society for Testing and Material*) D 654-92. Amerika: ASTM International
- ASTM (*American Society for Testing and Material*) D 422. Amerika: ASTM International
- ASTM (*American Society for Testing and Material*) D 4318-00. Amerika: ASTM International
- ASTM (*American Society for Testing and Material*) D 3080. Amerika: ASTM International
- SNI 03-6887-2002, Metode pengujian kuat tekan bebas campuran tanah-semen.
- SNI 13-6427-2000, Metode pengujian uji basah dan kering campuran tanah semen dipadatkan
- SNI 15-2049-2004, Semen portland.
- Das, B. M, 1993. *Mekanika Tanah (Prinsip – Prinsip Rekayasa Geoteknis)*. Jilid 1. Penerbit Erlangga Jakarta.
- Mohr, 1910, *Geotechnical engineering investigation manual*, Mc Grawhill Book Co., 984 p.
- Pangesti, D. R., 2005. *Pedoman Grouting Untuk Bendungan*. Jakarta : Direktorat Jenderal Sumber Daya Air.
- Sallberg, J. R. 1965. Shear Strength. In *Methods of Soil Analysis*, Eds. C.A. Black, D. D. Evans, J. L. White, L. E. Ensminger, and F. E. Clark. *Agronomy* 9: 431- 447.
- Smith, H., 1981. Adaptation to Shade. In *Proceeding Physiological Processes Limiting Plant Productivity*. Butterworths. London.
- Sosrodarsono, Suyono. 1994. *Mekanika Tanah dan Teknik Pondasi*. Pradnya Paramita. Jakarta.
- Terzaghi, K dan R.B. Peck, 1987. *Mekanika Tanah dalam Praktek Rekayasa Jilid I*,

Penerbit Erlangga, Jakarta.

Terzaghi, K., 1925. *Theoretical Soil Mechanics for Civil and Mining Engineers.*, Granda, London.

Hardiyatmo. 1999. *Mekanika Tanah I*. Jakarta: PT. Gramedia Pustaka Utama.

Hardiyatmo, Hary Christady. 2002. *Mekanika Tanah I*. Yogyakarta: Gadjah Mada University Press.

Hardiyatmo, Hary Christady. 2006. *Mekanika Tanah I*. Yogyakarta: Gadjah Mada University Press.

Hardiyatmo, Hary Christady. 2012. *Mekanika Tanah I*. Edisi keenam. Yogyakarta: Gadjah Mada University Press.

