

TUGAS AKHIR

**PENGARUH KONDISI MUKA AIR TANAH TERHADAP
STABILITAS LERENG JALAN DENGAN DINDING
PENAHAN TANAH
(THE EFFECT OF GROUND WATER LEVEL OF ROAD SLOPE
STABILITY WITH RETAINING WALL)**

**(Studi Kasus Jalan Banjarnegara-Karangkobar Kilometer 77,
Kabupaten Banjarnegara, Provinsi Jawa Tengah.)**

**Diajukan Kepada Universitas Islam Indonesia Yogyakarta Untuk Memenuhi
Persyaratan Memperoleh Derajat Strata Satu Teknik Sipil**



**Muhammad Irfan Ardiansyah
12511438**

**PROGRAM STUDI TEKNIK SIPIL
FAKULTAS TEKNIK SIPIL DAN PERENCANAAN
UNIVERSITAS ISLAM INDONESIA
YOGYAKARTA
2017**

TUGAS AKHIR

PENGARUH KONDISI MUKA AIR TANAH TERHADAP STABILITAS LERENG JALAN DENGAN DINDING PENAHAN TANAH (THE EFFECT OF GROUND WATER LEVEL OF ROAD SLOPE STABILITY WITH RETAINING WALL)

disusun oleh

Muhammad Irfan Ardiansyah

12511438

Telah diterima sebagai salah satu persyaratan
untuk memperoleh derajat Sarjana Teknik Sipil

diuji pada tanggal _____

oleh Dewan Penguji

Pembimbing

Penguji I

Penguji II

M. Rifqi Abdurrozak, M.Eng.

Dr. Ir. Lalu Makrup, M.T.

Ir. A. Marzuko, M.T.

Mengesahkan,

Ketua Program Studi Teknik Sipil

Miftahul Fauziah, S.T., M.T., Ph.D

TUGAS AKHIR

**PENGARUH KONDISI MUKA AIR TANAH TERHADAP
STABILITAS LERENG JALAN DENGAN DINDING
PENAHAN TANAH
(THE EFFECT OF GROUND WATER LEVEL OF ROAD
SLOPE STABILITY WITH RETAINING WALL)**

disusun oleh

Muhammad Irfan Ardiansyah
12511438

Telah diterima sebagai salah satu persyaratan
untuk memperoleh derajat Sarjana Teknik Sipil

diuji pada tanggal 6 October 2017

oleh Dewan Penguji

Pembimbing

Penguji I

Penguji II

M. Rifqi Abdurrozaq, S.T., M.Eng.

Dr. Ir. Lalu Makrup, M.T.

Ir. A. Marzuko, M.T.

Mengesahkan,

Ketua Program Studi Teknik Sipil

Miftahul Fauziah, S.T., M.T., Ph.D

PERNYATAAN BEBAS PLAGIASI

Saya menyatakan dengan sesungguhnya bahwa laporan Tugas Akhir yang saya susun sebagai syarat untuk penyelesaian program Sarjana di Program Studi Teknik Sipil, Fakultas Teknik Sipil dan Perencanaan, Universitas Islam Indonesia merupakan hasil karya saya sendiri. Adapun bagian-bagian tertentu dalam penulisan laporan Tugas Akhir yang saya kutip dari hasil karya orang lain telah dituliskan dalam sumbernya secara jelas sesuai dengan norma, kaidah, dan etika penulisan karya ilmiah. Apabila di kemudian hari ditemukan seluruh atau sebagian laporan Tugas Akhir ini bukan hasil karya saya sendiri atau adanya plagiasi dalam bagian-bagian tertentu, saya bersedia menerima sanksi, termasuk pencabutan gelar akademik yang saya sandang sesuai dengan perundang-undangan yang berlaku.

Yogyakarta, Oktober 2017
Yang membuat pernyataan,

Muhammad Irfan Ardiansyah
12511438



PERNYATAAN BEBAS PLAGIASI

Saya menyatakan dengan sesungguhnya bahwa laporan Tugas Akhir yang saya susun sebagai syarat untuk penyelesaian program Sarjana di Program Studi Teknik Sipil, Fakultas Teknik Sipil dan Perencanaan, Universitas Islam Indonesia merupakan hasil karya saya sendiri. Adapun bagian-bagian tertentu dalam penulisan laporan Tugas Akhir yang saya kutip dari hasil karya orang lain telah dituliskan dalam sumbernya secara jelas sesuai dengan norma, kaidah, dan etika penulisan karya ilmiah. Apabila di kemudian hari ditemukan seluruh atau sebagian laporan Tugas Akhir ini bukan hasil karya saya sendiri atau adanya plagiasi dalam bagian-bagian tertentu, saya bersedia menerima sanksi, termasuk pencabutan gelar akademik yang saya sandang sesuai dengan perundang-undangan yang berlaku.

Yogyakarta, 6 Oktober 2017

Yang membuat pernyataan,



Muhammad Irfan Ardiansyah
12511438

**TERUNTUK IBU
YANG SELALU MERAPIKAN LETAK LEHER KEMEJAKU
TERUNTUK BAPAK
YANG SELALU MENGANTARKU KE LAPANGAN BOLA**



KATA PENGANTAR

Alhamdulillah rabbil'alamiin, puji syukur kehadiran Allah SWT atas rahmat dan hidayah-Nya sehingga saya dapat menyelesaikan Tugas Akhir dengan judul Pengaruh Muka Air Tanah Terhadap Stabilitas Lereng.

Dalam penyusunan Tugas Akhir ini banyak hambatan yang dihadapi penulis, namun berkat saran, kritik, serta dorongan semangat dari berbagai pihak, alhamdulillah Tugas Akhir ini dapat diselesaikan. Berkaitan dengan ini, penulis ingin mengucapkan terima kasih yang sedalam-dalamnya kepada:

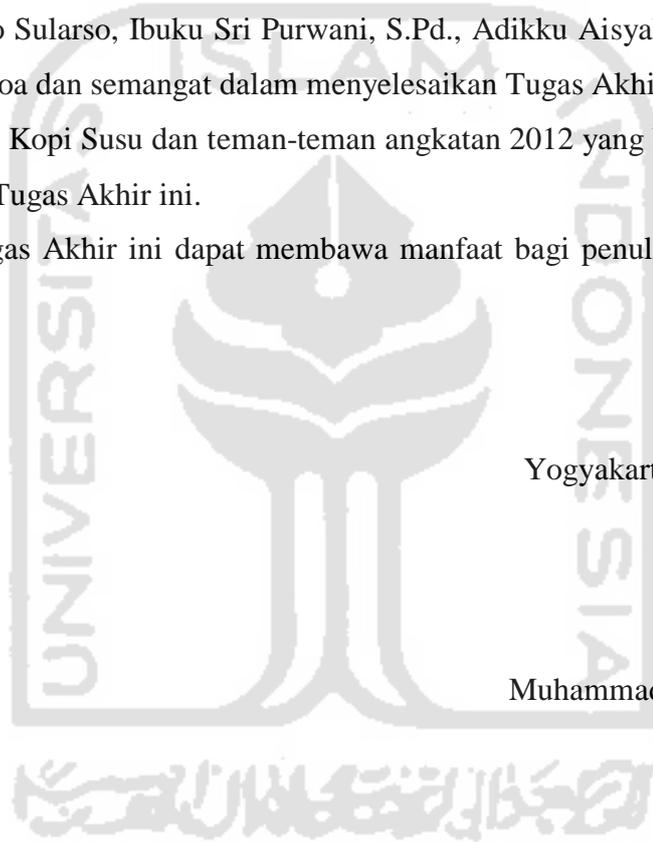
1. Bapak Muhammad Rifqi Abdurrozak, M.Eng., selaku dosen pembimbing Tugas Akhir,
2. Bapak Dr. Ir. Lalu Makrup, M.T. dan Bapak Ir. Akhmad Marzuko, M.T., selaku dosen penguji Tugas Akhir,
3. Ibu Miftahul Fauziah, S.T., M.T., Ph.D., selaku Ketua Prodi Teknik Sipil, Fakultas Teknik Sipil dan Perencanaan, Universitas Islam Indonesia,
4. Bapakku Drs. Gondo Sularso, Ibuku Sri Purwani, S.Pd., Adikku Aisyah Luthfita S, yang selalu memberikan doa dan semangat dalam menyelesaikan Tugas Akhir ini, dan
5. Ismi Pramesti, S.Pd., Kopi Susu dan teman-teman angkatan 2012 yang banyak membantu dalam penyelesaian Tugas Akhir ini.

Semoga laporan Tugas Akhir ini dapat membawa manfaat bagi penulis dan pihak yang membacanya.

Yogyakarta, Oktober 2017

Penulis,

Muhammad Irfan Ardiansyah
12511438



DAFTAR ISI

HALAMAN JUDUL	i
HALAMAN PENGESAHAN	ii
HALAMAN PERNYATAAN	iii
HALAMAN DEDIKASI	iv
KATA PENGANTAR	v
DAFTAR ISI	vi
DAFTAR TABEL	vii
DAFTAR GAMBAR	xiii
ABSTRAK	viv
ABSTRACT	vv
BAB I PENDAHULUAN	1
1.1 Latar Belakang.....	1
1.2 Rumusan Masalah	2
1.3 Tujuan Penelitian.....	3
1.4 Batasan Penelitian	3
1.5 Keaslian Penelitian	3
1.6 Manfaat Penelitian	3
BAB II TINJAUAN PUSTAKA	5
2.1 Tinjauan Umum.....	5
2.2 Dinding Penahan Tanah.....	5
2.3 Stabilitas Lereng.....	6
2.4 Pengaruh Muka Air Tanah Terhadap Stabilitas Lereng	8
2.5 Perbandingan Penelitian Sekarang Dengan Terdahulu	9
BAB III LANDASAN TEORI	10
3.1 Tanah	15
3.2 Dinding Gravitasi	15

3.3	Stabilitas Lereng.....	19
3.4	Metode Elemen Hingga Program <i>Plaxis</i>	22
3.4	Metode Analisa seismik <i>Pseudostatis</i>	24
BAB IV	METODE PENELITIAN	26
4.1	Tinjauan Umum.....	26
4.2	Objek dan Subjek Penelitian.....	26
4.3	Data Penelitian.....	26
4.4	Lokasi Penelitian	27
4.5	Metode Analisis Data	27
4.6	Langkah-langkah Penelitian	27
4.7	Kombinasi Beban	29
4.8	Pengoperasian <i>Plaxis</i> 8.2	30
BAB V	ANALISIS DAN PEMBAHASAN	37
5.1	Lereng Asli	37
5.1.1	Data masukan <i>Plaxis</i>	38
5.2	Analisis Lereng <i>Existing</i>	38
5.2.1	Muka Air Tanah 5 Meter Di Bawah Permukaan Tanah	39
5.2.2	Muka Air Tanah 1 Meter Di Bawah Permukaan Tanah.....	41
5.2.3	Hasil Pemodelan Lereng <i>Existing</i>	44
5.3	Desain Dinding Penahan Tanah “ <i>Gravity Wall</i> ”.....	44
5.4	Analisis Lereng dengan Dinding Gravitasi	48
5.4.1	Muka Air Tanah 5 Meter Di Bawah Permukaan Tanah.....	48
5.4.2	Analisis Perhitungan Stabilitas Internal dari Keluaran <i>Plaxis</i>	50
5.4.3	Muka Air Tanah 1 Meter Di Bawah Permukaan Tanah.....	53
5.4.4	Analisis Perhitungan Stabilitas Internal dari Keluaran <i>Plaxis</i>	55

5.5 Hasil dan Pembahasan	57
BAB VI SIMPULAN DAN SARAN	59
6.1 Simpulan	59
6.2 Saran	59
DAFTAR PUSTAKA	62
LAMPIRAN	64



DAFTAR TABEL

Tabel 2.1 Perbandingan Penelitian Terdahulu	9
Tabel 3.1 Hubungan Antara Es dengan q_c	13
Tabel 3.2 Nilai Perkiraan Modulus Elastisitas Tanah	13
Tabel 3.3 Hubungan Antara Jenis Tanah dan Poisson Ratio	14
Tabel 3.4 Hubungan Antara Sudut Geser Dalam dengan Jenis Tanah	15
Tabel 3.5 Nilai Faktor Aman Terhadap Bidang Longsor	22
Tabel 5.1 Data Beban Lalu Lintas untuk Stabilitas	40
Tabel 5.2 Data Beban Lalu Lintas untuk Stabilitas	40
Tabel 5.3 Perhitungan Berat Dinding Penahan Tanah	47
Tabel 5.4 Beban-Beban dan Gaya	48
Tabel 5.5 Hasil Keluaran Analisis Stabilitas Internal Dinding Penahan Tanah	54
Tabel 5.6 Hasil Keluaran Analisis Stabilitas Internal Dinding Penahan Tanah	58
Tabel 5.7 Hasil analisis lereng menggunakan <i>Plaxis</i> 8.2	59

DAFTAR GAMBAR

Gambar 1.1	Lokasi Longsor, Jalan Banjarnegara-Wanayasa Kilometer 77	2
Gambar 3.1	Berbagai Tipe Dinding Penahan Tanah	16
Gambar 3.2	Tekanan Tanah Lateral saat Tanah Runtuh	17
Gambar 3.5	Asal Mula Persamaan <i>Mononobe-Okabe</i>	20
Gambar 4.1	Bagan Alir Penelitian	28
Gambar 4.2	Peta Zonasi Gempa Indonesia Tahun 2012	30
Gambar 4.3	Kotak Dialog <i>create/open project</i>	30
Gambar 4.4	Lembar-tab <i>Project</i> dari Jendela <i>General Setting</i>	31
Gambar 4.5	Lembar-tab <i>Dimensions</i> dalam jendela <i>General Setting</i>	32
Gambar 4.6	Lembar <i>Tab General</i> dari Jendela <i>Meterial Set</i>	33
Gambar 4.7	Lembar <i>Tab Parameters</i> dari Jendela <i>Meterial Set</i>	34
Gambar 4.8	Jaringan Elemen Hingga	34
Gambar 4.9	Tegangan Awal Pada Geometri	35
Gambar 4.10	Jendela <i>Calculations</i> dengan Lembar Tab <i>Genaral</i>	36
Gambar 4.11	Pemilihan Titik Kurva yang Ditinjau	36
Gambar 5.1	Lokasi Longsor, Jalan Banjarnegara-Karangkoobar km 77	37
Gambar 5.2	Potongan Melintang Lereng Jalan Existing	38
Gambar 5.3	Permodelan Lereng <i>Existing</i> pada Kondisi Muka Air Tanah 5 meter di Bawah Permukaan Tanah	39
Gambar 5.4	<i>Deformed Mesh</i> pada Lereng <i>Existing</i> pada Kondisi Muka Air Tanah 5 meter di Bawah Permukaan Tanah	40
Gambar 5.5	<i>Total Displacement</i> Lereng <i>Existing</i> pada Kondisi Muka Air Tanah 5 meter di Bawah Permukaan Tanah	40
Gambar 5.6	Daerah Potensial Keruntuhan Lereng <i>Existing</i> dengan Beban Kendaraan	41
Gambar 5.7	Meshing pada Lereng Asli pada Kondisi Kondisi Muka Air Tanah 1 meter di Bawah Permukaan Tanah	42
Gambar 5.8	<i>Deformed Mesh</i> pada Lereng Asli pada Kondisi Kondisi Muka Air Tanah 1 meter di Bawah Permukaan Tanah	42

Gambar 5.9	<i>Total Displacement</i> Lereng pada Kondisi Muka Air Tanah 1 meter di Bawah Permukaan Tanah	43
Gambar 5.10	Daerah Potensial Keruntuhan Lereng Pada Kondisi Muka Air 1 meter Di Bawah Permukaan Tanah	43
Gambar 5.11	Lereng dengan Desain Dinding Penahan Tanah	44
Gambar 5.12	<i>Meshing</i> Pada Lereng Pada Kondisi Muka Air tanah 5 m di bawah Permukaan dengan Beban Kendaraan dan Beban Gempa	49
Gambar 5.13	<i>Deformed mesh</i> pada Lereng pada Kondisi Muka Air tanah 5 m di bawah Permukaan dengan Beban Kendaraan dan Beban Gempa	49
Gambar 5.14	Hasil kalkulasi program plaxis 8.2 pada Lereng pada Kondisi muka air tanah 5 m dibawah permukaan dengan beban kendaraan dan gempa	50
Gambar 5.15	Potongan A-A' Dinding Penahan Tanah	51
Gambar 5.16	Potongan A-A' <i>Total normal stresses</i>	51
Gambar 5.17	Potongan A-A' <i>extreme shear stress</i>	52
Gambar 5.18	<i>Meshing</i> pada Lereng pada Kondisi Muka Air Tanah 1 m Di Bawah Permukaan dengan Beban Kendaraan dan Beban Gempa	53
Gambar 5.19	<i>Deformed mesh</i> pada Lereng pada Kondisi Muka Air Tanah 1 m Di Bawah Permukaan dengan Beban Kendaraan dan Beban Gempa	54
Gambar 5.20	Hasil kalkulasi program plaxis 8.2 pada Lereng pada Kondisi muka air tanah 1 m di bawah permukaan dengan beban kendaraan dan gempa	54
Gambar 5.21	Potongan A-A' Dinding Penahan Tanah	55
Gambar 5.22	Potongan A-A' <i>Total normal stresses</i>	56
Gambar 5.23	Potongan A-A' <i>extreme shear stress</i>	56

DAFTAR LAMPIRAN

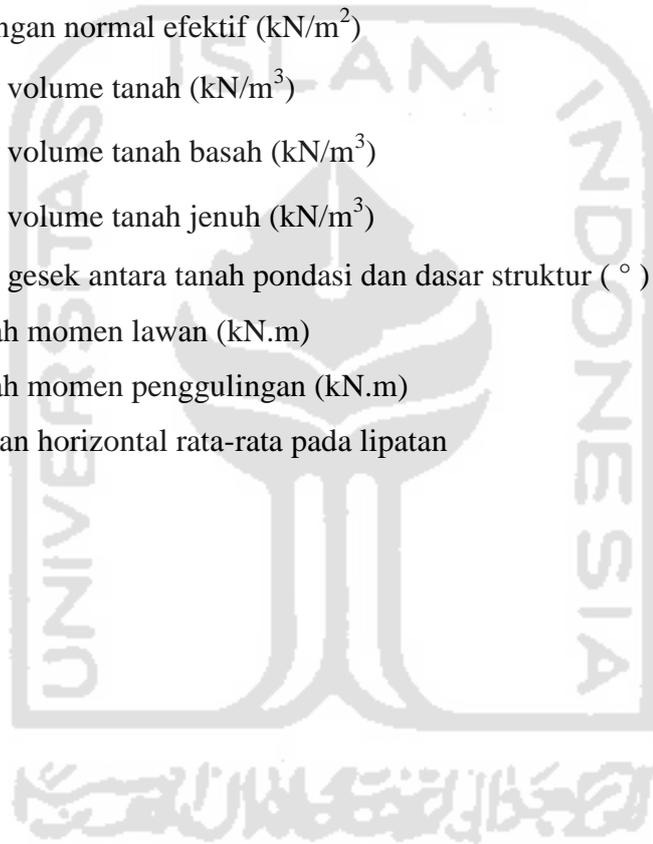
Lampiran 1 Hasil Sondir Manual	65
Lampiran 2 <i>Bore Log</i>	66
Lampiran 3 <i>Soil Test</i>	67
Lampiran 4 <i>Direct Shear Test</i>	68



DAFTAR NOTASI DAN SINGKATAN

c	: Kohesi tanah (kN/m^2)
c'	: Kohesi tanah efektif (kN/m^2)
C_d	: Kohesi yang terjadi akibat gaya berat tanah yang akan longsor (kN/m^2)
E	: Modulus Young (kN/m^2)
e	: Angka pori
E_s	: Modulus Elastisitas (MPa)
F	: Faktor aman
H	: Tinggi dinding penahan tanah (m)
K_a	: Koefisien tanah aktif
L	: Lebar dasar dinding atau panjang tulangan (m)
L_e	: Panjang efektif (m)
L_o	: Panjang overlap (m)
m	: Massa persatuan luas
n	: Porositas (%)
o	: Kerapatan geotekstil secara keseluruhan
P_a	: Tekanan tanah aktif
q	: Beban terbagi rata (kN/m^2)
q_c	: Tahanan konus (kg/cm^2)
R_v	: beban <i>vertical</i> total termasuk beban terbagi rata (kN/m)
SF	: Faktor aman
S_v	: jarak tulangan arah vertical (m)
t	: Tebal geotekstil (m)
T_a	: kuat tarik geotekstil (kN.m)
$T_{(Seam)}$: kuat pelipit/jahitan (seam strength).
u	: Tekanan air pori (kN/m^2)
V_s	: Volume butiran padat (m^3)
V_w	: Volume air (m^3)
V_a	: Volume udara (m^3)
V_v	: Volume rongga (m^3)
V_s	: Angka poisson tanah

W	: Berat struktur (kN/m)
W_s	: Berat butiran padat (kN/m ³)
W_w	: Berat air (kN/m ³)
z	: kedalaman tulangan yang ditekuk masuk ketanah (m)
τ	: Kuat geser tanah (kN/m ²)
ϕ	: Sudut gesek dalam tanah (°)
ϕ'	: sudut gesek dalam tanah efektif (derajat)
σ	: Tegangan normal pada bidang runtuh (kN/m ²)
σ'	: Tegangan normal efektif (kN/m ²)
γ	: Berat volume tanah (kN/m ³)
γ_b	: Berat volume tanah basah (kN/m ³)
γ_{sat}	: Berat volume tanah jenuh (kN/m ³)
δ_b	: sudut gesek antara tanah pondasi dan dasar struktur (°)
ΣM_R	: jumlah momen lawan (kN.m)
ΣM_D	: jumlah momen penggulingan (kN.m)
σ_{hc}	: tekanan horizontal rata-rata pada lipatan





ABSTRAK

Ruas jalan Banjarnegara- Karangkoobar di daerah perbukitan tepatnya kilometer 77 telah terjadi longsor pada akhir tahun 2016. Longsor mengakibatkan akses lalu lintas dari Dieng, Wonosobo menuju Banjarnegara ataupun sebaliknya menjadi terhambat. Tanah pada lereng yang terdiri dari lempung, lanau, dan pasir mengakibatkan tanah labil dan tidak terlalu kuat ketika hujan turun. Jenis tanah tersebut apabila kemasukan air tanah menjadi labil dan terjadi pelemahan, sehingga dengan adanya beban dinamis diatas lereng akan menyebabkan longsor.

Penelitian ini bertujuan untuk menganalisis pengaruh variasi muka air tanah terhadap stabilitas lereng menggunakan program plaxis 8.2, dengan memodelkan pada dua kondisi yaitu kondisi muka air tanah normal dan muka air tanah ekstrim. Dari analisis tersebut akan dicari nilai *safety factor* pada lereng asli dan pada lereng dengan perkuatan dinding penahan tanah.

Hasil dari pemodelan lereng asli didapat nilai *safety factor* sebesar 1,28 pada kondisi muka air tanah normal, dan 1,13 pada lereng dengan kondisi muka air tanah ekstrim. Nilai *safety factor* lereng asli yang dibebani beban kendaraan adalah sebesar 1,081 pada kondisi muka air tanah normal, dan 1,043 pada lereng dengan kondisi muka air tanah ekstrim. Pada lereng dengan dinding penahan tanah diperoleh nilai *safety factor* sebesar 3,27 pada kondisi muka air tanah normal, dan 2,29 pada kondisi muka air tanah ekstrim. Nilai *safety factor* pada lereng dengan perkuatan dinding penahan tanah dan dibebani beban kendaraan adalah sebesar 2,776 pada kondisi muka air tanah normal, dan 1,86 pada kondisi muka air tanah ekstrim. Sedangkan nilai *safety factor* pada lereng dengan perkuatan dinding penahan tanah yang dibebani beban kendaraan dan beban gempa adalah sebesar 2,75 pada kondisi muka air tanah normal, dan 1,85 pada lereng dengan kondisi muka air tanah ekstrim. Berdasarkan analisis tersebut, lereng asli dengan beban kendaraan dalam kondisi kritis dan pada lereng dengan perkuatan dinding penahan tanah yang dibebani dengan beban kendaraan dan beban gempa dalam kondisi aman.

Kata Kunci: *Safety factor*, Kondisi Ekstrim, Program Plaxis 8.2.

ABSTRACT

Banjarnegara - Karangobar road segment in hilly area exactly 77 kilometers had occurred landslide at the end of 2016. Landslide caused traffic access from Dieng, Wonosobo to Banjarnegara or otherwise be obstructed. The soil on slopes consisting of clay, silt, and sand caused the soil to be unstable and not too strong when it rains. If the type of soil entry the ground water becomes unstable and occurred attenuation, so by the presence of dynamic load above the slope will cause the landslide.

This study aims to analyze the effect of ground water variation on slope stability by using plaxis 8.2 program, by modeling on two conditions, normal ground water level and extreme ground water level. From the analysis will be searched the value of safety factor on the original slope and on the slope with retaining wall.

The result of the original slope modeling obtained the safety factor value of 1,28 on normal ground water conditions, and 1,13 on slope with extreme ground water conditions. The value of original slope safety factor loaded by vehicle load is 1,081 on the normal ground water condition, and 1,043 on the slopes with extreme ground water conditions. On slope with retaining walls of soil obtained the value of safety factor of 3,27 on normal ground water conditions, and 2,29 on extreme ground water conditions. The value of safety factor on the slope with retaining wall and loaded vehicle load is 2,776 on normal ground water condition, and 1,86 on extreme ground water condition. While the value of the safety factor on the slope with retrofitting of retaining wall which is loaded with vehicle load and earthquake loads is 2,75 on normal ground water condition, and 1,85 on the slope with extreme ground water condition. Based on the analysis, the original slopes with vehicle loads in critical condition and on the slope with retrofitting retaining walls loaded with vehicle loads and earthquake loads in safe conditions.

Keywords : Safty factor, Extreme conditions, Plaxis 8.2 Program

BAB I PENDAHULUAN

1.1 Latar Belakang

Lereng adalah suatu permukaan tanah yang miring dan membentuk sudut tertentu terhadap suatu bidang horisontal. Pada tempat dimana terdapat dua permukaan tanah yang berbeda ketinggian, maka akan ada gaya-gaya yang bekerja mendorong sehingga tanah yang lebih tinggi kedudukannya cenderung bergerak ke arah bawah yang disebut dengan gaya potensial gravitasi yang menyebabkan terjadinya longsor (Das, 1994). Kondisi curah hujan yang tinggi menjadi salah satu penyebab kelongsoran karena terjadinya peningkatan derajat kejenuhan tanah dapat mengakibatkan meningkatnya tegangan air pori tanah sehingga tegangan efektif tanah berkurang dan kuat geser tanah juga berkurang. Disamping itu kondisi tanah dasar yang lunak serta kemiringan lereng yang cukup curam juga dapat menjadi penyebab lain terjadinya kelongsoran.

Kabupaten Banjarnegara, Provinsi Jawa Tengah adalah kabupaten yang berada di daerah dataran tinggi yang merupakan kawasan rawan bencana longsor. Wilayah kabupaten ini berbatasan langsung dengan dataran tinggi Dieng Kabupaten Wonosobo, sehingga banyak akses jalan yang dibangun di atas lereng guna meningkatkan pelayanan transportasi serta kegiatan ekonomi untuk memenuhi kebutuhan pasar.

Sepanjang ruas jalan Banjarnegara-Karangobar tepatnya di daerah perbukitan Wanayasa banyak ditemukan lereng yang longsor. Salah satunya di ruas jalan Banjarnegara-Karangobar Km 77. Longsor tersebut juga mengakibatkan terhambatnya arus lalu lintas. Pada pengamatan visual penahan tanah tidak mampu menahan beban dan terjadilah longsor seperti tampak pada gambar 1.1



Gambar 1.1 Longsor Jalan Banjarnegara-Karangkobar Km 77

Penelitian ini bertujuan untuk menganalisis stabilitas lereng akibat beban lalu lintas dan gempa pada kondisi ekstrim akibat naiknya muka air tanah dan memodelkan perkuatan Dinding Penahan Tanah menggunakan program plaxis 8.2 dengan memasukkan data tanah asli.

1.2 Rumusan Masalah

Rumusan masalah yang dapat diambil adalah menganalisis stabilitas lereng akibat beban pada kondisi muka air tanah di kedalaman 5 m dan 1 m di bawah permukaan tanah, serta merancang dinding penahan tanah pada lereng terkait. Adapun rincian masalah yang harus diselesaikan adalah sebagai berikut ini.

1. Bagaimana *Safety Factor* lereng *Existing* dengan kondisi elevasi muka air tanah berada pada kedalaman 5 m dari permukaan tanah?
2. Bagaimana *Safety Factor* lereng *Existing* dengan kondisi elevasi muka air tanah berada pada kedalaman 1 m dari permukaan tanah?
3. Bagaimana desain dinding penahan tanah yang mampu mengantisipasi longsor pada lereng yang menerima beban berupa beban kendaraan dan beban gempa.

1.3 Tujuan Penelitian

Adapun tujuan dari Tugas Akhir ini adalah sebagai berikut:

1. Mengetahui *Safety Factor* lereng *Existing* dengan kondisi elevasi muka air tanah berada pada kedalaman 5 m dari permukaan tanah.
2. Mengetahui *Safety Factor* lereng *Existing* dengan kondisi elevasi muka air tanah berada pada kedalaman 1 m dari permukaan tanah.
3. Mampu mendesain dinding penahan tanah yang dapat mengantisipasi longsor pada lereng yang menerima beban berupa beban kendaraan dan beban gempa.

1.4 Batasan Masalah

Adapun batasan masalah dalam Tugas Akhir ini adalah sebagai berikut ini.

1. Lokasi studi kasus adalah jalan propinsi Banjarnegara-Karangkobar Km 77, Kabupaten Banjarnegara.
2. Perencanaan didasarkan pada data sekunder.
3. Perhitungan pengaruh beban gempa menggunakan teori Pseudo Statis.
4. Analisis yang terjadi dihitung dengan menggunakan program Plaxis 8.2.

1.5 Keaslian Penelitian

Penelitian sejenis pernah dilakukan dengan judul Penentuan Sifat Teknis Tanah Jenuh Sebagian dan Analisis Deformasi Lereng Akibat Pengaruh Variasi Hujan, (Pramusandi S, 2011). Namun lokasi studi kasus dan metode yang digunakan berbeda. Oleh karena itu, penelitian yang dilakukan dalam Tugas Akhir ini adalah pengaruh kondisi muka air tanah terhadap stabilitas lereng serta desain dinding penahan tanah yang tepat.

1.6 Manfaat Penelitian

Dari hasil yang diperoleh nanti diharapkan dapat memberikan manfaat sebagai berikut :

1. menambah pengetahuan pembaca mengenai analisis stabilitas dinding penahan tanah dengan menggunakan program plaxis,

2. menambah pengetahuan bagi penulis dan pembaca mengenai beban-beban dan kondisi yang terjadi pada lereng yang diperkuat oleh dinding penahan tanah, dan
3. sebagai acuan perencana untuk merencanakan solusi terbaik untuk stabilitas lereng dengan kondisi muka air tanah yang berbeda.



BAB II

TINJAUAN PUSTAKA

2.1 Tinjauan Umum

Lereng adalah suatu permukaan tanah yang miring dan membentuk sudut tertentu terhadap suatu bidang horisontal. Pada permukaan tanah yang tidak horisontal, komponen gravitasi cenderung menggerakkan tanah ke bawah. Jika komponen gravitasi sedemikian besar sehingga perlawanan terhadap geseran yang dapat dikerahkan tanah pada bidang longsornya terlampaui, maka akan terjadi kelongsoran (Hardiyatmo, 2010).

Analisis stabilitas pada permukaan tanah yang miring ini, disebut analisis stabilitas lereng. Analisis ini sering digunakan dalam perancangan-perancangan bangunan seperti: jalan kereta api, jalan raya, bandara, bendungan urugan tanah, saluran, dan lain-lainnya. Umumnya, analisis stabilitas dilakukan untuk mengecek keamanan dari lereng alam, lereng galian, dan lereng urugan tanah.

Analisis stabilitas lereng tidak mudah, karena terdapat banyak faktor yang sangat mempengaruhi hasil hitungan. Faktor-faktor tersebut misalnya, kondisi tanah yang berlapis-lapis, kuat geser tanah yang anisotropis, aliran rembesan air dalam tanah dan lain-lainnya (Terzaghi 1950).

Kelongsoran pada lereng bisa terjadi karena beberapa hal, seperti berikut ini.

1. Penambahan beban lereng.
2. Penggalian atau peotongan tanah pada kaki lereng.
3. Penggalian yang mempertajam kemiringan lereng.
4. Perubahan posisi muka air secara cepat.
5. Kenaikkan tekanan lateral oleh air.
6. Gempa bumi.
7. Penurunan tahanan geser tanah pembentuk lereng.

2.2 Dinding Penahan Tanah

Dinding penahan tanah (*retaining wall*) dan stabilitas lereng merupakan salah satu komponen yang harus diperhatikan dalam sektor pembangunan konstruksi dalam

hal apa pun apalagi dalam kawasan tersebut terdapat lereng yang curam dan dapat mengakibatkan kelongsoran dan mengakibatkan bangunan di sekitarnya akan mengalami efek yang besar dari perubahan tanah tersebut.

Bangunan dinding penahan tanah digunakan untuk menahan tanah tekanan lateral yang di timbulkan oleh tanah urug atau tanah asli yang labil. Bangunan ini banyak digunakan pada proyek-proyek irigasi, jalan raya, pelabuhan, seperti elemen-elemen bangunan bawah tanah (*basment*), pangkal jembatan (*abutment*), selain berfungsi sebagai bagian bawah dari struktur, berfungsi juga sebagai penahan tanah di sekitarnya (Hardiyatmo, 2010)

Purwanto (2009) mengatakan Struktur dinding penahan tanah harus cukup kuat/aman untuk menahan gaya yang terjadi, sehingga tidak akan rusak dan perekrayaan tercapai. Dinding penahan tanah di katakan stabil bila :

1. struktur tidak mengguling,
2. struktur tidak menggeser,
3. tegangan/kapasitas dukung tanah di bawah dinding penahan tanah tidak terlampaui, dan
4. struktur tidak pecah (tegangan bahan struktur tidak terlampaui).

Pada permukaan tanah yang tidak horizontal atau miring, komponen *graviti* cenderung untuk menggerakkan tanah kebawah. Jika komponen gravitasi sedemikian besar perlawanan terhadap geseran yang di kerahkan oleh tanah pada bidang longsor terlampaui, maka akan terjadi kelongsoroan lereng. Analisis stabilitas pada permukaan tanah yang miring ini, disebut analisis stabilitas lereng. Analisi ini sering digunakan dalam perancangan bangunan seperti: jalan raya, jalan kereta api, bandara, bendungan urugan tanah, saluran, dan lain sebagainya. Umumnya, analisis stabilitas dilakukan untuk mengecek keamanan dari lereng alam, lereng galian, dan lereng urugan tanah (Hardiyatmo, 2010).

2.3 Stabilitas Lereng

Penelitian yang dilakukan oleh Alfanto (2013) yaitu melakukan evaluasi kelongsoran ruas jalan Weleri-Sukorejo Km.55 Kab. Kendal. Tujuan dari penelitian ini adalah untuk mengetahui penyebab terjadinya longsor dan mencari solusi untuk perkuatan lereng tersebut. Penyebab kelongsoran adalah kurang kuatnya lapisan tanah

pada badan jalan dengan beban lalu lintas yang ada dan tidak kuatnya perkuatan pada lereng jalan dan drainase untuk air hujan yang menjenuhkan permukaan lereng.

Hasil analisa manual didapatkan nilai kemanan (FK) longsor lereng sebesar 0,982 untuk metode *Fellinius* dan 0,971 untuk metode *Bishop* yang menunjukkan nilai keamanan dibawah 1 adalah kriteria lereng tidak aman. Hasil analisa dengan program computer (Plaxis Versi 8.2) didapatkan nilai keamanan sebesar 1,049 yang mana masih dibawah nilai kemanan yang di syaratkan dalam program computer ($FK > 1,5$).

Kesimpulannya setelah dilakukan analisa geoteknik mengguakan *software finite element* Plaxis. Model elastis plastis dan kriteria keruntuhan Mohr-Coulomb dipilih sebagai model tanah. Didapatkan penanggulangan optimum kelongsoran adalah memasang dinding penahan tanah dikombinasikan dengan perkuatan group bored pile dengan diameter 1 meter dengan itu Faktor Keamanan lereng minimum meningkat mencapai 1,562.

Suyadi (2015) melakukan penelitian stabilitas lereng dengan perkuatan geotekstile menggunakan perangkat lunak. Tujuan dari penelitian ini adalah untuk mengetahui penyebab longsor lereng sebelum perkuatan dan kerusakan penahan tanah eksisting. Menentukan stabilitas lereng dan menrencanakan perkuatan tanah dengan geotekstil. Dari data yang diketahui, lereng memiliki ketinggian antara 8-8,5 meter dengan panjang dinding penahan 375 meter dan mengalami kelongsoran pada bagian struktur sepanjang 90meter. Dari analisa dengan perangkat lunak Slope/w pada lereng didapatkan angka keamanan hanya 0,660 sehingga terjadi longsor. Kemudian dilakukan desain ulang dengan menggunakan perkuatan Geotekstil berjumlah 5 lapis, kapasitas tarik 400 kN/m, kohesi 0 kN/m dan sudut geser terhadap tanah 38°, jarak vertical 1 meter. Dengan analisa Spope/w didapat anilai kemanan baru yaitu 1,893.

Dalam penelitian Fadly (2010) tentang indentifikasi longsor di Botu, Gorontalo, penyebab terjadinya longsor pada lereng secara mekanik dapat dipahami dengan pendekatan prinsip kestabilan lereng. Dengan prinsip ini akan diketahui gaya-gaya apa saja yang mengontrol kestabilan suatu lereng. Kestabilan pada lereng ditentukan oleh gaya-gaya yang berusaha melongsorkan (*driving forces*) tanah atau batuan dan gaya-gaya yang berusaha mempertahankan (*resisting forces*) tanah atau batuan itu tetap pada posisinya. Struktur tanah lereng Botu adalah tanah residual, hasil korosi batu dan deposisi colluvial. Itu rentan terhadap longsor. Itu juga terlepas dan mampu menjaga

air. Oleh karena itu, kekuatan geser lemah, terutama jika air jenuh. Pada kasus Botu slide, slide selalu terjadi di hujan. Secara umum, hal ini disebabkan curah hujan yang tinggi dengan durasi tertentu, sehingga menyebabkan stabilitas lereng terganggu. Penyebab lainnya adalah sistem drainase yang tidak berfungsi karena itu tertutup oleh beberapa materi dari lereng yang disampaikan oleh air.

2.4 Pengaruh Kenaikan Muka Air Tanah

Hariyadi (2016) dalam penelitiannya mengenai stabilitas lereng tanah timbunan, parameter yang di gunakan adalah sudut geser dalam unit weight, Kohesi dan berat jenis tanah . Berdasarkan hasil analisis dengan metode Fellenius tersebut diperoleh nilai faktor keamanan yang termasuk kedalam lereng stabil.

Tujuan dari penelitian ini adalah untuk mengetahui nilai kesetabilan lereng timbunan terhadap kestabilan lereng, sehingga dapat mengetahui stabil atau tidaknya suatu lereng yang ditampilkan dalam bentuk nilai faktor keamanan. Tahapan dari proses analisis kestabilan lereng ini dilakukan dengan menggunakan metode Fellenius, yang dalam proses analisisnya menggunakan software Slide dan Phase2.

Dari data yang di peroleh dari setiap lereng maka untuk nilai dari kesetabilan lereng dengan nilai FK rata-rata di atas dari 1,4 maka dapat di simpulkan bahwa nilai FK dari nilai kesetabilan lereng di katakan dalam kondisi aman atau stabil. Jarak muka air tanah terhadap bidang dasar kelongsoran dapat mempengaruhi kestabilan suatu lereng, semakin jauh jarak muka air tanah terhadap bidang dasar kelongsoran dan semakin dekat jarak muka air tanah terhadap tanah permukaan lereng, maka semakin kecil nilai faktor keamanannya. Begitu pula sebaliknya semakin dekat jarak muka air tanah terhadap bidang dasar kelongsoran dan semakin jauh jarak dari permukaan lereng, maka semakin besar nilai faktor keamanannya.

Dalam penelitian yang dilakukan oleh Handayani (2014) yang membahas tentang pengaruh muka air tanah terhadap stabilitas lereng ada beberapa faktor yang menyebabkan lereng tidak stabil, yaitu jarak muka air tanah, sudut kemiringan lereng, nilai kuat geser tanah dan jenis tanah lapisan penyusunnya yang memiliki nilai kohesi dan sudut geser dalam yang berbeda. Tujuan dari penelitian ini adalah untuk mengetahui pengaruh muka air tanah terhadap kestabilan lereng, sehingga

dapat mengetahui stabil atau tidaknya suatu lereng yang ditampilkan dalam bentuk nilai faktor keamanan.

Tahapan dari proses analisis kestabilan lereng ini dilakukan dengan menggunakan metode Fellenius, Bishop dan Janbu yang dalam process analisisnya menggunakan software *geoslope/w*. Parameter yang di gunakan yaitu sudut geser dalam (ϕ), kohesi (c), dan berat jenis tanah (γ). Berdasarkan hasil analisis dengan ketiga metode tersebut diperoleh nilai faktor keamanan yang termasuk kedalam lereng stabil yaitu lereng 1 dan lereng 4 dengan $FK = 2,523 - 3,705$. Lereng 2 tergolong lereng kritis dengan $FK 0,065 - 1,203$ dan lereng 3 tergolong labil $0,625 - 0,710$.

Jarak muka air tanah terhadap bidang dasar kelongsoran dapat mempengaruhi kestabilan lereng, semakin jauh jarak muka air tanah terhadap bidang dasar kelongsoran dan semakin dekat jarak muka air tanah terhadap tanah permukaan lereng, maka semakin kecil nilai faktor keamanannya. Begitu pula sebaliknya semakin dekat jarak muka air tanah terhadap bidang dasar kelongsoran dan semakin jauh jarak dari permukaan lereng, maka semakin besar nilai faktor keamanannya.

2.5 Perbedaan Penelitian Terdahulu dengan Sekarang

Perbandingan penelitian yang telah dilakukan oleh peneliti terdahulu dengan penelitian yang akan dilakukan oleh penyusun dapat dilihat pada Tabel 2.1 dibawah ini.

Tabel 2.1 Perbandingann Penelitian Terdahulu dengan Sekarang

Peneliti	Topik	Tujuan	Metode	Hasil
Fadly (2010)	Studi identifikasi longsor di botu	Untuk mengetahui penyebab longsor di Botu, Gorontalo	Metode yang digunakan adalah peninjauan dilapangan	Penyebab utama longsor adalah air hujan yang berinfiltrasi ke pori-pori tanah yang melunakkan tanah sehingga tanah kehilangan kapasitas dukung.

Lanjutan Tabel 2.1 Perbandingann Penelitian Terdahulu dengan Sekarang

Peneliti	Topik	Tujuan	Metode	Hasil
Alfanto (2013)	Evaluasi kelongsoran ruas jalan dengan perkuatan	Untuk mengetahui penyebab terjadinya longsor dan mencari solusi untuk perkuatan lereng tersebut.	Analisa geoteknik mengguakan <i>software finite element</i> Plaxis. Model elastis plastis dan kriteria keruntuhan Mohr-Coulomb.	Penggunaan dinding penahan tanah yang dikombinasikan dengan perkuatan grup <i>bored pile</i> , Faktor Keamanan lereng minimum menjadi meningkat dan mencapai 1,562.
Suyadi (2015)	Stabilitas lereng dengan perkuatan geotekstile menggunakan perangkat lunak	Untuk mengetahui penyebab longsor lereng sebelum perkuatan dan kerusakan penahan tanah.	Program slope/w dan dengan perkuatan geotekstile.	Menggunakan perkuatan geotekstile dari angka keamanan 0,66 menjadi 1,893.
Rekzyanti (2016)	Kestabilan lereng akibat gempa.	Mengetahui angka aman stabilitas lereng terhadap gempa.	Metode finite element atau metode elemen hingga	Perhitungan menggunakan plaxis da perhitungan secara manual (Excel) didapat nilai faktor keamanan yang sama, yaitu 1.003,
Handayani (2014)	Pengaruh muka air tanah terhadap stabilitas lereng	untuk mengetahui pengaruh muka air tanah terhadap kestabilan lereng	metode Fellenius, Bishop dan Janbu	nilai faktor keamanan lereng stabil yaitu lereng 1 dan lereng 4 dengan $FK = 2,523 - 3,705$. Lereng 2 kritis dengan $FK 0,065 - 1,203$ dan lereng 3 labil 0, 625-0,710.
Hariyadi (2016)	Stabilitas lereng tanah timbunan	Untuk mengetahui nilai kesetabilan lereng timbunan terhadap kestabilan lereng	Metode <i>Fellenius</i>	Nilai kesetabilan lereng rata-rata di atas 1,4 maka dinyatakan dalam kondisi aman atau stabil
Penulis (2017)	Pengaruh kondisi muka air tanah terhadap stabilitas lereng	Untuk mengetahui nilai faktor aman (SF) dalam kondisi muka air tanah ekstrim.	Metode elemen hingga	Nilai Safety factor lereng asli pada muka air tanah normal dan ekstrim diperoleh 1,081 dan 1,043. Untuk lereng dengan dinding penahan tanah sebesar 2,75 dan 1,85.

BAB III

LANDASAN TEORI

3.1 Tanah

Tanah merupakan mineral, bahan organik, dan endapan – endapan yang relatif lepas (*loose*), yang terletak di atas batuan dasar (*bedrock*). Ikatan antara butiran yang relatif lemah dapat disebabkan oleh karbonat, zat organik, atau oksida-oksida yang mengendap di antara partikel-partikel. Ruang di antara partikel-partikel dapat berisi air, udara ataupun keduanya. Proses pelapukan batuan atau proses geologi lainnya yang terjadi di dekat permukaan bumi membentuk tanah. Pembentukan tanah dari batuan induknya dapat berupa proses fisik maupun kimia. Proses pembentukan tanah secara fisik yang mengubah batuan menjadi partikel-partikel yang lebih kecil, terjadi akibat pengaruh erosi, angin, air, es, manusia, atau hancurnya partikel tanah akibat perubahan suhu atau cuaca. Partikel-partikel mungkin berbentuk bulat, bergerigi maupun bentuk-bentuk diantaranya. Umumnya, pelapukan akibat proses kimia dapat terjadi oleh pengaruh oksigen, karbondioksida, air (terutama yang mengandung asam atau alkali) dan proses-proses kimia yang lain. Jika hasil pelapukan masih berada di tempat misalnya, maka tanah ini disebut tanah residual (*residual soil*) dan apabila tanah berpindah tempatnya, disebut tanah terangkut (*transported soil*) (Hardiyatmo, 2006).

3.1.1 Tanah Lempung

Lempung adalah tanah berbutir halus yang memiliki sifat kohesif plastisitas. Lempung mempunyai ukuran diameter lebih kecil dari 0,075 mm atau lolos saringan no.200. sifat yang perlu diperhatikan pada jenis tanah lempung adalah Plastisitas. Plastisitas adalah sifat yang memungkinkan bentuk bentuk bahan itu dirubah-rubah tanpa perubahan isi atau kembali pada bentuk aslinya dan tanpa menunjukkan retakan/rusakan (Purwanto, 2012).

Lempung bersifat demikian kedap air sehingga hampir sepenuhnya terjebak dalam pori-porinya. Ketika suatu inkremen beban diterapkan, air pori tidak dapat keluar seketika. Karena partikel lempung cenderung mampat bersama, tekanan

akan timbul dalam air pori sebagaimana terjadi pada minyak pengisi dongkrak hidraulik ketika suatu beban diletakkan di atas blok-torak. Tekanan ini cenderung menyebabkan cairan mengalir keluar. Aliran terjadi cepat pada awalnya, tetapi selama aliran berlangsung tekanannya berkurang sehingga laju aliran juga berkurang (Peck dkk, 1996).

3.1.2 Parameter Tanah

Parameter tanah yang dimaksudkan di sini meliputi *modulus young*, *poisson ration*, sudut geser dalam, dan kohesi.

1. Modulus Young

Nilai modulus young menunjukkan besarnya nilai elastisitas tanah yang merupakan perbandingan antara tegangan yang terjadi terhadap regangan. Nilai ini bisa didapatkan dari triaxial test. Umumnya modulus elastisitas (E) ditentukan dari uji triaksial kondisi *undrained*, dan nilai E ditentukan dari pendekatan kemiringan kurva tegangan-regangan yang diambil pada setengah dari beban ultimit aksial. Angka *poisson* (ν) dapat dihitung dari pengukuran regangan kompresi aksial dan regangan lateral selama uji triaksial. Nilai Modulus elastisitas (E_s) secara empiris dapat ditentukan dari jenis tanah dan data sondir seperti terlihat pada Tabel 3.1 dan 3.2.

Untuk tanah granuler seperti pasir, modulus elastisitas dapat ditentukan dari uji triaksial. Nilai modulus elastisitas (E) telah diketahui proposional dengan $(\sigma_0)^n$, dengan σ_0 adalah tekanan keang hidrostatik dan nilai n mendekati 0,5. Nilai-nilai modulus elastisitas (E) dan angka *poisson* (ν) perkiraan untuk berbagai macam tanah.

Dengan menggunakan data sondir, booring dan grafik triaksial dapat digunakan untuk mencari besarnya nilai elastisitas tanah. Nilai yang dibutuhkan adalah nilai qc atau cone resistance. Yaitu dengan menggunakan rumus seperti dalam Persamaan 3.1 sampai dengan Persamaan 3.3.

$$E = 2 q_c \text{ kg/cm}^2 \quad (3.1)$$

$$E = 3 q_c \text{ kg/cm}^2 \text{ (untuk pasir)} \quad (3.2)$$

$$E = 2 q_c - 8 q_c \text{ kg/cm}^2 \text{ (untuk lempung)} \quad (3.3)$$

Nilai yang dibutuhkan adalah nilai N. Modulus elastisitas didekati dengan menggunakan rumus seperti dalam Persamaan 3.4 dan Persamaan 3.5:

$$E = 6 (N+5) \text{ k/ft}^2 \text{ (untuk pasir berlempung)} \quad (3.4)$$

$$E = 10 (N+15) \text{ k/ft}^2 \text{ (untuk pasir)} \quad (3.5)$$

Hubungan antara modulus elastisitas tanah dengan q_c dari berbagai macam jenis tanah dapat dilihat pada Tabel 3.1.

Tabel 3.1 Hubungan Antara Es dengan q_c

Jenis Tanah	CPT (kg/cm^2)
Pasir terkonsolidasi normal	$E_s = (2 - 4) q_c$
Pasir over consolidation	$E_s = (6 - 30) q_c$
Pasir berlempung	$E_s = (3 - 6) q_c$
Pasir berlanau	$E_s = (1 - 2) q_c$
Lempung lunak	$E_s = (3 - 8) q_c$

Sumber: Hardiyatmo (2010)

Nilai modulus *young* menunjukkan besarnya nilai elastisitas tanah yang merupakan perbandingan utama antara tegangan yang terjadi terhadap regangan. Nilai ini bisa didapatkan dari *triaxial test*. Nilai modulus elastisitas (E_s) secara empiris dapat ditentukan dari jenis tanah dan data sondir seperti terlihat pada Tabel 3.2 berikut ini.

Tabel 3.2 Nilai Perkiraan Modulus Elastisitas Tanah

Macam Tanah	E (kN/m^2)
Lempung:	
Sangat lunak	300 – 3000
Lunak	2000 – 4000
Sedang	4500 – 9000
Keras	7000 – 20000
Berpasir	30000 – 42500
Pasir:	
Berlanau	5000 – 20000
Tidak padat	10000 – 25000
Padat	50000 – 100000
Lanau	2000 – 20000
Loess	15000 – 60000
Cadas	140000–1400000

Sumber: Hardiyatmo (2010)

2. Poisson Ratio

Nilai poisson ratio ditentukan sebagai rasio kompresi poros terhadap regangan permukaan lateral. Nilai poisson ratio dapat ditentukan berdasarkan jenis tanah seperti yang terlihat pada Tabel 3.3

Tabel 3.3 Hubungan Antara Jenis Tanah dan Poisson Ratio

Macam Tanah	ν
Lempung jenuh	0,40 – 0,50
Lempung tak jenuh	0,10 – 0,50
Lempung berpasir	0,20 – 0,30
Lanau	0,30 – 0,35
Pasir padat	0,20 – 0,40
Pasir kasar ($e = 0,4 - 0,7$)	0,15
Pasir halus ($e = 0,4 - 0,7$)	0,25
Batu	0,10 – 0,40
<i>Loess</i>	0,10 – 0,30

Sumber : Hardiyatmo (2010)

3. Kohesi

Kohesi merupakan gaya tarik antar partikel tanah. Bersama dengan sudut geser dalam, kohesi merupakan parameter kuat geser tanah yang menentukan ketahanan tanah terhadap deformasi akibat tegangan yang bekerja pada tanah dalam hal dalam hal ini berupa gerakan lateral tanah. Nilai ini didapat dari pengujian *Triaxial Test* dan *Direct Shear Test*.

4. Kuat Geser Tanah

Kuat geser tanah diperlukan untuk menghitung daya dukung tanah (*bearing capacity*), tegangan tanah terhadap dinding penahan (*earth pressure*) dan kestabilan lereng. Kekuatan geser tanah dalam Tugas Akhir ini menggunakan 2 (dua) analisis yaitu *Direct Shear Test* dan *Triaxial Test*.

Kekuatan geser tanah terdiri dari dua parameter yaitu:

- a. bagian yang bersifat kohesi C yang tergantung dari jenisnya, dan
- b. bagian yang mempunyai sifat gesekan/frictional (σ) yang bekerja pada bidang geser.

Parameter kuat geser tanah yaitu sudut gesek dalam (ϕ) dan kohesi tanah (c) dapat diperoleh dengan uji geser langsung. Menurut Coulomb (1776) dalam Hardiyatmo (2010), kuat geser tanah didefinisikan seperti pada Persamaan 3.6.

$$\tau = c + \sigma \operatorname{tg} \phi \quad (3.6)$$

Keterangan:

τ = kuat geser tanah (kN/m^2),

σ = Tegangan total pada bidang geser (kN/m^2),

c = Kohesi tanah (kN/m^2), dan

ϕ = Sudut geser dalam tanah (derajat)

Kekuatan geser dalam memiliki variabel kohesi dan sudut geser dalam. Sudut geser dalam bersamaan dengan kohesi menentukan ketahanan tanah akibat tegangan yang bekerja berupa tekanan lateral tanah. Nilai ini juga didapat dari pengukuran *engineering properties* tanah berupa Triaxial Test dan Direct Sher Test. Untuk lebih jelasnya ditunjukkan pada Tabel 3.4.

Tabel 3.4 Hubungan Antara Sudut Geser Dalam dengan Jenis Tanah

Jenis Tanah	Sudut Geser Dalam
Kerikil kepasiran	35 – 40
Kerikil kerakal	35 – 40
Pasir padat	35 – 40
Pasir lepas	30
Lempung	25 – 30
Lempung	20 – 25

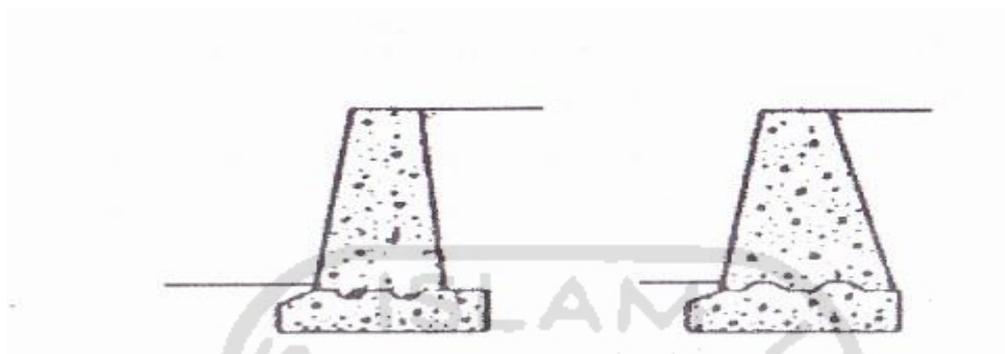
Sumber : Das (1994)

3.2 Dinding Gravitasi

Bangunan dinding penahan tanah digunakan untuk menahan tekanan lateral yang ditimbulkan oleh tanah urug atau tanah asli yang labil. Bangunan ini banyak digunakan pada proyek-proyek: irigasi, jalan raya, pelabuhan, dan lain-lainnya. Elemen- elemen fondasi seperti bangunan di bawah tanah (*basement*), pangkal jembatan (*abutment*), selain berfungsi sebagai bagian bawah dari struktur, berfungsi juga sebagai penahan tanah di sekitarnya.

Dinding gravitasi adalah dinding penahan tanah yang dibuat dari beton bertulang atau pasangan batu. Sedikit tulangan beton kadang-kadang diberikan pada permukaan

dinding untuk mencegah retakan permukaan akibat perubahan temperatur, seperti pada gambar 3.1



Gambar 3.3 Contoh Gravity Wall.
(Sumber : Hardiyatmo, 2011)

3.2.1. Tekanan Tanah Lateral

Analisis tekanan tanah lateral digunakan untuk perancangan dinding penahan tanah dan struktur penahan yang lain, seperti pangkal jembatan, turap, terowongan, saluran beton di bawah tanah. Tekanan tanah lateral adalah gaya yang di timbulkan oleh akibat dorongan tanah di belakang struktur penahanan tanah. Besarnya tekanan lateral sangat dipengaruhi oleh perubahan letak (*displacement*) dari dinding penahan sifat-sifat tanahnya (Hardiyatmo, 2010).

Menurut Rankine (1897) dalam Hardiyatmo (2010) koefisien tekan, (*coefficient of active earth pressure*) atau K_a . Bila dinyatakan dalam persamaan umum yaitu seperti dalam Persamaan 3.8 dan Persamaan 3.9.

$$K_a = \frac{\sigma_3}{\sigma_1} = \frac{\sigma_h}{\sigma_v} \quad (3.8)$$

Keterangan: $\sigma_v = z \gamma$.

Maka $\sigma_3 = K_a z \gamma$.

$$K_a = \frac{\sigma_3}{z \gamma} = \text{tg}^2 (45^\circ - \varphi/2) \quad (3.9)$$

koefisien tekanan tanah pasif (*coefficient of passive earth pressure*) atau K_p . Pada kondisi ini diperoleh persamaan seperti dalam Persamaan 3.10.

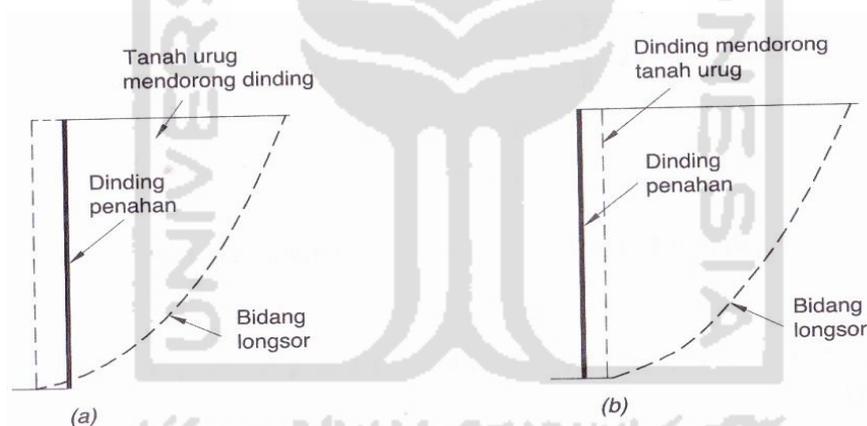
$$\sigma_p = z \gamma t g^2 (45^\circ + \varphi/2) \quad \text{atau}$$

$$K_p = \frac{\sigma_p}{\sigma_1} = t g^2 (45^\circ + \varphi/2) \quad (3.10)$$

Dari Persamaan (3.9) dan (3.10), dapat dinyatakan bahwa persamaan tersebut seperti dalam Persamaan 3.11.

$$K_p = \frac{1}{K_a} \quad (3.11)$$

Persamaan (3.11) ini hanya berlaku untuk kondisi permukaan tanah horisontal. Nilai K_a dan K_p hanya dapat diaplikasikan dalam hitungan bila tanah sudut dalam kondisi runtuh. Gambar Tekanan tanah lateral saat tanah runtuh seperti tampak pada Gambar 3.2.



Gambar 3.2 Tekanan Tanah Lateral saat Tanah Runtuh

a) Tekanan tanah aktif

b) Tekanan tanah pasif

(Sumber : Hardiyatmo, 2010)

3.2.2 Teori Tekanan Tanah Menurut Mononobe-Okabe

Metode yang dikembangkan berdasarkan metode *limit state analyses* adalah metode Mononobe-Okabe (Mononobe dan Matsuo, 1929), (Okabe, 1924). Studi pengaruh gempa terhadap tegangan lateral pada struktur penahan tanah pertama-tama dilakukan di Jepang oleh Okabe (1924) dan Mononobe-Matsuo (1929). Pada metode ini diasumsikan dimana sebuah bidang segitiga tanah (*soil wedge*) dibatasi dengan

sebuah dinding penahan yang kaku. Adapun beberapa hal yang harus diperhatikan pada metode ini, antara lain :

- 1) Metode Mononobe-Okabe mengacu pada teori tegangan lateral tanah yang dikembangkan oleh Coulomb (1776)
- 2) Merupakan metode pseudo-static
- 3) Berlaku untuk struktur penahan tanah yang dapat mengalami pergerakan yang cukup besar hingga batas keruntuhan (*yielding wall*)

Gaya-gaya yang diperhitungkan dalam solusi *Mononobe-Okabe* ditunjukkan pada Gambar 3.8. Garis AB adalah bagian belakang *retaining wall* dan ABC adalah bagian tanah yang akan mengalami keruntuhan. Gaya pada bagian yang runtuh per satu satuan panjang dinding adalah :

1. berat sendiri bagian yang runtuh (W),
2. gaya aktif (P_{AE}),
3. resultan gaya geser dan normal sepanjang bidang runtuh F ,
4. $k_h W$ dan $k_v W$, momen inersia dalam arah horizontal dan vertikal seperti yang terdapat pada persamaan 3.12 dan 3.13 berikut.

$$K_h = \frac{\text{percepatan gempa dari komponen horizontal}}{g} \quad (3.12)$$

$$K_v = \frac{\text{percepatan gempa dari komponen vertikal}}{g} \quad (3.13)$$

dimana g adalah percepatan gravitasi.

Gaya aktif ditentukan dari analisis lapisan yang digambarkan dalam persamaan 3.14 berikut:

$$P_{AE} = \frac{1}{2} \gamma H^2 (1 - K_v) K_{AE} \quad (3.14)$$

dimana K_{AE} adalah koefisien tekanan tanah aktif dengan pengaruh gempa dimana nilainya dapat dicari dengan persamaan 3.15 berikut.

$$K_{AE} = \frac{\cos^2(\phi - \theta - \beta)}{\cos \theta \cos^2 \beta \cos(\delta + \beta + \theta) \left[1 + \sqrt{\frac{\sin(\delta + \phi) \sin(\theta - \theta + i)}{\cos(\delta + \beta + \theta) \cos(i - \beta)}} \right]^2} \quad (3.15)$$

$$\theta = \tan^{-1} \left[\frac{k_h}{(1 - k_h)} \right]$$

Gaya pasif ditentukan dari analisis lapisan yang digambarkan dalam persamaan 3.16 berikut:

$$P_{pE} = \frac{1}{2} \gamma H^2 (1 - K_v) K_{AE} \quad (3.16)$$

dimana K_{AE} adalah koefisien tekanan tanah aktif dengan pengaruh gempa dimana nilainya dapat dicari dengan persamaan 3.17 berikut.

$$K_{AE} = \frac{\sin^2(\beta + \theta - \phi)}{\cos \theta \sin^2 \beta \sin(\delta + \beta + \theta - 90) \left[1 - \sqrt{\frac{\sin(\delta + \phi) \sin(\phi - \theta + \alpha)}{\cos(\delta + \beta + \phi) \cos(\alpha - \beta)}} \right]^2} \quad (3.17)$$

$$\theta = \tan^{-1} \left[\frac{k_h}{(1 - k_h)} \right]$$

3.3 Stabilitas Lereng

Pada permukaan tanah yang tidak horizontal atau miring, komponen gravitasi cenderung menggerakkan tanah kebawah. Jika komponen gravitasi sedemikian besar sehingga perlawanan terhadap geseran yang dapat dikerahkan oleh tanah pada bidang longsornya terlampaui, maka akan terjadi kelongsoran lereng. Analisis stabilitas pada permukaan tanah yang miring ini, disebut analisis stabilitas lereng. Analisis ini sering digunakan dalam perancangan bangunan seperti: jalan kereta api, jalan raya, bandara, bendungan urugan tanah, saluran, dan lain-lainnya. Umumnya, analisis stabilitas dilakukan untuk mengecek keamanan dari lereng alam, lereng galian, dan lereng urugan tanah (Hardiyatmo, 2010).

3.3.1 Penyebab Kelongsoran Lereng

Menurut Hardiyatmo (2010) membagi penyebab longsor lereng terdiri dari akibat pengaruh dalam (*internal effect*) dan pengaruh luar (*external effect*). Pengaruh luar, yaitu pengaruh yang menyebabkan bertambahnya gaya geser dengan tanpa adanya perubahan kuat geser tanah.

Kelongsoran lereng alam dapat terjadi dari hal-hal sebagai berikut:

1. penambahan beban pada lereng. Tambahan beban lereng dapat berupa bangunan baru, tambahan beban oleh air yang masuk ke pori-pori tanah maupun yang menggenang di permukaan tanah dan beban dinamis oleh tumbuh-tumbuhan yang tertiu angin dan lain-lain,
2. penggalian atau pemotongan tanah pada kaki lereng,

3. penggalian yang mempertajam kemiringan lereng,
4. perubahan posisi muka air secara cepat (*rapid drawdown*) (pada bendungan, sungai dan lain-lain),
5. kenaikan tekanan lateral oleh air (air yang mengisi retakan akan mendorong tanah ke arah lateral),
6. gempa bumi atau getaran berlebihan, dan
7. penurunan tahanan geser tanah pembentuk lereng oleh akibat kenaikan kadar air, kenaikan tekanan air pori, tekanan rembesan oleh genangan air di dalam tanah pada lereng mengandung lempung yang mudah kembang susut dan lain-lain.

3.3.2 Teori Analisis Stabilitas Lereng

Analisis stabilitas lereng umumnya didasarkan pada konsep keseimbangan plastis batas (*limit plastic equilibrium*). Maksud dari analisis stabilitas adalah untuk menentukan faktor aman dari bidang longsor yang potensial. Dalam analisis stabilitas lereng, beberapa anggapan dibuat yaitu (Hardiyatmo, 2006):

1. kelongsoran lereng terjadi di sepanjang permukaan bidang longsor tertentu dan dapat dianggap sebagai masalah bidang 2 dimensi,
2. massa tanah yang longsor dianggap sebagai benda pasif,
3. tahanan geser dari massa tanah, di sembarang titik sepanjang bidang longsor tidak tergantung dari orientasi permukaan longsor, atau dengan kata lain, kuat geser tanah dianggap isotropis, dan
4. faktor aman didefinisikan dengan memperhatikan tegangan geser rata-rata sepanjang bidang longsor potensial, dan kuat geser tanah rata-rata sepanjang permukaan longsor. Jadi, kuat geser tanah mungkin terlampaui di titik-titik tertentu pada bidang longsornya padahal faktor aman hasil hitungan lebih besar.

Faktor aman didefinisikan sebagai nilai banding antara gaya yang menahan dan gaya yang menggerakkan seperti pada Persamaan 3.18.

$$SF = \frac{\tau}{\tau_d} \quad (3.18)$$

Keterangan:

τ = tahanan geser maksimum yang dapat dikerahkan oleh tanah (kN/m^2)

τ_d = tegangan geser yang terjadi akibat gaya berat tanah yang akan longsor (kN/m^2)

SF = faktor aman.

Menurut teori Mohr-Coulumb, tahanan geser maksimum kuat geser tanah (τ) yang dapat dimobilisasi oleh tanah, di sepanjang bidang longsornya, dinyatakan seperti pada Persamaan 3.19.

$$\tau = c + \sigma \operatorname{tg} \varphi \quad (3.19)$$

Keterangan:

τ = tahanan geser (kN/m^2)

c = kohesi (kN/m^2)

σ = tegangan normal pada bidang runtuh (kN/m^2)

φ = sudut gesek dalam tanah (derajat)

Nilai- nilai c dan φ adalah parameter kuat geser tanah sepanjang bidang lonsor.

Dengan cara yang sama, dapat dituliskan persamaan tegangan geser yang terjadi (τ_d) akibat beban tanah dan beban-beban lain pada lonsor seperti pada Persamaan 3.20.

$$\tau_d = c_d + \sigma \operatorname{tg} \varphi_d \quad (3.20)$$

Dengan c_d dan φ_d adalah kohesi dan sudut gesek dalam yang terjadi atau yang dibutuhkan untuk keseimbangan pada bidang longsornya.

Dari substitusi persamaan (3.19) dan (3.20) ke persamaan (3.18) diperoleh persamaan faktor aman seperti pada Persamaan 3.21.

$$SF = \frac{c + \sigma \operatorname{tg} \varphi}{c_d + \sigma \operatorname{tg} \varphi_d} \quad (3.21)$$

Persamaan (3.55) dapat pula di tuliskan dalam bentuk seperti pada Persamaan 3.22.

$$c_d + \sigma \operatorname{tg} \varphi_d = \frac{c}{F} + \sigma \frac{\operatorname{tg} \varphi}{F} \quad (3.22)$$

Untuk maksud memberikan faktor aman terhadap masing-masing komponen kuat geser, maka faktor aman dinyatakan seperti pada Persamaan 3.23 dan 3.24.

$$SF_c = \frac{c}{c_d} \quad (3.23)$$

$$SF_{\varphi} = \frac{\text{tg } \varphi}{\text{tg } \varphi_d} \quad (3.24)$$

Keterangan:

SF_c = faktor aman pada komponen kohesi

SF_{φ} = faktor aman pada komponen gesekan

Pada umumnya, metode kesimbangan batas menganggap $SF_c = SF_{\varphi}$. Hal ini menunjukkan bahwa komponen kohesi c dan gesekan (φ) termobilisasi pada proporsi yang sama secara bersamaan di sepanjang bidang longsor. Umumnya, faktor aman stabilitas lereng atau faktor aman terhadap kuat geser tanah diambil lebih besar atau sama dengan 1,2 - 1,5.

Nilai faktor aman terhadap bidang longsor dibedakan berdasarkan Tabel 3.5

Tabel 3.5 Nilai Faktor Aman Terhadap Bidang Longsor

Faktor aman	Kejadian
$FK \leq 1,07$	Longsor sering terjadi
$1,07 < FK < 1,25$	Longsor dapat terjadi
$FK \geq 1,25$	Longsor jarang terjadi

Sumber: Bowles (1986)

3.4 Metode Elemen Hingga *Plaxis* 8.2

Pada saat ini perkembangan teknologi memunculkan berbagai struktur yang rumit sehingga pada analisa yang sedemikian kompleks, metode eksak akan sulit digunakan. Sebagai solusi yang lebih baik, maka orang sudah mulai mengembangkan berbagai metode.

Metode numerik yang merupakan suatu metode pendekatan terhadap solusi eksak seteliti mungkin. Metode numerik adalah suatu rekayasa matematika yang mentransformasikan ekspresimekanika kontinyu (bentuk kalkulus dan persamaan diferensial) menjadi mekanika diskrit (bentuk matrik) Salah satu metode numerik yang telah dikembangkan dalam analisa numerik adalah Metode Elemen Hingga (Dyatama, 2008).

Program *Plaxis* merupakan salah satu program elemen hingga yang digunakan untuk aplikasi permasalahan geoteknik, adapun model-model material dalam melakukan tahapan simulasi terhadap perilaku dari tanah, diantaranya sebagai berikut:

1. model Linier Elastic,
2. model Mohr Coulomb,
3. model Jointed Rock,
4. model Hardening soil,
5. model Soft Soil, dan
6. model Soft Soil Creep.

Dari beberapa model tersebut dalam penyelesaian Tugas Akhir saya model yang saya gunakan adalah Model Linier Elastic dan Model Mohr Coulomb. Model Linier Elastic ini meliputi dua buah parameter kekakuan, yaitu modulus Young (E), dan angka Poisson (ν), model ini terutama digunakan pada struktur yang kaku dalam tanah. Model Mohr Coulomb adalah model elastis-plastis yang terdiri dari lima buah parameter yaitu, E dan ν untuk memodelkan elastis tanah, Φ dan c untuk memodelkan plastisitas tanah dan Ψ sebagai sudut dilatasi. Model Mohr Coulomb ini disarankan untuk digunakan dalam analisis pendekatan awal terhadap perilaku tanah secara umum.

Jenis perilaku material dalam program Plaxis ini bertujuan untuk menyatakan respon tanah dalam kondisi tegangan efektif, yaitu hubungan antara tegangan dan regangan yang terjadi pada butir-butir tanah. Hal penting dalam tanah adalah keberadaan air pori. Plaxis menyediakan tiga buah jenis perilaku untuk setiap model tanah sebagai berikut:

1. perilaku terdrainase,
2. perilaku tak terdrainase, dan
3. perilaku tidak porous.

Dalam Tugas Akhir saya jenis perilaku yang digunakan adalah perilaku terdrainase dan perilaku tidak porous. Dengan perilaku terdrainase ini maka tekanan air pori berlebih tidak akan dibentuk sama sekali, perilaku ini jelas untuk diterapkan pada kasus-kasus tanah kering. Pilihan ini juga dapat digunakan untuk permodelan perilaku jangka panjang, dengan perilaku tidak porous maka baik tekanan air pori awal maupun tekanan air pori berlebih tidak diperhitungkan sama sekali. Aplikasi dari permodelan ini adalah material beton atau perilaku obyek struktural. Untuk Perilaku terdrainase dikombinasikan dengan penggunaan Model Mohr Coulomb, dan perilaku tidak porous dikombinasikan dengan penggunaan Model Linier Elastic.

Dengan metode elemen hingga telah banyak di gunakan dalam permasalahan geoteknik disebabkan karena kemampuannya dapat membantu menyelesaikan beberapa hal berikut :

1. keheterogenitasan struktur tanah,
2. kenon–linieran dan tingkah laku tanah,
3. interaksi tanah–struktur, dan
4. metode konstruksi.

Dalam penyusunan Tugas Akhir ini analisis stabilitas lereng menggunakan program komputer Plaxis 8.2. Salah satu program elemen hingga yang telah dikembangkan secara spesifik untuk analisis deformasi dan penurunan bidang geoteknik. Setiap elemen didefinisikan secara analitik sebagai fungsi peralihan dari variabel peralihan nodal geometri dimana merupakan milik elemen tersebut. Prinsip pada peralihan ini digunakan untuk menurunkan persamaan keseimbangan pada elemen dan peralihan nodal.

Analisa keseimbangan dalam sistim diskrit secara umum dapat ditulis dalam bentuk matriks : $\{F\} = [K] \{U\}$ (3.25)

Pada matrik dimana K adalah matrik kekakuan, U adalah variabel yang tidak diketahui yaitu peralihan nodal, dan F adalah variabel yang diketahui yaitu vektor pembebanan nodal. K sebagai matriks yang mengkarakterisasikan sistem pada permodelan masalah geoteknik dapat berupa parameter Modulus Young (E), kohesi (c), sudut geser (ϕ), angka poisson (ν), sedangkan parameter-parameter lainnya disesuaikan dengan model yang dilakukan.

3.5 Metode Analisis Beban Seismik *Pseudostatik*

Stabilitas pada struktur tanah yang dianalisa dengan pendekatan *pseudostatik* dimana pengaruh gempa digambarkan dengan percepatan horizontal dan atau vertikal. Analisa *pseudostatik* menunjukkan pengaruh getaran gempa dengan percepatan pseudostatik yang menghasilkan gaya inersia, F_h dan F_v yang bekerja pada pusat masa keruntuhan. Magnitude gaya pseudostatik adalah seperti pada persamaan 3.26, 3.27, dan 3.28.

$$F_h = \frac{ah.W}{g} = khW \quad (3.26)$$

$$F_h = \frac{ah.W}{g} = kvW \quad (3.27)$$

$$FK = \frac{\text{Resisting Force}}{\text{Driving Force}} \quad (3.28)$$

Hasil analisis ini sangat tergantung pada besar koefisien gempa K_h dan K_v . Penentuan koefisien ini sangat sulit dan sangat penting dalam analisis ini. Analisis *pseudostatik* memiliki kelemahan yang cukup mengganggu yaitu akibat banyaknya penyederhanaan yang dilakukan maka keakuratan hasil analisis kurang baik. Lereng dapat tidak stabil walaupun angka *safety factor* lebih dari 1.



BAB IV

METODE PENELITIAN

4.1 Tinjauan Umum

Metode Penelitian merupakan bagian penting guna memperoleh hasil dari upaya penelitian secara keseluruhan. Kualitas penelitian yang dihasilkan tergantung pada metode penelitian yang dipilih dan bagaimana cara mengidentifikasi, menganalisis yang akan dilakukan untuk mendapatkan permasalahan yang diambil terhadap penelitian yang dilakukan.

Analisis yang dilakukan merupakan analisis stabilitas lereng menggunakan program Plaxis 8.2. pada penelitian ini lereng dimodelkan dengan dua kondisi yaitu kondisi muka air minimum dan maksimum dengan data masukan pembebanan yang sama yaitu beban kendaraan dan beban gempa.

4.2 Objek dan Subjek Penelitian

Objek dalam penelitian ini adalah mengetahui stabilitas lereng yang dimodelkan dengan menggunakan program plaxis 8.2 dengan dua kondisi muka air yang berbeda dengan pembebanan yang sama yaitu beban kendaraan, beban gempa, dari permodelan plaxis 8.2. Sedangkan subjek dalam penelitian ini adalah lereng tanah Km. 77 di jalan Banjarnegara-Karangkobar.

4.3 Data Penelitian

Data penelitian yang akan dianalisis pada Tugas Akhir ini adalah data sekunder, yang meliputi:

1. data penyelidikan tanah N-SPT,
2. peta lokasi,
3. gambar penampang melintang jalan yang mengalami longsor, dan
4. data beban gempa.

4.4 Lokasi Penelitian

Penelitian dilakukan pada kasus jalan Banjarnegara-Karangkobar. Untuk peta lokasi dapat dilihat pada Gambar1.1.

4.5 Metode Analisis Data

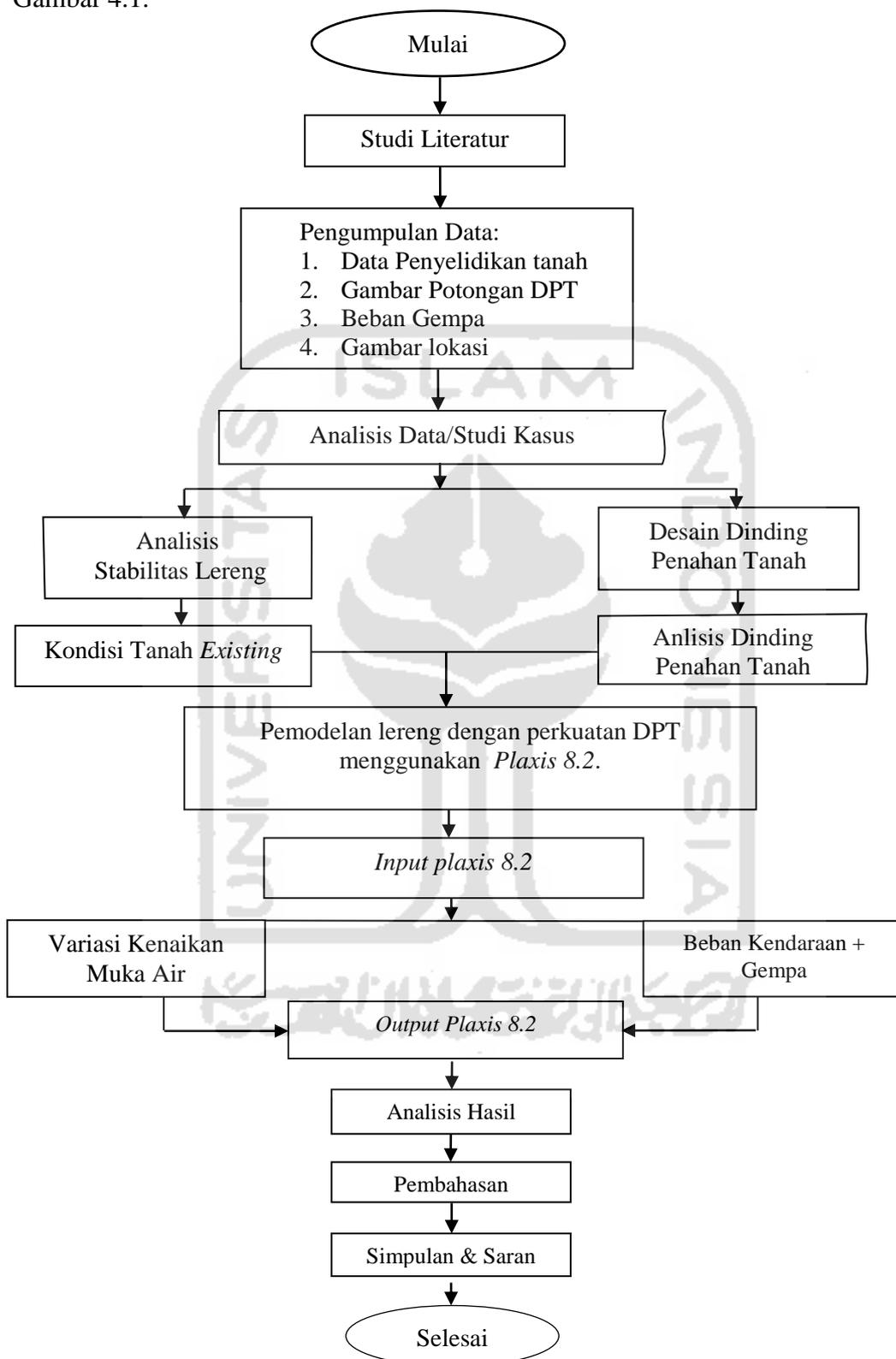
Analisis stabilitas lereng pada Tugas Akhir ini menggunakan aplikasi program Plaxis versi 8.2. Analisis pada lereng dimodelkan pada dua kondisi muka air yaitu kondisi muka air berada pada kedalaman 5 m dan 1 m di bawah permukaan tanah, kemudian pada dua kondisi tersebut lereng dimodelkan mendapat beban kendaraan dan beban gempa. Pada dua kondisi tersebut dapat dibandingkan seberapa berpengaruhnya kondisi tersebut terhadap stabilitas lereng.

4.6 Langkah – langkah Penelitian

Langkah-langkah dalam penelitian ini diuraikan pada uraian di bawah ini :

1. mencari dan mempelajari literatur yang berhubungan dengan topik penelitian,
2. mengumpulkan data dan referensi yang diperlukan untuk mendukung penelitian,
3. merumuskan permasalahan stabilitas yang terjadi pada lereng,
4. menentukan parameter yang akan digunakan pada program plaxis 8.2,
5. memodelkan lereng dengan program plaxis 8.2,
6. merancang Dinding Penahan Tanah
7. memodelkan Dinding Penahan Tanah dengan Plaxis 8.2,
8. memodelkan lereng dengan perkuatan Dinding Penahan Tanah dalam berbagai kondisi muka air tanah,
9. dua kondisi muka air tersebut kemudian di modelkan lagi dengan memasukan beban kendaraan dan beban gempa,
10. permodelan lereng dengan menggunakan program plaxis 8.2 didapatkan hasil keluaran berupa tegangan-tegangan,
11. hasil analisis program *plaxis* 8.2, dan
12. simpulan dan saran.

Untuk lebih jelasnya, langkah-langkah pada penelitian ini dapat dilihat pada Gambar 4.1.



Gambar 4.1 Bagan Alir Penelitian

4.7 Kombinasi Beban

4.7.1 Beban Kendaraan

Jalan Banjarnegara-Karangkoar Km 77 adalah jalan provinsi yang merupakan jalan kolektor dalam sistem jaringan jalan primer yang menghubungkan ibukota provinsi dengan ibukota kabupaten/kota, atau antar ibukota kabupaten/kota, dan jalan strategis provinsi. Maka beban hidup diperoleh dari beban kendaraan, seperti disajikan pada Tabel 4.1 sebagai berikut ini.

Tabel 4.1 Data Beban Lalu Lintas untuk Stabilitas

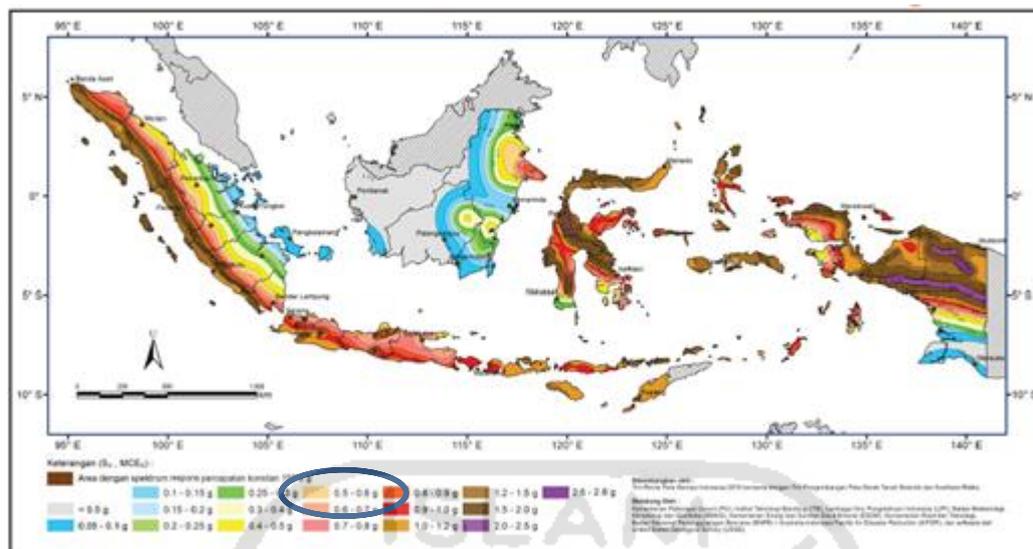
Sistem Jaringan	Fungsi Jalan	Lalu-lintas harian rata-rata (LHR)	Beban lalu lintas (kN/m ²)
Primer	Arteri	Semua	15
	Kolektor	> 10.000	15
		< 10.000	12
Sekunder	Arteri	> 20.000	15
		< 20.000	12
	Kolektor	> 6.000	12
		< 6.000	10
	Lokal	> 500	10
		< 500	10

*data beban hidup yang digunakan untuk analisis perkuatan lereng pada jalan Propinsi Banjarnegara-Karangkoar km 77 adalah sebesar 15 kN/m².

(Sumber : Panduan Geoteknik 4 No. Pt T-10-2002-B (2002))

4.7.2 Beban Gempa

Beban gempa yang digunakan mengacu pada peta zonasi gempa (SNI 1726-2012) yang dikeluarkan oleh Badan Standardisasi Nasional Republik Indonesia. Dari peta pada Gambar 5.5, wilayah Banjarnegara memasuki zona yang memiliki percepatan puncak gempa sebesar 0,5-0,6 g. Dalam analisis stabilitas lereng, digunakan metode *Pseudostatik*. Menurut Melo dan Sharma (2004), beban gempa yang didapatkan tersebut dikalikan dengan 1/2 sampai 1/3 dari PGA. Dalam pemodelan digunakan beban 1/2 dari 0,6 g yaitu sebesar 0,3 g.



Gambar 4.2 Peta Zonasi Gempa Indonesia Tahun 2012

(Sumber : Kementerian Pekerjaan Umum, 2012)

4.8 Pengoperasian Plaxis

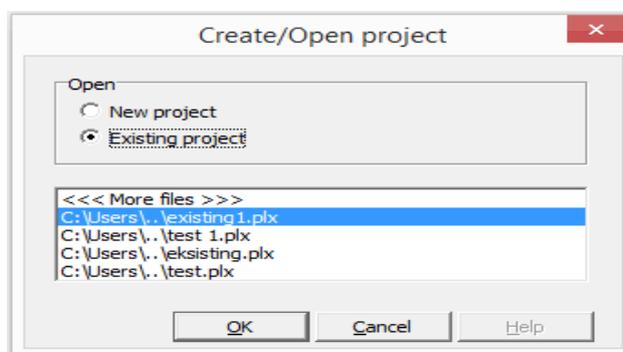
Cara pengoperasian Plaxis versi 8.2 melalui 3 tahapan, yaitu Plaxis input, Plaxis Calculation, dan Plaxis Output.

1.8.1 Plaxis Input

Langkah-langkah yang dilakukan dalam analisis menggunakan program Plaxis 8.2 adalah sebagai berikut ini.

1. Buka Program Plaxis

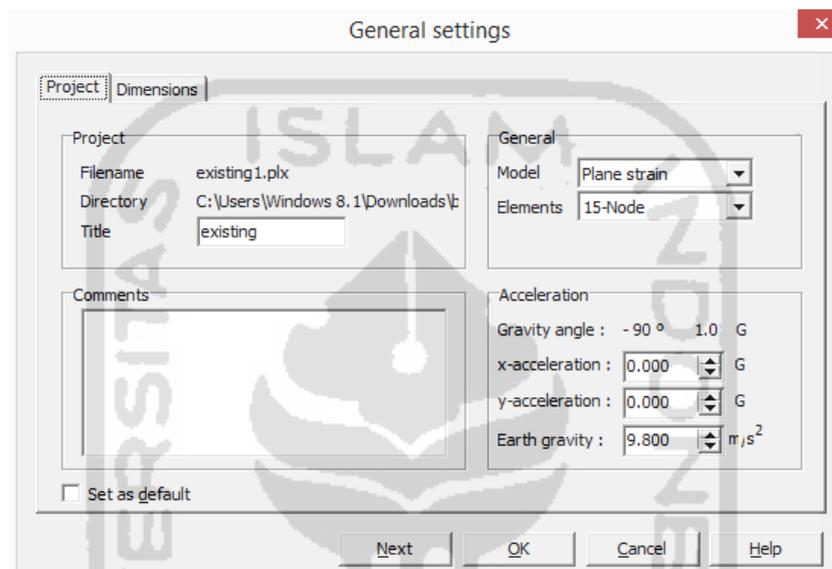
Jalankan Plaxis dengan klik-ganda pada ikon program Plaxis *Input*. Sebuah kotak dialog create/open project akan muncul, lalu pilih OK *new project* untuk membuat proyek yang baru (lihat Gambar 4.3).



Gambar 4.3 Kotak dialog *Create/open project*

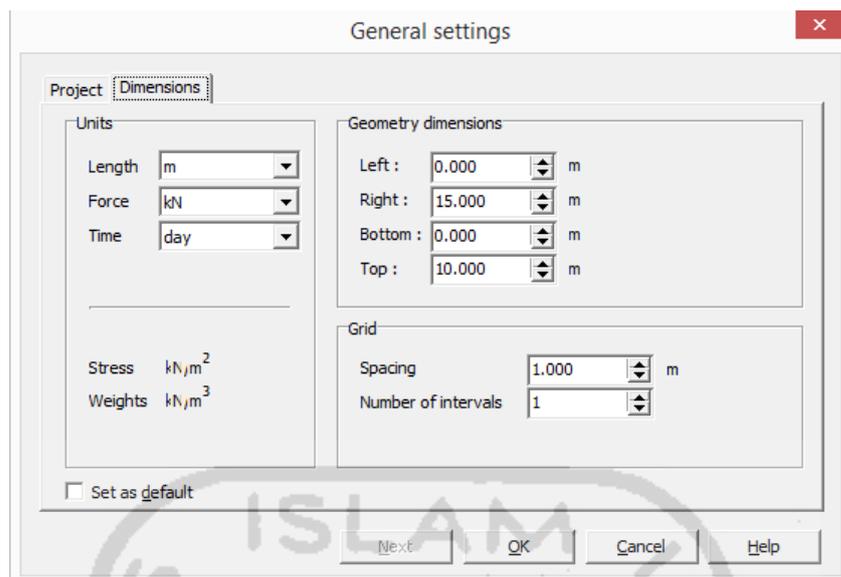
2. General setting

Dalam *general setting* ada dua tab dialog *project* dan *dimensions*. Dalam lembar-tab *proyek*, masukan judul yang akan kita buat dalam kotak dialog *title*, dalam kotak *general* ditentukan jenis analisis model dan jenis elemen dasar. Klik tombol <Next> dibawah lembar-tab atau klik lembar-tab *dimensions* (lihat gambar 4.4).



Gambar 4.4 Lembar-tab *Project* dari Jendela *General Setting*

Dalam lembar-tab *geometry dimensions*, gunakan satuan-satuan pra-pilih dalam kotak *unit* ($Length = m$, $Force = kN$, $Time = day$). Dalam kotak *geometry dimensions*, ukuran dari bidang gambar harus dimasukan, saat memasukan koordinat teratas dan terbawah dari geometri yang akan dibuat. Plaxis akan menambahkan sebuah margin kecil sehingga geometri akan berada didalam bidang gambar. Masukan 0,0, 100,0, 0,40 masing-masing pada kotak isian *left*, *right*, *bottom*, dan *top* dalam kotak dialog. Kotak *Grid* berisi nilai-nilai untuk mengatur spasi grid. Grid ini akan membentuk matriks titik-titikdigunakan untuk memasukkan penggambaran tepat pada grid yang telah ada saat pembuatan model. Jarak antar titik ditentukan oleh nilai spasi. Masukan 1,0 untuk *spacing* dan 1 untuk *number of intervals* (lihat gambar 4.5).



Gambar 4.5 Lembar-tab *Dimensions* dalam jendela *General Setting*

3. *Geometry Contour*

Untuk menggambar kontur dari model geometri, ikuti langkah-langkah berikut :

- a.  Pilih opsi *Geometry line* (telah diaktifkan)

Letakkan kursor (sekarang berbentuk pena) pada pusat koordinat. Letakkan kursor pada koordinat 0.0, 0.0 ini sebagai titik awal dalam penggambaran *geometry* setelah itu gambar geometri sesuai koordinat yang sudah ditentukan.

- b.  Klik tombol *standard fixities* pada toolbar

- c.  Klik tombol *Distributed load-load system A* pada toolbar

Klik pada titik (3.0177; 32.8479) dan (9.0123; 33.1021), klik kanan mouse untuk mengakhiri masukan beban merata. Masukan nilai beban merata (15 kN/m²).

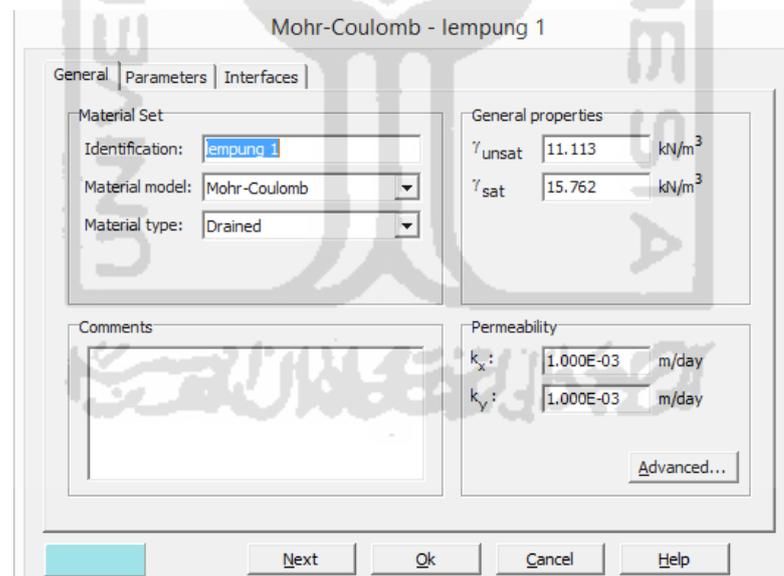
4. Kumpulan data material

Untuk memasukan data material dapat dilakukan dengan menggunakan tombol *material sets* pada *toolbar* atau dari pilihan yang tersedia dalam menu *materials*.

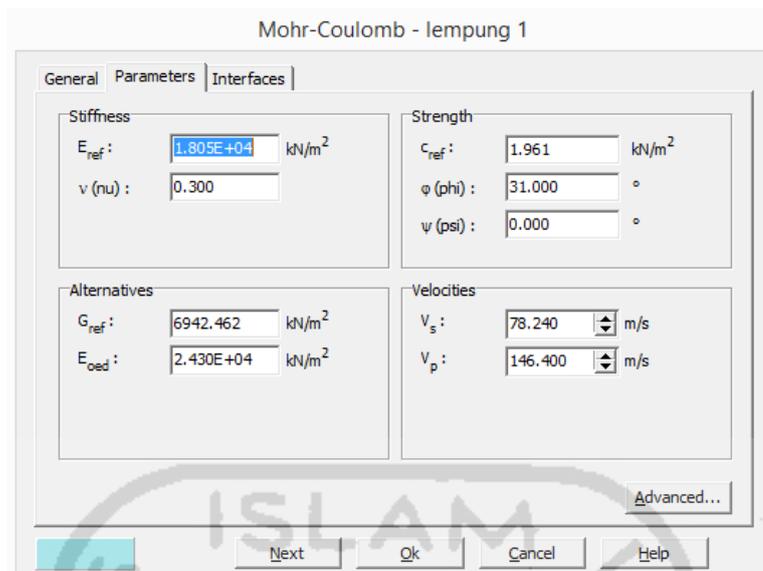
-  Pilih tombol *material sets* pada *toolbar*

- a. Klik tombol *<new>* di sisi bawah dari jendela *material sets*. Sebuah kotak dialog akan muncul dengan tiga buah lembar-tab, yaitu *general*, *parameters*, *interface* (Lihat gambar 4.6 dan Gambar 4.7).

- b. Dalam kotak dialog *material sets* dalam lembar-tab *general*, tuliskan “lempung 1” dalam kotak *identification*.
- c. Pilih *Mohr-coulomb* pada *combo box material model* dan *undrained* pada *combo box material type*.
- d. Masukkan nilai yang benar pada kotak *general properties* dan pada kotak *permeability* sesuai dengan sifat material yang digunakan.
- e. Klik pada tab menu *Parameters* ada empat lembar-tab masukan nilai sesuai sifat material yang digunakan. Karena model geometri tidak menggunakan *interface*, maka lembar-tab ketiga dapat dilewati lalu klik <Ok> untuk menyimpan material.
- f. Klik dan seret (*drag*) kumpulan data dari jendela *material sets* ke klaster tanah pada bidang gambar dan lepas di atasnya (lepaskan tombol utama mouse). Maka material sudah masuk dalam bidang gambar apa bila bidang gambar berubah warna.
- g. Klik tombol <Ok> pada jendela *material sets* untuk menutup basis data



Gambar 4.6 Lembar Tab General dari Jendela Material Set

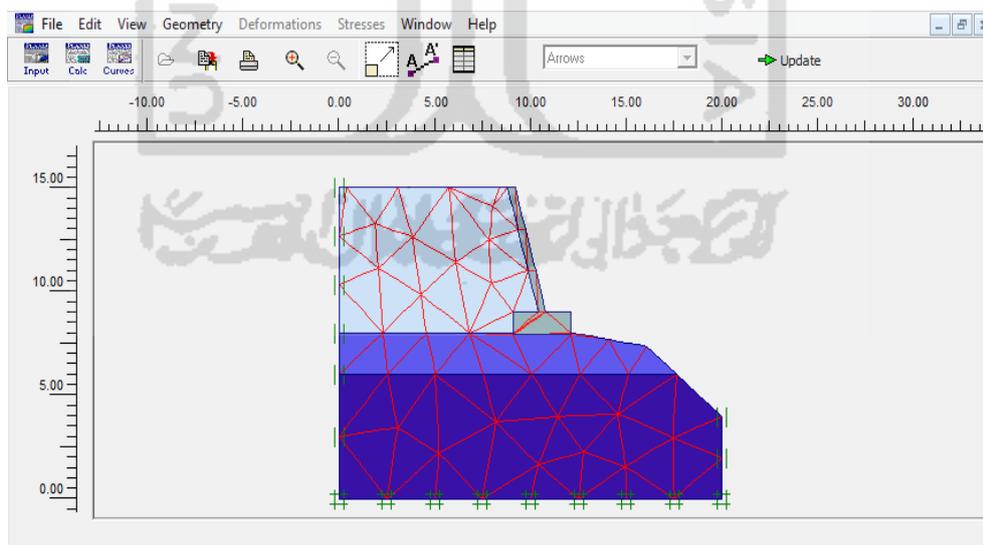


Gambar 4.7 Lembar *Tab Parameters* dari *Jendela Meterial Set*

5. Mesh Generation



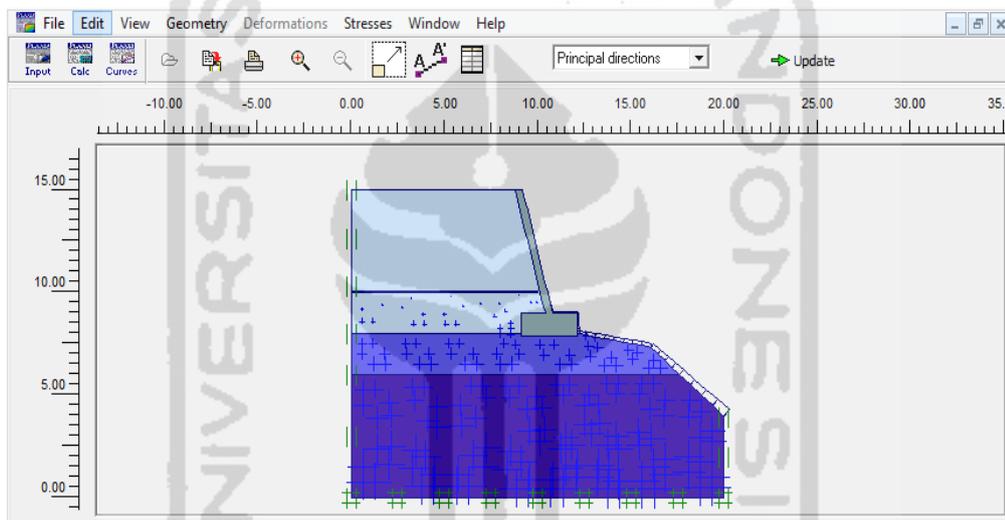
Klik tombol *Generate mesh* pada *toolbar* atau pilih susunan dari menu mesh. Setelah penyusunan jaringan elemen, maka sebuah jendela baru akan terbuka dimana ditunjukkan jaringan elemen hingga yang terbentuk (lihat Gambar 4.8). Klik tombol *<update>* untuk kembali ke modus masukan geometri.



Gambar 4.8 Jaringan Elemen Hingga

6. Initial Conditions

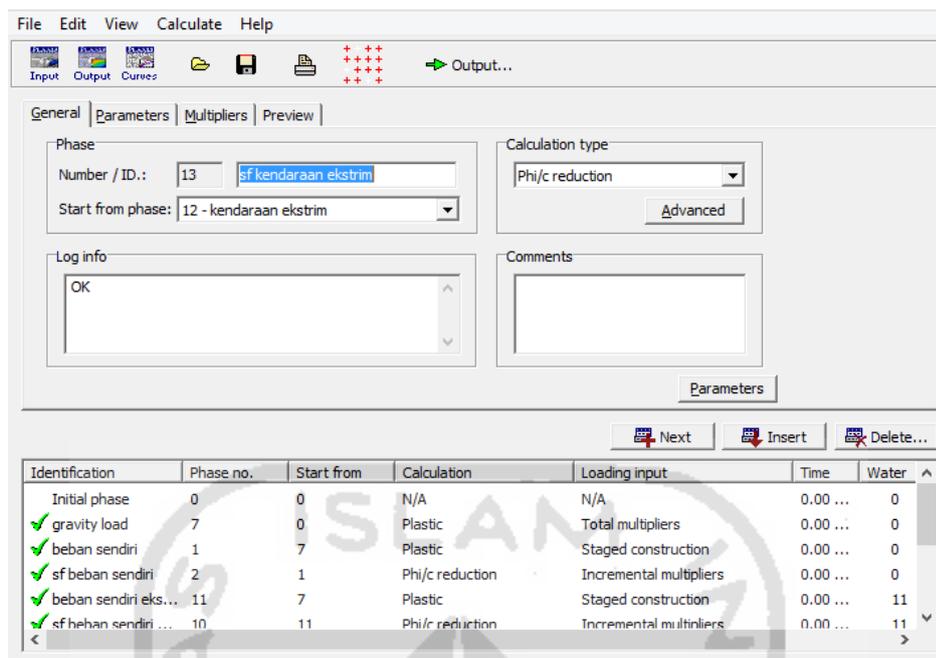
-  **Initial conditions** Klik tombol *initial conditions* pada toolbar
-  Karena proyek ini tidak mengikut sertakan tekanan air, maka lanjutkan modus konfigurasi geometri awal dengan mengklik tombol sebelah kanan dari “*switch*”. Garis freatik secara otomatis akan terletak pada dasar geometri.
-  Klik tombol *generate initial stresses* pada toolbar. Kotak dialog *Ko-procedure* akan muncul pilih <Ok> (Gambar 4.9).
-  **Calculate** Klik *Calculate*



Gambar 4.9 Tegangan Awal Pada Geometri

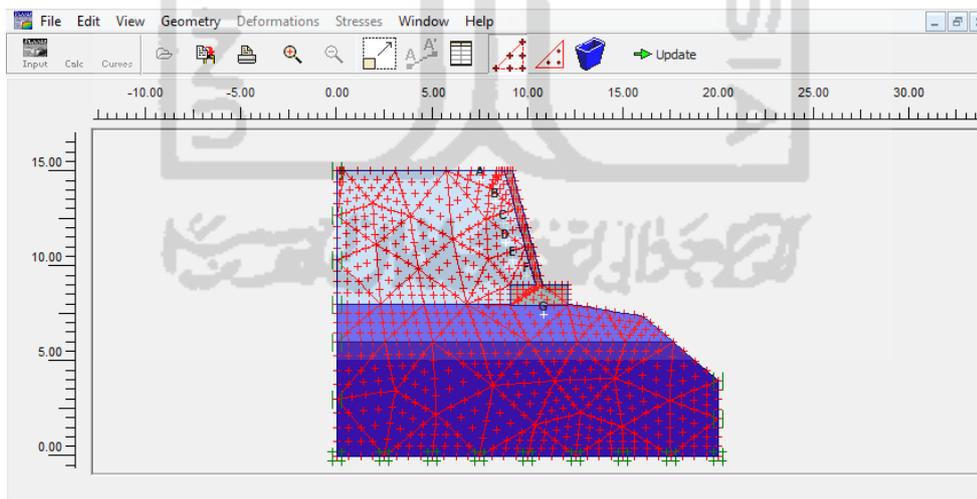
4.10.1 Plaxis Calculations

Pada jendela *calculation* (lihat Gambar 4.10) terdapat empat lembar *tab* yaitu *generate*, *parameters*, *multipliers* dan *preview*. Dalam lembar *tab general*, pada *calculation type* dipilih *plastic analysis* yang digunakan untuk mengetahui besar *displacement* dari kondisi yang ditinjau, dipilih *phi/c reduction* untuk mengetahui pengaruh dari akibat gempa sedangkan pada lembar *tab parameters* dipilih *staged construction* untuk *loading input*.

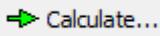
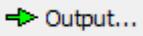


Gambar 4.10 Jendela *Calculations* dengan Lembar Tab *General*

Langkah berikutnya yaitu menentukan titik yang akan ditinjau untuk menggambarkan dalam tampilan kurva yaitu dengan mengklik tombol select point for curve (Gambar 4.11).



Gambar 4.11 Pemilihan Titik Kurva yang Ditinjau

Selanjutnya klik tombol calculation  dan klik tombol  untuk menampilkan hasil dari tahap perhitungan.

BAB V

ANALISIS DATA DAN PEMBAHASAN

5.1 Lereng Asli

Kondisi lereng asli di jalan Banjarnegara – Karangobar Km 77 mempunyai kedalaman 7 meter. Lapisan tanah didominasi tanah berbutir halus seperti lempung hingga berbutir kasar disertai kerikil, serta kondisi muka air tanah pada kedalaman 5 meter dibawah permukaan tanah.

Kondisi jenis tanah diatas maka apabila kemasukan air, tanah menjadi labil dan terjadi perlemahan, sehingga dengan adanya beban dinamis diatas lapisan tersebut akan mengakibatkan terjadi konsolidasi, yang mengakibatkan terjadinya penurunan muka jalan. Dari pengamatan fisual nampak dinding penahan tanah tidak mampu menahan beban kendaraan sehingga lereng longsor sehingga akses lalu lintas terganggu. Lokasi penelitian dan potongan melintang jalan dapat dilihat pada gambar 5.1 dan gambar 5.2.



Gambar 5.1 Lokasi Longsor, Jalan Banjarnegara-Karangobar km 77

Pada tugas akhir ini angka *safety factor* lereng asli akan dicari dengan menggunakan program plaxis 8.2 serta penanganan longsor dengan dinding penahan tanah pada lereng jalan Banjarnegara – Karangobar km 77.

5.1.1 Data Masukkan Parameter Tanah dan Beban

Beban-beban yang bekerja pada lereng tersebut adalah beban kendaraan dan beban gempa. Berikut data parameter tanah dan beban-beban yang bekerja dapat dilihat pada Tabel 5.1 sampai Tabel 5.2 dan Gambar 5.2.

1. Data Parameter Tanah

Tabel 5.1 Data Parameter Tanah

No Titik	Properties tanah				Parameter geser		
	Berat vol. basah	Berat vol. kering	Angka pori	v(nu)	ϕ	c	E ref (1 kg/cm ²)
	γ , kN/m ³	γ_d , kN/m ³	e		\circ	kN/m ²	kN/m ²
tanah 1	15,680304	8,578845	1,9632	0,30	10	12,753	14715
tanah 2	15,714639	8,086383	1,8183	0,20	12	19,62	10791
tanah 3	15,842169	9,780570	1,6134	0,25	10	19,62	10791
DPT	-	-	24,00	0,20	-	0,00	25742.96

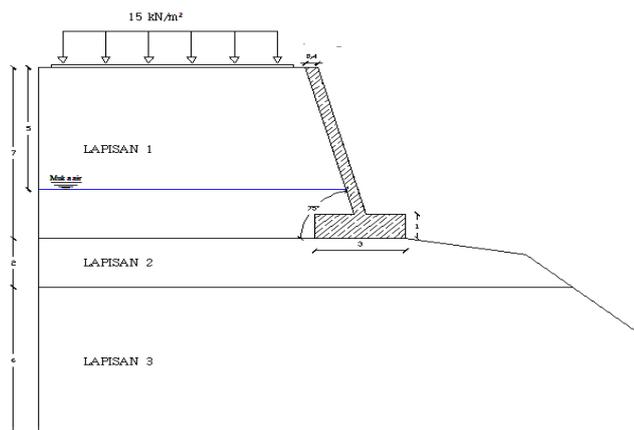
Laporan Hasil Penyelidikan Tanah Pada Longsoran Banjarnegara-Karangkobar, Jawa Tengah.
(2015)

2. Data beban kendaraan dan gempa

Beban-beban yang bekerja pada lereng Jalan Banjarnegara-Karangkobar km 77 adalah beban kendaraan dan beban gempa. Beban kendaraan dapat dilihat pada tabel 4.1 dan beban gempa dalam pemodelan digunakan beban 1/2 dari 0,6 g yaitu sebesar 0,3 g.

5.2 Analisis Lereng Existing

Analisis lereng dilakukan pada dua kondisi muka air tanah, yaitu pada kondisi muka air tanah berada pada kedalaman 5 m dan 1 m, serta dibebani dengan beban kendaraan. Berikut adalah penampang meintang jalan dapat dilihat pada gambar 5.2.



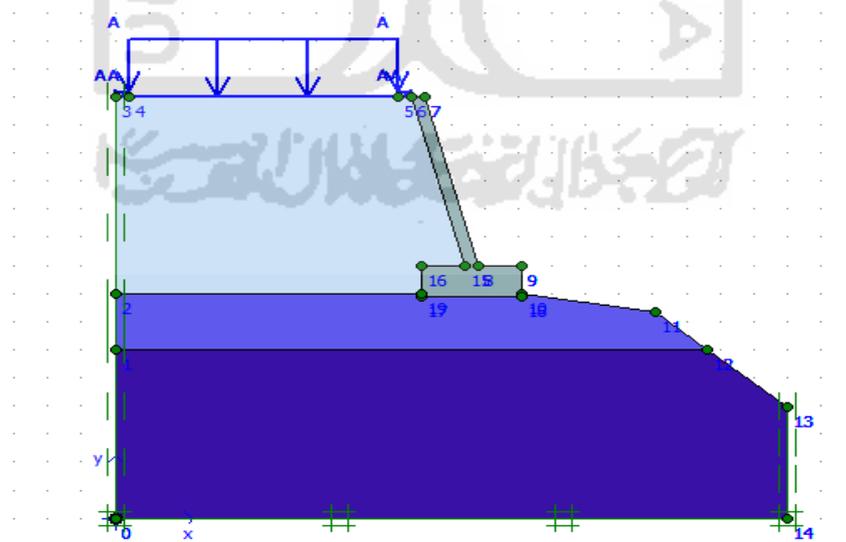
Gambar 5.2 Potongan Melintang Lereng Jalan Existing

5.2.1 Muka Air Tanah 5 Meter Di Bawah Permukaan Tanah

Muka air didasarkan oleh hasil uji sondir (SPT), didapatkan hasil bahwa muka air sampai di kedalaman 5 meter di bawah permukaan tanah.

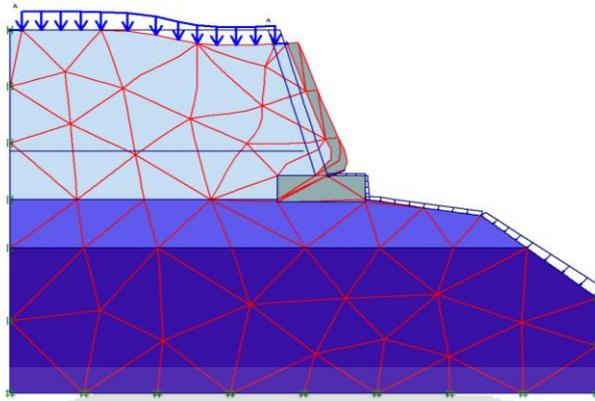
5.2.1.1 Permodelan Lereng *Existing* Pada Kondisi Muka Air 5 Meter di Bawah Permukaan Tanah dengan Beban Kendaraan

Permodelan lereng *existing* dengan beban kendaraan menggunakan sistem beban A dalam plaxis 8.2 sepanjang lebar jalan yaitu 8 meter. Permodelan lereng dapat dilihat pada Gambar 5.3.



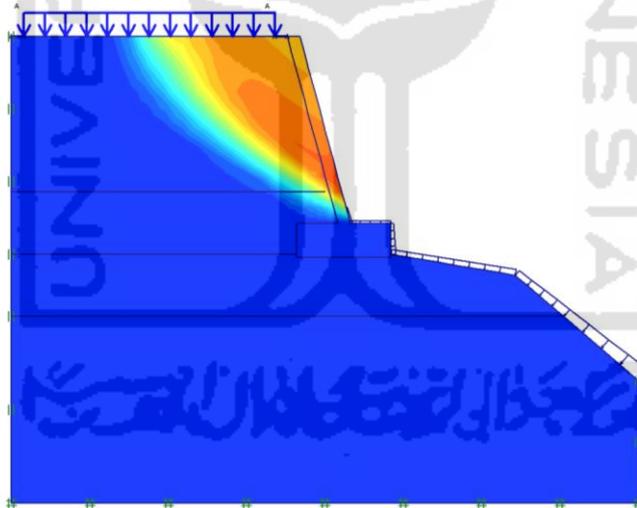
Gambar 5.3 Permodelan Lereng *Existing* pada Kondisi Muka Air Tanah 5 meter di Bawah Permukaan Tanah

Untuk *deformed mesh* dengan beban kendaraan dapat dilihat pada Gambar 5.4.



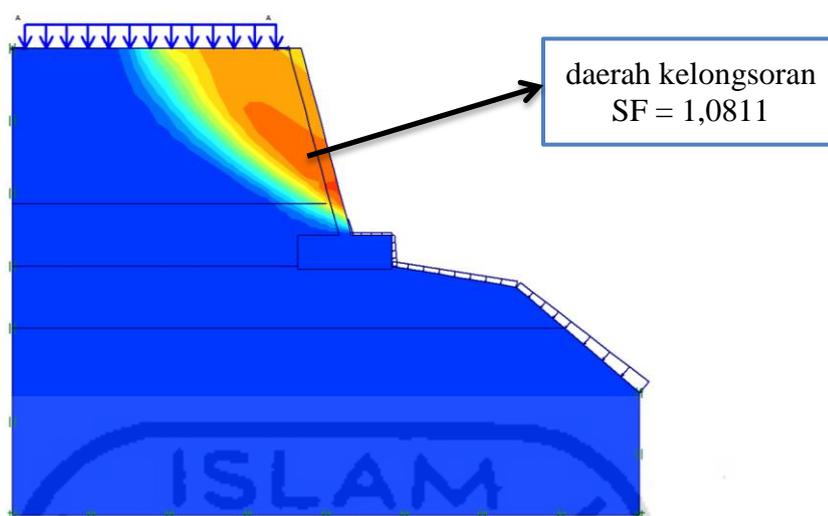
Gambar 5.4 *Deformed Mesh* pada Lereng *Existing* pada Kondisi Muka Air Tanah 5 meter di Bawah Permukaan Tanah

Besarnya *total displacements* pada lereng asli lereng asli dengan beban kendaraan sebesar 15 kN/m^2 adalah sebesar $33,43 \times 10^{-3}$ meter. Beban kendaraan tersebut diasumsikan sebagai beban merata dengan panjang beban sesuai dengan lebar jalan pada lereng asli yaitu sebesar 8 meter dapat dilihat pada gambar 5.5.



Gambar 5.5 *Total Displacement* Lereng *Existing* pada Kondisi Muka Air Tanah 5 meter di Bawah Permukaan Tanah

Untuk Daerah Potensial Keruntuhan Lereng dengan Beban Kendaraan dapat dilihat pada Gambar 5.6.



Gambar 5.6 Daerah Potensial Keruntuhan Lereng *Existing* dengan Beban Kendaraan

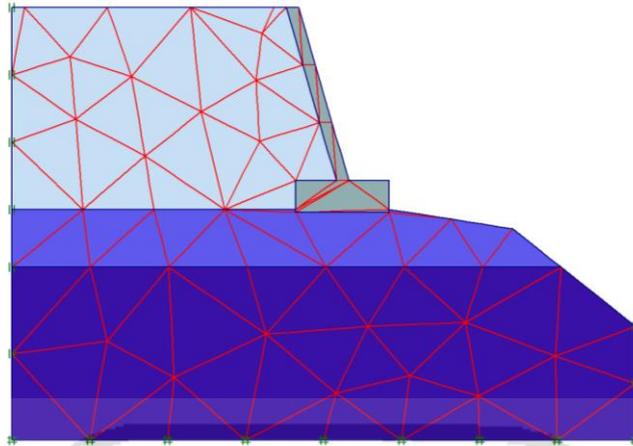
Pada gambar 5.6 menunjukkan daerah potensial keruntuhan lereng dengan *safety factor* sebesar 1,0811.

5.2.2 Kondisi Muka Air Tanah 1 Meter Di Bawah Permukaan Tanah

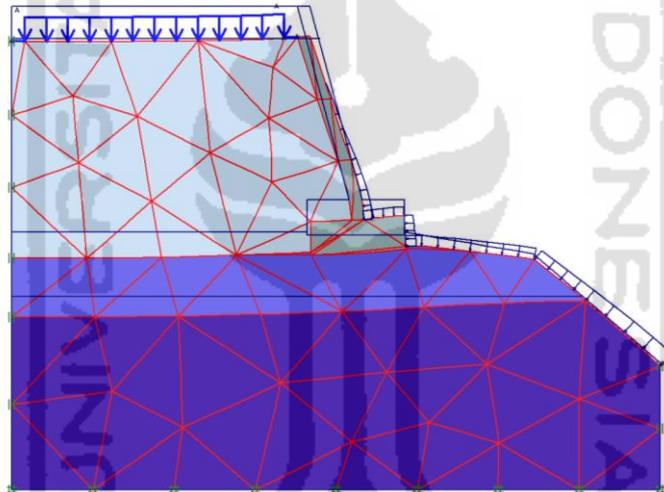
Permodelan lereng *Existing* dengan kondisi muka air berada pada kedalaman 1 m di bawah permukaan tanah. kondisi muka air ekstrim diasumsikan oleh penulis pada elevasi 1 meter di bawah permukaan tanah. Kemudian dimasukkan ke dalam permodelan plaxis. Permodelan lereng pada kondisi ekstrim kemudian diberi beban sesuai dengan data di lapangan berupa data beban kendaraan dan beban gempa. Beban kendaraan menggunakan sistem beban A dalam sebesar 15 kN/m^2 dengan panjang beban sepanjang 8 meter.

5.2.2.1 Permodelan Lereng *Existing* Pada Kondisi Muka Air 1 Meter di Bawah Permukaan Tanah dengan Beban Kendaraan

Permodelan lereng *Existing* pada kondisi muka air 1 m dibawah permukaan tanah dengan beban kendaraan menggunakan sistem beban A dalam plaxis 8.2 sepanjang lebar jalan yaitu 8 meter. Untuk hasil jaring elemen hingga (*meshing*) pada lereng asli dengan adanya beban kendaraan dapat dilihat pada Gambar 5.7. sedangkan untuk *deformed mesh* dengan beban kendaraan dapat dilihat pada Gambar 5.8.

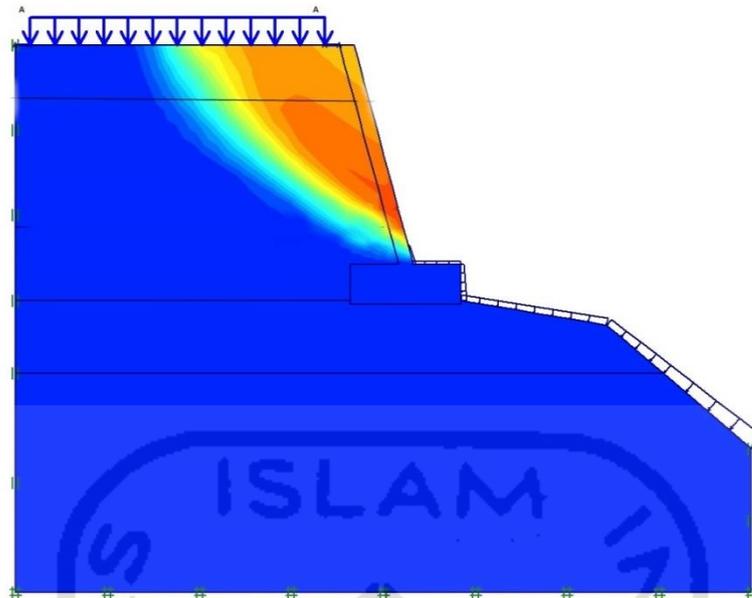


Gambar 5.7 Meshing pada Lereng Asli pada Kondisi Kondisi Muka Air Tanah 1 meter di Bawah Permukaan Tanah



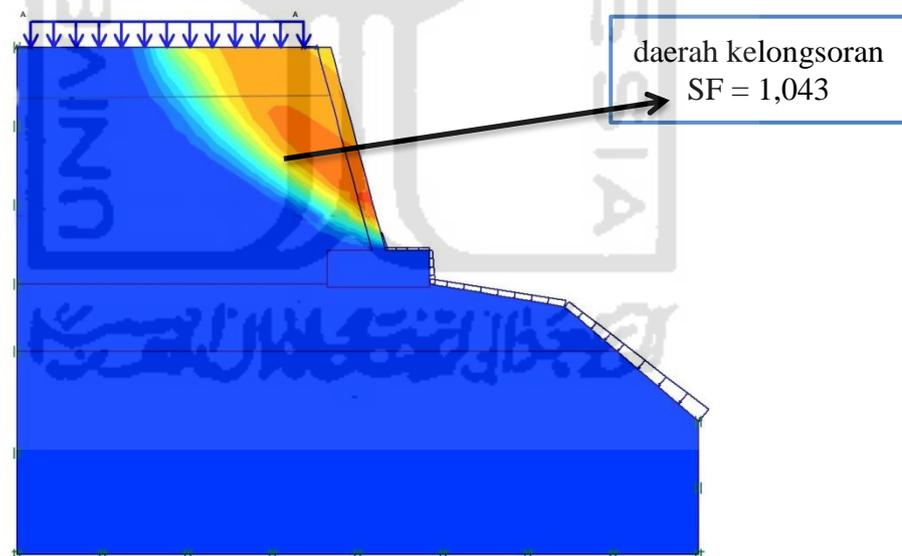
Gambar 5.8 Deformed Mesh pada Lereng Asli pada Kondisi Kondisi Muka Air Tanah 1 meter di Bawah Permukaan Tanah

Besarnya total *displacements* pada lereng asli pada Kondisi muka air 1 m dibawah permukaan tanah dengan beban kendaraan sebesar 15 kN/m^2 adalah sebesar 39.28×10^{-3} meter. Dapat dilihat pada gambar 5.9.



Gambar 5.9 Total Displacement Lereng pada Kondisi Muka Air Tanah 1 meter di Bawah Permukaan Tanah

Untuk Daerah Potensial Keruntuhan Lereng dengan muka air 1 m dibawah permukaan tanah dan dibebani dengan Beban Kendaraan dapat dilihat pada Gambar 5.10.



Gambar 5.10 Daerah Potensial Keruntuhan Lereng Pada Kondisi Muka Air 1 meter Di Bawah Permukaan Tanah

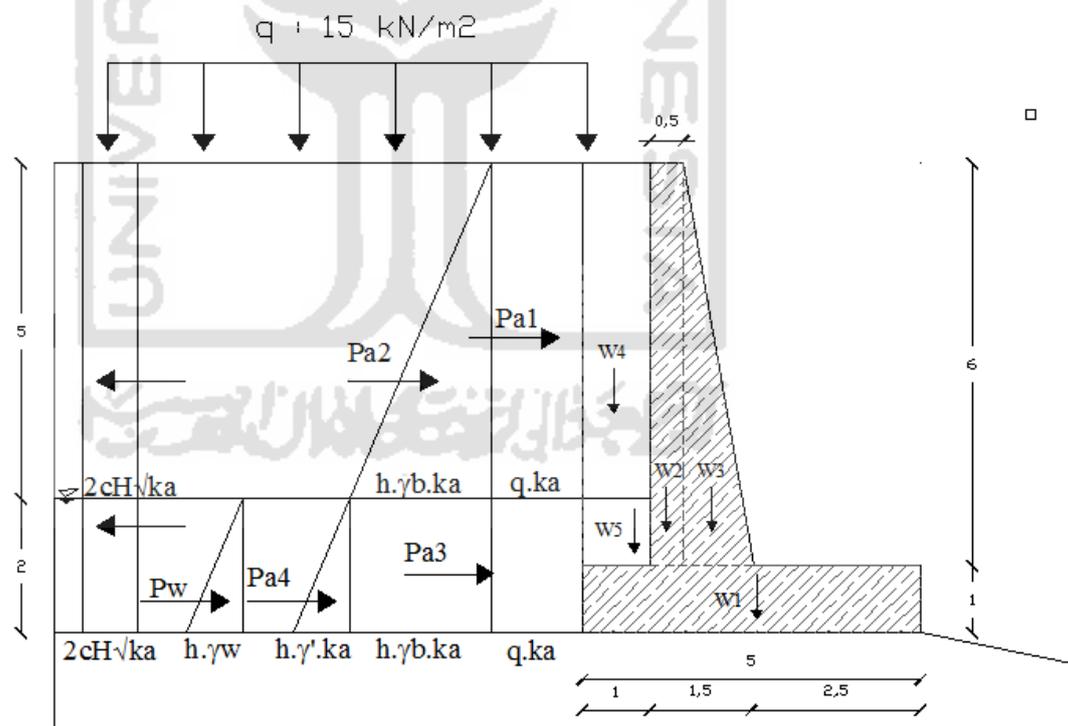
Pada gambar 5.10 menunjukkan daerah potensial keruntuhan lereng dengan *safety factor* sebesar 1,043.

5.2.3 Hasil Pemodelan Lereng *Existing*

Pemodelan lereng *Existing* dimodelkan dengan dua kondisi muka air tanah dan dibebani dengan beban kendaraan. Dari hasil pemodelan menggunakan program Plaxis 8.2 diperoleh *safety factor* sebesar 1,081 untuk lereng pada kondisi muka air tanah berada 5 meter di bawah permukaan, dan 1,043 untuk lereng pada kondisi muka air tanah berada 1 meter di bawah permukaan. Dengan hasil tersebut lereng *Existing* perlu diperkuat karena lereng berada pada kondisi kritis.

5.3 Desain Dinding Penahan Tanah “Gravity Wall”

Dinding Gravitasi adalah dinding penahan yang terbuat dari beton tak bertulang atau pasangan batu. Sedikit tulangan beton kadang-kadang diberikan pada permukaan dinding untuk mencegah retakan di permukaan akibat perubahan temperatur. Gambar desain dinding gravitasi dan gaya yang bekerja pada dinding penahan dapat dilihat pada gambar 5.11.



Gambar 5.11 Gaya-gaya yang Bekerja pada Dinding Penahan

Spesifikasi dan data perencanaan dinding penahan tanah sebagai berikut :

1. DPT terbuat dari beton.
2. Tinggi = 7 m, Lebar = 5 m.
3. Mutu beton pada dinding penahan tanah $f'c = 30$ Mpa.
4. Berat volume beton $\gamma_c = 24$ kN/m³
5. PBI 1971 :
 - a. σ desak beton = 3614.5 kN/m²
 - b. σ tarik beton = 361,45 kN/m²
 - c. τ geser beton = 180,7 kN/m²

Analisis dinding penahan tanah gravitasi terhadap beban statis

1. Perhitungan berat dan momen

Tabel 5.2 Perhitungan Berat Dinding Penahan Tanah dan Momen Tahanan Terhadap Titik O

No	Uraian Perhitungan Berat Dinding	Berat Dinding (kN)	Lengan Momen (m)	Momen Tahanan (kN.m)
1.	$W1 = 1 \times 5 \times 24$	120	2,5	300
2.	$W2 = 0.5 \times 6 \times 24$	72	3,75	270
3.	$W3 = 0,5 \times 6 \times 1 \times 24$	72	3,167	228,024
4.	$W4 = 1 \times 5 \times 15,68$	78,4	4,5	352,8
5.	$W5 = 1 \times 1 \times 15,07$	15,07	4,5	67,815
6.	$q = 15 \times 1$	15	4,5	67,5
Total		$W = 372,47$		$Mr = 1286,139$

1. Perhitungan tekanan tanah

Koefisien Tanah Aktif

$$K_a = \tan^2\left(45 - \frac{\phi}{2}\right)$$

$$= \tan^2\left(45 - \frac{30}{2}\right) = 0,33$$

Koefisien Tanah Pasif

$$K_p = \tan^2\left(45 + \frac{\varphi}{2}\right)$$

$$= \tan^2\left(45 + \frac{30}{2}\right) = 3$$

Tabel 5.3 Beban-Beban dan Gaya-Gaya yang Bekerja pada Dinding Penahan Tanah

No	Tekanan tanah aktif (kN/m)	Jarak dari O (m)	Momen ke O (kN.m)
Pa1	$15 \times 0,33 \times 7 = 34,65$	3,5	121,275
Pa2	$0,5 \times 5^2 \times 15,68 \times 0,33 = 64,68$	3,667	237,181
Pa3	$5 \times 15,68 \times 0,33 \times 2 = 51,744$	1	51,744
Pa4	$0,5 \times 2^2 \times 5,26 \times 0,33 = 3,472$	0,667	2,315
Pw1	$0,5 \times 2^2 \times 9,81 = 19,62$	0,667	13,086
$2cH\sqrt{Ka}$	$-2 \times 12,75 \times 5 \times \sqrt{0,33} = -73,243$	4,5	-329,594
$2cH\sqrt{Ka}$	$-2 \times 19,62 \times 2 \times \sqrt{0,33} = -45,083$	1	-45,083
Total	$P_a = 55,84$		$\Sigma M = 50,924$

2. Perhitungan gaya horizontal total

$$\Sigma P_a = 55,84 \text{ kN/m}$$

3. Faktor keamanan

a. Faktor Keamanan Terhadap Gaya Guling (*Overtuning*)

$$SF_{\text{overtuning}} = \frac{\Sigma MR}{\Sigma Mo} = \frac{1286,139}{50,924} = 25,25 > 1,5 \text{ (Aman)}$$

b. Faktor Keamanan Terhadap Gaya Geser (*Sliding*)

Dianggap dasar dinding penahan tanah kasar sehingga $c = cd$ dan $\varphi = \delta b$.

$$\begin{aligned} \Sigma R_h &= cd \times B + W \tan \delta b \\ &= 19,62 \times 5 + 372,47 \tan 30 \\ &= 313,145 \text{ kN} \end{aligned}$$

$$SF \text{ sliding} = \frac{\Sigma R h}{\Sigma P h} = \frac{313,145}{55,84} = 5,6 > 1.5 \text{ (Aman)}$$

c. Faktor Keamanan Terhadap Daya Dukung (*Bearing Capacity*)

Kapasitas dukung ultimit dihitung dengan menggunakan persamaan Hansen (1970) dan Vesic (1975) untuk beban miring dan eksentris:

$$x_e = \frac{\Sigma M_W - \Sigma M_{gl}}{\Sigma W} = \frac{1286,139 - 50,924}{372,47} = 3,31 \text{ m}$$

$$e = \frac{B}{2} - x_e = \frac{5}{2} - 3,31 = 0,81 \text{ m} < B/6 = 5/6 = 0,833 \text{ m}$$

$$\text{Lebar efektif: } B' = B - 2e = 5 - (2 \times 0,81) = 3,38 \text{ m}$$

$$A' = B' \times 1 = 3,38 \times 1 = 3,38 \text{ m}^2$$

Gaya horizontal: $H = 55,84 \text{ kN}$ dan gaya vertikal: $V = 372,47 \text{ kN}$.

Faktor kemiringan beban:

$$i_q = \left[1 - \frac{0,5H}{V + A' C_a \text{ctg} \varphi} \right]^5 \geq 0$$

$$i_q = \left[1 - \frac{0,5 \times 55,84}{372,47 + 3,38 \times 12,75 \times \text{ctg} 30} \right]^5 = 0,966$$

$$i_c = i_q - (1 - i_q) / N_c \text{tg} \varphi \\ = 0,966 - (1 - 0,966) / 30,14 \text{tg} 30 = 0,965$$

Catatan: $N_c \text{tg} \varphi = N_q - 1$

$$i_y = \left[1 - \frac{0,7H}{V + A' C_a \text{ctg} \varphi} \right]^5$$

$$i_y = \left[1 - \frac{0,7 \times 55,84}{372,47 + 3,38 \times 12,75 \times \text{ctg} 30} \right]^5 = 0,953$$

Untuk $\varphi_2 = 30^\circ$, $N_q = 18,40$; $N_c = 30,14$; dan $N_\gamma = 15,07$

Kapasitas dukung ultimit untuk fondasi di permukaan menurut Hansen ($D_f = 0$, faktor kedalaman $d_c = d_q = d_\gamma = 1$, faktor bentuk $s_c = s_q = s_\gamma = 1$):

$$q_u = i_c c_2 N_c + i_y 0,5 B' \gamma_b N_\gamma \\ = (0,965 \times 19,65 \times 30,14) + (0,953 \times 0,5 \times 3,38 \times 15,68 \times 15,07) \\ = 952,096 \text{ kN/m}^2$$

Bila dihitung dengan berdasarkan lebar fondasi efektif (lebar fondasi efektif yaitu tekanan fondasi ke tanah dasar terbagi rata secara sama, maka:

$$q' = \frac{V}{B'} = \frac{372,47}{3,38} = 110,198 \text{ kN/m}^2$$

Faktor aman terhadap keruntuhan kapasitas dukung:

$$F = \frac{q_u}{q'} = \frac{952,096}{110,198} = 8,64 > 3 \text{ (AMAN)}$$

5.4 Analisis Lereng dengan Dinding Gravitasi

Daerah di sekitar kawasan Banjarnegara – Karangkobor merupakan kawasan dataran tinggi dengan tanah yang subur. Sehingga masyarakat di kawasan tersebut sebagian besar berprofesi sebagai petani, hal ini dapat dilihat sepanjang jalan banyak dijumpai lahan-lahan pertanian berupa kentang, wortel, dan tanaman sayur lainnya. Dengan kondisi tersebut, sangat mungkin terjadi bencana longsor ketika hujan karena tanah yang labil.

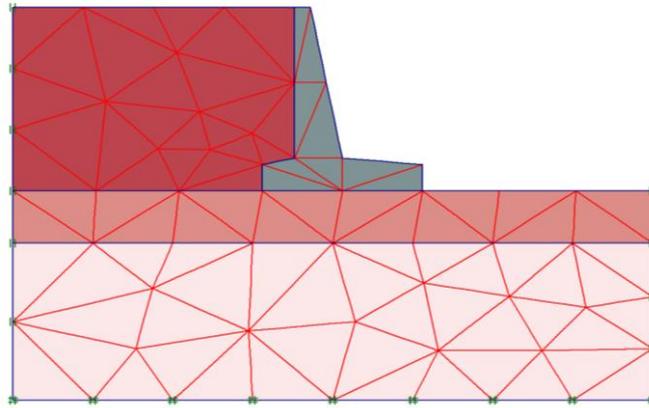
Dari perhitungan *safety factor* pada lereng existing diatas, perlu adanya tindakan penanganan longsor. karena jalan tersebut merupakan akses bagi masyarakat. Salah satu penanganan bencana longsor adalah dibangunnya Dinding Penahan Tanah yang lebih kuat. Desain baru Dinding Penahan Tanah pada jalan Banjarnegara – Karangkobor km 77 dapat dilihat pada gambar 5.7 dibawah.

5.4.1 Lereng dengan Dinding Gravitasi Pada Kondisi Muka Air Tanah 5 meter di Bawah Permukaan

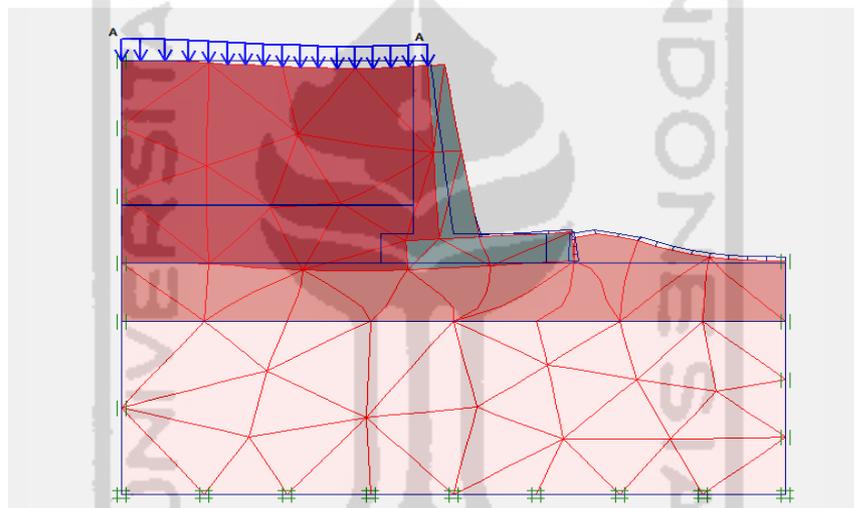
Muka air didasarkan oleh hasil uji sondir (SPT) didapatkan hasil bahwa sampai di kedalaman 5 meter di bawah permukaan tanah.

5.4.1.1 Pemodelan dengan Beban Kendaraan dan Gempa

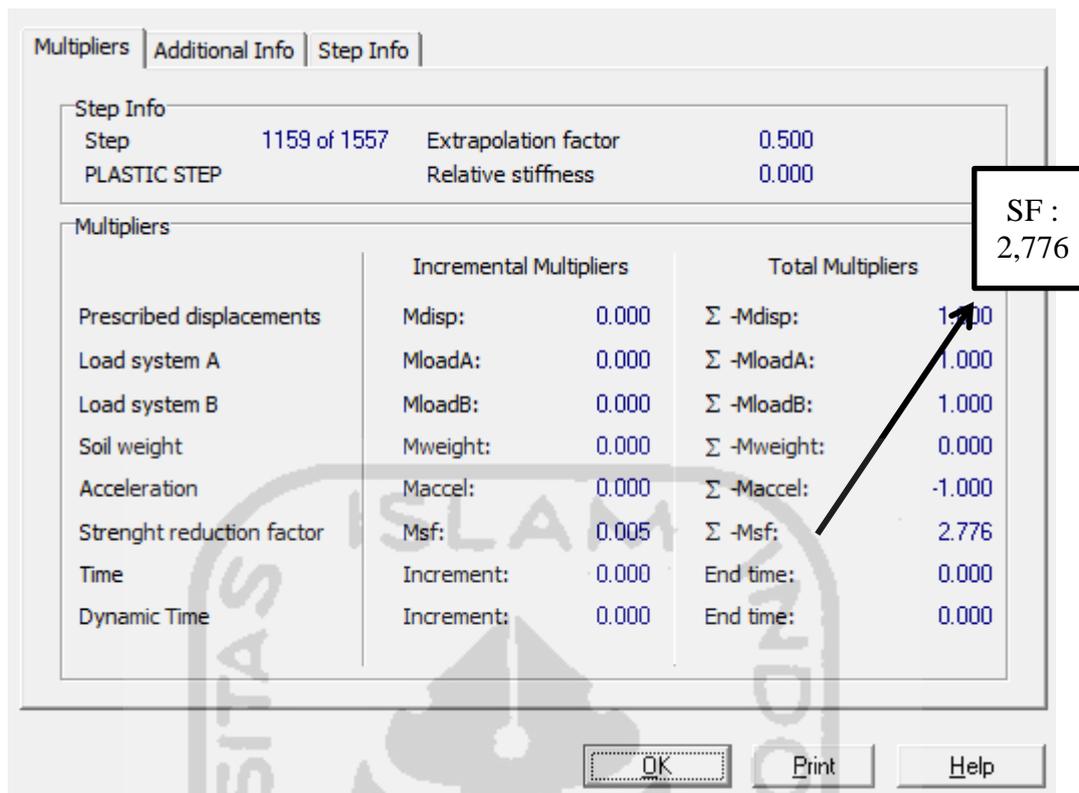
Untuk hasil jaring elemen hingga (*meshing*) pada lereng asli dengan adanya beban kendaraan dapat dilihat pada Gambar 5.12. sedangkan untuk *deformed mesh* dengan beban kendaraan dapat dilihat pada Gambar 5.13.



Gambar 5.12 *Meshing* Pada Lereng Pada Kondisi Muka Air tanah 5 m di bawah Permukaan dengan Beban Kendaraan dan Beban Gempa



Gambar 5.13 *Deformed mesh* pada Lereng pada Kondisi Muka Air tanah 5 m di bawah Permukaan dengan Beban Kendaraan dan Beban Gempa



Gambar 5.14 Hasil kalkulasi program plaxis 8.2 pada Lereng pada Kondisi muka air tanah 5 m di bawah permukaan dengan beban kendaraan dan gempa

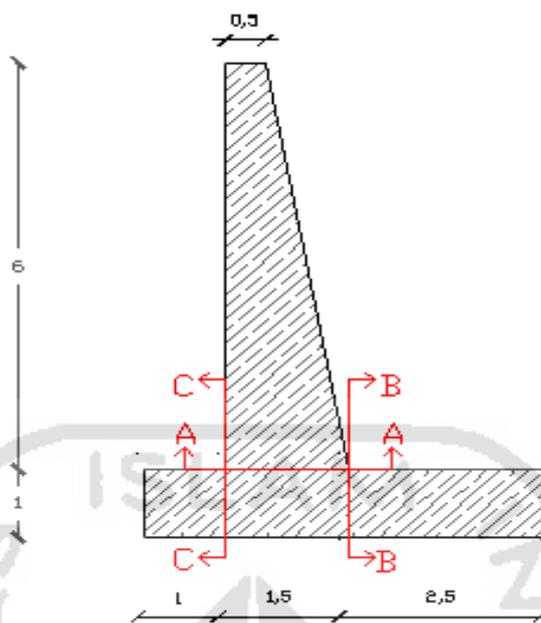
Diperoleh nilai *Safety factor* sebesar 2,776 pada lereng yang diperkuat dengan dinding penahan tanah yang dibebani dengan beban kendaraan dan beban gempa seperti terlihat pada gambar 5.14.

5.4.2 Analisis Stabilitas Internal Struktur Menggunakan Program Plaxis 8.2

Dalam menganalisis stabilitas internal pada dinding penahan tanah dapat ditinjau dari tiap potongan tampangnya, tinjauan ini meliputi stabilitas terhadap tegangan desak, tegangan geser dan tegangan tarik.

A) Tinjauan terhadap potongan A-A'

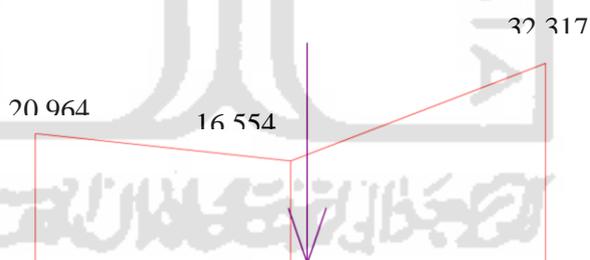
Berikut struktur dinding penahan tanah pada potongan A-A' beserta diagram tekanan tanah lateral pada Gambar 5.15.



Gambar 5.15 Potongan A-A' Dinding Penahan Tanah

- 1) Tinjauan stabilitas terhadap tegangan Desak :

Tegangan desak beton dari hasil keluaran plaxis menunjukkan hasil *shear stress* sebesar $-32,317 \text{ kN/m}^2$, hasil keluran desak beton dapat dilihat pada Gambar 5.16 dan Tabel keluaran plaxis dapat dilihat pada Tabel 5.4.



Gambar 5.16 Potongan A-A' Total normal stresses

Tabel 5.4 Hasil Total Normal Stress

X [m]	Y [m]	σ_N [kN/m ²]
8,8	9,013	-32,317
8,32	9,013	-16,554
7,804	9,013	-20,964

$$\sigma_{desak} = -32,317 \text{ kN/m}^2 < \text{desak Beton} = 3614.5 \text{ kN/m}^2$$

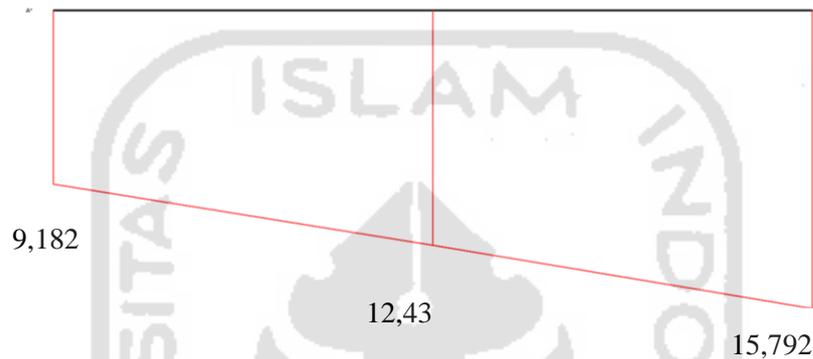
Sehingga tinjauan stabilitas terhadap tegangan desak aman.

2) Tinjauan stabilitas terhadap tegangan geser :

Tegangan geser hasil keluaran plaxis menunjukkan hasil shear stress

15,792 kN/m², hasil keluran plaxis dapat dilihat pada Gambar 5.17 dan Tabel

keluaran plaxis dapat dilihat pada Tabel 5.5.



Gambar 5.17 Potongan A-A' extreme shear stress

Tabel 5.5 Hasil Total shear Stress

X [m]	Y [m]	σ_N [kN/m ²]
8,8	9,013	15,792
8,32	9,013	12,43
7,804	9,013	9,182

$$\tau = 15,792 \text{ kN/m}^2 < \text{geser beton} = 180.7 \text{ kN/m}^2$$

Sehingga tinjauan stabilitas terhadap tegangan geser aman.

B) Perbandingan hasil stabilitas internal menggunakan program plaxis

Berikut hasil keluaran analisis stabilitas internal dinding penahan tanah menggunakan program plaxis 8.2 yang ditinjau dari potongan A-A', potongan B-B', dan potongan C-C'. Hasil keluaran analisis stabilitas internal dinding penahan tanah dapat dilihat pada Tabel 5.6.

Tabel 5.6 Hasil Keluaran Analisis Stabilitas Internal Dinding Penahan Tanah

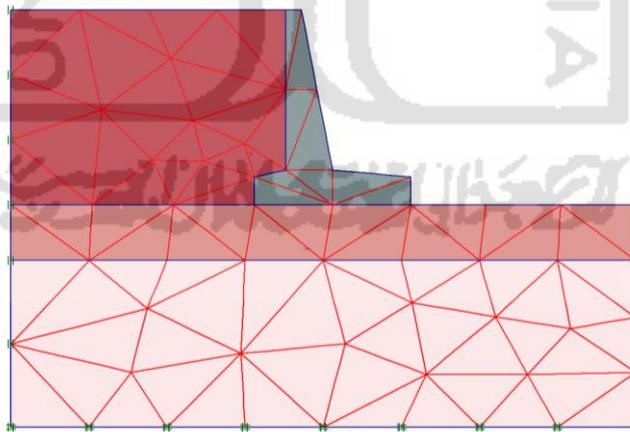
Potongan	Stabilitas terhadap Geser (kN/m ²)	Ket	Stabilitas terhadap (kN/m ²)		Ket
			Desak	Tarik	
A-A'	15,792 < 180.7	Aman	32,317 < 3614.5	-	Aman
B-B'	2,34 < 180.7	Aman	7,36 < 3614.5	-	Aman
C-C'	1,79 < 180.7	Aman	5,79 < 3614.5	-	Aman

5.4.3 Lereng dengan Dinding Gravitasi Pada Kondisi Muka Air Tanah 1 m di Bawah Permukaan

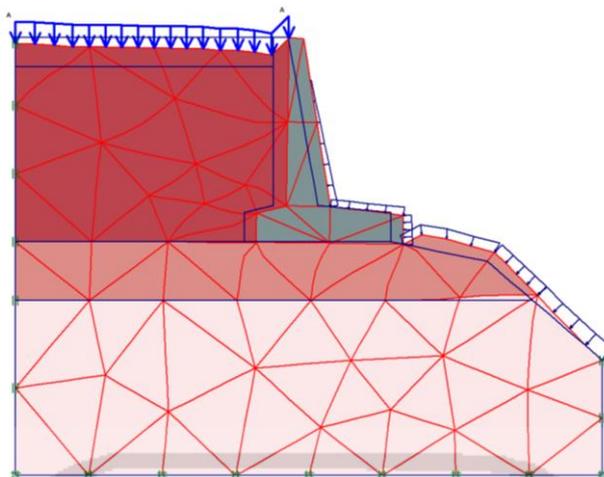
Dinding Penahan Tanah akan di modelkan pada program plaxis 8.2 dengan kondisi tanah timbunan berbeda dengan tanah asli. Pemodelan juga dikalkulasi pada kondisi muka air tanah ekstrim atau pada kedalaman 1 meter dibawah permukaan tanah. Dinding penahan tanah juga dibebani dengan beban kendaraan sebesar 15 kN/m² dan beba gempa untuk wilayah Banjarnegara.

5.4.3.1 Permodelan dengan Beban Kendaraan dan Beban Gempa

Untuk hasil jaring elemen hingga (*meshing*) pada lereng asli dengan adanya beban kendaraan dapat dilihat pada Gambar 5.18. sedangkan untuk *deformed mesh* dengan beban kendaraan dapat dilihat pada Gambar 5.19.



Gambar 5.18 Meshing pada Lereng pada Kondisi Muka Air Tanah 1 m Di Bawah Permukaan dengan Beban Kendaraan dan Beban Gempa



Gambar 5.19 *Deformed mesh* pada Lereng pada Kondisi Muka Air Tanah 1 m Di Bawah Permukaan dengan Beban Kendaraan dan Beban Gempa

Multipliers		Additional Info		Step Info	
Step Info					
Step	1557 of 1557	Extrapolation factor	2.000		
PLASTIC STEP		Relative stiffness	0.017		
Multipliers					
		Incremental Multipliers		Total Multipliers	
Prescribed displacements	Mdisp:	0.000	Σ -Mdisp:	1.000	
Load system A	MloadA:	0.000	Σ -MloadA:	1.000	
Load system B	MloadB:	0.000	Σ -MloadB:	1.000	
Soil weight	Mweight:	0.000	Σ -Mweight:	0.000	
Acceleration	Maccel:	0.000	Σ -Maccel:	1.000	
Strenght reduction factor	Msf:	0.025	Σ -Msf:	1.819	
Time	Increment:	0.000	End time:	0.000	
Dynamic Time	Increment:	0.000	End time:	0.000	

SF : 1,819

Gambar 5.20 Hasil kalkulasi program plaxis 8.2 pada Lereng pada Kondisi Ekstrim dengan beban kendaraan dan gempa

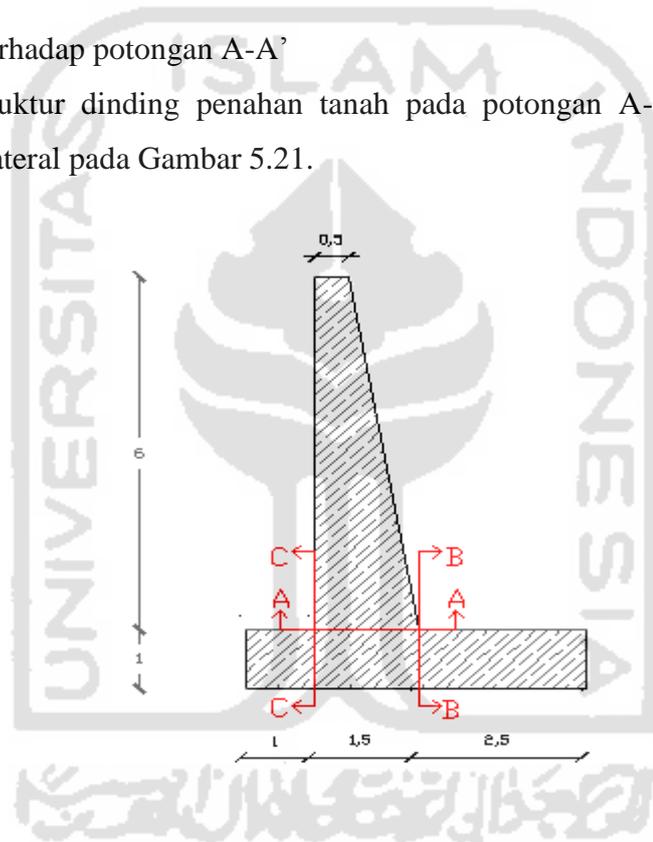
Diperoleh nilai *Safety factor* sebesar 1,819 pada lereng yang diperkuat dengan dinding penahan tanah yang dibebani dengan beban kendaraan dan beban gempa seperti pada gambar 5.20.

5.4.4 Analisis Stabilitas Internal Struktur Menggunakan Program Plaxis 8.2

Dalam menganalisis stabilitas internal pada dinding penahan tanah dapat ditinjau dari tiap potongan tampangnya, tinjauan ini meliputi stabilitas terhadap tegangan desak, tegangan geser dan tegangan tarik.

C) Tinjauan terhadap potongan A-A'

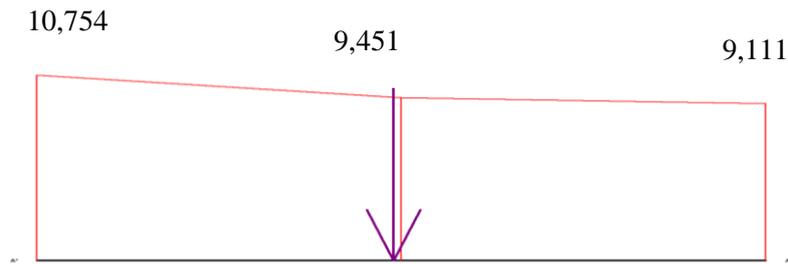
Berikut struktur dinding penahan tanah pada potongan A-A' beserta diagram tekanan tanah lateral pada Gambar 5.21.



Gambar 5.21 Potongan A-A' Dinding Penahan Tanah

3) Tinjauan stabilitas terhadap tegangan Desak :

Tegangan desak beton dari hasil keluaran plaxis menunjukkan hasil shear stress sebesar $-10,754 \text{ kN/m}^2$, hasil keluran desak beton dapat dilihat pada Gambar 5.22 dan Tabel 5.7.



Gambar 5.22 Potongan A-A' Total normal stresses

Tabel 5.7 Hasil Total Normal Stress

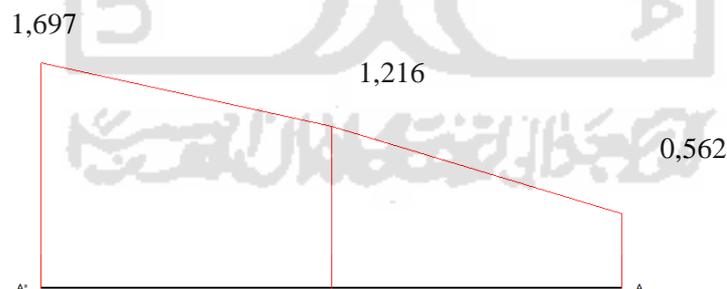
X [m]	Y [m]	σ_N [kN/m ²]
8,8	9,013	-9,111
8,32	9,013	-9,451
7,804	9,013	-10,754

$$\sigma_{desak} = -10,754 \text{ kN/m}^2 < \text{desak Beton} = 3614.5 \text{ kN/m}^2$$

Sehingga tinjauan stabilitas terhadap tegangan desak aman

4) Tinjauan stabilitas terhadap tegangan geser :

Tegangan geser hasil keluaran plaxis menunjukkan hasil shear stress sebesar 5,71 kN/m², hasil keluran plaxis dapat dilihat pada Gambar 5.23 dan Tabel keluaran plaxis dapat dilihat pada Tabel 5.8.



Gambar 5.23 Potongan A-A' extreme shear stress

Tabel 5.8 Hasil Total shear Stress

X [m]	Y [m]	σ_N [kN/m ²]
8,8	9,013	-0,562
8,32	9,013	-1,216
7,804	9,013	-1,697

$$\tau = 1,697 \text{ kN/m}^2 < \text{geser beton} = 180.7 \text{ kN/m}^2$$

Sehingga tinjauan stabilitas terhadap tegangan geser aman.

D) Perbandingan hasil stabilitas internal menggunakan program plaxis

Berikut hasil keluaran analisis stabilitas internal dinding penahan tanah menggunakan program plaxis 8.2 yang ditinjau dari potongan A-A', potongan B-B'. Hasil keluaran analisis stabilitas internal dinding penahan tanah dapat dilihat pada Tabel 5.9.

Tabel 5.9 Hasil Keluaran Analisis Stabilitas Internal Dinding Penahan Tanah

Potongan	Stabilitas terhadap Geser (kN/m ²)	Ket	Stabilitas terhadap (kN/m ²)		Ket
			Desak	Tarik	
A-A'	1,697 < 180.7	Aman	10,754 < 3614.5	-	Aman
B-B'	4,18 < 180.7	Aman	4,76 < 3614.5	-	Aman
C-C'	5,15 < 180.7	Aman	6,65 < 3614.5	-	Aman

5.5 Hasil Analisis dan Pembahasan

Analisis kestabilan lereng pada ruas jalan Banjarnegara – Karangobar km 77 menggunakan program plaxis 8.2 dimodelkan pada dua kondisi muka air tanah yaitu muka air tanah normal dan muka air tanah ekstrim. Pada lereng asli dibebani dengan beban kendaraan, dan pada lereng dengan dinding penahan tanah dibebani dengan beban kendaraan dan beban gempa. Dari pemodelan tersebut akan didapat nilai *safety factor*.

Safety factor dari pemodelan lereng asli pada muka air tanah normal dan dibebani dengan beban kendaraan adalah sebesar 1,081. Pada kondisi muka air tanah ekstrim yaitu didapat nilai *safety factor* asli sebesar 1,043 dengan dibebani beban kendaraan. Dari pemodelan tersebut, lereng yang dibebani dengan beban kendaraan berada pada kondisi kritis.

Pada lereng dengan dinding penahan tanah juga dimodelkan pada dua kondisi, yaitu pada kondisi muka air tanah normal dan muka air tanah ekstrim dan dibebani dengan beban kendaraan dan beban gempa. Dari pemodelan tersebut, didapat angka *safety factor* sebesar 2,75 pada kondisi muka air tanah normal dan 1,85 pada kondisi muka air tanah ekstrim.

Dari pembahasan diatas dapat disimpulkan bahwa naiknya level muka air tanah dapat menurunkan angka *safety factor*. Hal itu terjadi karena berat jenis air akan menambah beban terhadap lereng dan membuat lereng menjadi kritis dan rentan sekali terjadi longsor.

Tabel 5.10 Hasil analisis lereng menggunakan *Plaxis 8.2*

Analisis Hasil	Muka Air	Beban			Ket.	Syarat
		Beban Sendiri	Kendaraan	Kendaraan dan Gempa		
SF Lereng eksisting	5 m di bawah permukaan	1,28	1,081	-	Tidak Aman	>1,5
	1 m di bawah permukaan	1,13	1,043	-	Tidak Aman	>1,5
SF Lereng dengan DPT	5 m di bawah permukaan	3,27	2,776	2,75	Aman	>1,5
	1 m di bawah permukaan	2,29	1,86	1,85	Aman	>1,5

BAB VI

SIMPULAN DAN SARAN

6.1 Simpulan

Berdasarkan studi kasus dan pembahasan yang telah diuraikan pada bab sebelumnya, maka dapat ditarik simpulan sebagai berikut.

1. Hasil pemodelan lereng menggunakan program plaxis 8.2 didapat angka *safety factor*. Pada lereng asli dengan beban kendaraan diperoleh angka *safety factor* sebesar $1,081 < 1,5$ untuk lereng dalam kondisi muka air tanah normal, dan $1,043 < 1,5$ pada kondisi muka air tanah ekstrim. Nilai *safety factor* tersebut tidak memenuhi syarat *safety factor* untuk dinding penahan tanah pada timbunan tanah kohesif, sehingga perlu rancangan dinding penahan tanah untuk mengantisipasi kelongsoran.
2. Pemodelan lereng dengan dinding penahan tanah pada plaxis 8.2, perkuatan lereng digunakan dinding penahan tanah. Dimodelkan pada kondisi muka air tanah normal dan muka air tanah ekstrim, dibebani dengan beban kendaraan dan gempa. Dari hasil pemodelan didapat angka *safety factor* sebesar $2,75 > 1,5$ untuk muka air tanah normal dan $1,85 > 1,5$ untuk muka air tanah ekstrim. Nilai *safety factor* pada tersebut sudah memenuhi syarat untuk dinding penahan tanah.
3. Pengaruh naiknya muka air tanah terhadap *safety factor* lereng adalah dapat mengurangi *safety factor* lereng karena berat jenis air dapat menambah beban terhadap lereng.

6.2 Saran

Berdasarkan hasil studi kasus yang telah dilakukan, penulis memberikan beberapa saran sebagai berikut.

1. Diperlukan penyelidikan tanah yang komprehensif, mengingat Banjarnegara adalah daerah paling rawan terhadap longsor.

2. Penelitian selanjutnya sangat diharapkan untuk mendesain perkuatan terhadap lereng-lereng yang rawan terutama di daerah kabupaten Banjarnegara, Jawa Tengah
3. Perlu diberi bangunan drainase di sekitar dinding penahan tanah dan lereng untuk mengalirkan air hujan, sehingga air tidak masuk ke dalam tanah timbunan.



DAFTAR PUSTAKA

- Aji, B, M.N. (2005). Analisis stabilitas Lereng Berdasarkan Metode Bishop dan Program MRSS dengan Variasi Beban Gempa. Tugas Akhir. (Tidak Diterbitkan). Universitas Islam Indonesia. Yogyakarta.
- Alfanto, G.,dkk., 2013, *Evaluasi Kelongsoran Pada Ruas Jalan Weleri-Sukorejo Km.55 Kab.Kendal*.
- Bowles, J.E . (1986). *Analisis dan Desain Pondasi jilid 2*. Penerbit Erlangga, Jakarta.
- Das, B.M. (1994). *Mekanika Tanah (Prinsip-prinsip Rekayasa Geoteknis) jilid 2*. Penerbit Erlangga. Jakarta.
- Dermawan H., 2010, Mekanika Tanah Klasifikasi Tanah Pertemuan 2-3, (<http://file.upi.edu>, Diakses tanggal 26 Maret 2017).
- Fadly Achmad, 2010. *Studi Identifikasi Penyebab Longsor Di Botu*, Universitas Negeri Gorontalo, Gorontalo
- Handayani, T.,dkk., 2014. *Pengaruh Muka Air Tanah Terhadap Kestabilan Lereng Menggunakan Geoslope/W 7.12*. Universitas Gunagarma. Depok.
- Hardiyatmo, H.C. (2010). *Mekanika Tanah 1*. Gajah Mada University Press. Yogyakarta.
- Hardiyatmo, H.C. (2011). *Analisis dan Perancangan Fondasi 1*. Gajah Mada University Press. Yogyakarta.
- Hardiyatmo, H.C. (2010). *Mekanika Tanah 2*. Gajah Mada University Press. Yogyakarta.
- Hardiyatmo, H.C. (2010). *Stabilitas Tanah untuk Perkerasan Jalan*. Gajah Mada University Press. Yogyakarta.
- Hardiyatmo, H.C. (2006). *Penanganan Tanah Longsor dan Erosi*. Gajah Mada University Press. Yogyakarta.
- Hariyadi, S.,dkk., 2016 *Kajian Stabilitas Lereng Timbunan Pada PT. Kayan Kaltara Coal Job Site PT. Nata Energi Resources Kabupaten Bulungan Propinsi Kalimantan Utara*, Universitas Kutai Kartanegara, Kutai Kartanegara.
- Kementerian Pekerjaan Umum. (2010). Peta Hazard Gempa Indonesia 2010. Jakarta.
- Kementerian Pekerjaan Umum, 1971, Peraturan Pembebanan Indonesia (PBI 1971), Penerbit Kementerian Pekerjaan Umum, Jakarta.

- Kurniawan, A.E.T dan Ayudin, M.AR. (2003). Studi Tentang Stabilitas Lereng Berdasarkan Metode Fellinus dan Metode Bishop Dengan Variasi Tebal Pias dan Sudut Kemiringa, Studi Kasus Pada Proyek Gedung Kampus D3 Ekonomi UII. *Tugas Akhir*. (Tidak Diterbitkan). Universitas Islam Indonesia. Yogyakarta.
- Khastaliti, D.P.A., 2007. *Analisa Pengaruh Gempa Terhadap Konstruksi Lereng Dengan Perkuatan Geotekstil Woven*. Universitas Bina Nusantara.
- Nugroho N.S.A. (2010). *Analisa Gravity Retaining Walls Dengan Struktur Mini Pile Pada Tanah Lempung Expansive*. *Tugas Akhir*. (Tidak Diterbitkan). Universitas Islam Indonesia. Yogyakarta.
- Nur, O.F., dan Hakam, A., 2010, Analisa Stabilitas Dinding Penahan Tanah (retaining wall) akibat Beban Dinamis dengan Simulasi Numerik, (<http://jrs.ft.unand.ac.id/index.php/jrs/article/download/v6-n2-nur/47>, Diakses 5 desember 2016).
- Pramusandi, S., Rifa'i, A., Suryolelono, K.B., (2011). Penentuan Sifat Teknis Tanah Jenuh Sebagian dan Analisis Deformasi Lereng Akibat Pengaruh Variasi Hujan. Jurusan Teknik Sipil Politeknik Negeri Jakarta, (portalgaruda.org/article.php?article=144317&val=4031, Diakses 6 November 2016).
- Purwanto, E. (2012) Analisis Stabilitas Lereng Struktur Badan Jalan Timbunan Tanah. Study kasus *Overpass* Deres STA.21+850 Jalan Tol Semarang-Solo. Jurusan Teknik Sipil Universitas Islam Indonesia. Yogyakarta.
- Rekzyanti, R, 2016. *Analisa Kestabilan Lereng Terhadap Gempa*, TEKNO Vol.14/No.66/Desember 2016, Manado.
- Suyadi, W.,dkk., 2015. *Analisa Stabilitas Lereng Memakai Perkuatan Geotekstile Dengan Bantuan Perangkat Lunak (Studi Kasus Pada Sungai Parit Raya)*. Universitas Brawijaya, Malang.
- Yulianto, D. Analisis Dinding Penahan Tanah dan Stabilitas Lereng dengan Struktur Counter Weight Menggunakan program Plaxis 8.5, Studi Kasus Pada Jembatan Lemah Ireng II Paket VI Sta. 22+125 Proyek Jalan Tol Semarang – Solo. *Tugas Akhir*. (Tidak Diterbitkan). Universitas Islam Indonesia. Yogyakarta.



Lampiran 2 Bore Log



Laboratorium Mekanika Tanah
Jurusan Teknik Sipil Fakultas Teknik
Universitas Diponegoro
Semarang

BORE LOG

Project : Penanganan Longsor Banjarnegara		Location : STA. 77+000 - Banjarnegara Ruas Jalan Banjarnegara - Wanayasa		Bore Hole No : BH. 4 Page 1							
Date of drilling	5 - 9 Januari 2015	Described by	And RAS, ST	Coordinate	X						
Bore Machine	Coccon	Checked by	H. Mufrozi, MS	Elevation	Z						
Pump	Sunchin	Date of photograph		inclination							
Master bore	Kulhawan	Sample store at	Semarang	Azimuth							
Drilling methode	Rotary	Ground Water Depth	5.00 meter	Field Test SPT							
Diameter of hole	73 mm										
Date	6 - 9 Januari 2015	Depth (m)	Thickness (m)	sample	Symbol	Layer Type	DESCRIPTION	Depth (m)	N	30	50
		0.00									
		2.00									
		3.00	7.00			LANAU	sedikit pasir, sangat lunak sampai lunak, warna coklat				
		4.00	3.50			kelempungan					
		4.00	4.00								
		6.00									
		6.00									
		7.00									
		8.00	2.00			LEMPUNG	sedikit pasir, lunak, warna coklat kemerahan				
		8.00	7.50			kelanauan					
		9.00	8.00								
		11.00									
		11.00									
		12.00	8.00			LEMPUNG	campur pasir, lunak, warna coklat abu-abu				
		12.00	11.50			kelanauan					
		12.00	12.00								
		14.00									
		14.00									
		15.00									
		16.00	14.50								
		16.00	15.00								
		18.00									
		18.00									
		20.00	10.00			LEMPUNG	kaku sampai sangat kaku, warna coklat tua				
		20.00	18.50			kepasiran					
		20.00	20.00								
		22.00									
		22.00									
		23.00									
		23.00	23.50								
		24.00	24.00								
		24.00									
		25.00									
		25.00									
End Off Boring											
NOTE:											

Lampiran 3 Soil Test

 Laboratorium Mekanika Tanah Fakultas Teknik Jurusan Teknik Sipil Universitas Diponegoro Semarang		SOIL TEST				PROYEK : Penanganan Longsoran Banjarnegara Lokasi : STA. 77+000 - Banjarnegara Ruas Jalan Banjarnegara - Wanayasa Boring : BH. 4			
No.	Boring	Sample Code	Depth (m)	Water Content (w) %	Specific Gravity (Gs)	Unit weight γ gr/cm ³	Dry Unit Weight γ_d gr/cm ³	porosity (n) %	Void Ratio (e)
1	BH. 4	1	-03.50-04.00	82.77	2.5914	1.5984	0.8745	66.25	1.9632
2		2	-07.50-08.00	73.30	2.6050	1.6019	0.9243	64.52	1.8183
3		3	-11.50-12.00	61.97	2.6056	1.6149	0.9870	61.74	1.6134

Lampiran 4 Direct Shear Test

