

**SKRIPSI**

**ANALISIS STABILITAS LERENG PADA VILLA TOROK AIK BELEQ  
DENGAN SIMULASI NUMERIS DESA MONTONG AJAN KECAMATAN  
PRAYA BARAT DAYA KABUPATEN LOMBOK TENGAH**

**Diajukan Sebagai Syarat Menyelesaikan Studi**

**Pada program Studi Teknik Sipil Jenjang Strata I**

**Fakultas Teknik**

**Universitas Muhammadiyah Mataram**



**DISUSUN OLEH :**

**ARIA WIRYA ADI PUTRA**

**41411A0100**

**PROGRAM STUDI TEKNIK SIPIL**

**FAKULTAS TEKNIK**

**UNIVERSITAS MUHAMMADIYAH MATARAM**

**2020**

**HALAMAN PENGESAHAN PEMBIMBING**

**SKRIPSI**

**ANALISIS STABILITAS LERENG PADA VILLA TOROK AIK BELEQ  
DENGAN SIMULASI NUMERIS DESA MONTONG AJAN KECAMATAN  
PRAYA BARAT DAYA KABUPATEN LOMBOK TENGAH**

Disusun Oleh:

**ARIA WIRYA ADI PUTRA**

**41411A0100**

**Mataram, 20 Agustus 2020**

**Pembimbing I,**

**Dr. Eng. M. Islamy Rusyda, ST., MT**  
**NIDN. 0824017501**

**Pembimbing II,**

**Dr. Heni Pujiastuti, ST., MT**  
**NIDN. 0828087201**

**Mengetahui,**

**UNIVERSITAS MUHAMMADIYAH MATARAM  
FAKULTAS TEKNIK**

**Dekan,**

**Dr. Eng. M. Islamy Rusyda, ST., MT**  
**NIDN. 0824017501**

**HALAMAN PENGESAHAN PENGUJI  
SKRIPSI**

**ANALISIS STABILITAS LERENG PADA VILLA TOROK AIK BELEQ  
DENGAN SIMULASI NUMERIS DESA MONTONG AJAN KECAMATAN  
PRAYA BARAT DAYA KABUPATEN LOMBOK TENGAH**

Yang Dipersiapkan dan Disusun Oleh:

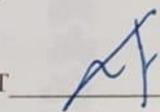
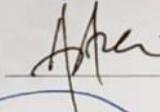
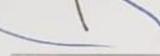
NAMA : ARIA WIRYA ADI PUTRA  
NIM : 41411A0100

Telah dipertahankan didepan Tim Penguji

Pada hari : Kamis, 20 Agustus 2020

Dan dinyatakan telah memenuhi syarat

**Susunan Tim Penguji**

1. Penguji I : Dr. Eng. M. Islamy Rusyda, ST., MT 
2. Penguji II : Dr. Heni Pujiastuti, ST., MT 
3. Penguji III : Dr. Eng. Hariyadi, ST., Msc. Eng 

Mengetahui,

**UNIVERSITAS MUHAMMADIYAH MATARAM  
FAKULTAS TEKNIK**

Dekan,

  
  
**Dr. Eng. M. Islamy Rusyda, ST., MT**  
NIDN. 0824017501

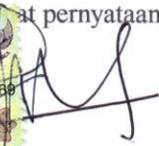
## LEMBAR PERNYATAAN

Dengan ini menyatakan dengan sebenarnya bahwa :

1. Skripsi dengan judul “*Analisis Stabilitas Lereng Pada Villa Torok Aik Beleq Dengan Simulasi Numeris, Desa Montong Ajan Kecamatan Praya Barat Daya Kabupaten Lombok Tengah*” adalah benar merupakan karya saya sendiri dan saya tidak melakukan pejiplakan atau pengutipan atas karya penulis lain dengan cara yang tidak sesuai tata etika ilmiah yang berlaku pada masyarakat akademik atau yang disebut plagiarisme.
2. Adapun bagian-bagian tertentu dalam penulisan tugas akhir yang saya kutip dari hasil karya orang lain telah ditulis dalam sumbernya secara jelas dan disebut dalam daftar pustaka.

Atas pernyataan ini apabila dikemudian hari ternyata ditemukan adanya ketidakbenaran, saya bersedia menanggung akibat dan sanksi yang diberikan kepada saya dan saya sanggup dituntut sesuai hukum yang berlaku.

Mataram, 20 Agustus 2020

at pernyataan,  
  
  
**ARJA WIRYA ADI PUTRA**  
NIM : 41411A0100



UNIVERSITAS MUHAMMADIYAH MATARAM  
**UPT. PERPUSTAKAAN**

Jl. K.H.A. Dahlan No. 1 Mataram Nusa Tenggara Barat  
Kotak Pos 108 Telp. 0370 - 633723 Fax. 0370-641906  
Website : <http://www.lib.ummat.ac.id> E-mail : [upt.perpusummat@gmail.com](mailto:upt.perpusummat@gmail.com)

**SURAT PERNYATAAN PERSETUJUAN  
PUBLIKASI KARYA ILMIAH**

Sebagai sivitas akademika Universitas Muhammadiyah Mataram, saya yang bertanda tangan di bawah ini:

Nama : ARIA WIRYA ADI PUTRA  
NIM : 41411 A0100  
Tempat/Tgl Lahir : Bagik Rempong 22 Desember 1995  
Program Studi : TEKNIK SIPIL  
Fakultas : TEKNIK  
No. Hp/Email : 082 339 613 306  
Jenis Penelitian :  Skripsi  KTI  .....

Menyatakan bahwa demi pengembangan ilmu pengetahuan, menyetujui untuk memberikan kepada UPT Perpustakaan Universitas Muhammadiyah Mataram hak menyimpan, mengalih-media/format, mengelolanya dalam bentuk pangkalan data (*database*), mendistribusikannya, dan menampilkan/mempublikasikannya di Repository atau media lain untuk kepentingan akademis tanpa perlu meminta ijin dari saya selama *tetap mencantumkan nama saya sebagai penulis/pencipta dan sebagai pemilik Hak Cipta* atas karya ilmiah saya berjudul:

Analisis stabilitas lereng pada villa Torok Aik Bedek dengan simulasi numeris di desa Montong Ajun Kecamatan Profa Barat Daya kabupaten Lombok Tengah

Segala tuntutan hukum yang timbul atas pelanggaran Hak Cipta dalam karya ilmiah ini menjadi tanggungjawab saya pribadi.

Demikian pernyataan ini saya buat dengan sebenar-benarnya tanpa ada unsur paksaan dari pihak manapun.

Dibuat di : Mataram

Pada tanggal : 23 - 09 - 2020

Penulis



ARIA WIRYA ADI PUTRA

NIM. 41411 A0100

Mengetahui,

Kepala UPT. Perpustakaan UMMAT



Iskandar, S.Sos., M.A.

NIDN. 0802048904

## MOTTO

*“Dan apabila dikatakan, “Berdirilah kamu”, maka berdirilah, niscaya Allah akan mengangkat (derajat) orang-orang beriman di antaramu dan orang-orang yang diberi ilmu beberapa derajat.”*

(QS. Al-Mujadalah : 11)

*“Karena sesungguhnya sesudah kesulitan itu ada kemudahan.”*

(QS. Al-Insyirah : 5)

*“Dengan kecerdasan jiwalah manusia menuju arah kesejahteraan.”*

(Ki Hajar Dewantara)

*“Tuntutlah ilmu disaat kamu miskin, ia akan menjadi hartamu. Disaat kamu kaya, ia akan menjadi perhiasanmu.”*

(Luqman Al-Hakim)

*“ Jangan bangga menjadi orang lain, jadilah dirimu sendiri hingga suatu hari engkau akan bangga atas apa yang telah engkau gapai”*

## PERSEMBAHAN

Untuk Ibu dan Bapak. Mohon maaf atas segala kesalahan yang pernah saya buat baik yang sengaja maupun yang tidak sengaja. Terimakasih juga sudah membimbing saya sampai detik ini dan memahami serta menerima semua baik/buruknya pribadi saya. Terima kasih atas segala pengorbanan yang tidak akan pernah bisa saya balas dengan setimpal dan terimakasih juga untuk kakka-kakak saya dan untuk istri saya yang selalu menemani serta memberikan dukungan dan do'a, Semoga Allah SWT memberikan Ibu dan Bapak kebahagiaan dan kesehatan, Ammiin Ya Robbal Alammiin. Untuk keluarga besar saya, saya pasti bisa membuat kalian bangga dengan keberhasilan yang saya usahakan, skripsi ini bukanlah akhir atau pencapaian puncak dari kehidupan yang saya targetkan melainkan ini adalah salah satu awal dari kesuksesan saya yang sesungguhnya, Aamiin Ya Robbal Alamin. Untuk sahabat-sahabatku tercinta yang selalu ada dari mulai kuliah hingga kini selalu mendukung langkahku. Terimakasih telah menjadi sahabat terbaik yang pernah ada bagiku. Untuk semua pihak yang telah membantu saya dalam menyelesaikan tugas akhir ini tidak bisa saya sebut nama nya satu persatu.

## KATA PENGANTAR

Puji syukur saya ucapkan atas nikmat tuhan yang maha esa (YME). Sehingga penulis bisa menyelesaikan Proposal berjudul “ANALISIS STABILITAS PADA LERENG VILA TOROK AIK BELEK DENGAN SIMULASI NUMERIS DESA MONTONG AJAN, KEC. PRAYA BARAT DAYA, KAB. LOMBOK TENGAH”. ini dapat terselesaikan. Selanjutnya shalawat serta salam senantiasa dipanjatkan untuk junjungan alam Nabi Muhammad SAW beserta keluarga dan sahabatnya.

Untuk itu saya ingin mengucapkan rasa terimakasih kepada:

- 1) Drs. Arsyad Ghani ,Mpd. selaku Rektor Universitas Muhammadiyah Mataram.
- 2) Dr.Eng.M.Islamy Rusyda,ST,MT selaku Dekan Fakultas Teknik Universitas Muhammadiyah Mataram.
- 3) Titik Wahyuningsih ST.,MT. selaku Ketua Program Studi Rekayasa Sipil Fakultas Teknik Universitas Muhammadiyah Mataram.
- 4) Dr.Eng.M.Islamy Rusyda,ST,MT selaku dosen pembimbing I
- 5) Dr. Heni Pujiastuti, ST.,MT selaku dosen pembimbing II
- 6) Semua pihak yang telah membantu baik secara langsung maupun tidak langsung

Penulis menyadari bahwa Proposal ini masih banyak kekurangan karna keterbatasan dan pengalaman yang dimiliki penulis. Semoga Proposal ini bermanfaat dan dapat menjadi bahan masukan bagi rekan-rekan dalam penyusunan skripsi.

Wassalamualaikum Wr. Wb.

Mataram 20 Agustus 2020

Aria Wirya Adi Putra

## DAFTAR ISI

	Hal
<b>HALAMAN JUDUL</b> .....	i
<b>LEMBAR PERNYATAAN</b> .....	ii
<b>LEMBAR PENGESAHAN</b> .....	iii
<b>MOTTO</b> .....	iv
<b>PERSEMBAHAN</b> .....	v
<b>KATA PENGANTAR</b> .....	vi
<b>DAFTAR ISI</b> .....	vii
<b>DAFTAR TABEL</b> .....	x
<b>DAFTAR GAMBAR</b> .....	xi
<b>DAFTAR LAMPIRAN</b> .....	xii
<b>ABSTRAK</b> .....	xii
<b>BAB I PENDAHULUAN</b>	
1.1 Latar Belakang .....	1
1.2 Rumusan Masalah .....	2
1.3 Tujuan Penelitian .....	2
1.4 Batasan Masalah .....	2
<b>BAB II TINJAUAN PUSTAKA DAN TEORI</b>	
2.1 Tinjauan Pustaka .....	3
2.1.1 Penelitian Terdahulu .....	3
2.1.2 Formasi Geologi .....	4
2.1.3 Longsoran .....	6

2.1.4 Mengatasi Kelongsoran Lereng .....	7
2.2 Landasan Teori .....	7
2.2.1 Analisis Stabilitas Lereng .....	7
2.2.2 Klasifikasi Tanah .....	9
2.2.3 Parameter Kuat Geser Tanah .....	12
2.2.4 Modulus Elastisitas dan Poisen Ratio .....	14
2.2.5 Metode Elemen Hingga ( <i>Finite Element Method</i> ) .....	16
2.2.6 Metode Elemen Hingga dalam <i>Plaxis</i> .....	19
2.2.7 Idealisasi Planel Strain dalam <i>Plaxis</i> .....	22
2.2.8 Model Material dalam <i>Plaxis</i> .....	23
2.2.9 Teori <i>Safeti Factor</i> dengan <i>Plaxis</i> .....	26
<b>BAB III METODE PENELITIAN</b>	
3.1 Tahapan Penelitian .....	28
3.2 Lokasi Penelitian .....	29
3.2.1 Alat .....	30
3.3 Tahap Pengumpulan Data .....	30
3.3.1 Data Primer .....	30
3.3.2 Data Sekunder .....	30
3.3.3 Pengambilan sampel Tanah Dilapangan .....	31
3.3.4 Standar Penetration Tes (SPT) .....	31
3.3.5 Pengujian Laboratorium .....	32
3.3.6 Tahapan Analisis Stabilitas Lereng dengan <i>Plaxis</i> .....	33

## **BAB IV HASILDAN PEMBAHASAN**

4.1 Hasil .....	36
4.1.1 Geologi Daerah Penyelidikan .....	36
4.1.2 Penyelidikan Geoteknik.....	36
4.1.3 Hasil Uji Laboratorium .....	39
4.1.4 Simulasi Numeris .....	42
4.1.5. Analisa input data menggunakan <i>Plaxis 2D v.85</i> .....	42
4.2 Perilaku Tegangan-Regangan .....	42
4.2.1. Kondisi Lereng Dengan Program Plaxis 2D.....	42
4.2.2 Analisa Perhitungan Dengan rumus Lereng Terbatas.....	42

## **BAB V PENUTUP**

### **KESIMPULAN DAN SARAN**

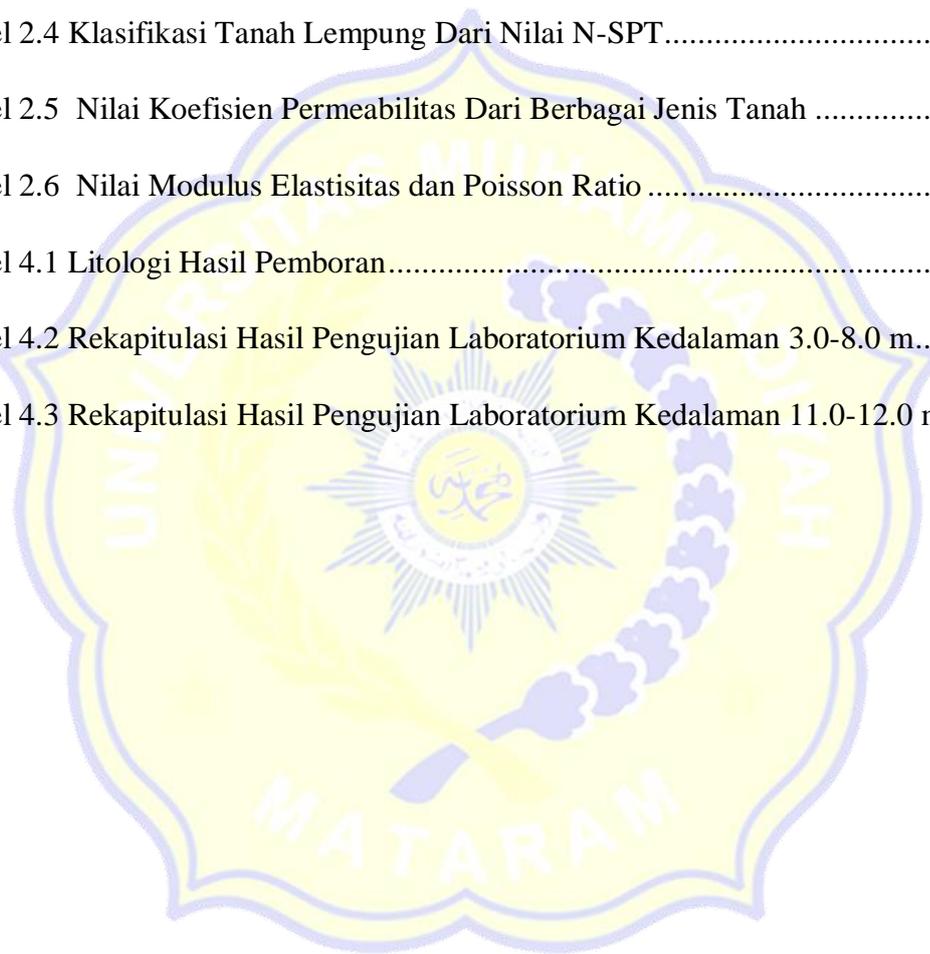
5.1 Kesimpulan.....	47
5.2 Saran.....	47

<b>DAFTAR PUSTAKA</b> .....	48
-----------------------------	----

### **LAMPIRAN**

## DAFTAR TABEL

	Hal
Tabel 2.1 Klasifikasi Angka Keamanan .....	9
Tabel 2.2 Tingkat Kepadatan Pasiran dari Nilai N-SPT .....	10
Tabel 2.3 Klasifikasi Tanah Pasir Berdasarkan N-SPT .....	11
Tabel 2.4 Klasifikasi Tanah Lempung Dari Nilai N-SPT .....	12
Tabel 2.5 Nilai Koefisien Permeabilitas Dari Berbagai Jenis Tanah .....	13
Tabel 2.6 Nilai Modulus Elastisitas dan Poisson Ratio .....	17
Tabel 4.1 Litologi Hasil Pemboran.....	39
Tabel 4.2 Rekapitulasi Hasil Pengujian Laboratorium Kedalaman 3.0-8.0 m....	40
Tabel 4.3 Rekapitulasi Hasil Pengujian Laboratorium Kedalaman 11.0-12.0 m.	41



## DAFTAR GAMBAR

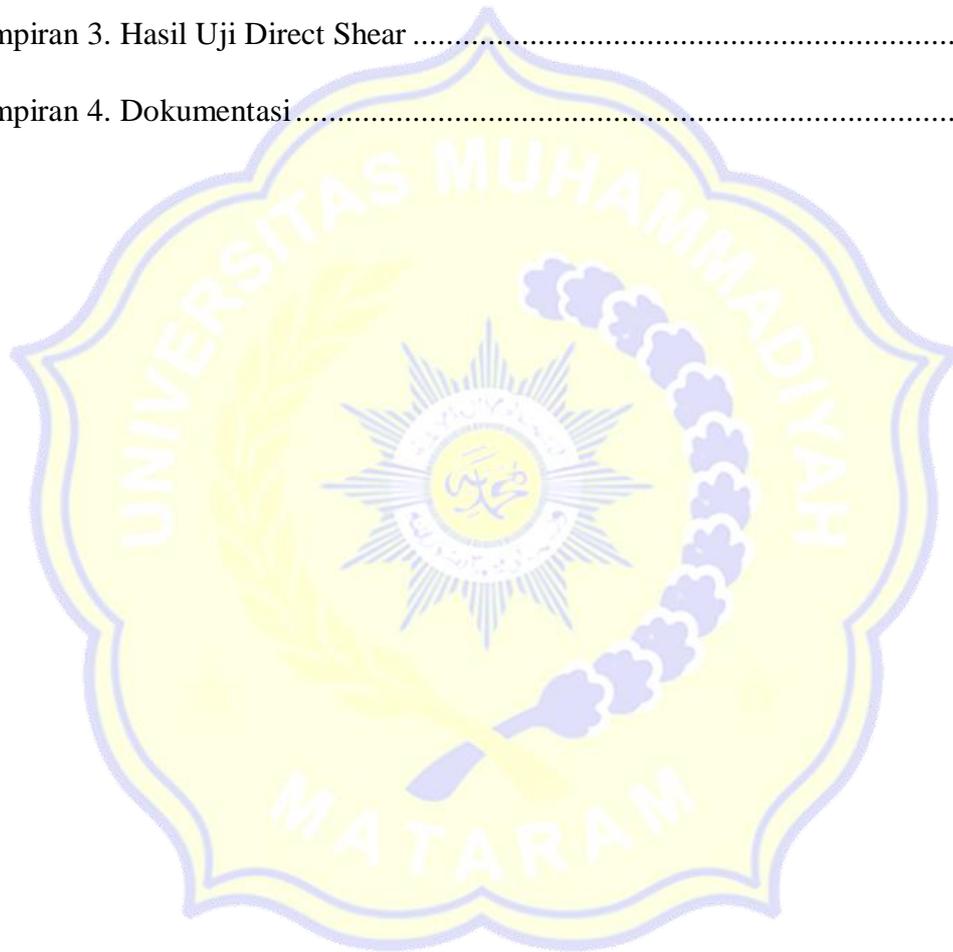
	Hal
Gambar 2.1 Peta Geologi Lembar Lombok, Nusa Tenggara Barat.....	5
Gambar 2.2 Garis Keruntuhan Mohr-Coulomb.....	15
Gambar 2.3 Sifat Elastisitas Tanah .....	16
Gambar 2.4 Posisi Titik Nodal dan Titik-Titik Tegangan Pada Elemen Tanah..	21
Gambar 2.5 Penomeran Lokal dan Penempatan Posisi Titik Nodal.....	21
Gambar 2.6 Bentuk Idealisasi <i>Plane Strain</i> .....	23
Gambar 2.7 Kurva Konstitutif Model Elastis Plastis Sempurna .....	26
Gambar 2.8 Bidang leleh Mohr-Coulomb Dalam Rangka Tegangan Utama .....	27
Gambar 3.1 Diagram Alir Penelitian .....	29
Gambar 3.1.1 Peta Lokasi Kegiatan Penelitian .....	30
Gambar 3.2 Pengambilan Sampel Pengeboran Geoteknik Kav.60 BH-.....	33
Gambar 4.1 Contoh Tanah Hasil Pemboran Geoteknik.....	38
Gambar 4.2 <i>New Project</i> .....	43
Gambar 4.3 <i>General Settings</i> .....	43
Gambar 4.4 Tahap Memasukkan Satuan dan Dimensi Geometri .....	44
Gambar 4.5 Tahap Pemodelan Geometri .....	44
Gambar 4.6 Tahap Pemberian <i>Interface</i> .....	45
Gambar 4.7 Tahap Masukan <i>Material Properties</i> .....	45
Gambar 4.8 Tahap Masukan <i>Tabsheet General</i> .....	46
Gambar 4.9 Tahap Masukan <i>Tabsheet Parameters</i> .....	46
Gambar 4.10 Tahap Masukan <i>Tabsheet Interface</i> .....	47
Gambar 4.11 Tahap <i>General Mesh</i> .....	47
Gambar 4.12 Tahap Kondisi Awal .....	48
Gambar 4.13 Tahap Perhitungan Tegangan Efektif .....	48
Gambar 4.14 Tahap Jendela <i>General</i> Pada Plaxis Calculation.....	49
Gambar 4.15 Tahap Jendela <i>Multipliers</i> Pada Plaxis Calculation.....	49
Gambar 4.16 Total Displacements (Total Disp = $46,72 \times 10^{-3}$ m) .....	50

Gambar 4.17 Horizontal Displacements (Horizt. disp = $45,97 \times 10^{-3}$ m) .....	51
Gambar 4.18 Vertikal Displacements (Vert. disp = $-38,58 \times 10^{-3}$ m).....	51
Gambar 4. 19 <i>Plaxis Calculation</i> .....	52
Gambar 4. 20 Lereng Villa Torok Aik Belek.....	52



## DAFTAR LAMPIRAN

	Hal
Lampiran 1. Data Output Plaxis .....	56
Lampiran 2. Hasil Uji Sifat Fisik.....	63
Lampiran 3. Hasil Uji Direct Shear .....	69
Lampiran 4. Dokumentasi.....	75



## ABSTRAK

Gerakan massa (*mass movement*) tanah atau sering disebut tanah longsor (*landslide*) merupakan salah satu bencana alam yang sering melanda daerah perbukitan beriklim tropis basah. Kerusakan yang ditimbulkan oleh gerakan massa tersebut tidak hanya kerusakan secara langsung seperti rusaknya fasilitas umum, lahan pertanian, ataupun adanya korban jiwa, akan tetapi juga kerusakan secara tidak langsung yang melumpuhkan kegiatan pembangunan dan aktivitas ekonomi di daerah bencana dan sekitarnya. Bencana alam gerakan massa tersebut cenderung semakin meningkat seiring dengan meningkatnya aktivitas manusia. Salah satu kasus gerakan massa tanah, yaitu bangunan Vila Torok yang berada di lereng perbukitan dengan kemiringan lereng berkisar antara  $60^{\circ}$  -  $75^{\circ}$  telah mengalami gejala geologi, yaitu retakan memanjang pada sisi depan kaki lereng sehingga berpotensi terjadinya tanah longsor yang akan membahayakan bangunan infrastruktur.

Metode yang dipakai untuk mengevaluasi pergerakan lereng dalam penelitian ini adalah survey lapangan untuk mendapatkan karakteristik tanah/batuan disekitar lokasi penelitian. Selanjutnya, material tanah/batuan yang diperoleh dari hasil survey geoteknik dilakukan uji laboratorium sebagai parameter *input* dalam simulasi numeris dengan *Plaxis*. Simulasi dilakukan dengan idealisasi 2D pada kondisi *plane strain* dan menggunakan model *Mohr-Coulomb* untuk tanah dasar.

Berdasarkan hasil simulasi numeris menunjukkan potensi longsor masing - masing kondisi, tahap pertama kondisi lereng pada vila dalam keadaan memuaskan untuk galian dan timbunan yang ditandai dengan angka aman  $SF = 1,3544$ , dan dari hasil analisis perhitungan longSORan terbatas, maka didapat nilai angka keamanan  $FK = 1.185$ . Pergerakan lereng berdasarkan hasil simulasi, yaitu kondisi lereng vila dengan total pergerakan  $46.72 \cdot 10^{-3}$  m.

*Kata kunci* : Stabilitas Lereng, Plaxis, Praya, Lombok Tengah

## ABSTRACT

The mass movement of land or often called landslides, is one of the natural disasters that often hit hilly areas with wet tropical climates. The damage caused by the mass movement was not only direct damage such as damage to public facilities, agricultural land, or casualties but also indirect damage, which paralyzed development activities and economic activities in the disaster area and its surroundings. The mass movement of natural disasters tends to increase along with the increase in human activity. One of the landmass movement cases was in the Villa Torok building, which is located on a hilly slope with a slope ranging from  $60^\circ$  -  $75^\circ$  has experienced geological symptoms, such as longitudinal cracks on the front side of the slope foot and has the potential for landslides to occur which will endanger infrastructures.

The method used to evaluate the slope movement is a field survey to obtain soil/rock characteristics around the research location. Moreover, the soil/rock material obtained from the results of the geotechnical survey is subjected to laboratory tests as input parameters in numerical simulations with Plaxis. Simulations were implemented with 2D idealization under plane strain conditions and using the Mohr-Coulomb model for subgrade.

Based on the results of numerical simulations, the potential for landslides in each condition, the first stage of the slope conditions at the villa is satisfactory for excavation and embankment, which is marked with a safe number  $SF = 1.3544$ , so the slope can be said to be in a satisfactory state because the safe number is above 1.2. The slope movement based on the simulation results showed that the condition of the villa slope with a total movement of 46.72 10<sup>-3</sup> m.

**Keywords:** Slope, numerical simulation, deformation, stability



## BAB I

### PENDAHULUAN

#### 1.1 Latar Belakang

Lereng merupakan suatu permukaan tanah yang memiliki kemiringan dan membentuk sudut tertentu terhadap bidang horizontal dan tidak terlindungi (das, 1985). Lereng biasanya terdapat ditepi jalan ataupun ditebing sungai. Stabilitas lereng merupakan hal penting dalam ilmu geoteknik karena apabila stabilitas lereng terganggu maka lereng rentan terhadap kelongsoran.

Gerakan massa (*mass movement*) tanah atau sering disebut tanah longsor (*landslide*) merupakan salah satu bencana alam yang sering melanda daerah perbukitan beriklim tropis basah. Kerusakan yang ditimbulkan oleh gerakan massa tersebut tidak hanya kerusakan secara langsung seperti rusaknya fasilitas umum, lahan pertanian, ataupun adanya korban jiwa, akan tetapi juga kerusakan secara tidak langsung yang melumpuhkan kegiatan pembangunan dan aktivitas ekonomi di daerah bencana dan sekitarnya. Bencana alam gerakan massa tersebut cenderung semakin meningkat seiring dengan meningkatnya aktivitas manusia.

Untuk mengetahui faktor keamanan lereng dilokasi penelitian dibutuhkan suatu analisa stabilitas lereng yang dapat memodelkan sesuai dengan kondisi asli dilapangan agar terjadi kondisi pendekan dalam hasil analisis dan memudahkan dalam memodelkan penanganannya, salah satunya dengan menggunakan program *Plaxis*.

Salah satu kasus gerakan massa tanah, yaitu bangunan Vila Torok Aik Beleq yang berada di lereng perbukitan dengan kemiringan lereng berkisar antara  $60^{\circ}$  -  $75^{\circ}$  telah mengalami gejala geologi, yaitu retakan memanjang pada sisi depan kaki lereng sehingga berpotensi terjadinya tanah longsor yang akan membahayakan bangunan infrastruktur. Untuk mencegah potensi terjadinya tanah longsor di lereng Vila Torok Aik Beleq Dusun Montong Ajan Kecamatan Pujut Kabupaten Lombok Tengah Provinsi Nusa Tenggara Barat.

## 1.2 Rumusan Masalah

1. Bagaimana cara menangani tingkat keamanan di lereng Vila Torok Aik Beleq Kecamatan Pujut Kabupaten Lombok Tengah ?
2. Apakah penyebab terjadinya tanah longsor di lereng Vila Torok Aik Beleq Kecamatan Praya Barat Kabupaten Lombok Tengah ?

## 1.3 Tujuan Penelitian

Tujuan penelitian ini adalah sebagai berikut :

1. Mengevaluasi angka keamanan lereng eksesting pada villa
2. Menggunakan Program *Plaxis* sebagai salah satu cara untuk menganalisis dan mencari solusi penanganan stabilitas lereng.

## 1.4 Batasan Masalah

Mengingat luasnya ruang lingkup permasalahan dan keterbatasan waktu maupun kemampuan maka dilakukanlah pembatasan masalah, yaitu :

1. Analisa stabilitas lereng dilakukan dengan menggunakan program *Plaxis* 8.5.
2. Lereng ditinjau berdasarkan besarnya sudut lereng dan tingkat kejenuhan tanahnya.

## **BAB II**

### **TINJAUAN PUSTAKA DAN LANDASAN TEORI**

#### **2.1 Tinjauan Pustaka**

##### **2.1.1. Penelitian Terdahulu**

Purnama (2016) melakukan penelitian tentang stabilitas lereng dan longsoran pada Simpang Gunung Kamala menggunakan metode *Plaxis* V.8.2 hasil penelitian menyatakan bahwa karakteristik dan parameter tanah lereng sangat berpengaruh terhadap hasil analisis stabilitas lereng dan perbedaan nilai faktor keamanan dengan hasil analisis setelah penanganan lereng menggunakan metode *Plaxis* sebesar 1,3548.

Analisis penyebab longsoran dengan metode Bishop pada perumahan Royal Si Gura-Gura Malang, yang dilakukan oleh Pratama (2014) dengan hasil penelitian kondisi tanah heterogen nilai faktor keamanannya sebesar 0,85 dan tanah homogen sebesar 0,93; kondisi rembesan tanah heterogen faktor keamanannya sebesar 0,72 dan tanah homogen sebesar 0,76; kondisi kering dan beban tanah heterogen faktor keamanannya sebesar 0,75.

Utama (2010) melakukan analisis stabilitas lereng dengan metode Equilibrium pada daerah Cipularang dengan hasil penelitian mengatakan nilai faktor keamanan kurang dari 1 (satu) sehingga lereng Cipularang tidak aman saat terjadinya gempa.

Tegangan pori negative sebagai parameter stabilitas lereng tanah tak jenuh dengan hasil - hasil penelitian menunjukkan bahwa kondisi tanah kering memiliki parameter kuat geser ( $c$  dan  $\phi$ ) lebih besar dari pada kondisi tanah basah dinyatakan oleh Sinarta (2016).

Sompie (2014) melakukan analisis tentang stabilitas lereng dengan metode Fellenius di daerah Citraland hasil penelitian menyatakan bahwa analisis perhitungan komputer menggunakan slide 6 menunjukkan nilai faktor keamanan dari lereng kawasan Citraland adalah 0,193. Itu berarti lereng kawasan Citraland dalam kondisi tidak stabil.

##### **2.1.2. Formasi Geologi**

Menurut Pusat Penelitian dan Pengembangan Geologi, Pulau Lombok termasuk dalam Peta Geologi Lembar Lombok Nusa Tenggara Barat seperti pada **Gambar 2.1**, daratan Pulau Lombok secara geologi disusun oleh dua satuan yang berbeda yang terdiri

dari batuan gunung api, sedimen dan batuan terobosan yang berumur Tersier hingga Kuarter. Bagian terbesar Pulau Lombok ditempati oleh suatu jalur pegunungan vulkanik kuarter dibagian utara dan jalur perbukitan tua (tersier) yang terdapat bagian selatan. Jalur daratan tengah ditutupi oleh berbagai jenis batuan yang bersumber dari hasil kegiatan vulkanik yang lebih tua umurnya.

Pada bagian tengah dipisahkan oleh dataran yang menghampar dari pantai barat hingga timur Pulau Lombok. Satuan batuan tertua yang tersingkap adalah Formasi (F) Pengulung yang tersusun oleh endapan hasil kegiatan gunung api yang terdiri dari breksi, lava dan tufa dengan lensa batu gamping yang mengandung bijih sulfida dan urat kuarsa dan menjemari dengan F. Kawangan yang terdiri atas perselingan batu pasir kuarsa. Batu lempung dan breksi. Keduanya diterobos oleh batuan yang bersusunan dasit dan basalt.

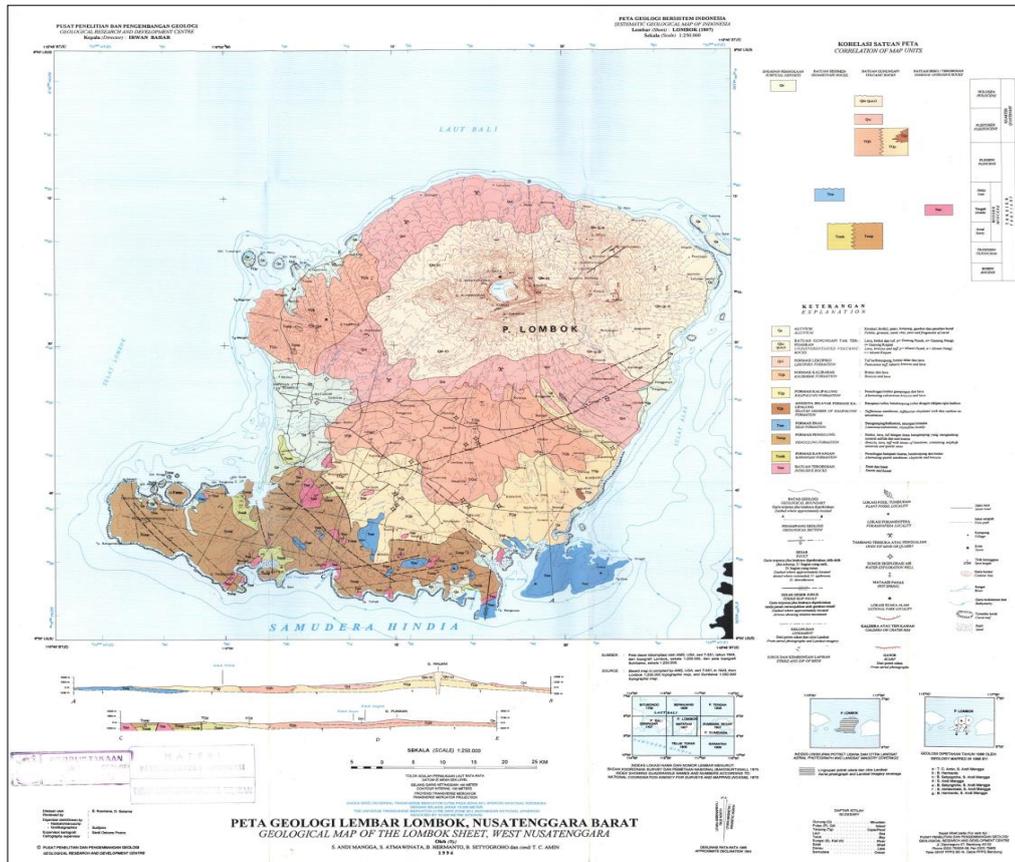
Secara umum susunan perlapisan batuan di Pulau Lombok adalah:

#### 1. Endapan Permukaan.

Aluvium, terdiri dari kerakal, kerikil, pasir, lempung, gambut dan pecahan koral. Satuan ini tersebar cukup luas di bagian barat, yaitu di sekitar Mataram dan Kawangan.

#### 2. Batuan Sedimen dan Batuan Gunung Api.

- a. Formasi Pengulung, terdiri dari breksi, lava dan tufa dengan lensa batu gamping yang mengandung bijih sulfida dan urat kuarsa
- b. Formasi Kawangan, terdiri dari perselingan batu pasir kuarsa, batu lempung dan breksi.
- c. Formasi Ekas, terdiri dari batu gamping (kalkarenit).
- d. Formasi Kalipalung, yang terdiri dari perselingan breksi gampingan dan lava.
- e. Anggota Selayar Formasi Kalipalung, terdiri dari batu pasir tufaan, batu lempung tufaan dengan sisipan karbon.
- f. Formasi Kalibabak, terdiri dari breksi dan lava.
- g. Formasi Lekopiko, terdiri dari tufa batu apung, breksi lahar dan lava.
- h. Batuan Gunung Api Tak Teruraikan, terdiri dari lava, breksi dan tufa yang merupakan hasil kegiatan gunung api Pusuk-Nangi dan Rinjani yang tak teruraikan.
- i. Batuan Terobosan, terdiri dari dasit dan basalt.



**Gambar 2.1 Peta Geologi Lembar Lombok, Nusa Tenggara Barat**

### 2.1.3. Longsor (Landslide)

Longsor sering disebut sebagai gerakan massa (*mass movement*) yang disebabkan oleh gaya-gaya gravitasi dan getaran atau gempa. Gerakan massa tanah atau massa batuan terjadi akibat adanya keruntuhan geser disepanjang bidang longsor sebagai batas bergerakanya massa tanah atau batuan. Longsoran merupakan salah satu jenis gerakan tanah/batuan (Karnawati, 2004)

Banyak peristiwa longsor diakibatkan atau dipicu oleh penggalian atau penimbunan lereng untuk jalan, perumahan maupun rel kereta. Akibat dari adanya gangguan pada lereng, maka massa tanah atau batuan akan mencari keseimbangan baru akibat adanya faktor yang mempengaruhi dan menyebabkan berkurangnya kuat geser dan meningkatnya tegangan geser pada massa tanah atau batuan tersebut. Berbagai kejadian longsor yang teridentifikasi rentan bergerak berdasarkan bentuk tipologi lereng, yaitu:

1. Lereng yang tersusun oleh massa tanah lunak/batuan lapuk yang dialasi oleh batuan yang masif atau kompak
2. Lereng yang tersusun oleh pelapisan massa tanah atau batuan yang kemiringannya searah kemiringan lereng
3. Lereng yang tersusun oleh berbagai bentuk blok-blok batuan.

Jadi, banyak faktor yang mempengaruhi stabilitas lereng yang mengakibatkan terjadi longsor. Longsor sangat jarang terjadi karena salah satu faktor penyebab saja. Adapun sebab-sebab longsor lereng alam terjadi menurut (Hardiyatmo, 2003) :

1. Penambahan beban pada lereng seperti beban bangunan yang baru, beban air yang masuk ke pori-pori tanah yang menggenangi permukaan
2. Penggalan atau pemotongan tanah pada kaki lereng
3. Penggalan yang mempertajam kemiringan lereng
4. Kenaikan tekanan lateral oleh air (air yang mengisi retakan yang akan mendorong tanah ke arah lateral)
5. Penurunan tahanan geser tanah pembentuk lereng akibat kenaikan kadar air, kenaikan tekanan air pori, tekanan rembesan oleh gerakan air di dalam tanah.
6. Getaran atau gempa.

#### **2.1.4 Mengatasi Kelongsoran Lereng**

Dalam menghadapi persoalan bagaimana cara memperbaiki atau menstabilkan lereng pada suatu daerah yang terjadi kelongsoran. Menurut (Wesley, 1977) ada dua cara untuk membuat lereng supaya menjadi lebih aman dan bagus, yaitu :

- a. Memperkecil gaya penggerak atau momen penggerak, yaitu dengan mengubah bentuk lereng, cara yang dilakukan yaitu :
  - 1). membuat lereng lebih datar dengan mengurangi sudut kemiringan.
  - 2). Memperkecil ketinggian lereng
- b. Memperbesar gaya melawan, yang dapat dilakukan dengan beberapa cara, yaitu :
  - 1). Dengan memakai counterweight yaitu tanah timbunan pada lereng
  - 2). Dengan mengurangi tegangan air pori dalam lereng.

- c. Dengan cara injeksi, yaitu dengan menambah tanah timbunan pada kaki lereng, membuat selokan secara teratur pada lereng dengan mengurangi tegangan air pori pada tanah, dengan menambah bahan kimia atau semen dipompa melalui pipa supaya masuk ke dalam lereng
- d. Dengan cara mekanis, yaitu dengan membuat dinding penahan atau dengan memancang tiang. Cara ini dilakukan jika lereng tersebut mempunyai tingkat kelongsoran yang kecil.

## 2.2 Landasan Teori

### 2.2.1. Analisis Stabilitas Lereng

Analisis stabilitas lereng dilakukan untuk mengetahui kondisi suatu lereng baik itu lereng alami maupun lereng buatan. Secara umum, tujuan analisis stabilitas lereng adalah memperkirakan bentuk keruntuhan dan menentukan tingkat kerawanan lereng terhadap longsor supaya memenuhi keamanan. Perhitungan stabilitas lereng dilakukan dengan menggunakan metode keseimbangan batas dan analisis tegangan regangan. Metode keseimbangan batas lebih fokus pada analisis keadaan batas, yang menyatakan bahwa suatu lereng akan stabil apabila gaya geser (*shear stress*) sebagai penyebab gerakan massa tanah tidak melebihi kekuatan geser tanah yang merupakan penahan gaya geser tersebut.

Apabila kondisi sebaliknya, maka massa tanah menjadi tidak stabil sehingga berpotensi terjadi longsor atau gerakan tanah. Analisis tegangan regangan memakai konsep metode elemen hingga. Kelebihan atau keuntungan menggunakan pendekatan metode elemen hingga dari pada metode keseimbangan batas, yaitu tidak dibutuhkan asumsi dalam menentukan posisi atau bentuk bidang longsor. Bidang longsor akan terbentuk secara alami pada zona lereng, dimana kuat geser tanah tidak mampu menahan tegangan geser yang terjadi dan mampu memantau perkembangan *progressive failure* termasuk *overall shear failure* (Griffiths et al., 1999).

Salah satu metode perhitungan faktor aman dengan pendekatan elemen hingga adalah teknik reduksi kekuatan (*strenght reduction technique*).

Dalam teknik reduksi (pengurangan) kekuatan geser tanah, parameter kuat geser tanah  $c'$  dan  $\phi'$  yang tersedia berturut-turut direduksi secara otomatis sampai menyebabkan

keruntuhan pada lereng (Griffiths et al., 1999, Chan dan Huang, 2005) Nilai reduksi dari parameter kuat geser didefinisikan seperti persamaan berikut:

$$SRF = \frac{c'}{c'f} \dots\dots\dots (2.1)$$

$$SRF = \tan^{-1}\left(\frac{\phi'}{\phi'f}\right) \dots\dots\dots (2.2)$$

dengan,

SRF = faktor pengurangan kekuatan (*strength reduction factor*) saat runtuh.

$c'$  = kohesi tanah (kN/m<sup>2</sup>)

$c'f$  = kohesi tanah reduksi (kN/m<sup>2</sup>)

$\phi'$  = sudut geser dalam tanah (°)

$\phi'f$  = sudut geser dalam tereduksi (°)

Pada prinsipnya lereng dikatakan stabil apabila tegangan geser ( $\tau_f$ ) yang berupa gaya penggerak massa tanah (*driving force*) sama besar dengan tegangan geser ( $\tau_d$ ) yang berupa gaya penahan/melawan gerakan tanah (*resisting force*). Gaya penggerak massa tanah umumnya terdiri dari berat material tanah, tekanan air pori dan beban luar. Sedangkan gaya penahan/melawan gerakan tanah, berupa kuat geser tanah yang berada di bidang gelincir lereng. Oleh karena itu, faktor aman (SF) merupakan perbandingan nilai kuat geser yang menahan gerakan terhadap kuat geser yang harus dikerahkan sepanjang permukaan bidang runtuh (Craig, 1987) :

$$SF = \frac{\tau_f}{\tau_d} = \frac{c + \sigma \tan \phi}{c_d + \sigma \tan \phi_d} \dots\dots\dots (2.3)$$

$$SF = \frac{\text{Kekuatan geser yang tersedia}}{\text{Kekuatan geser saat longsor}} \dots\dots\dots (2.4)$$

dengan,

$\tau_f$  = kuat geser yang tersedia dalam tanah (kN/m<sup>2</sup>)

$\tau_d$  = tegangan geser yang menggerakkan bidang longsor(kN/m<sup>2</sup>)

$cd$  = kohesi yang bekerja sepanjang bidang longsor (kN/m<sup>2</sup>)

$\phi_d$  = sudut gesek dalam yang bekerja sepanjang bidang longsor ( $^\circ$ )

SF = faktor aman

SF = nilai SRF pada saat longsor

Liu (1981) memberikan faktor aman untuk stabilitas lereng, yaitu  $SF < 1$  (tidak aman),  $1 \leq SF \leq 1,2$  (lereng meragukan) dan  $SF > 1,2$  (aman). Menurut Surendro (2014) menyatakan angka keamanan (n) seperti dalam table berikut :

Tabel 2.1 Tabel Klasifikasi Angka Keamanan

No	Angka Keamanan	Signifikasi
1	Kurang dari 1,00	Tidak aman
2	1,00 – 1,20	Diragukan
3	1,30 – 1,40	Memuaskan untuk galian, timbunan, untuk bendungan masih perlu diragukan
4	1,50 – 1,75	Aman untuk bendungan

Sumber : ( Surendro 2014 )

### 2.2.2 Klasifikasi Tanah

Menurut Das (1988), klasifikasi tanah merupakan cara menentukan dan mengidentifikasi jenis tanah yang berbeda-beda berdasarkan sifat-sifat material tanah. Jenis tanah yang sudah teridentifikasi tersebut kemudian dikelompokkan berdasarkan subkelompok pemakaiannya. Klasifikasi tanah dapat dilakukan dengan penyelidikan langsung di lapangan ataupun uji laboratorium. Hasil dari klasifikasi tanah dapat memberikan gambaran mengenai sifat-sifat tanah untuk keperluan desain. Untuk keperluan analisis geoteknik, penentuan kondisi tanah, jenis dan ketebalan lapisan tanah serta kekakuan tanah, dapat dilakukan dengan korelasi antara parameter tanah, baik dari uji laboratorium maupun penyelidikan lapangan.

Uji laboratorium dapat diketahui sifat fisik dan mekanik tanah, sedangkan penyelidikan lapangan untuk mengetahui secara visual jenis, per lapisan, pengambilan sampel *undisturbed* dan menentukan letak muka air. Disamping itu, uji penetrasi standar (SPT) dan sondir (CPT) sangat diperlukan untuk mengetahui kekuatan dan tingkat kepadatan tanah. Peckdck(1974) melakukan identifikasi kondisi

tanah berdasarkan nilai N-SPT dan sondiruntuk tanah lanau sampai pasir seperti dalam Tabel 2.2.

**Tabel 2.2**Tingkat kepadatan pasiran dari nilai N-SPT

Kondisi tanah	Nilai N-SPT	Kerapatan relatif Dr	Sudut gesek dalam ( $\phi$ )	Nilai tahanan konus ( $q_c$ ) (Mpa)
Sangat tidak padat	0 – 4	0 – 0,2	< 30	0 – 2
Tidak padat (lepas)	4 – 10	0,2 – 0,4	30 – 35	2 – 4
Kepadatan sedang	10 – 30	0,4 – 0,6	35 – 40	4 – 12
Padat	30 – 50	0,6 – 0,8	40 – 45	12 – 20
Sangat padat	$\geq 50$	0,8 – 1,0	> 45	> 20

Sumber: ( Peck, dkk 1974 )

Bowles (1997) melakukan klasifikasi tanah pasir berdasarkan korelasi antara parameter-parametertanah yang didasarkan pada nilai N-SPT seperti dalam Tabel2.3.

**Tabel 2.3**Klasifikasi tanah pasir berdasarkan N-SPT

Deskripsi	Sangat tidak padat	Tidak padat	Sedang	Padat	Sangat Padat

Kerapatan relatif ( $D_r$ )					
Nilai N-SPT	0	0,15	0,35	0,65	0,85
halus					
sedang	1 – 2	20 – 6	7 – 15	16 – 30	?
kasar	2 – 3	20 – 7	8 – 20	21 – 40	> 40
Sudut gesek dalam ( $\phi$ )		5 – 9	10 – 25	26 – 45	> 45
halus	20 – 6				
sedang	26 – 28	28 – 30	30 – 34	32 – 38	< 50
kasar	27 – 28	30 – 32	32 – 36	36 – 42	
Berat volume tanah	28 – 30	30 – 34	33 – 40	40 – 50	
( $\gamma_{wet}$ )	11 – 16	14 – 18	17 – 20	17 – 22	20 – 23

Sumber: (Bowles, 1997)

Hardiyatmo (2010) memberikan hubungan N secara kasar dengan kuat tekan bebas pada tanah lempung jenuh. Kuat tekan bebas ( $q_u$ ) diperoleh dari uji tekan bebas dengan  $C_u = 0,5 q_u$  dan  $\phi = 0$ .

Hubungan empiris antara  $c_u$  dan N sebagai berikut:

$$C_u = 6 N \dots\dots\dots (2.5)$$

Hubungan nilai N-SPT dan kuat geser pada tanah lempung, penggunaannya hanya sebatas pendekatan kasar sedangkan pada tanah pasir, nilai N-SPT dapat dipercaya. Adapun klasifikasi untuk tanah lempung dikelompokkan seperti dalam **Tabel 2.3**.



## 2.4 Klasifikasi tanah lempung dari nilai N-SPT

Kondisi tanah	Konsistensi	N-SPT	qu (kPa)	Keterangan
<i>Normally consolidated, berusia muda</i>	Sangat lunak	0 – 2	< 25	Merembes keluar jari tangan
	Lunak	3 – 5	25 – 50	Sangat mudah berubah bentuk
	Menengah	6 – 9	50 – 100	
<i>Overconsolidated, berusia tua cemented</i>	Kaku	10 – 16	100 – 200	Sulit untuk berubah bentuk
	Sangat kaku	17 – 30	200 – 400	Sangat sulit berubah bentuk
	Keras	> 30	> 400	Hampir tidak bisa berubah bentuk

Sumber : (Bowles 1997)

Poulos dan Davis (1974) menyampaikan bahwa jenis tanah dapat ditentukan dari hasil uji sondir (CPT) dengan mengetahui tahanan konus (*cone resistance*) dan tahanan gesek (*frictionratio*) dari tanah. Pada dasarnya, ukuran butiran tanah dan sifat kohesif atau non kohesif dapat mempengaruhi sifat tanah yang mengalirkan air melalui rongga antar butir. Kondisi dimana tanah mempunyai kemampuan dalam menyalurkan air melalui rongga pori disebut permeabilitas. Besarnya koefisien permeabilitas tanah tergantung pada ukuran rata-rata pori tanah yang dipengaruhi oleh distribusi ukuran partikel, bentuk partikel dan struktur tanah. Nilai koefisien permeabilitas dari berbagai jenis tanah seperti dalam **Tabel 2.4**.

**Tabel 2.5** Nilai koefisien permeabilitas dari berbagai jenis tanah

Jenis tanah	Koefisien permeabilitas (k)	
	cm/detik	ft/menit
Kerikil bersih	1,0 – 100	2,0 – 200
Pasir kasar	1,0 – 0,01	2,0 – 0,02
Pasir halus	0,01 – 0,001	0,02 – 0,002
Lanau	0,001 – 0,00001	0,002 – 0,00002
Lempung	< 0,000001	< 0,000002

Sumber : (Das, 1988)

### 2.2.3 Parameter Kuat Geser Tanah

Das (1993) menyampaikan bahwa kuat geser tanah merupakan perlawanan *internal* tanah terhadap keruntuhan atau pergeseran sepanjang bidang geser dalam tanah. Keruntuhan geser terjadi akibat gerakan antara butir-butir tanah sehingga kekuatan geser tergantung dari gaya-gaya yang bekerja (Wesley, 1997). Jadi, kuat geser tanah memiliki sifat yang mengikat seandainya didalamnya terdapat perbedaan tegangan. Parameter kuat geser tanah terdiri dari dua parameter yaitu:

1. Kohesi tanah ( $c$ ) yang tergantung pada jenis tanah dan kepadatannya
2. Gesekan antara butir-butir tanah ( $\phi$ ) yang berbanding lurus dengan tegangan normal yang bekerja pada bidang geser.

Hardiyatmo (2006) menyatakan bahwa keruntuhan pada suatu bahan atau material terjadi akibat kombinasi kritis antara tegangan normal ( $\sigma$ ) dan tegangan geser ( $\tau$ ) dan bukan hanya akibat salah satu tegangan saja. Hubungan kedua tegangan tersebut pada bidang runtuh dinyatakan dalam persamaan berikut:

$$\tau = f(\sigma) \dots\dots\dots (2.6)$$

Das (1993) menyatakan hubungan antara tegangan normal dan tegangan geser pada sebuah bidang keruntuhan seperti yang terlihat pada **Gambar 2.2**. Garis keruntuhan

(*failure envelope*) yang dinyatakan oleh persamaan diatas sebenarnya berbentuk garis lengkung seperti terlihat pada **Gambar 2.2b**. Sebagian besar dalam masalah mekanika tanah, garis tersebut cukup didekati dengan garis lurus yang menunjukkan hubungan linear antara tegangan normal dan geser atau dengan kata lain  $f(\sigma)$  sebagai fungsi  $c + \sigma \tan\phi$  (Das, 1993).

Apabila fungsi Coulomb tersebut disubstitusikan ke persamaan diatas, maka dihasilkan kriteria keruntuhan Mohr-Coulomb:

$$\tau = c + \sigma_n \tan\phi \dots\dots\dots(2.7)$$

dengan,

$\tau$  = tegangan geser (kN/m<sup>2</sup>)

$c$  = kohesi tanah (kN/m<sup>2</sup>)

$\sigma_n$  = tegangan normal (kN/m<sup>2</sup>)

$\phi$  = sudut gesek dalam (°)

Pada kondisi tanah jenuh air, Terzaghi mengubah persamaan Mohr- Coulomb dalam bentuk tegangan efektif yang dipengaruhi oleh tekanan air pori:

$$\tau = c' + \sigma' \tan\phi' \dots\dots\dots(2.8)$$

$$\tau = c' + (\sigma_n - u) \tan\phi' \dots\dots\dots(2.9)$$

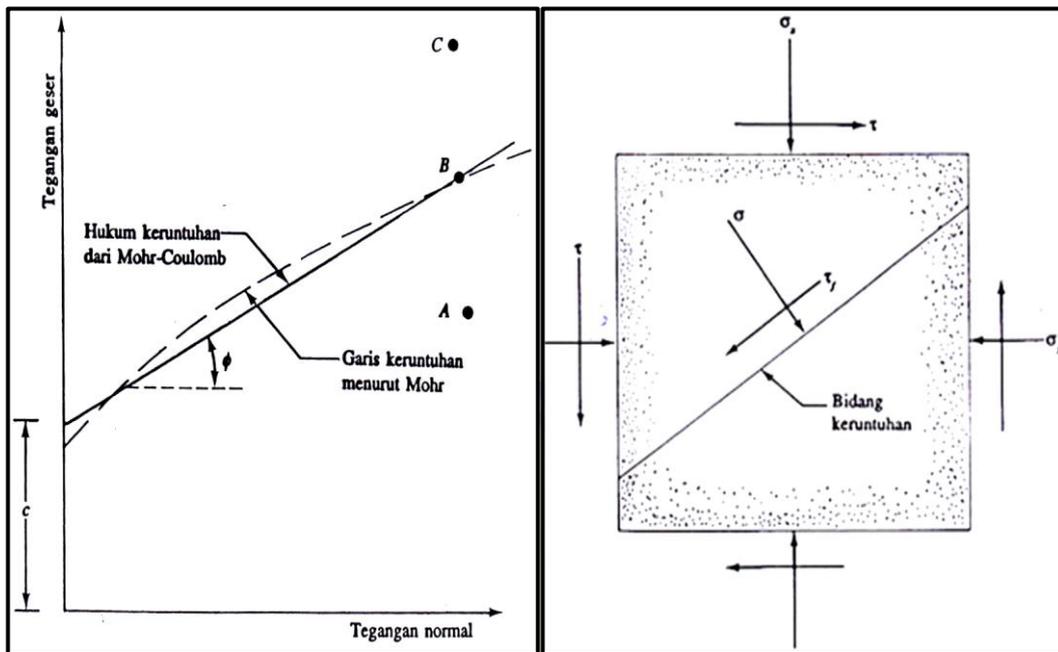
dengan,

$c'$  = kohesi tanah efektif (kN/m<sup>2</sup>)

$\sigma'$  = tegangan normal efektif (kN/m<sup>2</sup>)

$\phi'$  = sudut gesek dalam efektif (°)

$u$  = tekanan air pori (kN/m<sup>2</sup>)



a. Garis keruntuhan Mohr

b. Garis keruntuhan Mohr-Coulomb

**Gambar 2.2 Garis keruntuhan Mohr-Coulomb**

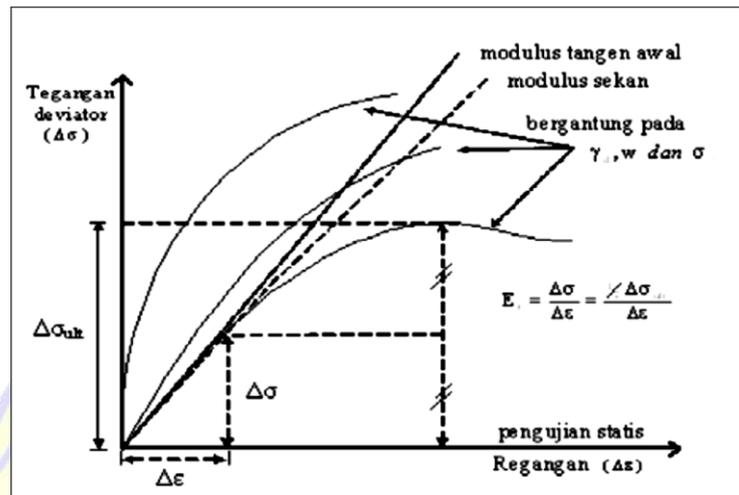
#### 2.2.4 Modulus Elastisitas dan *Poisson Ratio*

Tanah pada umumnya mempunyai parameter sifat elastis yang digunakan untuk menghitung deformasi, yaitu modulus elastisitas ( $E$ ) dan *Poisson ratio* ( $\nu$ ). Jadi, Modulus elastisitas merupakan ukuran dari deformasi dan kekuatan suatu material tanah (Bowles, 1986). Modulus elastisitas dihasilkan dari uji triaksial kondisi *undrained* dengan modulus elastisitas ditentukan dari kemiringan garis elastis linear yang memotong kurva lengkung tegangan regangan yang diambil  $\frac{1}{2}$  dari beban ultimit aksial seperti **Gambar 2.3a**. Namun dalam prakteknya, sangat sulit untuk menentukan nilai modulus elastisitas karena akan bertambah seiring bertambahnya kedalaman tanah. *Poisson ratio* merupakan perbandingan antara regangan lateral ( $\epsilon_3$ ) terhadap regangan vertikal ( $\epsilon_1$ ) seperti pada **Gambar 2.3b**. Selain uji laboratorium, nilai modulus elastisitas tanah dapat diperoleh dari penyelidikan lapangan. Bowles (1986) mengusulkan persamaan untuk menghitung modulus elastisitas dari uji sondir pada tanah kohesif dan non kohesif sebagai berikut:

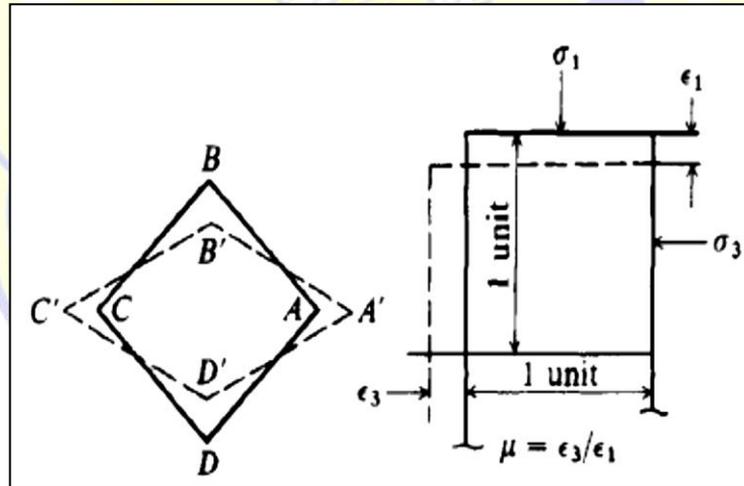
$$E = 6 \text{ sampai } 8 \text{ qc (tanah kohesif)}$$

$E = 2$  sampai  $4 q_c$  (pasir halus sampai sedang)

Nilai perkiraan modulus elastisitas ( $E$ ) dan *Poisson ratio* ( $\nu$ ) dari berbagai macam tanah seperti dalam **Tabel 2.5**.



a. Modulus Elastisitas ( $E$ )



b. Poisson ratio ( $\nu$ )

**Gambar 2.3** Sifat elastisitas tanah (Bowles, 1986)

**Tabel 2.6** Nilai modulus elastisitas dan *Poisson ratio*

Jenis tanah	Modulus elastisitas (kN/m <sup>2</sup> )	Jenis tanah	<i>Poisson ratio</i> ( $\nu$ )
Lempung		Lempung jenuh	0,40 – 0,50
sangat lunak	300 – 3000	Lempung tak jenuh	0,10 – 0,30
lunak	2000 – 4000	Lempung berpasir	0,20 – 0,30
sedang	4500 – 9000	Lanau	0,30 – 0,35
keras	7000 – 20000	Pasir padat	0,20 – 0,40
berpasir	30000 – 42500	Pasir kasar	0,15 – 0,25
Pasir		Pasir halus	0,10 – 0,40
berlanau	5000 – 20000	Batu <i>Loess</i>	0,10 – 0,30
tidak padat	10000 – 25000		
padat	50000 – 100000		
Pasir dan kerikil			
padat	80000 – 200000		
tidak padat	50000 – 140000		
Lanau	2000 – 20000		
<i>Loess</i>	15000 – 60000		

Sumber: (Bowles, 1986)

### 2.2.5 Metode Elemen Hingga (*Finite Element Method*)

Metode elemen hingga merupakan analisis pendekatan yang berdasarkan asumsi *displacement* atau asumsi tegangan atau kombinasi dari ke dua asumsi tersebut dalam setiap elemen hingga (Weaver, 1993). Pada analisis elemen hingga, suatu bidang dibagi

menjadi beberapa elemen kemudian tiap-tiap elemen terdiri dari titik nodal. Setiap titik nodal memiliki derajat kebebasan yang belum diketahui. Langkah dasar dalam analisis dengan pendekatan metode elemen hingga (Suhendro, 2000) adalah sebagai berikut:

1. Pembagian (*diskritisasi*) struktur menjadi elemen-elemen (nyata atau imajiner) dengan *grid line* yang saling berpotongan di titik-titik nodal.
2. Untuk setiap elemen, ditetapkan fungsi pendekatan (*approximate function*) dan penjabaran komponen-komponen perpindahan (*displacement*) dalam u,v dan w yang banyaknya m seperti persamaan berikut :

$$u = N_1u_1 + N_2u_2 + N_3u_3 + \dots + N_mu_m \dots\dots\dots(2.10a)$$

$$v = N_1v_1 + N_2v_2 + N_3v_3 + \dots + N_mv_m \dots\dots\dots(2.10b)$$

$$w = N_1w_1 + N_2w_2 + N_3w_3 + \dots + N_mw_m \dots\dots\dots(2.10c)$$

*Displacement* yang terjadi disembarang titik dalam elemen dinyatakan dengan Vektor sehingga persamaan (2.10) digabungkan dalam bentuk matrik berikut:

$$\begin{Bmatrix} u \\ v \\ w \end{Bmatrix} = \begin{Bmatrix} N_1 & N_2 & N_3 & \dots & N_m & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & N_1 & N_2 & N_3 & \dots & N_m & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & N_1 & N_2 & N_3 & \dots & N_m \end{Bmatrix} \begin{Bmatrix} u_1 \\ u_2 \\ u_3 \\ \dots \\ u_m \\ v_1 \\ v_2 \\ v_3 \\ \dots \\ v_m \\ w_1 \\ w_2 \\ w_3 \\ \dots \\ w_m \end{Bmatrix} \dots\dots\dots(2.11)$$

$$\begin{Bmatrix} u \\ v \\ w \end{Bmatrix} = [N] \{d\}_e \dots\dots\dots(2.12)$$

dengan,

$[N]$  = *shape function matrix*

$\{d\}_e$  = vektor nodal *displacement* elemen

Hubungan antara regangan-*displacement* seperti pada persamaan:

$$\begin{Bmatrix} \varepsilon_{xx} \\ \varepsilon_{yy} \\ \varepsilon_{zz} \\ \gamma_{xy} \\ \gamma_{yz} \\ \gamma_{xz} \end{Bmatrix} = \begin{bmatrix} \frac{\partial}{\partial x} & 0 & 0 \\ 0 & \frac{\partial}{\partial y} & 0 \\ 0 & 0 & \frac{\partial}{\partial z} \\ \frac{\partial}{\partial y} & \frac{\partial}{\partial x} & 0 \\ 0 & \frac{\partial}{\partial z} & \frac{\partial}{\partial y} \\ \frac{\partial}{\partial z} & 0 & \frac{\partial}{\partial x} \end{bmatrix} \begin{Bmatrix} u \\ v \\ w \end{Bmatrix} \text{ atau } \{\varepsilon\} = [D] \begin{Bmatrix} u \\ v \\ w \end{Bmatrix} \dots\dots\dots(2.13)$$

Dari persamaan (2.12) dan (2.13) diperoleh persamaan:

$$\{\varepsilon\} = [D] [N] \{d\}_e = [B] \{d\}_e \dots\dots\dots(2.14)$$

3. Penjabaran matrik kekakuan tiap elemen dari energi potensial total masing-masing elemen. Persamaan keseimbangan elemen diperoleh dari prinsip energi potensial minimum  $\frac{\partial \pi_e}{\partial \{d\}_e} = 0$  :

$$\left( \iiint_V [B]^T [E] [B] dV \right) \{d\}_e = \{P\}_e + \iiint_V [N]^T \cdot [F] dV + \iint_{s_1} [N]^T \cdot [\Phi] ds \dots\dots(2.15)$$

dengan,

$\{P\}_e$  = Vektor beban terpusat pada titik nodal (KN)

$\{d\}$  = nodal *displacement* vektor (m)

$\{E\}$  = konstitutif vektor

$\{F\}$  = *body force* vektor (KN)

$\{\Phi\}$  = *surface traction* vektor (kN/m<sup>2</sup>)

$[B]$  = matrik konstitutif untuk *strain*.

Persamaan di atas merupakan kondisi keseimbangan dari bentuk diskritisasi vektor beban akibat nodal *forces*, *body forces* dan *surface traction*. Apabila pengaruh *body force* maupun *surface traction* diekuivalenkan sebagai beban ekuivalen terpusat pada titik–titik nodal, maka persamaan (2.15) menjadi:

$$\left( \iiint_V [B]^T [E] [B] dV \right) \cdot \{d\}_e = \{P\}_e^* \dots\dots\dots(2.16)$$

$\{P\}_e^*$  pada persamaan diatas mencakup semua pengaruh beban luar pada koordinat lokal. Dengan prinsip-prinsip metode matrik kekakuan, maka diperoleh:

$$[K_1^e] \cdot \{d\}_e = \{P\}_e^* \dots\dots\dots(2.17)$$

dengan,

- $\{P\}_e^*$  = vektor *nodal force* elemen pada koordinat lokal
- $[K_1^e]$  =  $\iiint_V [B]^T [E] [B] dV$ , adalah matrik kekakuan koordinat lokal
- $\{d\}_e$  = nodal *displacement* vektor pada koordinat lokal

Selanjutnya, matrik kekakuan lokal  $[K_1^e]$  ditransformasikan ke sistem koordinat global untuk menghitung kondisi batas pada struktur, sehingga keseimbangan struktur dalam koordinat global:

$$[K] \cdot \{d\} = \{P\} \dots\dots\dots(2.18)$$

dengan,  $[K]$  adalah matrik kekakuan global,  $\{d\}$  vektor global *displacement*,  $\{P\}$  vektor beban global.

4. Untuk menghitung kondisi batas pada struktur, persamaan (2.18) dapat diselesaikan, sehingga diperoleh penyelesaian masing-masing nodal *displacement* dari struktur yang belum diketahui.

$$\{d\} = [K]^{-1} \{P\} \dots\dots\dots(2.19)$$

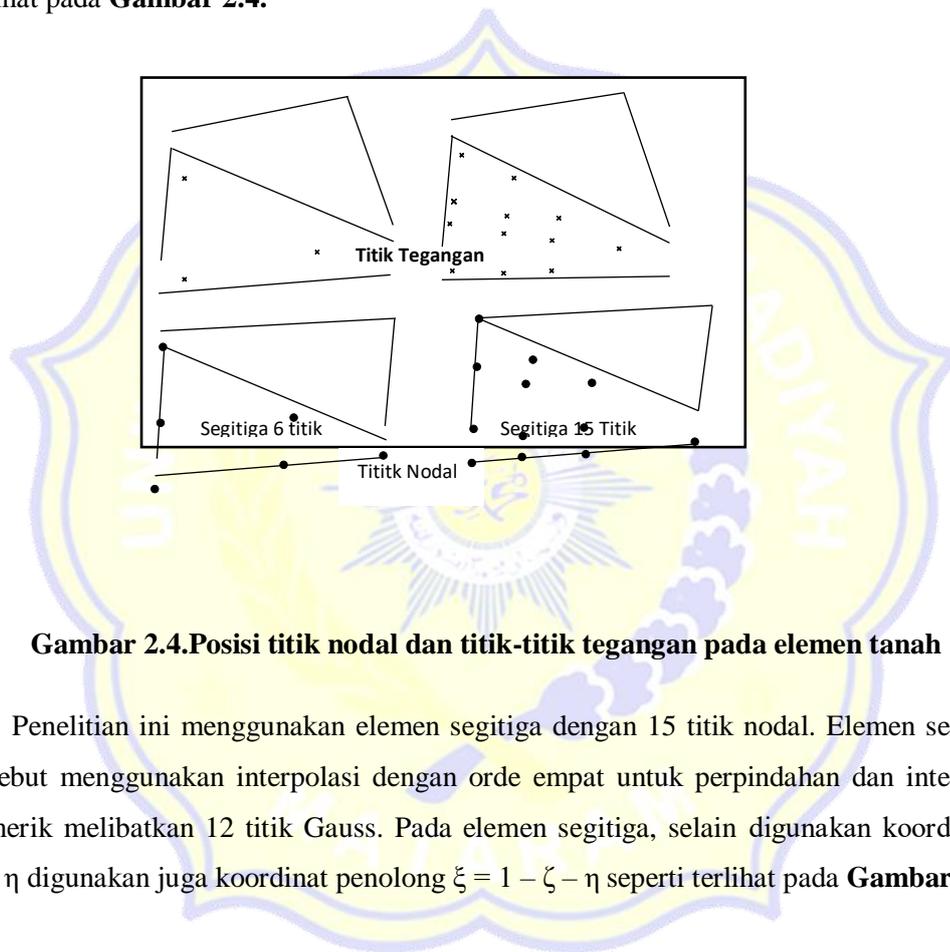
5. Berdasarkan *nodal displacement* tersebut, maka besarnya tegangan regangan maupun gaya untuk setiap elemen dapat dihitung dengan persamaan:

$$\{\varepsilon\}^{(e)} = [B] \{d\}_{(e)} \dots\dots\dots(2.20)$$

$$\{\sigma\} = [E] \{\varepsilon\}^{(e)} = [E] [B] \{d\}_{(e)} \dots\dots\dots(2.21)$$

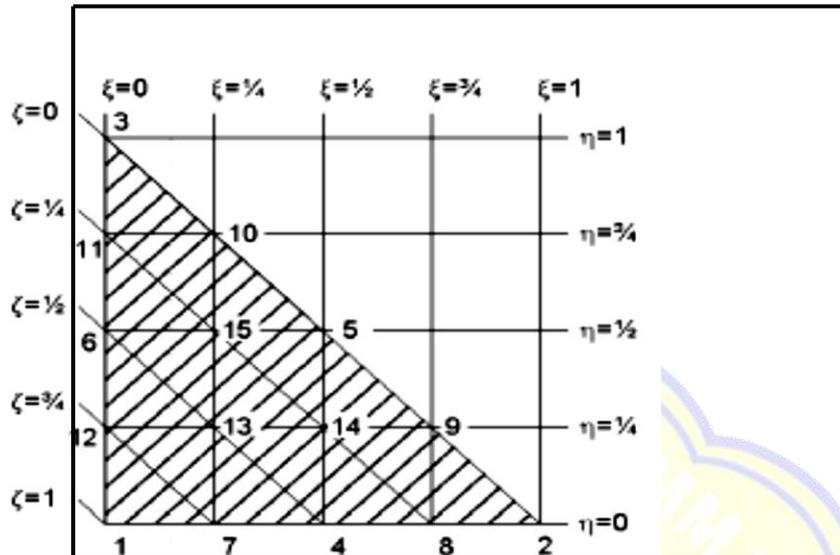
### 2.2.6 Metode Elemen Hingga dalam *Plaxis*

Pada metode elemen hingga, kontinum dibagi menjadi sejumlah elemen dan setiap elemen memuat sejumlah titik nodal. Setiap titik nodal mempunyai sejumlah derajat kebebasan yang terkait dengan nilai diskret dari parameter yang tidak diketahui. Pada program *Plaxis* digunakan elemen segitiga dengan 6 titik atau 15 titik nodal seperti terlihat pada **Gambar 2.4**.



**Gambar 2.4.** Posisi titik nodal dan titik-titik tegangan pada elemen tanah

Penelitian ini menggunakan elemen segitiga dengan 15 titik nodal. Elemen segitiga tersebut menggunakan interpolasi dengan orde empat untuk perpindahan dan integrasi numerik melibatkan 12 titik Gauss. Pada elemen segitiga, selain digunakan koordinat  $\zeta$  dan  $\eta$  digunakan juga koordinat penolong  $\xi = 1 - \zeta - \eta$  seperti terlihat pada **Gambar 2.5**.



**Gambar 2.5. Penomeran lokal dan penempatan posisi titik nodal**

Fungsi bentuk untuk elemen hingga segitiga dengan 15 buah titik nodal adalah:

$$N_1 = \zeta(4\zeta - 1).(4\zeta - 2).(4\zeta - 3)/6 \dots\dots\dots(2.22a)$$

$$N_2 = \zeta(4\zeta - 1).(4\zeta - 2).(4\zeta - 3)/6 \dots\dots\dots(2.22b)$$

$$N_3 = \eta(4\eta - 1).(4\eta - 2).(4\eta - 3)/6 \dots\dots\dots(2.22c)$$

$$N_4 = 4 \zeta \zeta (4\zeta - 1). (4\zeta - 1) \dots\dots\dots(2.22d)$$

$$N_5 = 4 \zeta \eta (4\zeta - 1).(4\eta - 1) \dots\dots\dots(2.22e)$$

$$N_6 = 4 \eta \zeta (4\eta - 1).(4\zeta - 1) \dots\dots\dots(2.22f)$$

$$N_7 = \zeta \zeta (4\zeta - 1).(4\zeta - 2).8/3 \dots\dots\dots(2.22g)$$

$$N_8 = \zeta \zeta (4\zeta - 1).(4\zeta - 2).8/3 \dots\dots\dots(2.22h)$$

$$N_9 = \eta \zeta (4\zeta - 1).(4\zeta - 2).8/3 \dots\dots\dots(2.22i)$$

$$N_{10} = \zeta \eta (4\eta - 1).(4\eta - 2).8/3 \dots\dots\dots(2.22j)$$

$$N_{11} = \zeta \eta (4\eta - 1) \cdot (4\eta - 2) \cdot 8/3 \dots \dots \dots (2.22k)$$

$$N_{12} = \eta \zeta (4\zeta - 1) \cdot (4\zeta - 2) \cdot 8/3 \dots \dots \dots (2.22l)$$

$$N_{13} = 32 \eta \zeta \zeta (4\zeta - 1) \dots \dots \dots (2.22m)$$

$$N_{14} = 32 \eta \zeta \zeta (4\zeta - 1) \dots \dots \dots (2.22n)$$

$$N_{15} = 32 \eta \zeta \zeta (4\eta - 1) \dots \dots \dots (2.22o)$$

Hubungan antara regangan dan perpindahan seperti yang diformulasikan dalam persamaan (2.23), dimana turunan perlu diperhitungkan terhadap sistem sumbu global (x,y,z).

$$\underline{\underline{\epsilon}} = \underline{\underline{B}}_i \cdot \underline{v}_i \dots \dots \dots (2.23)$$

dengan,

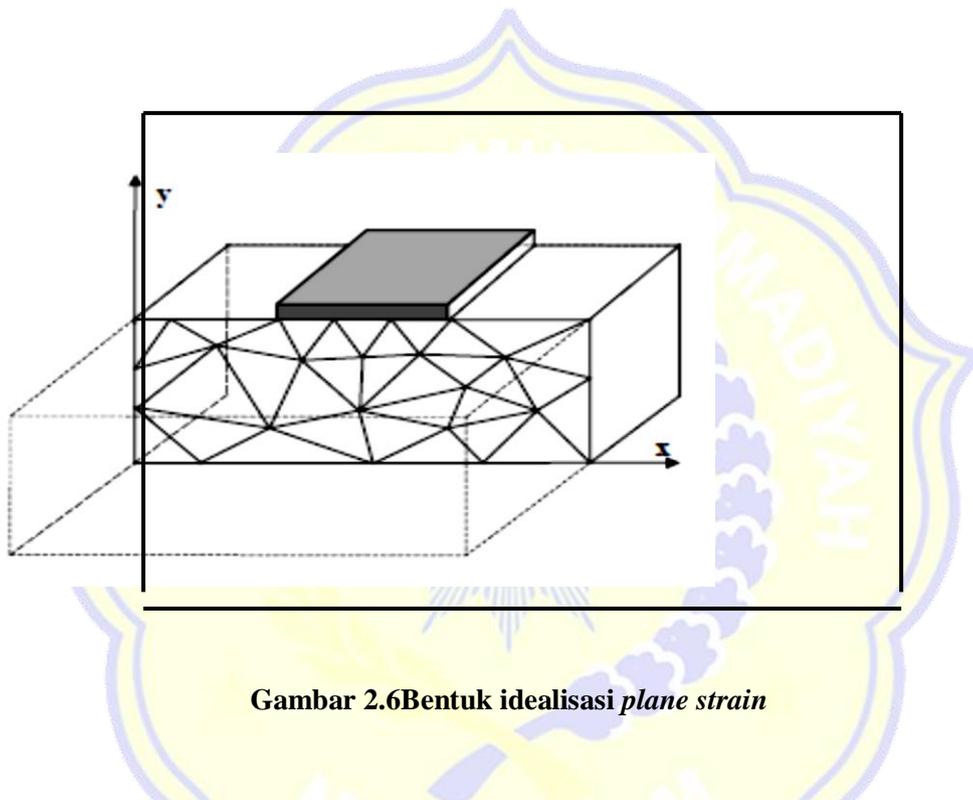
$$\underline{\underline{B}}_i = \begin{bmatrix} \frac{\partial N_i}{\partial x} & 0 & 0 \\ 0 & \frac{\partial N_i}{\partial y} & 0 \\ 0 & 0 & \frac{\partial N_i}{\partial z} \\ \frac{\partial N_i}{\partial y} & \frac{\partial N_i}{\partial x} & 0 \\ 0 & \frac{\partial N_i}{\partial z} & \frac{\partial N_i}{\partial y} \\ \frac{\partial N_i}{\partial z} & 0 & \frac{\partial N_i}{\partial x} \end{bmatrix} \dots \dots \dots (2.24)$$

Komponen regangan dapat dihitung dengan penjumlahan dari kontribusi seluruh titik nodal sebagai berikut:

$$\begin{bmatrix} \epsilon_{xx} \\ \epsilon_{yy} \\ \epsilon_{zz} \\ \gamma_{xy} \\ \gamma_{yz} \\ \gamma_{zx} \end{bmatrix} = \sum_i \underline{\underline{B}}_i \cdot \begin{bmatrix} v_{xi} \\ v_{yi} \\ v_{zi} \end{bmatrix} \dots \dots \dots (2.25)$$

### 2.2.7 Idealisasi Plane Strain dalam Plaxis

*Plane strain* merupakan model dalam elemen hingga, dimana dimensi panjang struktur relatif lebih panjang dibandingkan dengan dimensi lintang dan beban bekerja sepanjang struktur tersebut dengan arah pada bidang x-y serta kedua ujung tersebut tidak bisa bergerak (Suhendro, 2000). Idealisasi *plane strain*, yaitu merubah model struktur tiga dimensi menjadi bentuk dua dimensi. Idealisasi ini dapat dilakukan apabila struktur cukup panjang dengan penampang melintang seragam. Untuk lebih jelas, idealisasi *plane strain* seperti pada **Gambar 2.6**.



**Gambar 2.6** Bentuk idealisasi *plane strain*

Dalam kondisi *plane strain*, beban bekerja sepanjang struktur pada bidang x-y. *Displacement* dan regangan pada arah sumbu z sama dengan nol sedangkan komponen *displacement* arah x, y yaitu u, v sehingga menyebabkan  $\epsilon_z = 0$  ;  $\gamma_{xz} = 0$  ;  $\gamma_{yz} = 0$ . Hubungan tegangan regangan diberikan dalam persamaan berikut:

$$\sigma_x = \frac{E}{(1+\nu)(1-2\nu)} [(1-\nu)\epsilon_x + \nu\epsilon_y] \dots\dots\dots(2.26a)$$

$$\sigma_y = \frac{E}{(1+\nu)(1-2\nu)} [\nu\epsilon_x + (1-\nu)\epsilon_y] \dots\dots\dots(2.26b)$$

$$\tau_{xy} = G \gamma_{xy} = \frac{E}{2(1+\nu)} \gamma_{xy} \dots\dots\dots(2.26c)$$

Bentuk persamaan tegangan regangan (*stress strain*) pada persamaan (2.26) dinyatakan dalam bentuk matrik untuk pemodelan *plane strain*:

$$\begin{Bmatrix} \sigma_x \\ \sigma_y \\ \tau_{xy} \end{Bmatrix} = \frac{E}{(1-\nu)(1-2\nu)} \begin{bmatrix} 1-\nu & \nu & 0 \\ \nu & 1-\nu & 0 \\ 0 & 0 & \frac{1-2\nu}{2} \end{bmatrix} \begin{Bmatrix} \epsilon_x \\ \epsilon_y \\ \gamma_{xy} \end{Bmatrix} \dots\dots\dots(2.27)$$

atau dalam bentuk:

$$\{\sigma\} = [E] \{\epsilon\} \dots\dots\dots(2.28)$$

dengan,

[E] = matrik konstitutif untuk *plane strain*.

{σ} = vektor tegangan (*stress*)

{ε} = vektor regangan

### 2.2.8 Model Material dalam *Plaxis*

Secara umum, model material yang sering digunakan dalam analisis simulasi adalah Mohr-Coulomb. Mohr-Coulomb adalah model elastis plastis, dimana elastis merepresentasikan tegangan yang mengakibatkan regangan hingga kondisi leleh dan bagian plastis menggambarkan perilaku pasca leleh. Parameter yang digunakan pada model Mohr-Coulomb, yaitu modulus elastisitas (E) dan *Poisson ratio* (ν) yang mewakili elastisitas tanah, kohesi (c) dan sudut gesek dalam (φ) mewakili plastisitas tanah dan sudut *dilatancy* (ψ). Disamping kelima parameter dalam model Mohr-Coulomb tersebut, kondisi tegangan awal dari tanah (K<sub>o</sub>) memegang peranan yang penting dalam masalah deformasi.

Kondisi tegangan ini dinyatakan oleh tegangan vertikal efektif awal (σ'<sub>vo</sub>). Tegangan horizontal efektif awal (σ'<sub>ho</sub>) dihubungkan dengan tegangan vertikal efektif awal oleh koefisien tekanan lateral (K<sub>o</sub>). Penerapan K<sub>o</sub> sangat penting dalam analisis kuat geser dan masalah yang berkaitan dengan perencanaan bendungan urugan dan fondasi bangunan. Prinsip dasar dari model elastis plastis adalah regangan dan perubahan regangan dibedakan bagian elastis dan bagian plastis:

$$\underline{\varepsilon} = \underline{\varepsilon}^e + \underline{\varepsilon}^p ; \quad \underline{\dot{\varepsilon}} = \underline{\dot{\varepsilon}}^e + \underline{\dot{\varepsilon}}^p \dots\dots\dots(2.29)$$

Sesuai dengan hukum Hooke yang menghubungkan perubahan tegangan dan perubahan regangan elastis menghasilkan persamaan:

$$\underline{\dot{\sigma}}' = \underline{D}^e \cdot \underline{\dot{\varepsilon}}^e = \underline{D}^e \cdot (\underline{\dot{\varepsilon}} - \underline{\dot{\varepsilon}}^p) \dots\dots\dots(2.30)$$

dengan,

$\underline{\dot{\sigma}}'$  = komponen perubahan tegangan efektif

$\underline{D}^e$  = matrik kekakuan elastis

Pada model Mohr-Coulomb, perubahan regangan plastis dipengaruhi oleh fungsi leleh (*f*) dan fungsi potensial plastis (*g*). Secara umum, perubahan regangan plastis sebagai berikut:

$$\underline{\dot{\varepsilon}}^p = \lambda \frac{\partial g}{\partial \underline{\sigma}'} \dots\dots\dots(2.31)$$

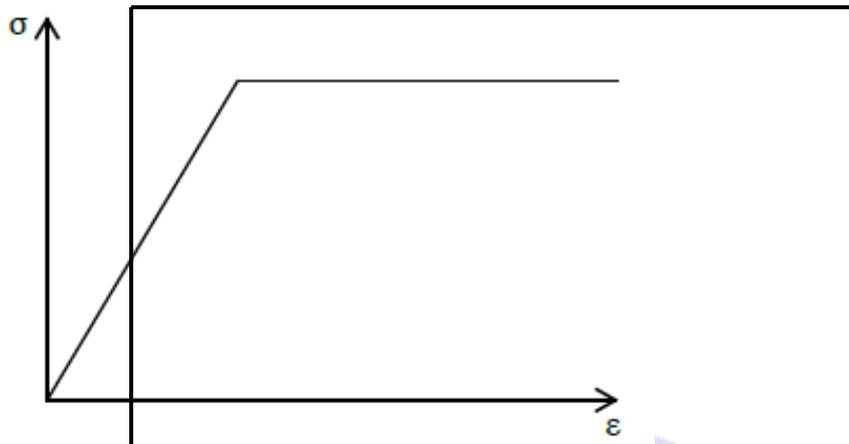
dengan,

$\lambda$  = faktor pengali plastis dengan perilaku elastis murni  $\lambda = 0$  dan perilaku plastis  $\lambda$  bernilai positif

*g* = fungsi potensial plastis

Grafik perilaku tegangan regangan untuk model elastis plastis sempurna sepertipada

**Gambar 2.7**



**Gambar 2.7 Kurva konstitutif model elastis plastis sempurna**

Kondisi leleh dalam model Mohr-Coulomb apabila diformulasikan dalam konteks tegangan terdiri dari enam buah fungsi leleh seperti berikut :

$$f_{1a} = \frac{1}{2} \cdot (\sigma_2' - \sigma_3') + \frac{1}{2} \cdot (\sigma_2' + \sigma_3') \cdot \sin\varphi - c \cdot \cos\varphi \leq 0 \dots\dots\dots(2.32a)$$

$$f_{1b} = \frac{1}{2} \cdot (\sigma_3' - \sigma_2') + \frac{1}{2} \cdot (\sigma_3' + \sigma_2') \cdot \sin\varphi - c \cdot \cos\varphi \leq 0 \dots\dots\dots(2.32b)$$

$$f_{2a} = \frac{1}{2} \cdot (\sigma_3' - \sigma_1') + \frac{1}{2} \cdot (\sigma_3' + \sigma_1') \cdot \sin\varphi - c \cdot \cos\varphi \leq 0 \dots\dots\dots(2.32c)$$

$$f_{2b} = \frac{1}{2} \cdot (\sigma_1' - \sigma_3') + \frac{1}{2} \cdot (\sigma_1' + \sigma_3') \cdot \sin\varphi - c \cdot \cos\varphi \leq 0 \dots\dots\dots(2.32d)$$

$$f_{3a} = \frac{1}{2} \cdot (\sigma_1' - \sigma_2') + \frac{1}{2} \cdot (\sigma_1' + \sigma_2') \cdot \sin\varphi - c \cdot \cos\varphi \leq 0 \dots\dots\dots(2.32e)$$

$$f_{3a} = \frac{1}{2} \cdot (\sigma_2' - \sigma_1') + \frac{1}{2} \cdot (\sigma_2' + \sigma_1') \cdot \sin\varphi - c \cdot \cos\varphi \leq 0 \dots\dots\dots(2.32f)$$

dengan,

$f$  = fungsi leleh

$\sigma_1'$  = tegangan efektif pada sumbu satu

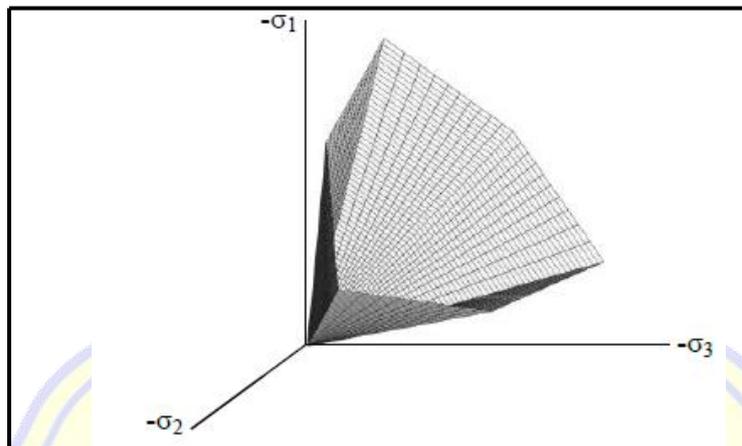
$\sigma_2'$  = tegangan efektif pada sumbu satu

$\sigma_3'$  = tegangan efektif pada sumbu satu

$c$  = kohesi

$\varphi$  = sudut gesek dalam

Fungsi ini membentuk konus heksagonal dalam ruang tegangan utama seperti pada **Gambar 2.8**



**Gambar 2.8** Bidang leleh Mohr-Coulomb dalam ruang tegangan utama  
(Brinkgreve, 2007)

Selain fungsi leleh, model Mohr-Coulomb juga bisa didefinisikan dari potensi plastis sebagai berikut :

$$g_{1a} = \frac{1}{2} \cdot (\sigma_2' - \sigma_3') + \frac{1}{2} \cdot (\sigma_2' + \sigma_3') \cdot \sin\psi \dots \dots \dots (2.33a)$$

$$g_{1b} = \frac{1}{2} \cdot (\sigma_3' - \sigma_2') + \frac{1}{2} \cdot (\sigma_3' + \sigma_2') \cdot \sin\psi \dots \dots \dots (2.33b)$$

$$g_{2a} = \frac{1}{2} \cdot (\sigma_3' - \sigma_1') + \frac{1}{2} \cdot (\sigma_3' + \sigma_1') \cdot \sin\psi \dots \dots \dots (2.33c)$$

dengan,

$g$  = fungsi leleh

$\psi$  = sudut dilatansi

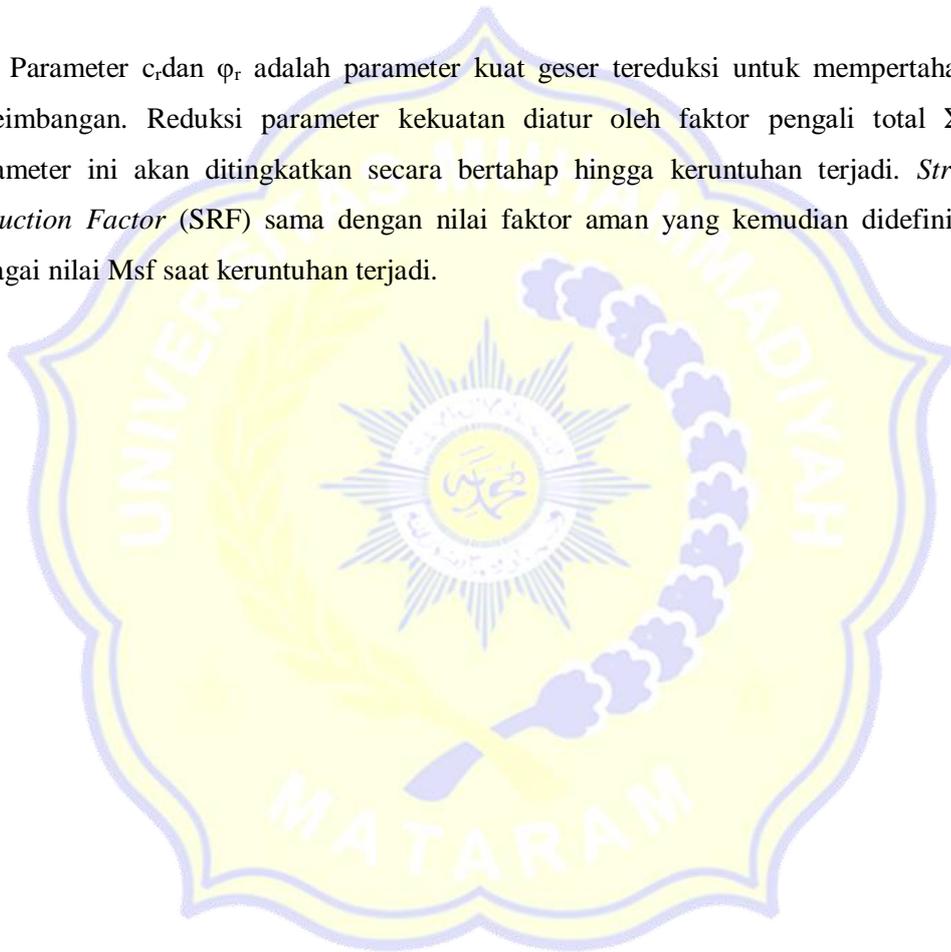
### 2.2.9 Teori *Safety Factor* dengan *Plaxis*

Analisis angka aman dengan *Plaxis* mengacu pada prinsip dasar dari

metode *phi-c reduction* yang mana faktor aman dihitung secara global. Metode *phi-c reduction* didasarkan pada asumsi pendekatan dengan mereduksi parameter kuat geser tanah yang tersedia berturut-turut, yaitu  $c$  dan  $\phi$  secara otomatis sampai terjadi keruntuhan pada tanah. Faktor aman (SF) untuk metode *phi-c reduction* seperti pada persamaan :

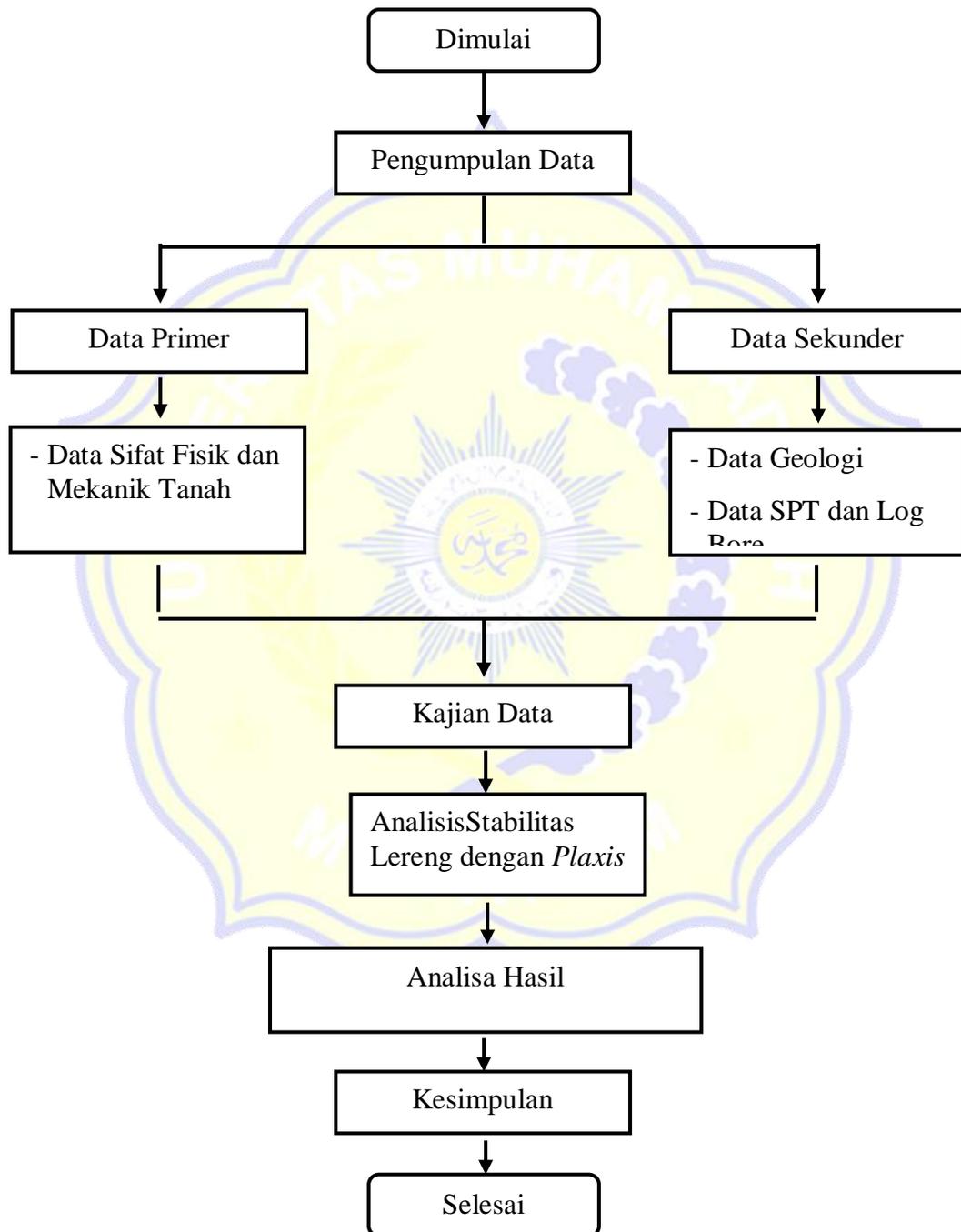
$$SRF = \frac{\tan \phi}{\tan \phi_r} = \frac{c}{c_r} = \Sigma M_{sf} \dots\dots\dots(2.34)$$

Parameter  $c_r$  dan  $\phi_r$  adalah parameter kuat geser tereduksi untuk mempertahankan keseimbangan. Reduksi parameter kekuatan diatur oleh faktor pengali total  $\Sigma M_{sf}$ . Parameter ini akan ditingkatkan secara bertahap hingga keruntuhan terjadi. *Strength Reduction Factor* (SRF) sama dengan nilai faktor aman yang kemudian didefinisikan sebagai nilai  $M_{sf}$  saat keruntuhan terjadi.



### BAB III METODE PENELITIAN

3.1 Tahapan Penelitian Dilakukan Seperti Diagram Alir Penelitian Pada Gambar Berikut :



### Gambar 3.1 Diagram Alir Penelitian

#### 3.1.1 Lokasi Penelitian

Lokasi penelitian berada di lereng Villa Torok Aik Belek Desa Montong Ajan, Kecamatan Praya Barat, Kabupaten Lombok Tengah Provinsi Nusa Tenggara Barat seperti pada **Gambar 3.1** Objek penelitian ini adalah lereng Villa yang mengalami gejala geologi, yaitu retakan memanjang pada bagian sisi depan kaki lereng.



Gambar 3.1.1 Peta Lokasi Kegiatan Penelitian

### 3.1.2 Alat

Dalam penelitian ini alat yang digunakan terdiri dari tiga bagian, yaitu alat untuk pengambilan sampel tanah di lapangan, uji laboratorium, dan programing modeling adalah sebagai berikut :

1. Satu rangkaian mesin bor putar hidrolik
2. Alat uji kadar air (ASTM D2216-92)
3. Alat uji berat jenis (ASTM D654-92)
4. Alat uji kuat geser langsung
5. Alat uji berat isi (ASTM D-2049)
6. Satu rangkaian komputer laptop merek asus intel atom, dual core cpu, dan RAM 2 GB.
7. Perangkat lunak *software Plaxis 2D v.8.5*

### 3.2 Tahapan Pengumpulan Data

Pengumpulan data adalah tahap awal setelah tahap persiapan dalam proses pelaksanaan evaluasi dan perencanaan yang penting. Hal ini dikarenakan pada tahap ini ditentukan permasalahan yang akan diambil. Adapun beberapa metode yang dilakukan antara lain.

#### 3.2.1. Data Primer

Data ini diperoleh secara langsung dari lapangan, data yang diperoleh antara lain :

- a. Pengukuran lereng secara langsung di lapangan untuk mendapatkan tinggi lereng serta sudut lereng kajian.
- b. Pengujian sampel tanah di laboratorium untuk mendapatkan nilai sudut geser ( $\phi$ ) dan kohesi (c) yang didapatkan dengan pengujian secara langsung, yaitu dengan melakukan uji geser langsung (*direct shear test*).

#### 3.2.2. Data Sekunder

Pengumpulan data sekunder dilakukan dengan mengumpulkan informasi dan dokumentasi yang berasal dari :

- a. *Data properties* tanah terkait dengan hasil uji laboratorium yang telah dilakukan sebelumnya.
- b. Data tambahan berupa kontur dan potongan melintang lereng kajian untuk dianalisis kestabilannya.

### 3.2.3 Pengambilan Sampel tanah dilapangan

Pekerjaan pemboran int(*core drilling*) yang dilakukan oleh Cv. Rekyasa Bumi Karya yang meliputi pengambilan contoh (*core sampling*), pengujian daya dukung standard (*Standard Penetration Tes*). Metode pengambilan sampel tersebut dilakukan dengan menggunakan mesin bor putar hidrolik didukung dengan mesin pompa untuk sirkulasi air pemboran. Pengambilan contoh inti bor dengan mempergunakan *Single Core Barrel* untuk tanah dan batuan lapuk dan *DoubleCore Barrel* untuk batuan yang keras. Mata Bor yang digunakan tipe supermetal dan *diamond bit* dengan diameter core 48 mm. Hasil Pemboran diambil secara bertahap berupa contoh inti (*core*) yang disimpan dalam kotak contoh (*Core Box*) untuk 5 meter pemercontohan *coring*. Contoh inti disajikan dalam slot per meter lima susun untuk satu *core box*. Standar yang digunakan dalam prosedur pengerjaan boring yaitu ASTM D-1452-80 "*Standar practice for soil investigation and sampling by auger borings*". Jumlah titik *drilling* dalam pengujian ini sebanyak 1 (satu) titik dengan kedalaman 15.0 meter dari permukaan tanah.

### 3.2.4 Standart Penetration Test (SPT)

*Standard Penetration Test* (SPT) oleh Cv. Rekyasa Bumi Karya dilaksanakan untuk mengetahui resistansi tanah terhadap penetrasi dengan interval 2.0 meter kedalaman yang dilaksanakan pada tanah *unconsolidated* atau pada lapukan dari batuan berupa tanah residual. *Split barrel sample* dihubungkan dengan *drilling rod*, dimasukkan kedalam lubang bor sampai pada dasar lubang, kemudian tumbuk dengan beban 63.5 kg dengan ketinggian jatuh 75 cm pada 15 cm pertama. Kemudian ditumbuk lagi untuk memasukkan 30 cm, dan jumlah tumbukan yang terjadi dicatat setiap 15 cm pertama dan 15 cm kedua dan ini merupakan harga N-SPT. Apabila jumlah tumbukan lebih dari 50 dan penetrasi *split barrel sample* tidak mencapai atau kurang dari 30 cm maka pelaksanaan SPT dihentikan dan jumlah tumbukannya dicatat.

Sampel tanah dari hasil SPT dimasukkan dalam kantong plastik dan ditaruh dalam *core box* dan diberi keterangan jumlah tumbukan.



**Gambar 3.2 Pengambilan sampel Pengeboran Geoteknik Kav.60 BH-**

### **3.2.5 Pengujian Laboratorium**

Pemeriksaan contoh tanah tak terganggu dilakukan di Laboratorium Mekanika Tanah untuk mengetahui sifat fisik (*indeks properties*) maupun karakteristik keteknikan. Prosedur pengujian mekanika tanah ini adalah menggunakan Standar ASTM. Adapun pengujian laboratorium yang dilaksanakan adalah:

1. Pengujian sifat fisik (*indeks properties*):
  - a. Kadar air (ASTM D. 2937 – 83)
  - b. Berat jenis (ASTM D. 854-83)
  - c. Berat volume/berat isi (ASTM D. 2937 - 83)
  - d. Batas cair-plastis (*atterberg limit*) (ASTM D. 4318 - 84)
  - e. Analisis saringan (ASTM D. 422)
  
2. Pengujian sifat mekanik:
  - a. Geser langsung (*Direct shear*) (ASTM D. 3080 – 82)

### 3.6 Tahapan Analisis Stabilitas Lereng dengan *Plaxis*

Software *plaxis* merupakan program 2 dimensi yang digunakan untuk menganalisis stabilitas lereng. Setelah data – data terkumpul maka akan dilakukan pemodelan analisis stabilitas lereng untuk mengetahui keamanan lereng. Yang menjadi data input pemodelan adalah data - data hasil uji laboratorium dan data yang lainnya.

Adapun tahap - tahap pemodelan yang dilakukan adalah sebagai berikut :

#### 1. Pemodelan numeris

Untuk membuat sebuah model numeris diperlukan adanya perlapisan tanah/batuan dasar, geometri lereng serta parameter *input* model. Geometri lereng dibuat berdasarkan *crosssection* hasil topografi, sedangkan perlapisan tanah/batuan dari hasil pemboran lapangan dan uji laboratorium. Untuk parameter *input* model dengan memperhatikan deskripsi jenis tanah hasil uji lapangan dan laboratorium.

Langkah-langkah analisis data dengan penggambaran model geometri ke bidang gambar menggunakan program *Plaxis* disesuaikan dengan koordinat yang telah ditetapkan seperti berikut:

- a. Tanah/batuan dasar, tanah urugan/timbunan, digambarkan dengan model *plane strain* 2D, menggunakan model material tipe keruntuhan Mohr-Coulomb dan kondisi *drained* tergantung jenis tanah. *Input* parameter tanah yang dibutuhkan adalah berat volume basah ( $\gamma_{wet}$ ), berat volume jenuh ( $\gamma_{sat}$ ), koefisien permeabilitas ( $k_x, k_y$ ), *modulus elastisitas* ( $E$ ), kohesi ( $c$ ), sudut gesek dalam ( $\phi$ ), *Poisson ratio* ( $\nu$ ) dan sudut *dilatansi* ( $\psi$ ). Semua parameter *input* diperoleh dari hasil uji lapangan dan laboratorium serta nilai pendekatan secara empiris dan analitis.
- b. Jika kondisi tanah/batuan dasar mempunyai nilai properties yang berbeda, maka geometri dibagi dan dikelompokkan sesuai dengan nilai properties yang sama kemudian nilai-nilai tersebut dimasukkan ke dalam parameter *input* data.
- c. Sesudah model geometri dan parameter *input* selesai dibuat, lalu dilakukan *finite element mesh* yang di *generate* secara otomatis oleh *Plaxis*. Model akan dibagi menjadi elemen-elemen segitiga yang sesuai dengan elemen struktur. Proses *generate* didasarkan pada prinsip triangulasi, yaitu mencari nodal-nodal dengan nilai optimum sehingga hasilnya dapat berbentuk jaring segitiga yang tidak teratur.

- d. Setelah tahap *meshing* yang di *generate* selesai, maka dilanjutkan dengan tahap *calculation* terhadap tahapan konstruksi serta kemungkinan terjadinya deformasi akibat setiap tahap tersebut.
- e. Dari hasil analisis numeris dapat diketahui nilai deformasi dan nilai faktor aman yang terjadi dalam tanah/batuan.

## 2. Simulasi model

Untuk mengetahui perilaku pergerakan lereng dan tanah/batuan dasar, maka dilakukan beberapa simulasi berikut:

- a. Simulasi terhadap lereng sebelum dibangun bangunan vila.
- b. Simulasi terhadap lereng setelah penambahan beban bangunan vila.
- c. Simulasi terhadap lereng setelah penambahan beban bangunan vila dan pemasangan *bore pile*.

Langkah-langkah analisis data dengan penggambaran model geometri ke bidang gambar menggunakan program *Plaxis* disesuaikan dengan koordinat yang telah ditetapkan seperti berikut:

### a. *Plaxis Input*

Dalam analisis pekerjaan yang akan menggunakan program *plaxis*, haruslah membuat pemodelan sesuai kondisi di lapangan.

### b. *Plaxis Calculations*

*Plaxis Calculation program* digunakan setelah proses *input* pada pekerjaan yang kita tinjau telah selesai. Program ini dapat secara otomatis terbuka setelah memilih *toolbar calculate* pada akhir *input* program, Jika kalkulasi tidak dilakukan langsung setelah proses *input*, kita dapat membuka program ini dengan memilih *Calculation Program* pada *startmenu*.

### c. *Plaxis Output*

*Plaxis output* dapat dipanggil dengan mengklik *toolbar Plaxis output*, atau dari *start menu* yang bersesuaian dengan program *plaxis*. *Toolbar Calculation* pada *Calculation Program* pun dapat juga dipakai untuk masuk ke *output program*, jika inputnya selesai dan telah memilih titik yang akan ditinjau.

### d. *Plaxis Curves*

*Plaxis Curves Program* dapat dipakai untuk menggambar kurva hubungan beban atau waktu terhadap *displacement*, diagram tegangan-tegangan dari lokasi yang sebelumnya dipilih pada *Calculation Program (select point for*

*curve*). Pemilihan *point* ini dibatasi sejumlah 10 buah nodal dan 10 buah untuk *stress point*.

Program *Plaxis* merupakan rangkaian program untuk menganalisa deformasi dan stabilitas dalam geoteknik. Prosedur input data (*rock properties*) yang sederhana memudahkan menciptakan model elemen yang kompleks dan tersedianya tampilan input dan output secara detail berupa hasil perhitungan. Diharapkan dengan kelebihan ini didapat mempermudah analisa dan mendapat hasil yang akurat. Oleh karena itu, penulis memilih program *Plaxis* untuk menganalisis kestabilan lereng diVilla.

