

TESIS

**ANALISIS STABILITAS LERENG BERDASARKAN SIFAT
KETEKNIKAN TANAH RESIDU PADA AREA KEBUN KOPI
RUAS JALAN TAWAELI – TOBOLI KOTA PALU
SULAWESI TENGAH**

Disusun dan diajukan oleh

M ZAINUL BAHAR

D062182003



**PROGRAM STUDI TEKNIK GEOLOGI
SEKOLAH PASCASARJANA
UNIVERSITAS HASANUDDIN
MAKASSAR
2021**

TESIS

ANALISIS STABILITAS LERENG BERDASARKAN SIFAT
KETEKNIKAN TANAH RESIDU PADA AREA KEBUN KOPI
RUAS JALAN TAWAELI – TOBOLI KOTA PALU
SULAWESI TENGAH

Disusun dan diajukan oleh

M ZAINUL BAHAR

D06218 2003



PROGRAM STUDI TEKNIK GEOLOGI
SEKOLAH PASCASARJANA
UNIVERSITAS HASANUDDIN
MAKASSAR

2021

LEMBAR PENGESAHAN (TUGAS AKHIR)

**ANALISIS STABILITAS LERENG BERDASARKAN SIFAT
KETEKNIKAN TANAH RESIDU PADA AREA KEBUN KOPI
RUAS JALAN TAWAELI – TOBOLI KOTA PALU
SULAWESI TENGAH**

Disusun dan diajukan oleh

**M ZAINUL BAHAR
D062182003**

Telah dipertahankan dihadapan Panitia Ujian yang dibentuk dalam rangka
Penyelesaian Studi, Program Magister, Program Studi Teknik Geologi,
Fakultas Teknik, Universitas Hasanuddin
pada tanggal 21 Juni 2021

Dan dinyatakan telah memenuhi syarat kelulusan

Menyetujui,

Pembimbing Utama

Dr. Ir. Busthan Azikin, M.T

NIP: 19591008 198703 1 006

Pembimbing Pendamping

Dr. Ir. Hj. Ratna Husain L., M.T

NIP : 19590202 198601 2 001



Program Studi

Ratna Husain L., M.T

NIP : 19590202 198601 2 001

PERNYATAAN KEASLIAN TESIS

Yang bertanda tangan dibawah ini;

Nama : M Zainul Bahar

Nim : D062182003

Program Studi : S2

Menyatakan dengan sebenarnya bahwa karya tulisan saya berjudul

Analisis Stabilitas Lereng Berdasarkan Sifat
Keteknikan Tanah Residu Pada Area Kebun Kopi
Ruas Jalan Tawaeli – Toboli Kota Palu
Sulawesi Tengah

Adalah karya tulisan saya sendiri dan bukan merupakan pengambilan alihan tulisan orang lain bahwa Tesis yang saya tulis ini benar benar merupakan hasil karya saya sendiri.

Apabila dikemudian hari terbukti atau dapat dibuktikan bahwa sebagian atau keseluruhan Tesis ini hasil karya orang lain, maka saya bersedia menerima sanksi atas perbuatan tersebut.

Makassar, 21 Juni 2021

Yang menyatakan,



M Zainul Bahar

D062182003

KATA PENGANTAR

Puji syukur penulis panjatkan kepada Tuhan Yang Maha Esa, yang telah memberikan limpahan rahmat dan karunia-Nya, sehingga penulis dapat menyelesaikan Tesis yang berjudul **Analisis Stabilitas Lereng Berdasarkan Sifat Keteknikan Tanah Residu Pada Area Kebun Kopi Ruas Jalan Tawaeli – Toboli Kota Palu Sulawesi Tengah** ini dapat diselesaikan tepat pada waktunya.

Pada kesempatan ini penulis menyampaikan ucapan terima kasih kepada semua pihak yang telah membimbing, mengarahkan dan membantu penulis dalam penyusunan laporan ini, antara lain:

1. Bapak Dr.Ir. Busthan Azikin, M.T sebagai dosen pembimbing utama yang telah memberikan arahan dan wawasan kepada penulis dengan ikhlas selama penyusunan laporan.
2. Ibu Dr. Ir. Hj. Ratna Husain L., M. T sebagai Ketua Program Studi Magister Teknik Geologi Universitas Hasanuddin dan sebagai pembimbing pendamping yang telah memberikan arahan dan wawasan kepada penulis dengan ikhlas selama penyusunan laporan.
3. Bapak Dr. Eng. Asri Jaya HS, ST., M.T sebagai dosen penguji tesis yang banyak memberikan saran dan koreksinya dalam melengkapi tulisan ini.
4. Ibu Dr. Ir. Haerany Sirajuddin, M.T sebagai dosen penguji tesis yang

banyak memberikan saran dan koreksinya dalam melengkapi tulisan ini.

5. Bapak Dr. Eng. Hendra Pachri, ST., M. Eng. sebagai dosen penguji tesis yang banyak memberikan saran dan koreksinya dalam melengkapi tulisan ini.
6. Kedua orang tua dan kakak tercinta atas dukungan moril, spiritual dan materil yang tidak henti menjadi motivator penulis.
7. Seluruh Dosen Departemen Teknik Geologi Fakultas Teknik Universitas Hasanuddin.
8. Seluruh Staf Administrasi Departemen Teknik Geologi Fakultas Teknik Universitas Hasanuddin.
9. Rekan-rekan mahasiswa S2 Teknik Geologi Universitas Hasanuddin. Terima kasih atas segala suka, duka, semangat dan kekeluargaannya selama studi.
10. Seluruh pihak yang telah membantu, terima kasih atas dukungan dan bantuannya.

Semoga Allah SWT memberikan rahmat dan hidayah-Nya kepada semua pihak yang telah memberikan bantuan dalam penyusunan laporan dan semoga amal baik tersebut mendapatkan imbalan dari-Nya.

Penulis menyadari bahwa dalam penyusunan laporan lengkap ini jauh dari sempurna, baik dari segi penyusunan, pembahasan, ataupun penulisannya. Oleh karena itu, penulis mengharapkan kritik dan saran yang sifatnya membangun, khususnya dari dosen pembimbing dalam

membimbing penulis untuk lebih baik di masa yang akan datang.

Semoga laporan lengkap ini dapat memberikan manfaat bagi yang membacanya, Amin Ya Rabbal Alamin

Wassalamualaikum Warahmatullahi Wabarakatu.....

Makassar, 21 Juni 2021

M Zainul Bahar

D062182003

ABSTRAK

Ruas jalan Tawaeli – Toboli adalah salah satu jalur yang menghubungkan beberapa kabupaten yang ada di Sulawesi Tengah. Dalam rangka meningkatkan kualitas prasarana transportasi tersebut, maka Pemerintah Sulawesi Tengah berencana untuk melakukan pelebaran jalan raya penghubung Kecamatan Tawaeli dan Kecamatan Toboli. Setiap musim hujan, wilayah ini merupakan daerah yang paling sering mengalami bencana tanah longsor yang dapat mempengaruhi transportasi antar daerah, sehingga harus dilakukan penanganan secara serius. Secara geologis daerah ini adalah bagian dari kompleks batuan metamorf yang berfoliasi dan terkekarkan. Salah satu metode untuk menentukan tingkat kerawanan tanah longsor yaitu menggunakan Metode Elemen Hingga dengan dimodelkan menggunakan program Plaxis V. 6 . Hasil analisis faktor keamanan pada kondisi gaya gravitasi adalah sebesar $1,061 < 1,5$ dan kondisi gaya eksternal adalah sebesar $1,032 < 1,5$. Deformasi akibat gaya gravitasi adalah sebesar 0,448 meter dan akibat gaya eksternal adalah sebesar 0,5 meter, sehingga dapat disimpulkan bahwa lereng tersebut masuk pada katagori tidak aman.

Kata kunci: Tanah Longsor, Tawaeli – Toboli km 23 +700, Metode Elemen Hingga, Faktor Keamanan

ABSTRACT

The Tawaeli - Toboli road section was one of the routes that connected several districts in Central Sulawesi. To increase the quality of the transportation infrastructure, the Central Sulawesi Government planned to widen the roadway connecting Tawaeli and Toboli Districts. Every rainy season, this area was the most frequent area that was affected by landslides. It affected the transportation between the regions, so it needed serious handling. Geologically, this area was part of a metamorphic rock complex that foliated and expanded. Every rainy season, this area was the most frequent area that was affected by landslides. It affected the transportation between the regions, so it needed serious handling. Geologically, this area was part of a metamorphic rock complex that foliated and expanded. One of the methods to determine the level of landslide vulnerability used the Finite Element Method, which was modeled using the Plaxis V 6 program. The results of the safety factor analysis under conditions of gravity were $1.061 < 1.5$ and the external force conditions were $1.032 < 1.5$. Deformation due to gravity was 0,448m and due to external forces was 0,5m. Based on the result, the researcher concluded that the slope was in the unsafe category.

Keywords: Landslide, Tawaeli – Toboli km 23 +700, Finite Element Method, Safety Factor

DAFTAR ISI

HALAMAN JUDUL	i
HALAMAN PENGANTAR	ii
HALAMAN PENGESAHAN	iii
PERNYATAAN KEASLIAN PENULISAN	iv
KATA PENGANTAR	v
ABSTRAK	viii
DAFTAR ISI	x
DAFTAR TABEL	xiii
DAFTAR GAMBAR	xiv
DAFTAR LAMPIRAN	xv
DAFTAR ARTI, LAMBANG DAN SIGKATAN	xvi
BAB I PENDAHULUAN	1
A. Latar Belakang	1
B. Rumusan Masalah	4
C. Tujuan Penelitian	5
D. Manfaat Penelitian	5
E. Ruang Lingkup	5
BAB II TINJAUAN PUSTAKA	6
A. Geologi Regional	6
A.1 Geomorfologi	7
A.2 Stratigrafi Regional	7
A.3 Struktur Geologi	9
A.4 Karakteristik Geologi Teknik	10
B. Tanah Longsor	12
C. Kestabilan Lereng	15
C.1 Pendekatan Faktor Keamanan	16
D. Karakteristik Tanah	17
D.1 Parameter Tanah	17
D.1.1 Kohesi	17
D.1.2 Sudut geser dalam	18
D.1.3 Modulus Young	18
D.1.4 Poison Ratio	19

D.1.5 Berat Isi Tanah Tak Jenuh.....	19
D.1.6 Berat Isi Tanah Jenuh.....	19
D.1.7 Permeabilitas.....	20
D.2 Klasifikasi Tanah.....	21
D.2.1 Klasifikasi Tanah Berdasarkan Tekstur.....	21
D.2.2 Klasifikasi Tanah Sistem AASHTO.....	22
D.2.3 Klasifikasi Tanah Sistem UNIFIED.....	24
E. Metode Elemen Hingga.....	25
F. Program Plaxis.....	27
F.1 Gravity Loading.....	31
F.2 Vertical Loading.....	31
BAB III METODE PENELITIAN.....	33
A. Rancangan Penelitian.....	33
B. Lokasi dan Kesampaian Daerah.....	34
C. Teknik Pengumpulan Data.....	34
C.1 Pengambilan Data Lapangan.....	34
C.1.1 Pengambilan Sampel Bor.....	35
C.1.2 Pengukuran Geometri Lereng.....	35
C.2 Analisis Laboratorium.....	36
C.2.1 Uji Kuat Geser.....	36
C.2.2 Uji Berat Jenis/Bobot Isi.....	38
C.2.3 Uji Kelulusan Air.....	41
C.2.4 Analisis Saringan/ Ukuran Butir.....	43
C.2.5 Atterberg Limit.....	43
C.3 Klasifikasi Tanah.....	45
D. Pengolahan Data.....	45
D.1 Berat Isi Tanah Tak jenuh.....	46
D.2 Berat isi Tanah Jenuh.....	46
D.3 Permeabilitas.....	47
D.4 Modulus Young.....	47
D.5 Kohesi.....	48
D.6 Sudut Geser Dalam.....	49
D.7 Poison Ratio.....	49
E. Pengolahan Metode Elemen Hingga.....	49
E.1 Pemodelan Dimensi Lereng.....	50
E.2 Pemodelan Material.....	50
E.3 Plaxis Calculation.....	51
E.3.1 Gravity Loading.....	51
E.3.2 Vertical Loading.....	51
BAB IV HASIL DAN PEMBAHASAN.....	53
A. Hasil.....	53
A.1 Litologi Daerah Penelitian.....	53
A.2 Hasil Tinjauan Lapangan.....	54

A.3 Hasil Pengujian Laboratorium	55
A.4 Analisis Karakteristik Tanah	58
A.5 Analisis Pemodelan Material	59
A.6 Analisis Pembebanan lalulintas atau vertical loading	61
B. Pembahasan	61
B.1 Deformasi Horizontal Terhadap Lereng	61
B.2 Deformasi Vertical terhadap lereng	62
B.3 Deformasi Total Terhadap Lereng	63
B.4 Faktor Keamanan Terhadap Lereng	64
BAB V PENUTUP	65
A. Kesimpulan	65
B. Saran	65
DAFTAR PUSTAKA	

DAFTAR TABEL

Tabel 2.1 . Kondisi Geologi Poros Tawaeli – Toboli	8
Tabel 2.2 . Nilai Perkiraan Modulus Elastisitas Tanah	19
Tabel 2.3 . Hubungan antara jenis tanah dan Poisson Ratio	20
Tabel 2.4 . Klasifikasi tanah sistem AASHTO	23
Tabel 2.5 . Klasifikasi tanah sistem AASHTO	24
Tabel 3.1 . Orde nilai – nilai permeabilitas didasarkan pada deskripsi tanah	47
Tabel 3.2 . Nilai perkiraan angka poisson tanah	49
Tabel 4.1 . Hasil Pengujian Sifat Fisik	55
Tabel 4.2 . Hasil Pengujian Geser langsung	55
Tabel 4.3 . Hasil Analisis Saringan dan Atterberg	56
Tabel 4.4 . Hasil Uji Permeabilitas Tanah	57
Tabel 4.5 . Analisis Klasifikasi Tanah	58

DAFTAR GAMBAR

Gambar 1.1 . Geologi Teknik Ruas Jalan tawaeli - Toboli	3
Gambar 1.2 . Ruas Jalan Tawaeli – Toboli Km 23 + 700	4
Gambar 2.1 . Peta Geologi Palu dan sekitarnya	6
Gambar 2.2 . Struktur Geologi Lembar Palu	10
Gambar 2.3 . Klasifikasi Tanah Longsor atau gerakan Tanah	15
Gambar 2.4 . Klasifikasi berdasarkan tekstur tanah.....	22
Gambar 2.5 . Konsep dasar Elemen Hingga	26
Gambar 2.6 . Hubungan antara Variabel-variabel dalam penyusunan Persamaan elemen hingga	27
Gambar 3.1 . Alat uji kuat geser langsung	36
Gambar 3.2 . Bagan alir penelitian	52
Gambar 4.1 . Lokasi penelitian	54
Gambar 4.2 . Pemodelan Dimensi Lereng	54
Gambar 4.3 . Ploting data plasticity index (PI) dan liquid limit (LL) untuk Pengklasifikasian tanah sistim USCS	58
Gambar 4.4 . Deformasi Horizontal	61
Gambar 4.5 . Deformasi Vertikal.....	62
Gambar 4.6 . Deformasi total.....	63
Gambar 4.7 . Grafik Hubungan FK terhadap Perpindahan	64

DAFTAR LAMPIRAN

- Lampiran A Peta Geologi Penelitian
- Lampiran B Klasifikasi Tanah SNI 6371:2015
- Lampiran C Hasil Uji Geser langsung Tanah
- Lampiran D Hasil uji Sifat Fisik Tanah
- Lampiran E Hasil Uji Permeabilitas
- Lampiran F Hasil Uji Analisis Saringan dan *Atterberg Limit*
- Lampiran G Foto Laboratorium dan Foto Lapangan

DAFTAR ARTI, LAMBANG DAN SINGKATAN

SW (<i>Sand Well graded</i>)	: Pasir gradasi baik, pasir berkerikil, sedikit atau tidak mengandung butiran halus (UNIFIED dalam Das, 1993)
SM (<i>Sand Silt</i>)	: Pasir berlanau, campuran pasir - lanau
SC (<i>Sand Clay</i>)	: Pasir berlempung , campuran pasir - lempung
SP (<i>Sand Poorly graded</i>)	: Pasir gradasi buruk, pasir krikil, sedikit atau tidak mengandung butiran halus (UNIFIED dalam Das, 1993)
ML (<i>Silt Low Plasticity</i>)	: Lanau tak organik dan pasir sangat halus, serbuk batuan atau pasir halus berlanau atau berlempung.
MH (<i>Silt High Plasticity</i>)	: Lanau tak organik dan pasir sangat halus, lanau elastis
CL (<i>Clay Low Plasticity</i>)	: Lempung tak organik dengan plastisitas rendah sampai sedang, lempung berkerikil, lempung berpasir, lempung berlanau, lempung kurus (<i>clean daya</i>)
CH (<i>Clay High Plasticity</i>)	: Lempung tak organik dengan plastisitas tinggi
G (<i>Gravel</i>)	: Krikil
S (<i>Sand</i>)	: Pasir
M (<i>Mo</i>)	: Lanau
C (<i>Clay</i>)	: Lempung
W (<i>Well graded</i>)	: Bergradasi baik
P (<i>Poorly graded</i>)	: Bergradasi buruk
H (<i>High plasticity</i>)	: Plastisitas tinggi
L (<i>Low plasticity</i>)	: Plastisitas rendah

G_s (Specific Gravity)	: Berat Jenis Tanah
γ_t (Gamma t)	: Berat volume butiran
w_n (Water Natural)	: Kadar Air alami tanah
c (Cohesion)	: Kohesi tanah
ϕ (Empty Set)	: Nilai sudut geser tanah
Qap (Quaternary Aluvium)	: Satuan Aluvium dan Endapan Pantai
QTms	: Satuan Molasa Celebes Sarasin
q_c (qult conus)	: Nilai perlawanan konus
Eref	: Modulus young's (kN/m ²)
γ_{sat} (Gamma Saturated)	: Berat Volume Basah (kN/m ³)
γ_{unsat} (Gamma Unsaturated)	: Berat Volume Kering (kN/m ³)
τ (Toe)	: Tegangan Geser
σ (Sigma)	: Tegangan Normal
e	: Angka pori
k	: Permeabilitas
v	: Posion ratio
Ψ (Psi)	: Sudut Dilantasi merupakan suatu transformasi mengubah ukuran (memperbesar atau memperkecil) bentuk bangun geometri tetapi tidak mengubah bentuk bangun tersebut
E_s (Elastic)	: Nilai modulus elastis
LL (Liquid Limit)	: kadar air tanah antara keadaan cair dan keadaan plastis. (Batas Cair)
PL (Plasticity Limit)	: kadar air pada batas bawah daerah plastis
PI (Indeks Plasticity)	: selisih antara batas cair dan batas plastis, dimana tanah tersebut dalam keadaan plastis (Indeks Plastisitas tanah Lempung).

<i>SL (Shrinkage Limit)</i>	: Batas susut
<i>AASHTO</i>	: American Society for Testing Material
<i>Kontinum</i>	: Rangkaian
<i>Fisiografi</i>	: satu bagian permukaan bumi yang memiliki ciri-ciri topografi, struktur, karakteristik fisik, dan sejarah geologi dan geomorfik yang berbeda dengan satuan lainnya.
<i>Menjemari</i>	: Perbedaan lapisan batuan pada umur yang sama.
<i>Foliasi</i>	: Perlapisan berulang di batuan metamorf, setiap lapisan dapat setipis selembat kertas hingga setebal satu meter.
<i>Pola aliran Sungai sejajar/pararel</i>	: Sungainya cenderung lurus memanjang dan anak sungai yang bergabung dengan sungai utama pada sudut lancip.
<i>Meranting/dendrik</i>	: Pola aliran sungai yang berbentuk dedaunan.
<i>Menyiku/Raktangular</i>	: Pola aliran sungai yang terbentuk pada daerah-daerah yang terdiri dari batuan-batuan yang memiliki resistensi terhadap erosi yang sama namun memiliki rekahan pada sudut 90 derajat.
<i>Kuarter</i>	: Periode terakhir dari ketiga periode di era Kenozoikum dalam skala waktu geologi. Periode ini berlangsung setelah periode Neogen dan membentang dari $2,588 \pm 0,005$ juta tahun yang lalu sampai sekarang.
<i>Pra Tersier</i>	: yaitu zaman geologi sebelum zaman tersier (lebih dari 70 juta tahun yang lalu).
<i>Trias</i>	: adalah suatu periode dalam skala waktu geologi yang berlangsung antara $251 \pm 0,4$ hingga $199,6 \pm 0,6$ juta tahun yang lalu.

- Jura* : adalah suatu periode utama dalam skala waktu geologi yang berlangsung antara 201,3 juta tahun hingga 66 juta tahun yang lalu
- Membujur* : Terletak memanjang
- Eosen : adalah suatu kala pada skala waktu geologi yang berlangsung $55,8 \pm 0,2$ hingga $33,9 \pm 0,1$ juta tahun yang lalu yang merupakan kala kedua pada periode Paleogen di era Kenozoikum.
- Menindih tidak selaras/*Angular Unconformity* : yaitu urutan batuan di bawah bidang ketidakselarasan membentuk sudut dengan batuan di atasnya. Pemotongan terjadi pada lapisan batuan di bawah bidang ketidakselarasan.

BAB I

PENDAHULUAN

A. LATAR BELAKANG

Ruas jalan Tawaeli – Toboli adalah salah satu jalur yang menghubungkan beberapa kabupaten yang ada di Sulawesi Tengah. Dalam rangka meningkatkan kualitas prasarana transportasi tersebut, maka Pemerintah Sulawesi Tengah berencana untuk melakukan pelebaran jalan raya penghubung Kecamatan Tawaeli dan Kecamatan Toboli. Setiap musim hujan, wilayah ini merupakan daerah yang paling sering mengalami bencana tanah longsor yang dapat mempengaruhi transportasi antar daerah, sehingga harus dilakukan penanganan secara serius. (Hanif, dkk. 2017)

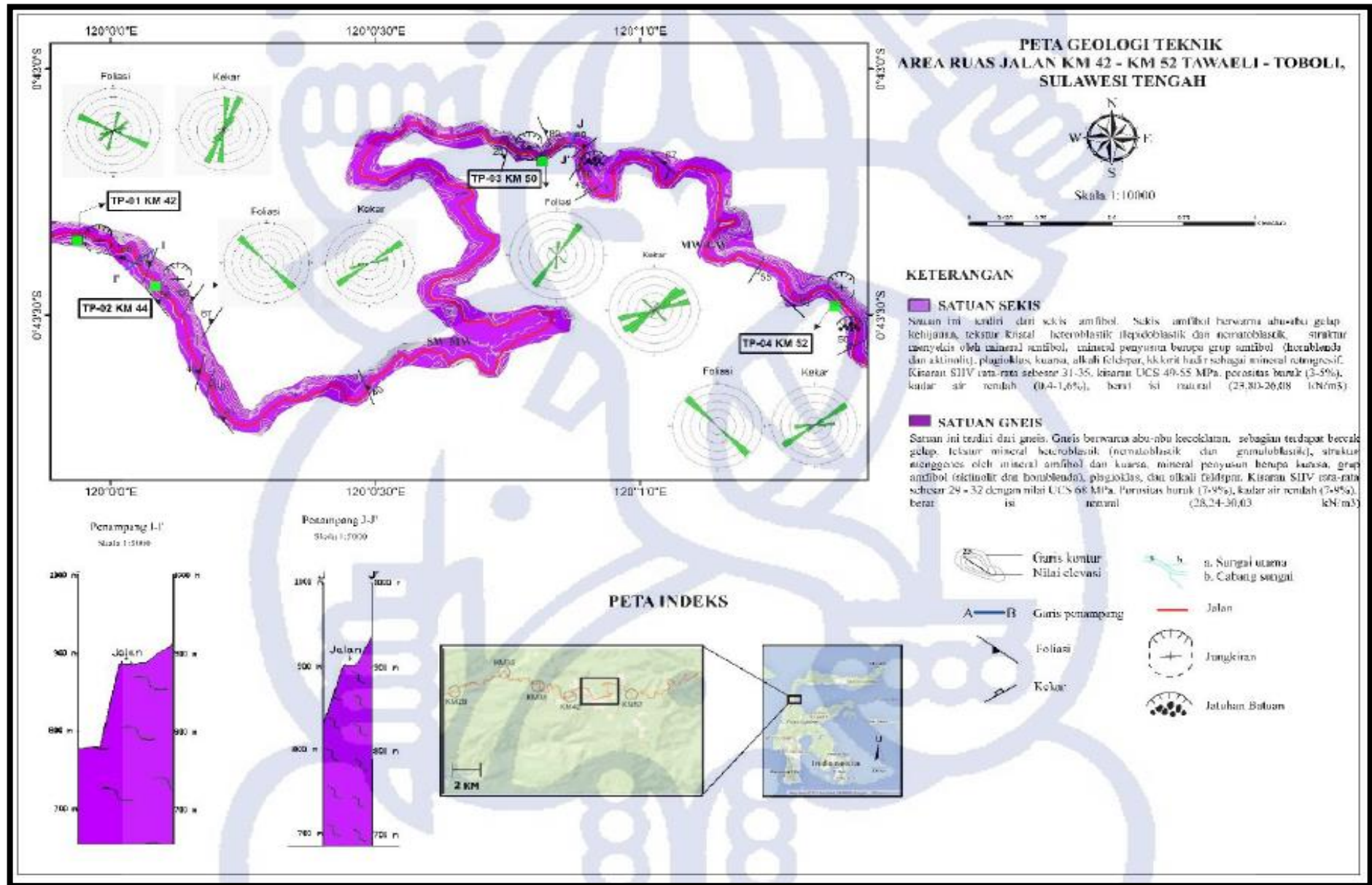
Secara topografi, daerah penelitian berada pada ketinggian 25 – 950 mdpl dan memiliki bentang alam yaitu kompleks pegunungan dengan lereng yang curam hingga landai. Secara geologis, daerah ini adalah bagian dari Kompleks Batuan Metamorf yang berfoliasi dan terkekarkan. Daerah penelitian ini berada di pinggiran Kota Palu yang dikontrol oleh sesar utama yaitu Sesar Palu Koro. Sesar ini berarah Baratlaut - Tenggara. Kota Palu diduga terletak diantara dua segmen Sesar Palu yang mengakibatkan terbentuknya Lembah Palu. Struktur lainnya adalah Sesar Pasangkayu dan pembentukan lembah-lembah Sesar Palu Koro merupakan sistem Sesar Mengiri (*sinistral strike-slip*) yang membentuk

tinggian dan rendahan seperti Lembah Palu, Danau Poso, dan Danau Matano. (Sukamto, dkk, 1973)

Martia (2005) menjelaskan bahwa berdasarkan pengujian pengaruh hujan terhadap kestabilan lereng pada wilayah Tawaeli – Toboli Kota Palu Sulawesi Tengah bahwa intensitas hujan berada pada 20 mm/jam – 70 mm/jam. Pada intensitas hujan 20 mm/ jam yang berlangsung selama 1 bulan kondisi lereng pada ruas jalan Tawaeli – Toboli masih di katakan stabil, akan tetapi apabila hujan dengan intensitas 70 mm/jam yang berlangsung selama 10 jam maka suatu lereng yang mempunyai faktor keamanan sebesar 2,8 akan turun menjadi sebesar 0,94, hal ini mengakibatkan kondisi suatu lereng yang stabil akan berubah menjadi tidak stabil apabila menerima intensitas hujan yang tinggi

Masri (2019) menerangkan berdasarkan analisis kinematika yang dilakukan pada ruas jalan Tawaeli – Toboli km 42 – 52 yaitu diatas kompleks batuan metamorf dengan survei menggunakan *scanline*, suatu lereng mempunyai diskontinuitas yang bervariasi mempunyai *cut-off slope* antara 35° sampai 66° dengan didominasi oleh bidang foliasi sebagai *base joint* dan bidang rekahan gerus sebagai *block topping*.

Bidang foliasi pada umumnya berarah NE – NW dengan kemiringan rata – rata 35° – 61° . Satuan ini terdiri atas sekis amfibol, UCS 48 – 54 Mpa, porositas sangat buruk (2-6%) dan kadar air rendah (0,5 – 1,5%) sedangkan pada satuan gneis, UCS 69 Mpa, porositas sangat buruk (6-10%) dan kadar air rendah (6-9%) seperti pada gambar 1.1 :



Gambar 1.1 Peta Geologi Teknik ruas jalan Tawaeli –Toboli (Masri, 2019)

Dilihat melalui Google Maps suatu lereng di ruas jalan Tawaeli – Toboli km 23 +700 masih dalam keadaan asli pada tahun 2018 akan tetapi lereng tersebut mengalami kelongsoran sehingga lereng diberikan rekayasa dalam penanggulangan terjadinya longsor susulan



Gambar 1.2. Ruas Jalan Tawaeli – Toboli km 23 + 700 (diakses pada Google Maps 23 maret 2020)

B. RUMUSAN MASALAH

Berdasarkan latar belakang yang telah dipaparkan, maka rumusan masalah dalam penelitian ini adalah

1. Bagaimana tingkat kerawanan terjadinya tanah longsor pasca rekayasa lereng pada ruas jalan Tawaeli - Toboli Kota Palu ?
2. Bagaimana tingkat deformasi lereng yang terjadi pasca rekayasa lereng pada ruas jalan Tawaeli – Toboli Kota Palu ?

C. TUJUAN PENELITIAN

Tujuan yang hendak dicapai dalam penelitian, sebagai berikut:

1. Menentukan tingkat kerawanan tanah longsor berdasarkan karakteristik keteknikan tanah residu.
2. Menentukan bagaimana deformasi lereng yang berdasarkan karakteristik keteknikan tanah residu.

D. MANFAAT PENELITIAN

Adapun manfaat penelitian ini adalah sebagai berikut:

1. Dapat dijadikan sebagai dasar penelitian selanjutnya yang berhubungan dengan tanah longsor.
2. Menjadi referensi bagi Pemerintah Kota Palu sebagai upaya melakukan tindakan pencegahan terjadinya tanah longsor.
3. Memberikan peringatan dini kepada masyarakat terhadap kemungkinan terjadinya tanah longsor sehingga dapat mengurangi jumlah korban jiwa dan kerugian materi yang ditimbulkan.

E. RUANG LINGKUP PENELITIAN

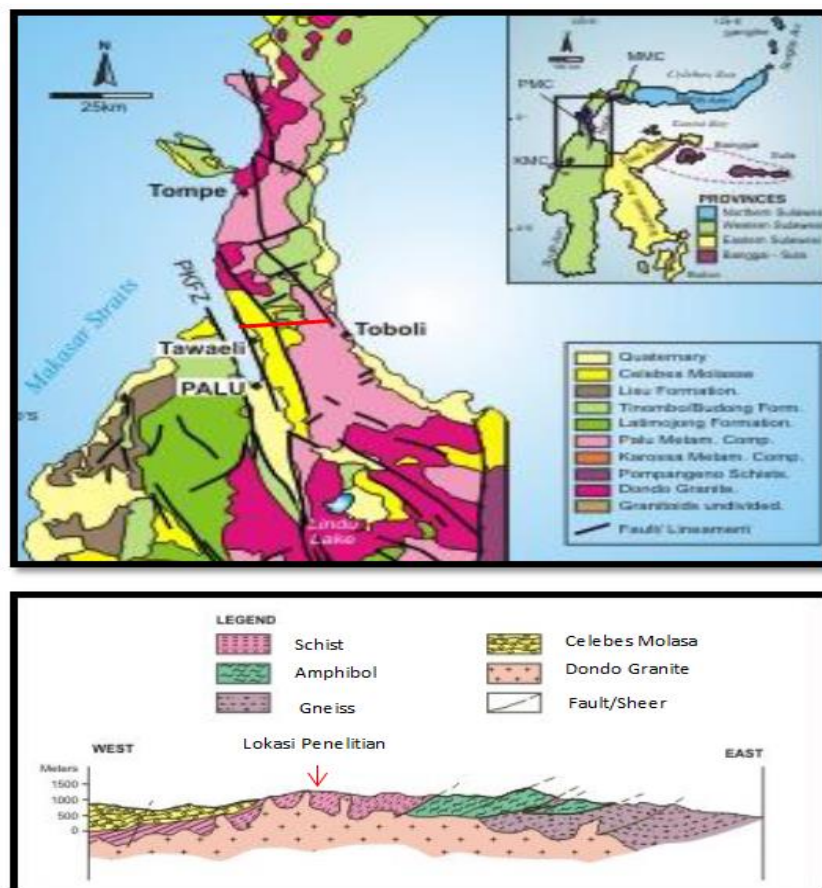
Adapun ruang lingkup atau batasan dari penelitian ini adalah bagaimana menganalisis tingkat kerawanan dan deformasi lereng berdasarkan karakteristik keteknikan tanah residu pada ruas jalan Tawaeli – Toboli km 23 + 700.

BAB II

TINJAUAN PUSTAKA

A. GEOLOGI REGIONAL

Berdasarkan peta geologi regional Pada Gambar 2.1 yang diterbitkan oleh Pusat Penelitian dan Pengembangan Geologi Bandung, daerah penelitian masuk kedalam Peta Geologi Lembar Palu (Sukanto, dkk, 1973)



Gambar 2.1. Peta geologi Palu dan sekitarnya (Van Leeuwen.,2016)

A.1. Geomorfologi Regional

Menurut Sukamto, dkk., 1973 Secara umum morfologi daerah penelitian dapat dibagi menjadi tiga satuan yaitu dataran rendah, perbukitan dan pegunungan. Dataran rendah menempati wilayah yang sempit di Lembah Palu, antara Bombaru dan Pakuli. Tingginya berkisar dari 0 – 50 meter di atas permukaan laut, dengan lereng sangat landai hingga datar.

Wilayah pegunungan menempati sebagian besar daerah penelitian, terutama dibagian timur Lembah Palu, membujur dengan arah utara - selatan dan melebar di bagian selatan. Satuan morfologi ini umumnya berlereng terjal dan mempunyai ketinggian lebih dari 500 meter di atas permukaan laut. Pola aliran sungainya umumnya meranting, setempat menyiku dan sejajar. Di bagian hulu dan tengah aliran sungai sering terjadi erosi sehingga lembahnya berbentuk V. Di bagian muara sebagian sungainya berkelok-kelok membentuk gosong-gosong (bentukan daratan) pasir pada lembahnya yang berbentuk V. Ini menunjukkan bahwa daerah timur Lembah Palu mempunyai daur geologi muda. (Sukamto, dkk, 1973).

A.2 Stratigrafi Regional

Stratigrafi daerah penelitian tersusun oleh batuan berumur Kapur hingga Kuarter, batuan tertua adalah Kompleks Metamorf Palu (*Palu Metamorphic Complex*) yang tersingkap pada jajaran pegunungan timur yang diperkirakan berumur Pra-Tersier. Di atas Kompleks Batuan Metamorf terdapat Formasi Tinombo menindih tidak selaras, yang

terendapkan pada lingkungan laut dangkal berumur Eosen Tengah hingga Eosen Atas.

Secara regional daerah penelitian termasuk dalam Peta Geologi Lembar Pasangkayu dan Lembar Palu, dimana pada Lembar Pasangkayu terdiri dari satuan tertua yaitu Kompleks Wana (TRw), terdiri dari sekis, genes dan kuarsit umurnya diduga Trias. Kompleks Gumbasa (TRJgg) yang terdiri dari granit genesan, diorit genesan, genes dan sekis, diduga mempunyai hubungan menjemari (perbedaan lapisan batuan dengan umur yang sama) dengan Kompleks Wana dan umurnya diduga Trias hingga Jura. Kompleks ini tertindih tidak selaras oleh Formasi Tinombo (Tnbo) yang berumur Kapur Akhir. Formasi Tinombo terdiri dari perselingan batusabak, filit, batupasir malih dan setempat bersisipan batulempung malih. (Sukamto, dkk, 1973).

Adapun kondisi geologi regional poros Tawaeli – Toboli yang bisa dilihat pada tabel 2.1.

Tabel 2. 1. Kondisi geologi poros Tawaeli - Toboli (*Feasibility Study for Tawaeli-Toboli Road volume III, 1998*)

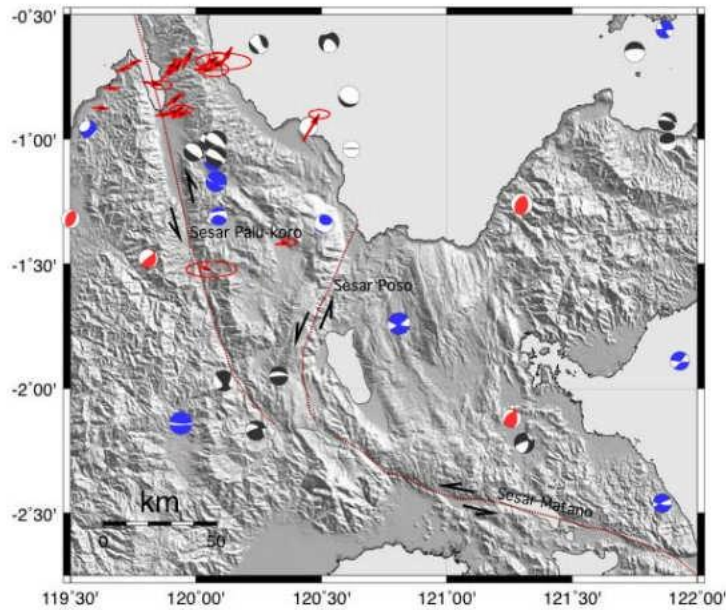
Umur geologi	Formasi	Geologi	Distribusi	Keterangan
<i>Holocene</i>	Alluvium	Pasir, lempung, dan gravel <i>unconsolidated</i>	1 km 100 – 6 km 500 44 km 300 – 45 418 km	Alluvium terdistribusi pada dataran rendah dekat Tawaeli – Toboli.
<i>Miocene</i>	Selebes	<i>Sandstode, Conglomerat, Mudstone</i>	6 km 500 – 15 km 300	Formasi ini termasuk <i>weakly consolidated</i> dan

				diklasifikasikan sebagai material antara tanah dan batuan lunak
<i>Palaeogene Period</i>	<i>Batuan Metamorf</i>	<i>Schist Gneiss</i>	<i>Schist : 16 km – 27 km 32 km – 35km 700 Gneiss : 15km 300 – 16 km 27 km – 31 km 35 km 700 – 44 km 300</i>	<i>Schist terdistribusi pada sisi Tawaeli dan Gneiss pada Sisi Toboli</i>

A.3 Struktur Geologi

Menurut Irsyam, M., dkk (2010) struktur geologi aktif yang melewati Kota Palu adalah Palu Koro *Fault* (PKF) yaitu sesar aktif yang melewati Lembah Palu. Sesar Palu Koro berarah Baratlaut – Tenggara sedangkan beberapa diantaranya ada yang berarah Baratdaya – Timurlaut. Sesar – sesar aktif tersebut yang berarah Baratlaut –Tenggara adalah merupakan sesar-sesar aktif akibat peremajaan dari struktur tua yang dapat teraktifkan kembali, sedangkan sesar-sesar yang berarah Baratdaya – Timurlaut adalah merupakan struktur yang sangat aktif pada masa kini. (Gambar 2.1)

Secara geologi, fisiografi Kota Palu berhubungan dengan proses struktur yang terjadi serta jenis batuan yang menyusun Kota Palu, dimana sisi kiri dan kanan Kota Palu merupakan jalur patahan utama, yaitu patahan Palu Koro serta wilayahnya disusun oleh batuan yang lebih keras dibanding material penyusun bagian lembah. (Irsyam, M., dkk, 2010)



Gambar 2.2. Struktur Geologi Lembar Palu (Irsyam, M., dkk, 2010)

A.4. Karakteristik Geologi Teknik

Pada daerah yang dibentuk oleh endapan aluvium, lapisan tanah umumnya terdiri dari pasir di bagian atas, lanau di bagian tengah dan lempung di bagian bawah. Menurut *Pacific Consultants International Yachiyo* (1998) pasir berwarna abu-abu, lepas, pemilahan jelek, porositas baik, permeabilitas baik dengan ketebalan (1 – 7,2)m, lanau dijumpai di bawah pasir berwarna coklat – abu-abu, lunak – teguh/kaku , plastisitas sedang, dengan ketebalan (0,2 – 0,7) m, sedangkan lempung berwarna coklat – coklat tua, lunak – teguh, plastisitas tinggi dengan tebal bervariasi antara (0,1 – 2,7) m. Kedalaman muka air tanah berkisar antara (0,5 – 16) m di bawah muka tanah.

Hasil analisis Laboratorium Mekanika Tanah dari contoh pasir menurut *Pacific Consultants International Yachiyo* (1998) memiliki berat jenis $G_s = (2,682 - 2,770)$, berat isi $\gamma_t = (1,494 - 1,868)$ g/cm³, kadar air natural $w_n = (4,78 - 18,99)$ %, grup simbol SW, SM, SC, SP, kohesi $c = (0,000 - 0,100)$ kg/cm², sudut geser dalam $\phi = (22,90 - 39,38)^\circ$. Nilai daya dukung yang diizinkan pada *unit* batuan ini berkisar antara (10,958 – 60,767) ton/m².

Hasil analisis Laboratorium Mekanika Tanah dari contoh lanau menurut *Pacific Consultants International Yachiyo* (1998) memiliki berat jenis $G_s = (2,697 - 2,773)$, berat isi $\gamma_t = (1,578 - 1,902)$ g/cm³, kadar air natural $w_n = (4,34 - 36,71)\%$, dengan grup simbol ML, MH, kohesi $c = (0,000 - 0,152)$ kg/cm², sudut geser dalam $\phi = (21,94 - 40,03)^\circ$. Nilai daya dukung yang diizinkan pada *unit* batuan ini berkisar antara (7,717 – 18,493) ton/m².

Hasil analisis Laboratorium Mekanika Tanah dari contoh lempung menurut *Pacific Consultants International Yachiyo* (1998) memiliki berat jenis $G_s = (2,687 - 2,777)$, berat isi $\gamma_t = (1,500 - 1,950)$ g/cm³, kadar air natural $w_n = (9,98 - 27,79)$ %, grup simbol CL, kohesi $c = (0,044 - 0,173)$ kg/cm², sudut geser dalam $\phi = (21,94 - 28,47)^\circ$. Nilai daya dukung yang diizinkan pada *unit* batuan ini berkisar antara (9,944 – 18,744) ton/m².

Berdasarkan hasil penelitian *Pacific Consultants International Yachiyo* (1998) bahwa tanah pelapukan pada Satuan Molasa Celebes

Serasin umumnya yaitu pasir berwarna abu-abu, lepas, pemilahan baik, porositas baik dan permeabilitas baik dengan ketebalan 3,5 m. Kedalaman muka air tanah umumnya dalam, yaitu 16 m di bawah muka tanah. Berdasarkan uji sondir nilai tekanan konus (8,87 – 133) kg/cm².

Hasil Analisis Laboratorium Mekanika Tanah dari contoh lempung endapan aluvial menurut *Pacific Consultants International Yachiyo* (1998) antara lain berat jenis $G_s = 2,716$, berat isi $\gamma_t = 1,535$ g/cm³, kadar air natural $w_n = 6,19$ %, grup simbol SW, kohesi $c = 0,000$ kg/cm², sudut geser dalam $\phi = 40,03^\circ$. Nilai daya dukung yang diizinkan pada *unit* batuan ini adalah kurang dari 58,6708 ton/m².

B. TANAH LONGSOR

Menurut Anugrahadi dkk (2016) tanah longsor atau gerakan tanah (*landslide*) didefinisikan sebagai proses yang menghasilkan pergerakan ke bawah maupun ke samping dari lereng alam maupun buatan yang memiliki kandungan material tanah, batu, tanah timbunan buatan atau gabungan dari tanah dan batu. Gerakan massa tanah, batuan atau longsor juga dapat di artikan sebagai gerakan menuruni lereng oleh massa tanah atau batuan penyusun lereng tersebut. Pergerakan massa tanah ini dapat terjadi pada lereng yang hambat geser tanah atau batumannya lebih kecil dari berat massa tanah itu sendiri.

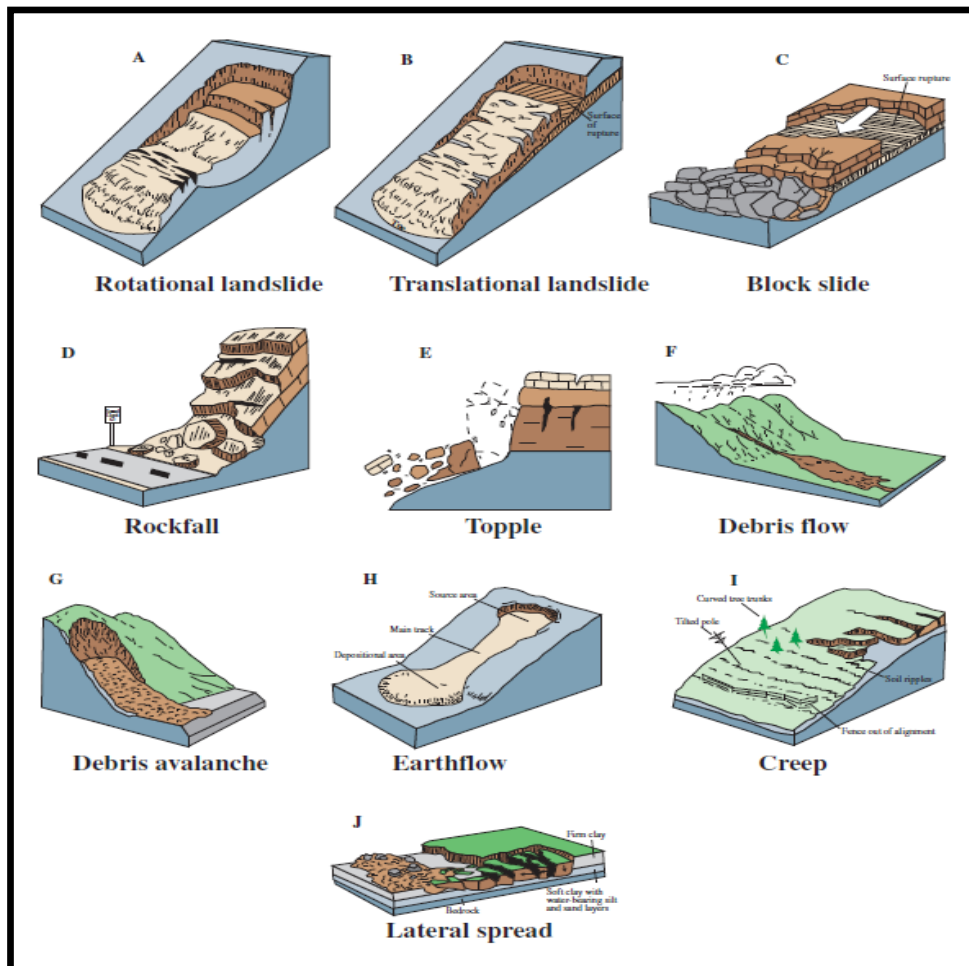
Menurut Highland and Johnson (2004) tanah longsor atau gerakan tanah diklasifikasikan menjadi 5 tipe yaitu :

1. *Slide* terdiri dari *Rotational Slide*, *Translational Slide* dan *Block Slide*.
 - a. *Rotational Slide* adalah Bergeraknya massa tanah dan batuan pada bidang gelincir berbentuk cekung ke atas, dan pergerakan longsornya secara umum berputar pada satu sumbu yang sejajar dengan permukaan tanah.
 - b. *Translational Slide* adalah Bergeraknya massa tanah dan batuan pada bidang gelincir berbentuk rata dengan sedikit rotasi atau miring ke belakang.
 - c. *Block Slide* adalah pergerakan batuan yang hampir sama dengan *Translational Slide*, tetapi massa yang bergerak terdiri dari blok-blok yang saling berhubungan.
2. *Fall* adalah gerakan secara tiba-tiba dari bongkahan batu yang jatuh dari lereng yang curam atau tebing. Pemisahan terjadi di sepanjang kekar dan perlapisan batuan. Gerakan ini dicirikan dengan terjun bebas, mental dan menggelinding. Sangat dipengaruhi oleh gravitasi, pelapukan mekanik, dan keberadaan air pada batuan.
3. *Topples* adalah gerakan yang dicirikan dengan robohnya unit batuan dengan cara berputar kedepan pada satu titik sumbu (bagian dari unit batuan yang lebih rendah) yang disebabkan oleh gravitasi dan kandungan air pada rekahan batuan.
4. *Flows* gerakan ini terdiri dari 5 kategori yang mendasar.
 - a. *Debris Flow* adalah bentuk gerakan massa yang cepat di mana campuran tanah yang gembur, batu, bahan organik, udara, dan air

bergerak seperti bubur yang mengalir pada suatu lereng. *Debris flow* biasanya disebabkan oleh aliran permukaan air yang intens, karena hujan lebat atau pencairan salju yang cepat, yang mengikis dan memobilisasi tanah gembur atau batuan pada lereng yang curam.

- b. *Debris Avalance* adalah longsor es pada lereng yang terjal. Jenis ini adalah merupakan jenis aliran *debris* yang pergerakannya terjadi sangat cepat.
 - c. *Earthflow berbentuk* seperti "jam pasir". Pergerakan memanjang dari material halus atau batuan yang mengandung mineral lempung di lereng moderat (kecenderungan ke arah dimensi atau jalan tengah) dan dalam kondisi jenuh air, membentuk mangkuk atau suatu depresi (daerah merosot atau tenggelam akibat terbentuknya antiklin dan sinklin pada waktu yang sama) di bagian atasnya.
 - d. *Mudflow* adalah sebuah luapan lumpur (hampir sama seperti *Earthflow*) terdiri dari bahan yang cukup basah, mengalir cepat dan terdiri dari setidaknya 50% pasir, lanau, dan lempung
 - e. *Creep* adalah perpindahan tanah atau batuan pada suatu lereng secara lambat dan stabil. Gerakan ini disebabkan oleh *shear stress* (tegangan geser).
5. *Lateral Spreads* umumnya terjadi pada lereng yang landai atau medan datar. Gerakan utamanya adalah ekstensi lateral yang disertai dengan

sesar geser atau sesar tarik. Ini disebabkan oleh likuifaksi, suatu proses dimana tanah menjadi jenuh terhadap air, kohesi sedimen (biasanya pasir dan lanau) perubahan dari padat ke keadaan cair.



Gambar 2.3. Klasifikasi tanah longsor atau gerakan tanah (Highland and Johnson 2004)

C. Kestabilan Lereng

Kestabilan lereng di pengaruhi oleh komponen massa tanah yang terdapat pada bidang gelincir suatu lereng karena dapat menyebabkan tanah bergerak ke arah bawah. Pergerakan tanah ke arah bawah dan ke

arah luar terjadi pada saat suatu lereng mengalami longsoran atau gelinciran (Terzaghi dan Peck 1987).

Hustrul Kuchta and Martin (2006) menjelaskan bahwa umumnya material di alam dalam keadaan stabil dengan distribusi tegangan dalam keadaan setimbang (*equilibrium*).

C.1 Pendekatan Faktor Keamanan

Kestabilan suatu lereng tergantung pada gaya penggerak dan gaya penahan yang ada pada bidang gelincir di dalam lereng tersebut. Gaya penggerak berupa gaya berat, gaya akibat percepatan peledakan dan/atau gempa bumi, sedangkan gaya-gaya penahan berupa gaya geser, kohesi dan kuat geser. Apabila gaya penggerak lebih besar dibandingkan dengan gaya penahan maka lereng menjadi tidak stabil dan akan longsor. Tetapi bila gaya penahan ini lebih besar daripada gaya penggerak, maka lereng tersebut dalam keadaan stabil dan tidak akan longsor. (Andri, Yusias, 2019)

Mengacu kepada KepMen Nomor 1827 Tahun 2018 maka untuk menyatakan bahwa suatu lereng dikatakan stabil atau tidak maka perlu memperhatikan faktor keamanan (FK) yang didefinisikan sebagai berikut:

$$FK = \frac{\text{Gaya Penahan}}{\text{Gaya Penggerak}} \dots\dots\dots(1)$$

Keterangan :

FK > 1.5 : Kondisi lereng dianggap stabil

FK = 1.5 : Kondisi lereng dalam keadaan seimbang

FK < 1.5 : Kondisi lereng dianggap tidak stabil

D. KARAKTERISTIK TANAH

Karakteristik tanah adalah suatu penyelidikan tanah yang berupaya untuk mengetahui bentuk, jenis, ketebalan dan kedalaman lapisan tanah yang berada di bawah permukaan. Untuk melakukan stratifikasi (pengelompokan) ini perlu dilakukan *test* di lapangan. *Testing* di lapangan yang paling banyak dilakukan adalah SPT dan pemboran.

Tanah didefinisikan sebagai material yang terdiri dari agregat (butiran) mineral-mineral padat yang tidak tersementasi (terikat secara kimia) satu sama lain dan dari bahan-bahan organik yang telah melapuk (berpartikel padat) disertai dengan zat cair dan gas yang mengisi ruang-ruang kosong di antara partikel-partikel padat tersebut. Tanah berfungsi juga sebagai pendukung pondasi dari bangunan. Maka diperlukan tanah dengan kondisi kuat menahan beban di atasnya dan menyebarkan secara merata. (Das, 1985)

D.1 Parameter Tanah

Parameter tanah adalah ukuran atau acuan untuk mengetahui atau menilai hasil suatu proses perubahan yang terjadi dalam tanah baik dari sifat fisik dan jenis tanah. Dengan mengenal dan mempelajari sifat-sifat tersebut, keputusan yang diambil dalam perancangan akan lebih

ekonomis. Karena sifat-sifat tersebut maka penting dilakukan penyelidikan tanah (*soil investigation*). (Das, 1993)

D.1.1 Kohesi (c)

Kohesi adalah gaya tarik-menarik antar molekul yang sama. Salah satu aspek yang memengaruhi nilai kohesi adalah kerapatan dan jarak antar molekul dalam suatu benda. Kohesi berbanding lurus dengan kerapatan suatu benda, sehingga bila kerapatan semakin besar maka kohesi yg akan didapatkan semakin besar. Dalam hal ini, benda berbentuk padat memiliki kohesi yang paling besar dan sebaliknya pada cairan. (Das, 1993)

D.1.2 Sudut geser dalam (ϕ)

Sudut geser dalam merupakan sudut yang dibentuk dari hubungan antara tegangan normal dan tegangan geser di dalam material tanah atau batuan. Sudut geser dalam adalah sudut rekahan yang dibentuk jika suatu material dikenai tegangan atau gaya terhadapnya yang melebihi tegangan gesernya. Semakin besar sudut geser dalam suatu material maka material tersebut akan lebih tahan menerima tegangan luar yang dikenakan terhadapnya. (Das, 1993)

D.1.3 Modulus Young (E_{ref}/E_s)

Nilai modulus young menunjukkan besarnya nilai elastisitas tanah yang merupakan perbandingan antara tegangan yang terjadi terhadap

regangan. Nilai ini bisa didapatkan dari *Triaxial Test dan Unconfined Compression Test*. Nilai Modulus elastisitas (E_s) secara empiris dapat ditentukan dari jenis tanah dan data sondir seperti terlihat pada tabel 2.2 (Bowles, 1991).

Tabel 2.2 Nilai Perkiraan Modulus Elastisitas Tanah (Bowles, 1991)

Jenis Tanah	E_s (kg/cm ²)
Lempung	
Sangat Lunak	3 – 30
Lunak	20 – 40
Sedang	45 – 90
Keras	70 – 200
Berpasir	300 - 425
Pasir	
Berlanau	50 – 200
Tidak padat	100 – 250
Padat	500 - 1000
Pasir dan Krikil	
Padat	800 – 2000
Tidak padat	500 - 1400
Lanau	20 - 200
Loses	150 - 600
Cadas	1400 - 14000

D.1.4 Poisson's Ratio (ν)

Nilai *poisson's ratio* ditentukan sebagai rasio kompresi poros terhadap regangan pemuaian lateral. Nilai *poisson's ratio* dapat ditentukan berdasarkan jenis tanah seperti yang terlihat pada Tabel 2.3 di bawah ini.

Tabel 2.3 Hubungan antara jenis tanah dan *Poisson's Ratio* (Bowles, 1991)

Jenis tanah	Poisson's Ratio
Lempung jenuh	0,4 – 0,5
Lempung tak jenuh	0,1 – 0,3
Lempung berpasir	0,2 – 0,3
Lanau	0,3 – 0,35
Pasir padat	0,2 – 0,4
Pasir kasar ($e= 0,4 - 0,7$)	0,15
Pasir halus ($e= 0,4 - 0,7$)	0,25
Batu	0,1 – 0,4
Loses	0,1 – 0,3

D.1.5 Berat Isi Tanah Tak Jenuh (γ_{unsat})

Berat isi tanah kering adalah berat tanah utuh (*undisturbed*) dalam keadaan kering dibagi dengan volume tanah, dinyatakan dalam (g/cm^3). Nilai berat isi tanah sangat bervariasi antara satu titik dengan titik lainnya karena perbedaan kandungan bahan organik, tekstur tanah, kedalaman tanah dan kadar air tanah (Head. 2006).

D.1.6 Berat Isi Tanah Jenuh (γ_{sat})

Berat isi tanah jenuh merupakan berat butiran dalam keadaan jenuh termasuk air dan udara dibagi dengan volume total tanah. Nilai berat isi tanah jenuh sangat bervariasi tergantung pada material penyusun dan persentase air. (Head, 2006).

D.1.7 Permeabilitas (K)

Menurut Kementerian PUPRBPSD (2017) Semua jenis tanah adalah dapat dilalui oleh air melalui pori-pori tanah. Tekanan air pori diukur relatif terhadap tekanan udara (atmosfir) dan bila permukaan di dalam tanah sama dengan tekanan atmosfir, disebut muka air tanah atau muka air freatik. Tanah yang ada dibawah muka air tanah, biasanya dalam keadaan jenuh sempurna dengan tingkat penjenuhan mendekati 100%.

Permeabilitas atau kelulusan air tergantung dari ukuran rata-rata butiran tanah yang mempunyai hubungan dengan pembagian butiran tanah, bentuk partikel dan struktur tanah. Pada umumnya, bertambah kecil ukuran partikel tanah, bertambah rendah koefisien kelulusan airnya.

D.2 Klasifikasi Tanah

Sistem klasifikasi tanah yang ada mempunyai beberapa versi, hal ini disebabkan karena tanah memiliki sifat-sifat yang bervariasi. Adapun beberapa metode klasifikasi tanah yang ada antara lain:

- a) Klasifikasi Tanah Berdasar Tekstur.
- b) Klasifikasi Tanah Sistem AASHTO
- c) Klasifikasi Tanah Sistem UNIFIED

D.2.1 Klasifikasi Tanah Berdasar Tekstur

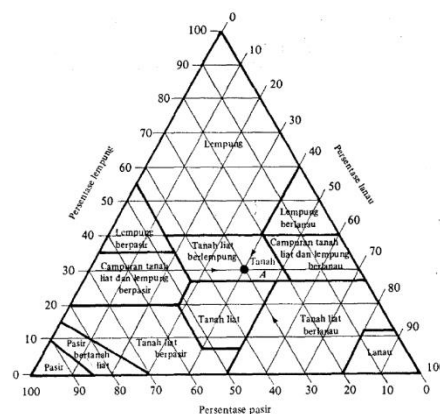
Pengaruh daripada ukuran tiap-tiap butir tanah yang ada di dalam tanah tersebut merupakan pembentuk tekstur tanah. Tanah tersebut dibagi dalam beberapa kelompok berdasar ukuran butir: pasir (*sand*), lanau (*silt*), lempung (*clay*). Departemen Pertanian AS telah mengembangkan suatu sistem klasifikasi ukuran butir melalui prosentase pasir, lanau dan lempung yang digambarkan pada grafik segitiga Gambar 2.6. (Das, 1993)

Cara ini tidak memperhitungkan sifat plastisitas tanah yang disebabkan adanya kandungan (baik dalam segi jumlah dan jenis) mineral lempung yang terdapat pada tanah. Untuk dapat menafsirkan ciri-ciri

suatu tanah perlu memperhatikan jumlah dan jenis mineral lempung yang dikandungnya. (Das, 1993)

D.2.2 Klasifikasi Tanah Sistem AASHTO

Sistem klasifikasi tanah sistem AASHTO pada mulanya dikembangkan pada tahun 1929 sebagai *Public Road Administration Classification System*. Sistem ini mengklasifikasikan tanah kedalam delapan kelompok, A-1 sampai A-7. Setelah diadakan beberapa kali perbaikan, sistem ini dipakai oleh *The American Association of State Highway Officials* (AASHTO) tahun 1945. Bagan pengklasifikasian sistem ini dapat dilihat seperti pada Tabel 2.4. dan Tabel 2.5. di bawah ini. Pengklasifikasian tanah dilakukan dengan cara memproses dari kiri ke kanan pada bagan tersebut sampai menemukan kelompok pertama yang data pengujian bagi tanah tersebut memenuhinya. Khusus untuk tanah yang mengandung bahan butir halus diidentifikasi lebih lanjut dengan indeks kelompoknya. Indeks kelompok didefinisikan dengan persamaan dibawah ini.



Gambar 2.4 Klasifikasi berdasarkan tekstur tanah (Das, 1993)

Tabel 2.4 Klasifikasi tanah sistim AASHTO (Das, 1993)

Klasifikasi Umum	Tanah Berbutir (35% atau kurang dari seluruh contoh tanah lolos ayakan No. 200)						
	A-1		A-3	A-2			
Klasifikasi ayakan	A-1-a	A-1-b		A-2-4	A-2-5	A-2-6	A-2-7
Analisis ayakan (% Lolos) No. 10 No. 40 No. 200	Maks 50 Maks 30 Maks 15	Maks 50 Maks 25	Min 51 Maks 10	Maks35	Maks35	Maks35	Maks35
Sifat fraksi yang lolos Aayakan No. 40 Batas Cair (LL) Indeks Plastisitas (PI)	Maks 6		NP	Maks 40 Maks 10	Maks 41 Maks 10	Maks 40 Min 11	Min 41 Min 11
Tipe material yang paling dominan	Batu pecah Krikil pasir	Pasir halus	Krikil dan pasir yang berlanau				
Penilaian sebagai bahan tanah dasar	Baik sekali sampai baik						

Tabel 2.5 Klasifikasi tanah sistim AASHTO (Das, 1993)

Klasifikasi Umum	Tanah Lanau-Lempung (lebih dari 35% atau kurang dari seluruh contoh tanah lolos ayakan No.200)			
	A-4	A-5	A-6	A-7
Klasifikasi kelompok				A-7-5 A-7-6
Analisis Ayakan (%Lolos) No.10 No. 40 No.200	Min 36	Min 36	Min 36	Min 36
Sifat fraksi yang lolos ayakan No.40 Batas Cair (LL) Indeks Plastisitas (PI)	Maks 40 Maks 10	Maks 41 Maks 10	Maks 40 Min 11	Min 41 Min 11
Tipe material yang paling dominan	Tanah Berlanau		Tanah Berlempung	
Penilaian sebagai bahan tanah dasar	Biasa sampai jelek			

D.2.3 Klasifikasi Tanah Sistem UNIFIED

Sistem ini pertama kali diperkenalkan oleh *Cassagrande* tahun 1942 untuk dipergunakan pada pekerjaan pembuatan lapangan tembak yang dilaksanakan oleh *The Army Corps Engineers*. Sistem ini telah dipakai dengan sedikit modifikasi oleh U.S. *Bureau of Reclamation* dan U.S *Corps of Engineers* tahun 1952. Dan pada tahun 1969 *American Society for Testing and Material* telah menjadikan sistem ini sebagai prosedur standar guna mengklasifikasikan tanah untuk tujuan rekayasa. (SNI 6371:2015)

Menurut (SNI 6371:2015) sistem UNIFIED membagi tanah ke dalam dua kelompok utama yaitu:

- a) Tanah berbutir kasar adalah tanah yang lebih dari 50% bahannya tertahan pada ayakan No. 200. Tanah butir kasar terbagi atas kerikil dengan simbol G (*gravel*), dan pasir dengan simbol S (*sand*).
- b) Tanah butir halus adalah tanah yang lebih dari 50% bahannya lewat pada saringan No. 200. Tanah butir halus terbagi atas lanau dengan simbol M (*silt*), lempung dengan simbol C (*clay*), serta lanau dan lempung organik dengan simbol O, bergantung pada tanah itu terletak pada grafik plastisitas. Tanda L untuk plastisitas rendah dan tanda H untuk plastisitas tinggi.

Adapun simbol-simbol lain yang digunakan dalam klasifikasi tanah ini adalah : (SNI 6371:2015)

W = *well graded* (tanah dengan gradasi baik)

P = *poorly graded* (tanah dengan gradasi buruk)

L = *low plasticity* (plastisitas rendah) ($LL < 50$)

H = *high plasticity* (plastisitas tinggi) ($LL > 50$)

Adapun klasifikasi sistem UNIFIED dapat dilihat pada lampiran B

E. Metode Elemen Hingga (MEH)

Metode Elemen Hingga (*Finite Element Method*) adalah salah satu metode numerik untuk menyelesaikan berbagai problem rekayasa, seperti mekanika struktur, mekanika tanah, mekanika batuan, mekanika fluida, hidrodinamik, aerodinamik, medan magnet, perpindahan panas, dinamika struktur, mekanika nuklir, aeronautika, akustik, mekanika kedokteran dan sebagainya. (Susatio dan Yerri. 2004)

Kontinum (rangkaiannya) dibagi-bagi menjadi beberapa bagian yang lebih kecil, maka elemen kecil ini disebut elemen hingga. Proses pembagian kontinum menjadi elemen hingga disebut proses "*diskretisasi*" (pembagian). Dinamakan elemen hingga karena ukuran elemen kecil ini berhingga (bukannya kecil tak berhingga) dan umumnya mempunyai bentuk geometri yang lebih sederhana dibanding dengan kontinumnya. (Susatio dan Yerri. 2004)

Dengan metode elemen hingga kita dapat menghitung suatu masalah dengan jumlah derajat kebebasan tertentu sehingga proses

pemecahannya akan lebih sederhana. Misalnya suatu batang panjang yang bentuk fisiknya tidak lurus, dipotong-potong sependek mungkin sehingga terbentuk batang-batang pendek yang relatif lurus. Maka pada batang yang panjang tadi disebut kontinum dan batang yang pendek disebut elemen hingga. (Susatio dan Yerri. 2004)

Konsep dasar metode elemen hingga adalah apabila suatu sistem dikenai gaya luar, maka gaya luar tersebut diserap oleh sistem tersebut dan akan menimbulkan gaya dalam dan perpindahan. Untuk mengetahui besarnya gaya dalam dan perpindahan akibat gaya luar tersebut, perlu dibentuk suatu persamaan yang mewakili sistem tersebut. Dalam metode elemen hingga keseluruhan sistem dibagi kedalam elemen elemen dengan jumlah tertentu. Selanjutnya dibentuk persamaan : (Reddy, 2005)

$$[K]\{D\} = \{R\}$$

Dimana:

$[K]$: matriks kekakuan global
 $\{D\}$: matriks perpindahan global
 $\{R\}$: matriks gaya global

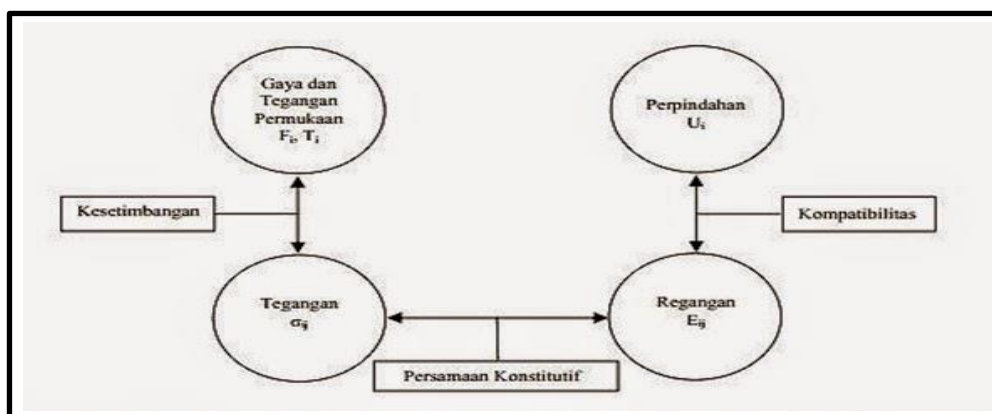
Gambar 2.5 Konsep dasar Elemen Hingga (Reddy, 2005)

Proses pembentukan persamaan diatas harus memenuhi kondisi berikut : (Reddy, 2005)

1. Keseimbangan, yaitu keseimbangan gaya-gaya yang bekerja pada setiap elemen dan keseluruhan material.

2. Kompatibilitas, berkaitan dengan geometri dari material yaitu hubungan perpindahan dengan dan regangan.
3. Persamaan konstitutif dari material, mengenai hubungan tegangan regangan yang merupakan kareakteristik dari material.

Kondisi batas dan kondisi awal gaya-gaya dan perpindahan secara khusus harus memenuhi kondisi kesetimbangan dan kondisi kompatibilitas. Hubungan ketiga kondisi diatas tergambar dalam bagan berikut: (Reddy, 2005)



Gambar 2.6 Hubungan antara variabel – variabel dalam penyusunan persamaan elemen hingga. (Reddy, 2005)

F. Program Plaxis V. 6

Plaxis (*Finite Element Code For Soil and Rock Analysis*) adalah program pemodelan dan *post processing* metode elemen hingga yang mampu melakukan analisis masalah-masalah geoteknik dalam perencanaan geoteknik maupun sipil. Plaxis V.6 menyediakan berbagai analisa teknik tentang *displacement*, tegangan–tegangan yang terjadi

pada tanah, dan lain-lain. Program ini dirancang untuk dapat melakukan pembuatan geometri yang akan dianalisis. (Plaxis, 2005)

Plaxis juga merupakan perangkat lunak elemen hingga untuk melakukan analisis deformasi, stabilitas dan aliran air tanah pada bidang geoteknik. Plaxis juga dimaksudkan sebagai alat bantu (*tools*) untuk analisis permasalahan geoteknik secara praktis dan *user friendly* tanpa harus menguasai metode numerik. Sejarah Plaxis V.6 awalnya dibuat untuk menyelesaikan masalah tanggul sungai pada tanah lunak di Belanda. (Plaxis, 2005)

Adapun model material yang dapat digunakan pada program plaxis adalah : (Plaxis, 2005)

1. Model *Mohr Coulomb*

Yaitu model *elesto-plastis* dengan lima parameter yaitu modulus elastis dan *poison ratio* untuk pemodelan elastis tanah, sudut geser tanah dan kohesi untuk pemodelan plastis tanah dan Ψ sebagai sudut dilatasi.

Model ini paling populer karena parameternya relatif mudah diperoleh dari uji laboratorium (*Triaxial Test dan Direct Shear Test*) atau interpretasi uji lapangan (SPT atau Sondir)

Model ini disarankan untuk analisis awal sebelum menggunakan model lain yang lebih lanjut.

2. Model *Hardening Soil* (HS)

Yaitu model non-linear tingkat lanjut untuk memodelkan perilaku tanah dengan parameter kondisi tegangan batas berupa sudut geser dalam dan kohesi seperti pada *Mohr Coulomb*.

Keakuratan pada kekakuan kondisi elastis kekakuan meningkat sesuai dengan peningkatan tegangan.

3. Model Massa Batuan yang memiliki kekar (*Jointed Rock*)

Yaitu model *elasto-plastis anisotropis* untuk pemodelan batuan yang memiliki stratifikasi dan orientasi kekar, plastisitas dapat terjadi pada maksimum tiga bidang geser, pada batuan massif / *Intact* dianggap berperilaku elastis penuh.

4. Model *Soft Soil Creep*

Yaitu model yang mengikutsertakan efek *creep* dan relaksasi tegangan (kondisi kompresi sekunder) model ini cocok untuk batuan lunak seperti lempung yang terkonsolidasi normal atau tanah gambut

Model ini dikembangkan khusus untuk masalah penurunan akibat penambahan beban, untuk kasus terowongan masih disarankan menggunakan *Mohr coulomb*

5. Model *Soft Soil*

Yaitu model *cam-clay* di khususkan untuk analisis kompresi primer dari tanah lempung terkonsolidasi normal, kemampuannya masih di bawah model *Hardening Soil*.

Parameter tanah yang digunakan dalam program Plaxis V.6 diantaranya yaitu :

- a) Berat Volume Tanah Kering (*dry soil weight* (γ_{dry}))
- b) Berat Volume Tanah Basah (*wet soil weight* (γ_{wet}))
- c) Permeabilitas Arah Horizontal (*horizontal permeability* (k_x))
- d) Permeabilitas Arah Vertikal (*vertical permeability* (k_y))
- e) Modulus Young (*Young's Modulus* (E_{ref}))
- f) *Poisson's Ratio* (ν)
- g) Kohesi (*Cohesion* (c))
- h) Sudut Geser (*Friction Angle* (ϕ))
- i) Sudut Dilatasi (*Dilatancy Angle* (ψ))

Program komputer ini menggunakan elemen segitiga dengan pilihan 6 nodal atau 15 nodal. Pada analisis ini digunakan elemen segitiga dengan 15 nodal agar dapat dilakukan interpolasi dan peralihan nodal dengan menggunakan turunan berderajat dua. Dengan menggunakan elemen ini akurasi hasil analisis sudah cukup teliti dan dapat diandalkan. (Plaxis, 2005)

F.1 Gravity Loading

Gravity Loading merupakan pembebanan material tanah pada program plaxis, beban yang bekerja pada material tanah penyusun lereng yaitu gaya gravitasi yang di hitung pada program plaxis.

F.2 Vertical Loading

Vertical loading merupakan data lalu lintas yang bekerja pada lereng yang dihitung sama pada permukaan lereng. Data lalu lintas yang diperlukan adalah data lalu lintas harian rata-rata. Data lalu lintas harian rata-rata diperlukan untuk mengetahui pembebanan yang bekerja pada lereng.

Pada program Plaxis V.6 pembebanan digambarkan berdasarkan pada beban lalulintas. Beban tersebut berupa tanah sendiri setinggi 0,5 meter untuk standar Amerika dan 0,6 meter untuk standar Inggris (SKBI 1.3.28.1987) sehingga beban traffic yang diberikan adalah :

A. Standar Amerika

$$\text{Beban lalu lintas} = 0,5 \times \gamma_{\text{timb}}$$

B. Standar Inggris

$$\text{Beban lalu lintas} = 0,6 \times \gamma_{\text{timb}}$$