

TUGAS AKHIR
PENGARUH *SEEPAGE* DAN HUJAN TERHADAP
KESTABILAN LERENG PADA JALAN TANAH TUFAN

Diajukan Untuk Memenuhi Salah Satu Syarat Menyelesaikan Pendidikan
Program Sarjana (S1) Program Studi Teknik Sipil Fakultas Teknik
Universitas Islam Sultan Agung



Disusun oleh:

IMAM SUJOKO

30.2018.000.88

MAULANA FADHLY

30.2018.00.115

FAKULTAS TEKNIK
PROGRAM STUDI TEKNIK SIPIL UNIVERSITAS ISLAM
SULTAN AGUNG SEMARANG

2022

TUGAS AKHIR
PENGARUH *SEEPAGE* DAN HUJAN TERHADAP
KESTABILAN LERENG PADA JALAN TANAH TUFaan

Diajukan Untuk Memenuhi Salah Satu Syarat Menyelesaikan Pendidikan
Program Sarjana (S1) Program Studi Teknik Sipil Fakultas Teknik
Universitas Islam Sultan Agung



Disusun oleh:

IMAM SUJOKO

30.2018.000.88

MAULANA FADHLY

30.2018.00.115

FAKULTAS TEKNIK
PROGRAM STUDI TEKNIK SIPIL UNIVERSITAS ISLAM
SULTAN AGUNG SEMARANG

2022



**YAYASAN BADAN WAKAF SULTAN AGUNG
UNIVERSITAS ISLAM SULTAN AGUNG (UNISSULA)
FAKULTAS TEKNIK**

Jalan Raya Kaligawe KM. 4 Po. BOX 1054 Telp. (024) 6583584 Ext. 507 Semarang 50112

LEMBAR PENGESAHAN

**PENGARUH *SEEPAGE* DAN HUJAN TERHADAP KESTABILAN
LERENG PADA JALAN TANAH TUFAN**

Oleh:



IMAM SUJOKO
30.2018.000.88



MAULANA FADHLY
30.2018.00.115

Telah disetujui dan disahkan di Semarang, 2022

Tim Penguji

Tanda Tangan

1. Dr. Ir. Rinda Karlinasari, MT
NIDN: 0623026901

2. Selvia Agustina, ST, M.Eng
NIDN: 0609099001

2. Lisa Fitriyana, ST, M.Eng
NIDN: 0631128901

.....
.....
.....

Universitas Islam Sultan Agung Program
Studi Teknik Sipil Fakultas Teknik

AN

Ketua,

Muhammad Rusli Ahyar, ST, M. Eng
NIDN: 0625059102



**YAYASAN BADAN WAKAF SULTAN AGUNG
UNIVERSITAS ISLAM SULTAN AGUNG (UNISSULA)
FAKULTAS TEKNIK**

Jalan Raya Kaligawe KM. 4 Po. BOX 1054 Telp. (024) 6583584 Ext. 507 Semarang 50112

BERITA ACARA BIMBINGAN TUGAS AKHIR

No : 44 / A.2 / SA – T / VIII / 2022

Pada hari ini tanggal 16 Agustus 2022 berdasarkan surat keputusan Dekan Fakultas Teknik, Universitas Islam Sultan Agung (UNISSULA) perihal penunjukan Dosen Pembimbing Utama dan Dosen Pendamping :

1. Nama : Dr. Ir. Rinda Karlinasari, MT
Jabatan Akademik : Asisten Ahli
Jabatan : Dosen Pembimbing Utama
2. Nama : Selvia Agustina, ST, M.Eng
Jabatan Akademik : Asisten Ahli
Jabatan : Dosen Pembimbing Pendamping

Dengan ini menyatakan bahwa mahasiswa tersebut dibawah ini telah menyelesaikan bimbingan Tugas Akhir :

Nama : Imam Sujoko

Nama : Maulana Fadhly

NIM : 30201800088

NIM : 30201800115

Judul : PENGARUH *SEEPAGE* DAN HUJAN TERHADAP KESTABILAN LERENG PADA JALAN TANAH TUFAN

Dengan tahap sebagai berikut :

No	Tahapan	Tanggal	Keterangan
1	Penunjukan Dosen Pembimbing	25 / 02 / 2022	ACC
2	Pengumpulan Data Analisis	08 / 03 / 2022	ACC
3	Penyusunan Laporan	17 / 03 / 2022	ACC
4	Seminar Proposal	06 / 04 / 2022	ACC
5	Selesai Laporan Tugas Akhir	16 / 08 / 2022	ACC

Dosen Pembimbing Utama

Dosen Pembimbing Pendamping

Dr. Ir. Rinda Karlinasari, MT
NIDN: 0623026901

Selvia Agustina, ST, M.Eng
NIDN: 0609099001

Mengetahui,

Ketua Program Studi Teknik Sipil

Muhammad Rusli Ahyar, ST, M. Eng
NIDN: 0625059102

PERNYATAAN BEBAS PLAGIASI

Saya yang bertanda tangan di bawah ini :

NAMA : Imam Sujoko
NIM : 30201800088

NAMA : Maulana Fadhly
NIM : 30201800115

dengan ini menyatakan bahwa Tugas Akhir yang berjudul :

PENGARUH *SEEPAGE* DAN HUJAN TERHADAP KESTABILAN LERENG PADA JALAN TANAH TUFaan

benar bebas dari plagiat, dan apabila pernyataan ini terbukti tidak benar maka kami bersedia menerima sanksi sesuai ketentuan yang berlaku.

Demikian surat pernyataan ini kami buat untuk dipergunakan sebagaimana mestinya.

Yang membuat pernyataan,

Imam Sujoko
NIM : 30.2018.000.88

Semarang,

Yang membuat pernyataan,

Maulana Fadhly
NIM : 30.2018.00.115



PERNYATAAN KEASLIAN

Saya yang bertanda tangan dibawah ini:

NAMA : Imam Sujoko
NIM : 30201800088
NAMA : Maulana Fadhly
NIM : 30201800115
JUDUL TUGAS AKHIR :

PENGARUH SEEPAGE DAN HUJAN TERHADAP KESTABILAN LERENG PADA JALAN TANAH TUFaan

Menyatakan dengan sesungguhnya bahwa Tugas Akhir ini merupakan hasil penelitian, pemikiran dan pemaparan asli saya sendiri. Saya tidak mencantumkan tanpa pengakuan bahan - bahan yang telah dipublikasikan sebelumnya atau ditulis oleh orang lain, atau sebagai bahan yang pernah diajukan untuk gelar atau ijasah pada Universitas Islam Sultan Agung Semarang atau perguruan tinggi lainnya.

Apabila dikemudian hari terdapat penyimpangan dan ketidakbenaran dalam pernyataan ini, maka saya bersedia menerima sanksi akademik sesuai dengan peraturan yang berlaku di Universitas Islam Sultan Agung Semarang.

Demikian pernyataan ini kami buat.

Yang membuat pernyataan,

Yang membuat pernyataan,



Imam Sujoko
NIM : 30.2018.000.88

Maulana Fadhly
NIM : 30.2018.00.115

MOTTO

-Membangun Generasi Khaira Ummah

كُنْتُمْ خَيْرَ أُمَّةٍ أُخْرِجَتْ لِلنَّاسِ تَأْمُرُونَ بِالْمَعْرُوفِ وَتَنْهَوْنَ عَنِ الْمُنْكَرِ وَتُؤْمِنُونَ بِاللَّهِ
وَلَوْ آمَنَ أَهْلُ الْكِتَابِ لَكَانَ خَيْرًا لَهُمْ ۚ مِنْهُمْ الْمُؤْمِنُونَ وَأَكْثَرُهُمُ الْفَاسِقُونَ

Artinya:

Kamu adalah umat yang terbaik yang dilahirkan untuk manusia, menyuruh kepada yang ma'ruf, dan mencegah dari yang munkar, dan beriman kepada Allah. Sekiranya Ahli Kitab beriman, tentulah itu lebih baik bagi mereka, di antara mereka ada yang beriman, dan kebanyakan mereka adalah orang-orang yang fasik.

(QS. Ali 'Imran:110)

“Janganlah kita menyia-nyiakan waktu, sebelum waktu yang menyia-nyiakanmu”

- IMAM SUJOKO-

“ The Biggest Risk Is Not Taking Any Risk“

-MAULANA FADHLY-

PERSEMBAHAN

Alhamdulillah, Puji syukur kehadiran Allah SWT yang telah memberikan rahmat dan hidayah-Nya, sehingga penulis dapat menyelesaikan Laporan Tugas Akhir ini penulis persembahkan untuk :

1. Kedua orang tua saya tercinta, Bapak Slamet & Ibu Marni yang senantiasa selalu memberikan do'a, kasih sayang, dorongan motivasi, semangat dan dukungan secara moral maupun secara materiil.
2. Kakak dan kerabat saya tercinta yang selalu memberikan do'a dan dukungan secara moral maupun secara materiil.
Dosen pembimbing Tugas Akhir saya Dr.Ir.Rinda Karlinasari,M.T, dan Ibu Selvia Agustina,S.T.,M.Eng yang telah membimbing kami sepenuh hati untuk menyelesaikan Tugas Akhir ini.
3. Bapak dan Ibu Dosen Fakultas Teknik UNISSULA yang telah memberikan ilmu pengetahuan yang sangat bermanfaat dan sangat bergunaselama saya menuntut ilmu di Fakultas Teknik UNISSULA.
4. Saudara Maulana Fadhly rekan Tugas Akhir, teman seperjuangan, dan Saudara dalam hal apapun.
5. Teman-teman kontrakan Sidodrajat II No.27 terimakasih telah mendukung, menemani dan membantu selama proses mengerjakan Tugas Akhir ini.
6. Teman-teman Teknik Sipil 2018 yang selalu memberikan bantuan di saat susah dan menambah kebahagiaan di saat senang. Terima kasih atas kebersamaannya selama ini.

Imam Sujoko
30.2018.000.88

PERSEMBAHAN

Alhamdulillah, Puji syukur kehadiran Allah SWT yang telah memberikan rahmat dan hidayah-Nya, sehingga penulis dapat menyelesaikan Laporan Tugas Akhir ini penulis persembahkan untuk :

1. Kedua orang tua saya tercinta, Bapak Moch Dhofir & Ibu Maryamah (Almh) yang senantiasa selalu memberikan do'a, kasih sayang, dorongan motivasi, semangat dan dukungan secara moral maupun secara materiil.
2. Kakak-kakak tersayang, dan adik tercinta yang selalu memberikan do'a dan dukungan secara moral maupun secara materiil.
3. Dosen pembimbing Tugas Akhir saya Dr.Ir.Rinda Karlinasari,M.T, dan Ibu Selvia Agustina,S.T.,M.Eng yang telah membimbing kami sepenuh hati untuk menyelesaikan Tugas Akhir ini.
4. Bapak dan Ibu Dosen Fakultas Teknik UNISSULA yang telah memberikan ilmu pengetahuan yang sangat bermanfaat dan sangat berguna selama saya menuntut ilmu di Fakultas Teknik UNISSULA.
5. Saudara Imam Sujoko selaku rekan Tugas Akhir, teman seperjuangan, dan Saudara dalam hal apapun
6. Inan Tuada Salsabila, terima kasih atas perhatian, kesabaran, waktu, dan tenaga yang digunakan untuk membantu dan menemani peneliti, serta memotivasi peneliti agar segera menyelesaikan skripsi ini.
7. Teman-teman kontrakan Sidodrajat II No.27 terimakasih telah mendukung, menemani dan membantu selama proses mengerjakan Tugas Akhir ini
8. Teman-teman Teknik Sipil 2018 yang selalu memberikan bantuan di saat susah dan menambah kebahagiaan di saat senang. Terima kasih atas kebersamaannya selama ini.
9. Last but not least, terima kasih kepada diri sendiri yang sudah mau berjuang dan selalu berusaha untuk menjadi versi diri terbaik setiap hari.

Peneliti sadar bahwa dalam penulisan skripsi ini jauh dari kata sempurna. Oleh karena itu, kritik dan saran sangat peneliti butuhkan sebagai masukan yang berharga. Akhir kata, semoga skripsi ini bermanfaat baik untuk peneliti sendiri maupun untuk pihak-pihak yang berkepentingan. Dan semoga Allah SWT

membalas semua kebaikan pihak-pihak yang telah membantu dalam penyelesaian skripsi ini. Aamiin.

Maulana Fadhly
30.2018.00.115



KATA PENGANTAR

Asslamualaikum Wr. Wb.

Puji dan syukur kehadiran Allah SWT, yang telah memberikan rahmat dan hidayah –Nya sehingga laporan Tugas Akhir dengan judul “PENGARUH *SEEPAGE* DAN HUJAN TERHADAP KESTABILAN LERENG PADA JALAN TANAH TUFAN” tersebut bisa terselesaikan dengan baik. Penyelesaian laporan ini dimaksudkan guna menyelesaikan Program Studi Strata 1 (S1) di Fakultas Teknik Program Studi Teknik Sipil Universitas Islam Sultan Agung Semarang.

Penulis menyadari kelemahan serta kekurangan dalam penyusunan tugas akhir ini, dan dalam penyelesaian tugas akhir ini memperoleh dukungan dari beberapa sehingga dapat terselesaikannya tugas akhir ini dengan baik. dalam kesempatan ini penulis menyampaikan ucapan terima kasih kepada :

1. Bapak Ir. H. Rachmat Mudiyo, MT, Ph. D selaku Dekan Fakultas Teknik Universitas Islam Sultan Agung Semarang.
2. Bapak Muhammad Rusli Ahyar, ST., M. Eng selaku Ketua Progam Studi Teknik Sipil Fakultas Teknik Universitas Islam Sultan Agung Semarang.
3. Ibu Dr. Ir. Rinda Karlinasari, MT selaku Dosen Pembimbing I Tugas Akhir, yang memberikan bimbingan dengan penuh kesabaran, pemikiran, kritik, saran, dan dorongan semangat.
4. Ibu Selvia Agustina, ST, M.Eng selaku Dosen Pembimbing II Tugas Akhir, yang memberikan bimbingan dengan penuh kesabaran, pemikiran, kritik, saran, dan dorongan semangat.
5. Bersama pihak pihak yang telah membantu dalam penyelesaian tugas Akhir ini sampai dengan laporan selesai.

Penulis menyadari bahwa tugas akhir ini masih banyak kekurangan baik isi maupun susunannya. Semoga tugas akhir ini dapat bermanfaat tidak hanya bagi penulis juga bagi para pembaca.

Walaikumsalam Wr. Wb.

Semarang, 2022

Imam Sujoko
(30.2018.00.088)

Maulana Fadhly
(30.2018.00.115)



PENGARUH SEEPAGE DAN HUJAN TERHADAP KESTABILAN LERENG PADA JALAN TANAH TUF AAN

ABSTRAK

Imam sujoko¹, Maulana Fadhly¹

Dr. Ir . Rinda Karlinasari, MT², Selvia Agustina, ST, M.Eng²

Proyek Jalan Tol Serpan (Serang-Panimbang) pada STA-43 terdapat pembangunan jalan tol dan pekerjaan galian tanah yang dimaksudkan untuk membentuk badan jalan. Lokasi penelitian terletak pada tanah tuf. Tanah tuf terbentuk dari pelapukan batuan vulkanik, jenis tanah ini umumnya menyerap air secara efisien tetapi memiliki kapasitas menahan air yang terbatas, sehingga mudah terdegradasi. Apabila hal tersebut terjadi terus menerus maka tanah akan semakin renggang akibat air yang terus mendesak ke dalam dan mengakibatkan pelapukan. Pada peristiwa pelapukan inilah yang akan menyebabkan tanah bergerak mengikuti lereng sehingga kestabilan lereng menjadi turun dan mengakibatkan longsor. Penelitian ini bertujuan untuk mengetahui arah pergerakan muka air dan mengetahui perbandingan nilai *Safety Factor* pada lereng dari pengaruh curah hujan dan rembesan serta pemberian subdrain pada lereng. Metode yang digunakan dalam penelitian ini menggunakan program numerik dengan *software* GeoStudio 2018 subprogram *slope/w* dan *seep/w*, kemudian analisis dilakukan dengan cara *trial and error* pada programnya sampai mendapatkan hasil yang sesuai dengan kondisi asli di lapangan. Hasil penelitian ini diketahui bahwa arah rembesan air mengalir dari atas menuju ke bawah lereng dan pengaruh *seepage* nilai *Safety Factor* 1,170 lebih besar dibandingkan dengan infiltrasi air hujan nilai *Safety Factor* 1,286, kemudian *seepage* juga menyebabkan penurunan nilai *Safety Factor*, sedangkan penambahan subdrain dapat meningkatkan nilai *Safety Factor* 1,287 pada lereng.

Kata Kunci: *Infiltrasi air hujan; Longsor; Tanah Tuf; Stabilitas lereng*

¹ Mahasiswa Fakultas Teknik UNISSULA

² Dosen Fakultas Teknik UNISSULA

THE EFFECT OF SEEPAGE AND RAIN ON SLOPE STABILITY ON TUFAAN SOIL ROAD

ABSTRACT

Imam sujoko¹, Maulana Fadhly¹

Dr. Ir . Rinda Karlinasari, MT², Selvia Agustina, ST, M.Eng²

On The Serpan (Serang-Panimbang) Toll Road project at STA-43 there are construction of a toll road and earthworks which are intended to form a road body. The research is located on tuff soil. Tuff soil is formed from weathering of volcanic rocks, this type of soil generally absorbs water efficiently but has a limited water holding capacity, so it is easily degraded. If this happens continuously, the soil will be more tenuous due to water that continues to push inward and cause weathering. Weathering can causes the soil will move along the slope so that the stability of the slope decreases and causes landslides. This study aims to determine the direction of water level movement and to compare the value of the Safety Factor on the slopes from the effect of rainfall and seepage and the provision of subdrain on the slopes. The method used in this study is a numerical program GeoStudio 2018 software with slope/w and seep/w subprograms, then the analysis is carried out by trial and error in the program until the results are in accordance with the original conditions in the field. The results of this study are the direction of water seepage flows from the top to the bottom of the slope and the effect of seepage value of Safety Factor 1,170 is bigger than rainwater infiltration value of Safety Factor 1,286, seepage also causes a decrease in the value of Safety Factor, while the addition of subdrain can increase the value of Safety Factor 1,287 on the slope.

Keywords: Rainwater infiltration; Landslide; Tuff land; Slope stability

¹ Student Of Engineering Faculty, Sultan Agung Islamic University

² Lecturer Of Engineering Faculty, Sultan Agung Islamic University

DAFTAR ISI

TUGAS AKHIR	i
LEMBAR PENGESAHAN	ii
BERITA ACARA BIMBINGAN TUGAS AKHIR.....	iii
PERNYATAAN BEBAS PLAGIASI	iv
PERNYATAAN KEASLIAN	v
MOTTO	vi
PERSEMBAHAN.....	vii
PERSEMBAHAN.....	viii
KATA PENGANTAR.....	x
ABSTRAK	xii
ABSTRACT	xiii
DAFTAR ISI.....	xiv
DAFTAR GAMBAR.....	xvii
DAFTAR TABEL.....	xix
BAB I PENDAHULUAN.....	1
1.1 Latar Belakang	1
1.2 Rumusan Masalah	2
1.3 Tujuan Analisis.....	3
1.4 Batasan Masalah.....	3
1.5 Peta Lokasi	4
1.6 Keaslian Kajian	4
1.7 Sistematika Laporan.....	4
BAB II TINJAUAN PUSTAKA.....	6
2.1 Tinjauan Umum	6
2.2 Infiltrasi Air Hujan	7
2.3 Rembesan (<i>Seepage</i>)	7
2.4 Tanah Tufaan (<i>Vulcanic soil</i>)	8
2.5 Lereng.....	8
2.6 Tekanan Air Pori Negatif (<i>Suction</i>).....	9
2.7 Hubungan <i>Suction</i> dan Koefisien permeabilitas	9
2.8 Bentuk Lereng	10
2.9 Klasifikasi Keruntuhan Lereng	11

2.10 Stabilitas Lereng.....	11
2.11 Analisis Stabilitas Lereng Tak Terhingga	13
2.11.1 Kondisi Tanah Tidak Jenuh	13
2.11.2 Kondisi Dengan Rembesan (Tanah Jenuh).....	14
2.12 Pengaruh Curah Hujan Terhadap Keruntuhan Lereng	15
2.13 Faktor Keamanan (<i>Safety Factor</i>)	16
2.14 Sondir	17
2.15 Kuat Geser Tanah.....	17
2.16 Penelitian Terdahulu.....	18
BAB III METODOLOGI PENELITIAN	20
3.1 Tinjauan Umum.....	20
3.2 Studi Literatur.....	21
3.3 Pengumpulan Data	21
3.4 Program Numerik Dengan GeoStudio 2018	22
3.4.1 Program SEEP/W	22
3.4.2 Program SLOPE/W.....	22
3.5 Kesimpulan.....	23
3.6 Pembuatan Laporan.....	23
BAB IV HASIL DAN PEMBAHASAN.....	24
4.1 Tinjauan Umum.....	24
4.2 Lokasi Proyek.....	25
4.3 Data	27
4.3.1 Data Curah Hujan.....	27
4.3.2 Data Tanah.....	28
4.4 Analisis Tanah.....	31
4.5 Analisis Pengaruh Curah Hujan Dengan Program SEEP/W	32
4.5.1 <i>Input Hydraulic Conductivity dan Vol. Water Content</i>	32
4.5.2 <i>Input Material Properties</i>	35
4.5.3 <i>Input Draw Materials</i>	36
4.5.4 <i>Define Hydraulic Functions</i>	37
4.5.5 <i>Running Program</i>	40
4.5.6 Analisis Setelah ditambah Subdrain dengan Program SEEP/W.....	41
4.6 Analisis Kestabilan Lereng Menggunakan Program SLOPE/W.....	42
4.6.1 Kondisi Infiltrasi Air Hujan.....	43

4.6.2 Kondisi Adanya Kolam (<i>Seepage</i>)	47
4.6.3 Kondisi Setelah ditambah Subdrain.....	51
4.7 Nilai <i>Safety Factor</i> Lereng.....	55
4.7.1 Tabel Nilai <i>Safety Factor</i> Lereng	55
4.7.2 Tabel Nilai <i>Safety Factor</i> Lereng Dengan Adanya Kolam.....	55
4.7.3 Tabel Nilai <i>Safety Factor</i> Lereng Ditambah Subdrain	56
4.7.4 Grafik Perbandingan Nilai <i>Safety Factor</i>	56
BAB V PENUTUP	58
5.1 Kesimpulan.....	58
5.2 Saran.....	58
DAFTAR PUSTAKA.....	xviii



DAFTAR GAMBAR

Gambar 1. 1	Lokasi Proyek Pembangunan Jalan Tol Serpan STA 43	4
Gambar 2. 1	Definisi variabel-variabel yang terdapat pada <i>soil-water</i>	9
Gambar 2. 2	Lereng tak terhingga tanpa aliran rembesan (Hardiyatmo, 2010) ..	13
Gambar 2. 3	Lereng tak terhingga oleh kondisi aliran rembesan penuh	14
Gambar 3. 1	Diagram Alir Penelitian	21
Gambar 3. 2	Tampilan Awal Geostudio 2018	22
Gambar 4. 1	Lokasi Sta 43 dilihat dari Google <i>Earth</i> dalam 3D	25
Gambar 4. 2	Peta Geologi Lembar Serang	26
Gambar 4. 3	Genangan Air diatas lereng	26
Gambar 4. 4	Lokasi terjadinya Tanah Longsor	26
Gambar 4. 5	Grafik Curah Hujan Rata-rata Bulanan	27
Gambar 4. 6	<i>Input</i> Curah Hujan 2016 Stasiun Serang-Panimbang	28
Gambar 4. 7	Klasifikasi Tanah Grafik Hubungan q_c dan R_f Menurut Robertso	29
Gambar 4. 8	Grafik Sondir	31
Gambar 4. 9	Titik-titik Permodelan	31
Gambar 4. 10	Titik Koordinat yang dihubungkan	32
Gambar 4. 11	<i>Input Hydraulic Conductivity</i>	32
Gambar 4. 12	<i>Database</i> GeoStudio 2004	33
Gambar 4. 13	<i>Import Function</i>	33
Gambar 4. 14	<i>Import</i> Nilai K_{sat}	33
Gambar 4. 15	<i>Define hydraulic Conductivity</i>	34
Gambar 4. 16	<i>Vol Water Content functions</i>	34
Gambar 4. 17	<i>Input Materials</i>	35
Gambar 4. 18	<i>Data Materials</i>	35
Gambar 4. 19	<i>Draw Materials</i>	36
Gambar 4. 20	Permodelan <i>Intial Condition</i>	36
Gambar 4. 21	Permodelan <i>Initial Condition</i> Dengan Kolam (<i>Seepage</i>)	36
Gambar 4. 22	<i>Opsi Hydraulic Functions</i>	37
Gambar 4. 23	Data Curah Hujan	37
Gambar 4. 24	<i>Draw Boundary conditions</i>	38
Gambar 4. 25	Permodelan Penambahan Curah Hujan	38
Gambar 4. 26	<i>Draw Boundary conditions seepage</i>	39
Gambar 4. 27	Permodelan Penambahan <i>Seepage</i>	39
Gambar 4. 28	kontur <i>Pressure Head</i> pada permodelan awal	40
Gambar 4. 29	kontur <i>Pressure Head</i> pada permodelan dengan adanya kolam...	40
Gambar 4. 30	Permodelan setelah ditambah subdrain	41
Gambar 4. 31	Kontur <i>pressure head</i> setelah ditambah <i>Subdrain</i>	41
Gambar 4. 32	Permodelan SLOPE/W	42
Gambar 4. 33	Permodelan SLOPE/W dengan kolam	42
Gambar 4. 34	<i>Input</i> parameter tanah	43
Gambar 4. 35	Nilai SF Pada Kondisi <i>Initial Condition</i>	43
Gambar 4. 36	Nilai SF Curah Hujan Serpan 2016	44
Gambar 4. 37	Nilai SF Curah Hujan Periode 2 tahun	44

Gambar 4. 38	Nilai SF Curah Hujan Periode 5 tahun	45
Gambar 4. 39	Nilai SF Curah Hujan Periode 10 tahun	45
Gambar 4. 40	Nilai SF Curah Hujan Periode 25 tahun	46
Gambar 4. 41	Nilai SF Curah Hujan Periode 50 tahun	46
Gambar 4. 42	Nilai SF Curah Hujan Periode 100 tahun	47
Gambar 4. 43	Nilai SF Pada Kondisi <i>Initial Condition</i> Adanya Kolam	47
Gambar 4. 44	Nilai SF Curah Hujan Serpan 2016	48
Gambar 4. 45	Nilai SF Curah Hujan Periode 2 tahun	48
Gambar 4. 46	Nilai SF Curah Hujan Periode 5 tahun	49
Gambar 4. 47	Nilai SF Curah Hujan Periode 10 tahun	49
Gambar 4. 48	Nilai SF Curah Hujan Periode 25 tahun	50
Gambar 4. 49	Nilai SF Curah Hujan Periode 50 tahun	50
Gambar 4. 50	Nilai SF Curah Hujan Periode 100 tahun	51
Gambar 4. 51	Nilai SF Curah Hujan Serpan 2016	51
Gambar 4. 52	Nilai SF Curah Hujan Periode 2 tahun	52
Gambar 4. 53	Nilai SF Curah Hujan Periode 5 tahun	52
Gambar 4. 54	Nilai SF Curah Hujan Periode 10 tahun	53
Gambar 4. 55	Nilai SF Curah Hujan Periode 25 tahun	53
Gambar 4. 56	Nilai SF Curah Hujan Periode 50 tahun	54
Gambar 4. 57	Nilai SF Curah Hujan Periode 100 tahun	54
Gambar 4. 58	Grafik Perbandingan Infiltrasi Air Hujan Dengan Rembesan	56
Gambar 4. 59	Grafik Nilai <i>Safety Factor</i>	57



DAFTAR TABEL

Tabel 2. 1 Klasifikasi Keruntuhan Lereng	11
Tabel 2. 2 Probabilitastik Curah Hujan Harian (BMKG).....	16
Tabel 4. 1 Klasifikasi Data Tanah Sondir	29
Tabel 4. 2 Data Tanah	30
Tabel 4. 3 Tabel Nilai Safety Factor Lereng	55
Tabel 4. 4 Tabel Nilai <i>Safety Factor</i> Lereng Dengan Adanya Kolam	55
Tabel 4. 5 Tabel Nilai <i>Safety Faktor</i> Lereng Ditambah <i>Subdrain</i>	56



BAB I

PENDAHULUAN

1.1 Latar Belakang

Indonesia merupakan negara yang beriklim tropis. Hal ini disebabkan karena Indonesia terletak di garis ekuator yang berdekatan dengan matahari. Sehingga paparan radiasi menuju wilayah Indonesia yang bersifat panas dapat mempengaruhi kehidupan di bawahnya (Angelika, 2014). Kemudian Indonesia merupakan negara kepulauan terbesar di dunia, sekitar 75% wilayah Indonesia merupakan wilayah perairan (Rakhmindyarto & Sinulingga, 2014). Panasnya radiasi matahari mengakibatkan air di lautan menguap dan menyebabkan curah hujan tinggi (Angelika, 2014). Air hujan yang mengguyur permukaan tanah dengan intensitas yang tinggi dapat memicu pergerakan material di permukaan lereng. Material dapat berupa tanah dan puing batuan berpindah tempat menuruni lereng dan air merembes ke dalam batuan atau pori-pori tanah, dapat menyebabkan berat material pada permukaan lereng akan semakin bertambah serta menambah tekanan material tanah dan bongkahan batuan *remodelling*. Selanjutnya terjadi pelepasan dan pergerakan material yang diikuti dengan air.

Struktur geologi wilayah Banten terdiri atas batuan yang bervariasi dengan tingkat ketebalan dari masing-masing batuan sekitar 200 sampai 800 meter dan tebal seluruh batuan diperkirakan lebih dari 3.500 meter. Susunan Bojongmanik adalah satuan batuan tertua berumur miosen akhir, batuan ini terdiri dari batu pasir, lempung pasiran, batu gamping, batu pasir tufaan, batu konglomerat, dan breksi andesit, umurnya diperkirakan pliosen awal. Selanjutnya yaitu susunan Cipacar terdiri atas tuf batu apung, lempung tufaan, batu konglomerat, serta napal glaukonitan, umurnya diasumsikan pliosen akhir. Di atas susunan yang telah disebutkan adalah susunan Bojong yang tersusun dari napal pasiran, lempung pasiran, batu gamping kokina, serta tanah tuf. Tanah tuf (*volcanic soil*) terbentuk dari pelapukan batuan vulkanik. Jenis tanah ini umumnya menyerap air secara efisien, tetapi memiliki kapasitas menahan air yang terbatas, sehingga mudah terdegradasi. Di Sumatera, Jawa, Sulawesi, dan Nusa Tenggara, jenis tanah ini banyak ditemukan di sekitar gunung berapi atau lokasi lava vulkanik.

Longsor atau gerakan tanah dapat diartikan seperti gerakan yang menuruni lereng oleh massa batuan (tanah) terjadi adanya gaya gravitasi. Longsor terjadi karena ketidakseimbangan gaya yang bekerja pada lereng yang disebabkan oleh kandungan air, berat massa tanah, serta berat beban bangunannya (Naryanto, dkk. 2019). Selanjutnya dikutip dari Naryanto (2011) dan Naryanto, dkk. (2016) ketidakseimbangan tersebut terjadi karena adanya gaya dari luar lereng, sehingga mengakibatkan massa tanah bergerak turun.

Pergerakan massa tanah atau batuan yang terjadi pada lereng karena adanya efek gabungan dari beberapa kondisi, antara lain kondisi morfologi, geologi, struktur geologi, hidrogeologi, dan penggunaan lahan (Karnawati, 2007). Kondisi ini berinteraksi yang membuat lereng menjadi rapuh dan memiliki kemungkinan untuk bergerak. Biasanya terjadi rawan pada lereng dan siap bergerak justru akan terjadi bergerak jika adanya faktor yang mendorong terjadinya pergerakan. Faktor penyebab terjadinya gerakan adalah hujan, getaran, aktivitas manusia di lereng sama seperti pemotongan, penggalian, dan pembebanan yang melampaui batas (Karnawati, 2005).

Pada proyek pembangunan Jalan Tol Serang-Panimbang menjadi objek salah satu penelitian dalam penyusunan laporan Tugas Akhir tentang pengaruh curah hujan dan rembesan pada stabilitas lereng jalan tanah tufa. Proyek yang dibangun dari Serang sampai Panimbang ini memiliki panjang 83,67 km. Untuk menganalisis kestabilan lereng pada pengaruh curah hujan dan rembesan (*seepage*) maka dibutuhkan data sifat dan mekanik dari tanah dan batuan. Oleh sebab itu, perlu untuk pengumpulan data tanah dan data lain di lokasi proyek.

1.2 Rumusan Masalah

Rumusan masalah dalam Tugas Akhir ini adalah sebagai berikut:

1. Bagaimana kondisi arah pergerakan muka air dan tanah setelah dipengaruhi oleh curah hujan dan rembesan (*seepage*)?
2. Berapa nilai *Safety Factor* (SF) pada lereng setelah terkena hujan dan rembesan (*seepage*)?

3. Manakah yang menentukan penurunan *Safety Factor* (SF) pada *slope*, pengaruh oleh infiltrasi curah hujan atau rembesan (*seepage*)?
4. Berapa nilai *Safety Factor* (SF) pada lereng setelah terkena hujan dan rembesan ditambah disubdrain?

1.3 Tujuan Analisis

Tujuan analisis dalam Tugas Akhir ini sebagai berikut :

1. Mengetahui kondisi arah pergerakan muka air dan tanah setelah dipengaruhi oleh curah hujan dan rembesan (*seepage*).
2. Mengetahui nilai *Safety Factor* (SF) pada lereng setelah mendapatkan pengaruh curah hujan dan rembesan (*seepage*).
3. Mengetahui manakah yang menentukan penurunan *Safety Factor* (SF) pada *slope*, pengaruh oleh infiltrasi curah hujan atau rembesan (*seepage*).
4. Mengetahui nilai *Safety Factor* (SF) pada lereng setelah mendapatkan pengaruh curah hujan dan rembesan (*seepage*) ditambah subdrain.

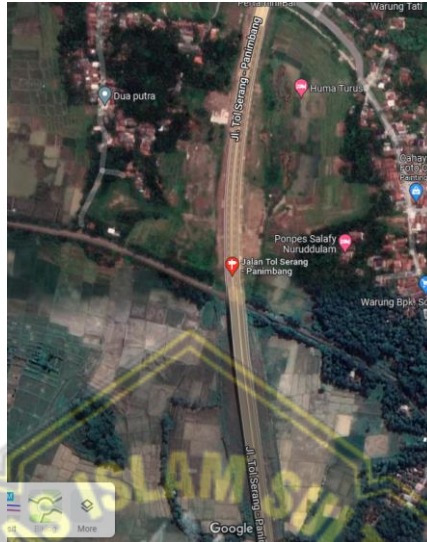
1.4 Batasan Masalah

Permasalahan dalam Tugas Akhir butuh adanya batasannya, karena ada keterbatasan waktu. Adapun batasan masalahnya dalam Tugas Akhir ini adalah sebagai berikut :

1. Kondisi tanah pada dianalisis adalah kondisi tanah asli tanpa adanya pembebanan dilokasi Proyek Pembangunan Jalan Tol Serpan (Serang – Panimbang) Sta 43.
2. Metodologi dalam analisis ini menggunakan Program GeoStudio 2018 program SEEP/W 2018 dan SLOPE/W 2018.
3. Data yang digunakan dalam penginputan curah hujan yang dipakai dari BMKG dengan data curah hujan bulanan pada Stasiun hujan Serang-Panimbang.
4. Dalam menggunakan data curah hujan bulanan dari BMKG diubah menjadi curah hujan harian dengan bantuan program Exel untuk penginputan kedalam Geostudio 2018 dengan batasan nilai maximum yang telah ditetapkan.

1.5 Peta Lokasi

Lokasi Jalan Serang – Panimbang, bisa dilihat Gambar 1.1.



Gambar 1. 1 Lokasi Proyek Pembangunan Jalan Tol Serang-Panimbang STA 43

1.6 Keaslian Kajian

Naskah-naskah ditulis pada penyusunan Tugas Akhir ini merupakan hasil dari refrensi terdahulu dengan menggabungkan data-data yang ada, bagian yang dirujuk yang disebutkan oleh sumber, baik pada teks ataupun pada daftar pustakanya.

1.7 Sistematika Laporan

Dalam menyusun Tugas Akhir terdiri dari lima bab, masing-masing bab terdiri atas:

BAB I PENDAHULUAN

Bab ini berisi pendahuluan mengenai latar belakang permasalahan yang muncul, tujuan penulisan, lokasi penelitian, dan sistematika penulisan laporan.

BAB II TINJAUAN PUSTAKA

Bab ini memaparkan definisi lereng, longsor, stabilitas lereng, analisis stabilitas lereng, dan metode yang akan digunakan.

BAB III METODE PENELITIAN

Bab ini berisi penjelasan tentang metode-metode yang berkaitan dengan alur penelitian untuk mendapatkan tujuan yang ingin dicapai dalam penelitian dengan menggunakan program *software* Geostudio 2018.

BAB IV ANALISIS DAN PEMBAHASAN

Bab ini berisi tentang analisis data dan analisis perhitungan dengan bantuan *software* GeoStudio 2018, serta upaya untuk penentuan nilai *Safety Factor* (SF) akibat pengaruh curah hujan dan rembesan (*seepage*).

BAB V KESIMPULAN DAN SARAN

Bab ini memuat hasil akhir dari hasil analisis yang diperoleh dari penelitian yang telah dilakukan.



BAB II

TINJAUAN PUSTAKA

2.1 Tinjauan Umum

Gerakan tanah adalah proses berpindahnya massa tanah, batuan, atau bahan rombakan (tanah penutup atas) pembentuk lereng ke tempat yang lebih rendah oleh gaya tarik bumi sebagai akibat dari interferensi keseimbangan lereng (Direktorat Jendral Penataan Ruang, 2007). Gerak pada tanah dapat berupa rayapan tanah atau berupa longsor, sehingga pergerakan tanah sering disebut longsor dari massa tanah atau batuan. Rayapan didefinisikan sebagai gerakan yang sangat lambat dan ketika gerakan menjadi cepat maka akan terjadi keruntuhan tanah yang tidak beraturan dan seringkali bersamaan jalannya dengan perusakan vegetasi yang ada di atasnya. Oleh karena itu, bentuk ekstrim dari rayapan adalah longsor pada tanah.

Longsor merupakan proses peralihan massa tanah secara diagonal dari posisi semula (terpisah dari massa diamnya oleh pengaruh gravitasi akibat jenis gerakannya berupa rotasi atau translasi) (Sutikno, 2001). Dalam mengidentifikasi penyebab dan memilih cara untuk mengatasinya. Klasifikasi gerak seismik ditentukan berdasarkan hal-hal berikut :

- a. Jenis material dan batuan dasar.
- b. Jenis gerakan/mekanisme yang memuat gambaran lengkap tentang bentuk medan longsor dan karakteristik lainnya seperti kedalaman, aktivitas, dan kecepatan.

Daerah yang memiliki kemungkinan terjadinya longsor merupakan daerah dengan kondisi topografi dan geologi yang tidak mendukung dan sangat rentan dengan gangguan alam maupun gangguan dari aktivitas manusia, sehingga dapat menyebabkan terjadinya pergerakan tanah.

2.2 Infiltrasi Air Hujan

Infiltrasi air hujan adalah proses dimana curah hujan atau air meresap ke dalam tanah di bawah permukaan, kemudian diserap oleh tanah dan bergerak di dalam tanah melalui ruang pori dan retakan ke dalam batuan. Infiltrasi air yang masuk ke dalam tanah diatur dengan hubungan antara curah hujan dengan permeabilitas tanah. Limpasan terjadi di atas permukaan tanah ketika jumlah air yang masuk melebihi permeabilitas tanah.

Saat terjadinya curah hujan, kecepatan infiltrasi air ke dalam tanah relatif tinggi dan secara bertahap menurun karena koefisien saturasi permeabilitas tanah sama dengan laju curah hujan. Studi oleh beberapa peneliti telah menunjukkan bahwa tanah longsor dangkal sebaris dengan permukaan lereng dapat rusak oleh resapan air hujan. Karakteristik perilaku keruntuhan ini memungkinkan pada analisis ketidakstabilan pada lereng tanah tak jenuh, menggunakan asumsi bahwa lereng adalah lereng tak terhingga terlepas dari macam lerengnya.

2.3 Rembesan (*Seepage*)

Menurut Hardiyatmo (2012), rembesan diartikan sebagai sifat bahan berpori yang memungkinkan aliran rembesannya dari cair seperti air atau minyak yang mengalir melalui rongga-rongga pori tanah. Pori-pori tanah yang saling berkaitan antara salah satu dengan yang lain, sehingga air bisa mengalir mulai dari titik tertinggi energi menuju yang lebih rendah. Untuk tanah permeabilitas digambarkan seperti sifat tanah yang mengalirkan air melewati rongga pori-pori tanah.

Sifat aliran air di dalam tanah dapat berupa laminar atau turbulen. Tahanan aliran tergantung pada variasi tanah, dimensi partikel, kepadatan dan geometri rongga. Suhu juga sangat mempengaruhi hambatan aliran (kekentalan dan tegangan permukaan). Meskipun semua tanah secara teoritis lebih atau kurang berpori, dalam praktiknya istilah *permeable* digunakan untuk tanah yang sebenarnya memiliki sifat meloloskan air. Di sisi lain, tanah dapat dikatakan kedap air, jika tanah memiliki kapasitas yang sangat kecil untuk dilewati air, maka konsep dasar infiltrasi energi tinggi dan kehilangan energi saat air mengalir melalui tanah telah disebutkan melalui lapisan berpori seperti tanah akan kehilangan energi yang diserap oleh tanah.

2.4 Tanah Tufaan (*Vulcanic soil*)

Tanah tuf (*volcanic soil*) terbentuk dari pelapukan batuan vulkanik. Jenis tanah ini umumnya menyerap air secara efisien, tetapi memiliki kapasitas menahan air yang terbatas, sehingga mudah terdegradasi.

Tanah pelapukan berasal dari tuf memiliki sifat-sifat terurai dan mudah meloloskan air, pada saat hujan maka limpahan air permukaan akan mudah meresap kedalam lapisan tanah melalui pori-pori antara butir tanah dan kemudian menjadi tertahan pada tufa segar dan mempunyai sifat kedap air, sehingga tegangan air pori pada tanah pelapukan akan meningkat dan menyebabkan kuat geser tanah berkurang. Hal ini menyebabkan lapisan pada tanah pelapukan berubah menjadi goyah dan umumnya akan bergerak turun mengguakan bidang gelincirnya sebagai tuf bersifat padu/kompak.

2.5 Lereng

Lereng adalah permukaan bumi atau tanah yang permukaannya tidak terlindungi serta membentuk suatu sudut kemiringan terhadap bidang horizontal (Das, 1995). Lereng sering diartikan sebagai permukaan tingkat lebih tinggi yang menghubungkan dengan tingkat yang lebih rendah. Pada umumnya lereng dibagi pada dua kategori yaitu lereng alam dan lereng buatan. Pada dasarnya lereng alam terbentuk dengan alami yang dapat ditemukan di daerah perbukitan. Kemudian yang disebut lereng buatan merupakan lereng yang dibangun oleh manusia, dengan tujuan pembangunan seperti pembuatan tanggul tanah, tanggul sungai, dan tanggul rel kereta api. Lereng alam dan lereng buatan kemudian dibedakan lagi menjadi dua jenis, menurut Craig (1994) yaitu :

1. Lereng dengan panjang tak terhingga (*infinite slopes*).
2. Lereng dengan panjang terhingga (*finite slopes*).

Keruntuhan yang terjadi pada lereng terjadi dikarenakan gaya yang mendorong akibat beban-beban di tanah. pada dasarnya lereng mempunyai ketahanan geser tanah dan akar tanaman digunakan sebagai gaya penahan. Jika tahanan lebih kecil dari gaya penggerak, maka dapat menimbulkan terjadinya keruntuhan pada lereng.

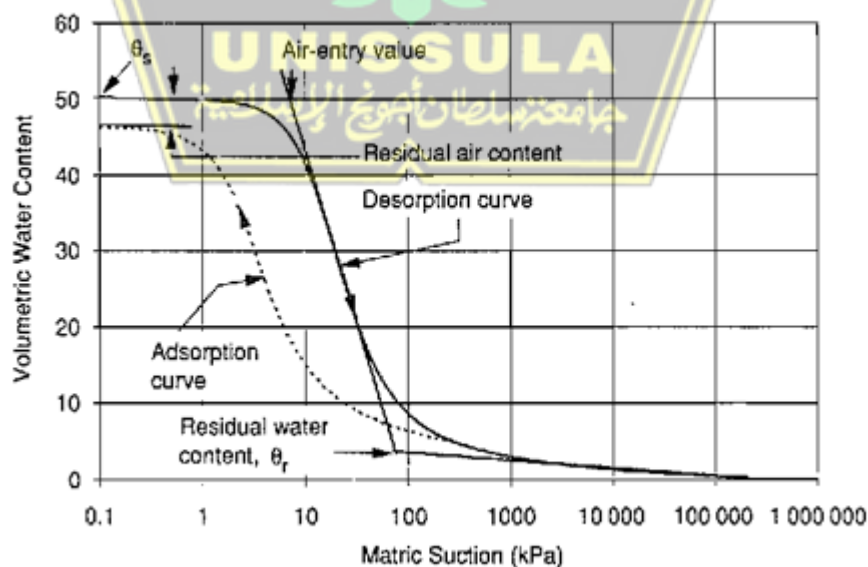
2.6 Tekanan Air Pori Negatif (*Suction*)

Perubahan pada kondisi hidrologi lereng semula kondisi tak jenuh berubah jadi kondisi jenuh, menyebabkan penurunan pada tekanan air pori negatif (*suction*) berubah menjadi tekanan air pori positif. Perubahan ini nilai tegangan air pada lereng dapat mempengaruhi kestabilan yang terjadi pada lereng.

Tekanan air pori negatif atau *suction*. *Suction* maksimal terjadi di sekitar permukaan tanah pada saat akhir musim kemarau sehingga kapasitas infiltrasi maksimum terjadi di sekitar permukaan tanah pada musim kemarau, sedangkan *suction* minimum terjadi pada akhir musim hujan sehingga sering terjadi keruntuhan pada lereng pada waktu itu. Karena kapasitas pada infiltrasi mencapai minimum.

2.7 Hubungan *Suction* dan Koefisien permeabilitas

Kemampuan fluida untuk mengalirkan air melewati media yang berpori bisa disebut dengan permeabilitas. Untuk permasalahan pada geoteknik, fluida merupakan media air yang berpori yaitu massa tanahnya. Pori-pori tanah yang saling berkaitan satu sama lain. Jadi air bisa mengalir mulai titik energi yang lebih tinggi ke titik energi yang lebih rendah. Definisi variabel-variabel yang ada pada soil-water dapat dilihat Gambar 2.1.



Gambar 2. 1 Definisi variabel-variabel yang terdapat pada *soil-water*

Terdapat pada tanah jenuh koefisien porositas konsisten. Hal ini menyebabkan pada tanah yang jenuh, pada kadar air menjadi tetap. Umumnya disinggung menjadi *saturated permeability (ks)*. *Saturated permeability* tanah didapatkan dari pemeriksaan pada laboratorium menggunakan *metode constan* dan *falling head*.

Koefisien permeabilitas pada tanah tak jenuh (k_w) tidak tetap dan berkurang pada permeabilitas jenuh (k_s). Besaran tersebut adalah kegunaan kandungan air dan juga merupakan kegunaan pada tekanan pori. Jika tekanan air pori didalam tanah diturunkan menjadi tekanan pori negatif, maka kadar air juga akan menurun berakibat koefisien permeabilitas juga akan menurun. Tekanan pori negatif yaitu *matric suction*. Selain itu, dimana semakin tinggi *matric suction*, semakin rendah koefisien permeabilitas. Di sisi lain, semakin rendah *matric suction*, semakin tinggi koefisien permeabilitas. Ketika *suction* berubah jadi nol, koefisien permeabilitas akan jadi tetap karena pada kondisi tanah jenuh.

2.8 Bentuk Lereng

a. Lereng alami

Lereng alami dibentuk oleh proses alami, material bahan yang terbentuk cenderung meluncur di bawah beratnya kekuatan geser tanah menahan gaya internal dan eksternal resistensi menyebabkan masalah stabilitas material geser tanah tidak dapat menambah gaya yang menimbulkan selip di permukaan longsoran.

b. Lereng buatan

1. Lereng buatan yang terbuat dari tanah asli.

Lereng dibentuk dengan memotong tanah aslinya. Stabilitas timbunan dan pemotongan ditentukan oleh karakteristik teknis tanah, beban akibat infiltrasi, kondisi geologi, dan lainnya.

2. Lereng buatan yang dipadatkan (lereng timbunan).

Pemadatan tanah digunakan untuk keperluan pembuatan irigasi, jalan, pembuatan tanggul pada jalan raya, serta bendungan pada kereta api. karakter teknis penimbunan mempengaruhi adanya timbunan dengan tingkat kepadatan tanah

2.9 Klasifikasi Keruntuhan Lereng

Menurut Swanston dan Swanson (1980) Longsor dapat diklasifikasikan menjadi lima, diantaranya ada longsor jatuhan (*falls*), longsor (*slide*), aliran (*flows*), rayapan (*creep*), dan bandang (*debris, torrents*), selanjutnya akan jadi SOP (Standar Operasional Kerja) oleh Perhutani (2007). Dapat dilihat Tabel 2.1 di bawah ini.

Tabel 2. 1 Klasifikasi Keruntuhan Lereng

(SOP Perhutani, 2007)

Jenis	Deskripsi	Pembentuk	Penyebab
Jatuhan (<i>falls</i>)	Gerakan udara: melambung, memutar, menggelinding, sangat cepat	Pengangkatan atau lereng, curam, patahan batuan, kurangnya ketahanan vegetasi	Pemindahan daya dukung, penjepit dan pengumpul, gempa kelebihan beban
Longsor (<i>slide</i>)	Material yang bergerak tidak banyak berubah bentuk; bergerak sepanjang bidang lurus; lambat-cepat	Zona massif di atas zona lunak, adanya lapisan dasar yang kedap, buruknya sedimentasi, atau sedimen yang tak terkonsolidasi	Terlalu curam, penurunan friksi internal
Aliran (<i>flows</i>)	Bergerak dalam bentuk cairan lumpur; lambat-cepat	Bahan tak terkonsolidasi, perubahan permeabilitas sedimen halus yang kedap pada batuan dasar	Penurunan friksi internal karena kandungan air
Rayapan (<i>creep</i>)	Gerakan lambat ke arah lereng bawah; beberapa cm/tahun	Tingginya perubahan temperatur harian, perubahan periode kering-hujan, siklus kembang kerut	Goyangan pohon, penjepit dan pengumpul, pemotongan tebing atau erosi jurang
Bandang (<i>debris, torrents</i>)	Gerakan cepat dari air yang bermuatan tanah, batu dan material organik di saluran sungai	Saluran curam, lapisan tipis dari material yang tak terkonsolidasi di atas batuan induk di dalam saluran, lapisan partikel-partikel liat dari bidang lurus jika basah	Debit aliran tinggi, tanah jenuh air, sering ditandai oleh longsor tanah/batu penggundulan hutan

2.10 Stabilitas Lereng

Stabilitas lereng dalam pengertian yang paling sederhana adalah stabilitas dan kekokohan lereng vertikal di mana gaya vertikal dan horizontal bekerja. Suatu lereng dikatakan stabil jika gaya yang menggerakkan lereng dan gaya yang melawan gaya geser seimbang. Kemiringan harus diuji dan dievaluasi diantara bentuk lereng serta model keruntuhan yang ada. Oleh karena itu, kestabilan lereng dapat dipertahankan.

Dalam beberapa kasus, stabilitas lereng berkaitan dengan kekuatan geser tanah. Hal ini diartikan sebagai ketahanan maksimal tanah terjadi pada tegangan geser di bawah kondisi berkaitan pada sifat drainase tanah Smith (1984). Kuat geser tanah pada material disebabkan oleh tidak relatif antara partikel. Sehingga, kuat gesernya memiliki keterikatan gaya yang bekerja antara partikel.

Faktor keamanan lereng adalah perbandingan nilai kuat geser terhadap beban yang dipikul lereng. Karena lereng terbentuk oleh adanya bahan yang berbeda dan banyak ketidakpastian, penyederhanaan selalu dilakukan dengan berbagi asumsi saat merancang tindakan pencegahan. Secara teoritis, itu menghentikan massa yang pergerakannya dapat meningkatkan faktor keamanan.

Faktor-faktor yang mengakibatkan terjadi tanah longsor ditentukan dengan membuat faktor keamanan stabilitas lereng lebih kecil dari batas keseimbangan. Risiko yang perlu diperhatikan, dengan kondisi beban serta parameter yang dipakai saat melakukan analisis stabilitas pada lereng harus dipertimbangkan saat menentukan koefisien SF. Risiko yang akan dikelola terbagi menjadi tiga kategori yaitu kategori rendah, kategori sedang, dan kategori tinggi. Dalam analisis akan mempertimbangkan kondisi beban non-seismik (normal) dan seismik.

Alasan yang umum untuk batas keseimbangan merupakan bahwa faktor keamanan (SF) lereng pada bidang keruntuhan (*slip*) bergantung pada rasio kekuatan geser tanah (M penahan) terhadap tegangan geser yang bekerja (M penggerak). Didapatkan hasil pada Persamaan 2.2.

$$f = \frac{m' \text{ penahan}}{m' \text{ penggerak}} \dots \dots \dots (2.2)$$

SF < 1 Lereng dalam tidak stabil

SF = 1,5 Lereng dalam keadaan kritis. Artinya terdapat sedikit gangguan atau tambahan momen penggerak maka lereng akan menjadi tidak stabil.

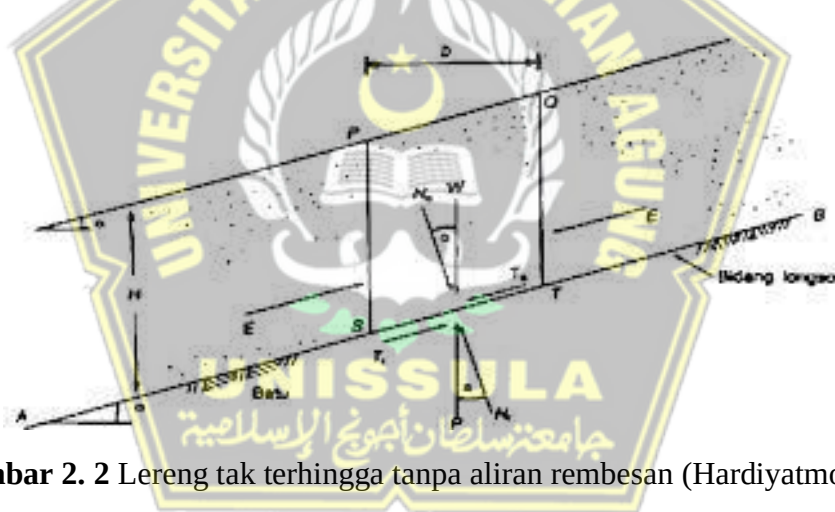
SF > 1 Lereng dalam keadaan stabil.

2.11 Analisis Stabilitas Lereng Tak Terhingga

Kestabilan alami lereng harus memperhatikan struktur lereng, badan lereng, dan dasar lereng. Hal ini dimaksudkan untuk memperoleh gagasan umum mengenai bentuk lereng yang aman serta efektif. Analisis stabilitas lereng berasal dari studi mengenai sumber dan jenis material, kondisi geologi regional, topografi, serta mekanisme keruntuhan lereng. Akibat perbedaan permukaan tanah menyebabkan hilangnya kestabilan lereng yang menyebabkan permasalahan pada lereng sehingga terjadi retakan, pergerakan tanah, dan longsoran.

Stabilitas lereng merupakan bidang teknik geoteknik yang konvensional. Stabilitas lereng pada intinya ditentukan atas dasar hubungan antar kuat geser yang ada dengan tegangan geser yang bekerja. Hal ini dikatakan sebagai faktor keamanan apabila jumlah ini dikombinasikan dengan luas geser potensial.

2.11.1 Kondisi Tanah Tidak Jenuh



Gambar 2. 2 Lereng tak terhingga tanpa aliran rembesan (Hardiyatmo, 2010)

Dengan mempertimbangkan kemiringan tak hingga tanpa kondisi infiltrasi, tentukan faktor keamanan kemiringan ketebalan H permukaan geser AB pada lereng tanpa aliran air tanah dengan rumus pada Persamaan 2.3.

$$F = \frac{c}{\gamma H \cos^2 \alpha \tan \alpha} + \frac{\tan \phi}{\tan \alpha} \dots \dots \dots (2.3)$$

Dengan menggunakan Persamaan 2.4.

$$F = \frac{c}{\gamma_{sat} H \cos^2 \alpha \tan \alpha} + \frac{\gamma' \tan \phi}{\gamma_{sat} \tan \alpha} \dots \dots \dots (2.4)$$

$$F = \frac{c}{\gamma_{sat} H \cos^2 \alpha \tan \alpha} + \frac{\gamma' \tan \phi}{\gamma_{sat} \tan \alpha} \dots \dots \dots (2.5)$$

Dengan:

F = Faktor keamanan

c = Kohesi (kN/m²)

$$\phi = \text{Sudut geser dalam tanah } (^{\circ})$$
$$\alpha = \text{Sudut kemiringan lereng } (^{\circ})$$
$$\gamma = \text{Berat volume tanah (kN/m}^3\text{)}$$

2.11.2 Kondisi Dengan Rembesan (Tanah Jenuh)

Suatu lereng dengan kemiringan tak terhingga, di mana muka air tanah diasumsikan terletak di atas tanah . Untuk elemen PQTS, gaya yang bisa bekerja pada permukaan PS dan QT adalah sama dan karena itu saling menghilangkan. Selain itu, faktor keamanan terhadap longsor kemungkinan longsor akan dievaluasi sepanjang bidang AB yang terletak pada kedalaman H di bawah permukaan tanah. Dapat dilihat Gambar 2.3.



Gambar 2. 3 Lereng tak terhingga oleh kondisi aliran rembesan penuh
(Hardiyatmo, 2010)

Dengan menggunakan Persamaan 2.6.

$$F = \frac{c}{\gamma_{sat} H \cos^2 \alpha \tan \alpha} + \frac{\gamma' \tan \varphi}{\gamma_{sat} \tan \alpha} \dots\dots\dots (2.6)$$

Dengan:

- F = Faktor aman
c = Kohesi (kN/m^2)
 ϕ = Sudut geser dalam tanah ($^\circ$)
 α = Sudut kemiringan lereng ($^\circ$)
 γ_{sat} = Berat volume jenuh tanah (kN/m^3)
 γ' = Berat volume efektif tanah (kN/m^3)

2.12 Pengaruh Curah Hujan Terhadap Keruntuhan Lereng

Air hujan merupakan salah satu penyebab tanah longsor. Peningkatan kadar air tanah ditimbulkan akibat periode hujan yang mengurangi tegangan geser tanah dan tegangan efektif (Suryolelono, 2001).

(Karnawati, 2005) memaparkan bahwa dari infiltrasi air hujan mengakibatkan air terserap ke masuk dalam lereng dengan akibat sebagai berikut :

1. Meningkatkan kerapatan tanah.
2. Penurunan tegangan hisap (*suction tension*) zona tak jenuh.
3. Meningkatnya tekanan air pori positif.
4. Erosi dalam tanah.
5. Berubahnya isi penyusun tanah dalam lereng.

Hujan yang memicu pergerakan tanah memiliki curah hujan yang berlangsung dalam jangka waktu tertentu, hal ini memungkinkan air dapat menembus tanah. Air yang menembus tanah terakumulasi di sepanjang daerah longsor mengurangi tegangan efektif serta kekuatan geser tanah. Jenis curah hujan yang deras hanya akan bekerja terhadap kondisi lereng dengan tanah yang mudah meresap (Karnawati, 2005). Seperti tanah lempung berpasir dan tanah berpasir permeabel. Curah hujan yang tinggi dapat secara efektif menyebabkan longsor.

Tanah longsor dapat terjadi pada lereng tersebut pada beberapa bulan pertama musim hujan. Tanah lereng yang dibentuk oleh tanah lempung yang tidak *permeabel* (kedap air), hujan deras tidak dapat menembus tanah dan hanya mengalir keluar. Dari sini dapat disimpulkan bahwa hujan jangka panjang yang bukan hujan lebat menyebabkan terjadinya tanah longsor lebih efektif. Periode hujan yang lama

ini disebut hujan anteseden. Tanah lereng yang dibentuk oleh tanah lempung yang tidak permeabel (kedap air), hujan deras tidak dapat menembus tanah dan hanya mengalir keluar

Klasifikasi curah hujan oleh Badan Klimatologi dan Geofisika (BMKG) dapat dilihat pada Tabel 2.2.

Tabel 2. 2 Probabilitastik Curah Hujan Harian (BMKG)

Curah hujan harian mm/hari	Kelas	Warna
0	Berawan	Abu-abu
0.5-20	Hujan ringan	Hijau
20-50	Hujan sedang	Kuning
50-100	Hujan lebat	Orange
100-150	Hujan sangat lebat	Merah
>150	Hujan ekstrem	Ungu

2.13 Faktor Keamanan (*Safety Factor*)

Faktor-faktor yang dapat dipertimbangkan ketika menguji stabilitas lereng yaitu menghitung serta membandingkan tegangan geser di sepanjang lereng, yang memungkinkan dibanding kekuatan geser tanah yang berkaitan. Faktor keamanan ditentukan terlebih dahulu dengan menggunakan rumus rumus Persamaan 2.7.

$$F_s \frac{\tau_f}{\tau_d} \dots\dots\dots (2.7)$$

Dimana :

F_s = Angka keamanan tanah

τ_f = Kekuatan geser rata-rata tanah (kN/m²)

τ_d = Tegangan geser rata-rata tanah pada bidang longsor (kN/m²)

Kekuatan geser lahan terdiri atas beberapa komponen seperti friksi dan kohesi, didefinisikan Persamaan 2.8.

$$\tau_f = c + \sigma \tan \varphi \dots\dots\dots (2.8)$$

Dimana :

τ_f = Kekuatan geser rata-rata tanah (kN/m^2)

c = Kohesi tanah penahanan (kN/m^2)

φ = Sudut geser dalam tanah ($^\circ$)

σ = Tegangan normal (kN/m^2)

2.14 Sondir

Sondir (*Cone Penetrometer Test*) merupakan alat penetrometer berbentuk silindris dengan ujung berupa kerucut dikenal dengan nama konus. Alat yang ditekan ke dalam tanah ini umum digunakan di Indonesia karena pemakaiannya relatif mudah, ekonomis, dan mampu memberikan gambaran tanah yang berkelanjutan.

Konus yang terdapat pada sondir memiliki luas ujungnya sebesar 10 cm. Sondir digunakan dengan cara menekan pada tanah dengan kecepatan konstan yaitu sebesar 20 mm/s, untuk resistansi kerucut penetrasi bisa diukur dengan kontinu. Sebagian besar alat ini mempunyai biconus yang bisa bergerak sesuai kerucut penetrometer. kelebihan alat ini yaitu tidak perlu adanya pengeboran terhadap tanah. Metode ini ditemukan di Swedia pada tahun 1917 oleh Swedish State Railways, kemudian dikembangkan oleh Danish Railways (1927).

2.15 Kuat Geser Tanah

Kerusakan material terjadi karena kombinasi kondisi kritis terhadap tegangan normal dan tegangan geser (Mohr, 1910). Hubungan antara fungsional tegangan normal dengan tegangan geser pada bidang runtuh, didapatkan pernyataan sebagai persamaan $\tau = (\sigma)$ dimana τ merupakan tegangan geser pada saat terjadinya keruntuhan atau kegagalan dan σ merupakan tegangan normal.

Kekuatan geser atau kemiringan tanah adalah jenis resistensi yang diberikan oleh partikel tanah terhadap tekanan atau tarikan. Ada dua faktor penahanan terhadap tanah yaitu kohesi tanah dan gesekan antar partikel tanah. Kohesi tanah tergantung pada kerapatan tetapi tidak pada tegangan normal yang akan bekerja pada bidang geser. Gesekan antara partikel-partikel tanah besarnya sebanding dengan tegangan normal pada bidang gesernya

Coulomb (1776) mendefinisikan (σ) menjadi Persamaan 2.9.

$$(\sigma) = c + \sigma \tan \phi \quad (\sigma) = c + \sigma \tan \dots\dots\dots(2.9)$$

Dimana :

- τ = Kekuatan geser tanah (kN/m^2)
- c = Kohesi tanah (kN/m^2)
- ϕ = Sudut geser dalam tanah ($^\circ$)
- σ = Tegangan normal bidang runtuh (kN/m^2)

Persamaan 2.8 disebut sebagai kriteria keruntuhan atau kegagalan mohr columb.

2.16 Penelitian Terdahulu

Penelitian Kalimanto (2015) yang berjudul “Analisis Stabilitas Lereng Tanah di Daerah Olak Alen Blitar”. Hasil penelitian menunjukkan curah hujan menyebabkan ketidakstabilan lereng tanah dikarenakan tegangan efektif tanah menjadi turun dan membuat berkurangnya kekuatan geser tanah. Selain itu, ketidakstabilan lereng tanah dibuktikan dengan nilai safety factor pada kondisi lereng yang basah semakin turun yaitu bernilai 1.

Setyanto, dkk. (2016) dalam penelitiannya menyatakan bahwa kondisi lereng yang jenuh memiliki stabilitas yang kecil. Longsoran lereng dapat ditangani dengan mengoptimalkan nilai safety factor dan menurunkan deformasi lereng untuk menciptakan keamanan dan kestabilan pada lereng. Kemudian untuk membangun kekuatan lereng dapat diselesaikan dengan memakai sheet pile dan tanah tanggul sehingga diperoleh perkuatan lereng dengan nilai yang tetap ($F_s > 1$).

Selanjutnya, Fahlevi (2019) melalui penelitiannya mengenai "Analisis Stabilitas Lereng Dengan Perkuatan Sheet Pile Menggunakan Plaxis dan Metode Bishop (Studi Kasus Pembangunan TPA Sipirok)" menghasilkan kesimpulan yaitu 1) kondisi awal lereng memiliki nilai safety factor menggunakan analisis plaxis sebesar 1,172 dan menjadikan kondisi lereng berkurang, 2) nilai safety factor lereng dengan penambahan sheet pile memakai program plaxis menghasilkan tiga kondisi yaitu nilai safety factor lereng kondisi 1 sebesar 1,4171, kemudian nilai safety factor lereng pada kondisi 2 sebesar 1,4525, serta nilai safety factor lereng pada

kondisi 3 sebesar 1,4524, 3) pada kondisi awal nilai safety factor lereng menggunakan metode bishop yaitu sebesar 1,052.

Penelitian lain mengenai analisis stabilitas lereng yang dilakukan oleh Fitradi (2017) dengan menggunakan geotekstil dan turap melalui plaxis menunjukkan hasil bahwa lereng yang asli berada pada Jalan Ponorogo-Trenggalek STA 23 + 600 didapatkan nilai faktor keamanan sebesar 1,1789 digunakan program plaxis versi 8.6 dengan permodelan lereng tidak menggunakan beban gempa. Kemudian mendapatkan angka faktor keamanan sebesar 1,1436 pada lereng dengan beban gempa. Kedua nilai tersebut $< 1,25$, membuat lereng tidak aman. Selain itu, dari hasil analisis penelitian ini pada lereng geometri menggunakan perkuatan geotekstil menggunakan program plaxis 8.6 permodelan lereng tidak menambahkan beban gempa mendapatkan nilai faktor keamanan sebesar 1,7516, sedangkan pada lereng dengan beban gempa didapatkan nilai faktor keamanan sebesar 1,7475. Kedua nilai tersebut $> 1,25$, lereng dianggap aman.

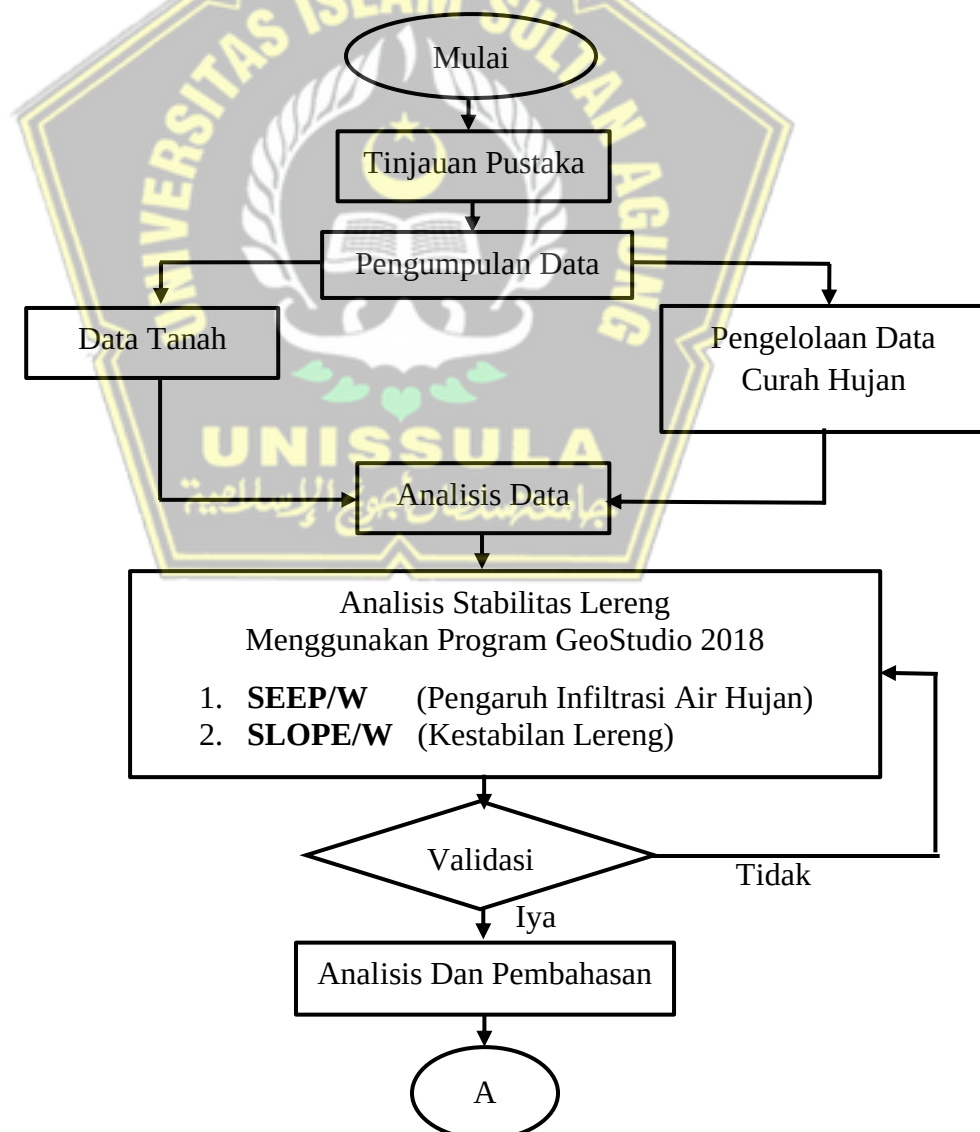
Taufiq (2011) pada penelitiannya dengan judul "Analisis Pengaruh Infiltrasi Hujan Terhadap Kestabilan Lereng Pada Konstruksi Timbunan Tanah" menghasilkan kesimpulan yaitu 1) analisis stabilitas lereng menggunakan permodelan kondisi tegangan insitu pada tanah, selanjutnya diadakan timbunan pada tanah timbunan di lereng sekaligus dilakukan memasang bor pile pada kaki-kaki lereng, 2) kondisi lereng pada penelitian mempunyai nilai safety factor keamanan turun disebabkan karena infiltrasi curah hujan pada saat pekerjaan, 3) tes monitoring inclinometer dilakukan untuk mengetahui bidang gelincir yang dilakukan dengan kedalaman variatif, 4) timbunan berpengaruh pada titik yang bergerak serta pada bidang gelincirnya diduga adanya weathered clayshale, 5) penimbunan tak dapat melakukan perbaikan tanpa ada tanah dasarnya.

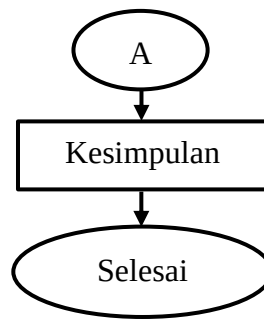
BAB III METODOLOGI PENELITIAN

3.1 Tinjauan Umum

Definisi metodologi penelitian merupakan sebuah cara untuk mendapatkan hasil dari sebuah permasalahan yang spesifik pada penelitian. Tahap metodologis dilakukan agar didapatkan hasil yang sesuai yang dan memenuhi persyaratan, efektif, dan efisien yang mendukung keseluruhan dalam proses membuat laporan.

Metodologi dalam penelitian ini pada studi kasus pada Proyek Pembangunan Jalan Tol Serang – Panimbang Sta 43. Perencanaan dalam analisis ini digunakan program *software* GeoStudio 2018. Dengan diagram alur penelitian bisa dilihat Gambar 3.1.





Gambar 3. 1 Diagram Alir Penelitian

3.2 Studi Literatur

Sumber literatur atau studi pustaka didapatkan dari berbagai sumber seperti jurnal, buku panduan, diklat, maupun dari makalah penelitian dipakai sebagai acuan atau referensi untuk menyusun laporan Tugas Akhir. Pada tahapan ini bertujuan untuk memperoleh nilai *Safety Factor* (SF) yang lebih efektif dengan bantuan permodelan menggunakan aplikasi *software* GeoStudio 2018.

3.3 Pengumpulan Data

Dalam teknik pengumpulan data dibedakan menjadi dua berdasarkan sumber yaitu data primer dan data sekunder, dalam penelitian ini menggunakan data sekunder adalah sebagai berikut :

1. Data sekunder yang merupakan data pelengkap, pada penelitian ini yang digunakan data penyelidikan sondir dengan data korelasi-korelasi menggunakan grafik qc dan Fr untuk mendapatkan korelasi untuk lapisan tanahnya, sedangkan data hujan bulanan diubah menjadi hujan harian menggunakan program Exel.

Dalam Tugas Akhir ini data yang didapatkan langsung dari PT. Erka Konsultan Enjiniring berupa data penyelidikan tanah sondir dan data curah hujan yang didapat dari BMKG. Setelah mendapatkan data selanjutnya dilakukan pengelolaan data dan analisis data.

3.4 Program Numerik Dengan GeoStudio 2018

3.4.1 Program SEEP/W

Program SEEP/W adalah program komputer dimana proses dalam analisisnya didasarkan pada metode elemen hingga. Hasil pemodelan dari program SEEP/W dilakukan dengan cara numerik. Model numerik adalah tiruan dari suatu proses fisik yang nyata dimana proses tersebut dilakukan dengan cara matematis. Program SEEP/W adalah program permodelan numerik yang dapat memodelkan proses fisis yang nyata dari proses air mengalir melalui tanah. Program SEEP/W dipakai untuk menganalisis berbagai macam pemecahan permasalahan dikarenakan pada proses analisis menghitung perhitungannya yang kompleks. Hal ini membutuhkan proses perencanaan dan analisis, khususnya di bidang geoteknik. Berikut tampilan gambar software SEEP/W GeoStudio 2018 pada Gambar 3.2.



Gambar 3. 2 Tampilan Awalan Geostudio 2018

3.4.2 Program SLOPE/W

SLOPE/W adalah program yang dapat menghitung nilai faktor keamanan pada lereng tanah atau batuan. Untuk berbagai permukaan miring, kondisi tekanan air pori, kualitas tanah, dan beban terpusat, salah satu dari delapan pendekatan kesetimbangan batas dapat digunakan untuk menyelesaikan analisis masalah SLOPE/W yang sederhana atau canggih. Selain itu, dalam analisis stabilitas lereng, elemen tekanan air pori terbatas, tegangan statis, atau tegangan dinamis dapat digunakan, dan dapat diintegrasikan dengan analisis probabilistik. Program Geostudio SLOPE/W 2018 telah banyak digunakan dalam penelitian dan analisis stabilitas lereng, khususnya dengan SLOPE/W dan SEEP/W.

3.5 Kesimpulan

Dari hasil pengelolaan data permodelan konstruksi dalam analisis stabilitas lereng yang mengacu pada pembahasan yang dibuat secara singkat dan dapat menjelaskan gambaran analisis yang akan diperoleh dari perencanaan tersebut.

3.6 Pembuatan Laporan

Pembuatan laporan yang akan dicapai adalah dengan menyusun hasil dari perencanaan yang telah dilakukan. Pada laporan hasil penelitian bisa didapatkan nilai *Safety Factor* (SF) lereng yang diakibatkan oleh rembesan (*seepage*) dan infiltrasi air hujan dengan menggunakan program GeoStudio 2018.



BAB IV

HASIL DAN PEMBAHASAN

4.1 Tinjauan Umum

Jalan Tol Serpan (Serang-Panimbang) pada STA-43 akan dilakukan pembangunan jalan dimana terdapat pekerjaan galian tanah. Galian tanah tersebut dimaksudkan untuk membentuk badan jalan yang sesuai perencanaan gambar desain.

Pada lokasi penelitian terdapat enam lapisan tanah yang memiliki versi berbagai macam jenis tanah, diantaranya ada tanah lempung, pasir, pasir kelempungan. Kedalaman lapisan tanah yang menggunakan sampai lapisan keenam mencapai kedalaman 6.8 meter. Dengan jenis tanah diatas jika adanya air yang masuk kedalam akan berpengaruh beban dari tanah berada pada batasan maksimal untuk menahan air, jika hal itu terjadi secara terus menerus dapat menembus kebagian tanah yang menjadi kedap air serta berperan penting sebagai bidang gelincirnya maka tanah akan semakin renggang akibat dari air yang terus mendesak kedalam, hal itu yang membuat pergerakan menuju kebawah tanah, yang kemudian akan mengalami pelapukan, begitu juga struktur lapisan dibawahnya sampai menuju tanah dasar. Pada peristiwa pelapukan ini yang menjadi penyebab tanah gerak menuruni lereng sehingga kestabilan pada lereng menjadi turun dan mengakibatkan longsor.

Perubahan kondisi hidrologi yang terjadi pada lereng awal kondisi semula tidak jenuh berubah menjadi kondisi jenuh, mengakibatkan hilangnya nilai tekanan air pori negatif (*suction*) berubah jadi tekanan air pori positif. Berubahnya nilai tekanan air pada lereng akan mempengaruhi terhadap kestabilan yang terjadi pada lereng.

Dalam analisis penelitian pada tugas akhir ini adalah hasil dari pengolahan data tanah terdapat dalam Proyek Pembangunan Jalan Tol Serang-Panimbang Sta-43 dan hasil pembahasan perhitungan dengan aplikasi GeoStudio 2018. Pada pembangunan proyek jalan tol Serpan (Serang-Panimbang) terjadi masalah adanya tanah longsor pada lereng setelah kondisi tergali.

Metode *Finite Element Method* (FEM) merupakan metode elemen hingga dengan tidak melakukan asumsi bidang longsor, tetapi dengan mencari bidang lemah pada struktur lapisan tanah. Metode elemen hingga merupakan pendekatan

dengan solusi analisis struktur yang bersifat angka. Metode elemen hingga berdasarkan sistem struktur dirancang dari elemen-elemen sistem. Elemen-elemen ini membentuk sistem jaringan elemen melewati hubungan di titik-titik nodal elemen. Elemen-elemen ini memiliki asumsi fungsi perpindahan yang dikontrol oleh nodal-nodalnya. Nodal adalah titik-titik jaringan yang nilai dari variabel primernya dihitung.

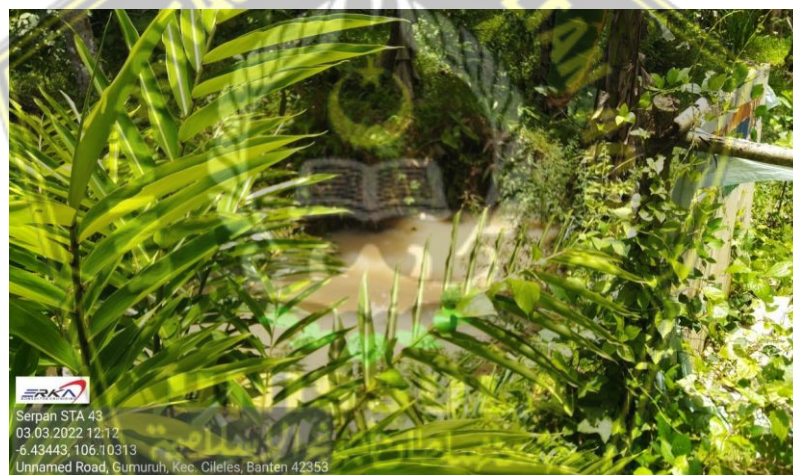
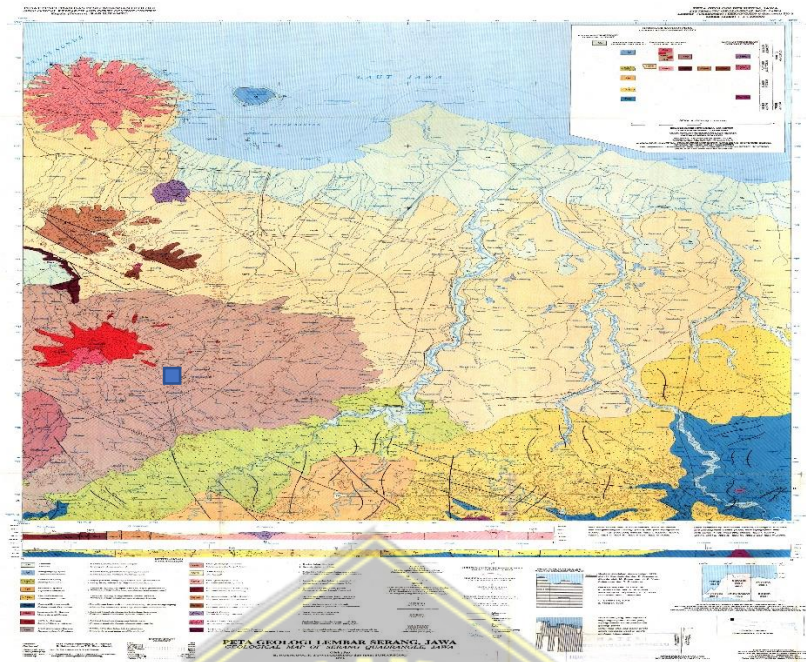
Penelitian ini bertujuan untuk mengetahui kondisi muka air tanah dan perbandingan nilai *Safety Factor* dengan adanya pengaruh rembesan (*seepage*), pengaruh curah hujan dan pengaruh rembesan (*seepage*) ditambah hujan pada kestabilan pada lereng jalan tanah *tufaan* di lokasi. Adapun untuk cara menganalisisnya memakai sub program GeoStudio 2018, menggunakan metode numerik SEEP/W dan SLOPE/W.

4.2 Lokasi Proyek

Lokasi Proyek Pembangunan Jalan Tol Serpan berada di Serang-Panimbang sepanjang 83,67 km, pada Peta Geologi regional berskala 1:100.000 lembar Serang (Rusmana et al., 1991), terdapat berbagai macam perkembangan batuan, antara lain lava dari Gunung Karang tersusun dari andesit dan basalt, batuan yang dibuat oleh Gunung Api Karang (terdiri dari breksi lava dan magma), tufa Banten (terdiri dari tuff, tuff batu apung, dan batupasir tufaan), susunan batu Bojong (terdiri dari jenis batuan napal pasir, lempung pasir, serta tuf) dan endapan alluvium (berupa endapan dari sungai, pantai, dan rawa). Susunan batu ini memiliki rentang usia dari Plistosen hingga Holosen. Lokasi Sta 43 dapat dilihat Gambar 4.1 serta Peta Geologi Serang dapat dilihat Gambar 4.2.



Gambar 4. 1 Lokasi Sta 43 dilihat dari Google *Earth* dalam 3D

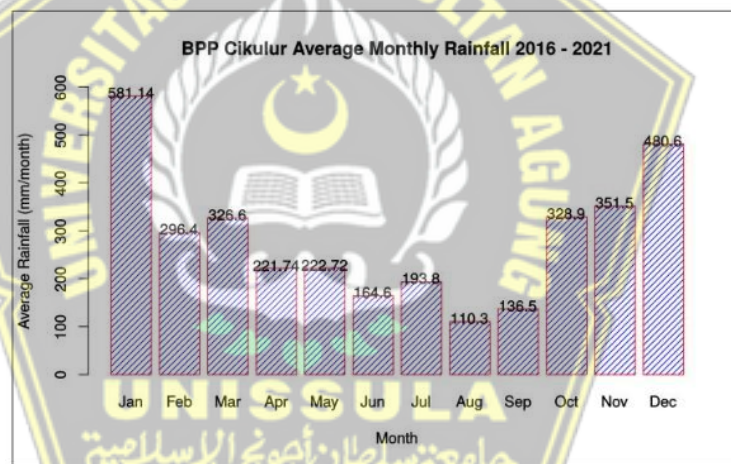


Dapat dilihat pada gambar 4.4 Keruntuhan lereng yang termasuk kedalam jenis pergerakan longsor translasi dimana massa yang bergerak sepanjang bidang gelincirnya berbentuk rata atau bisa dikatakan menggelombang landai.

4.3 Data

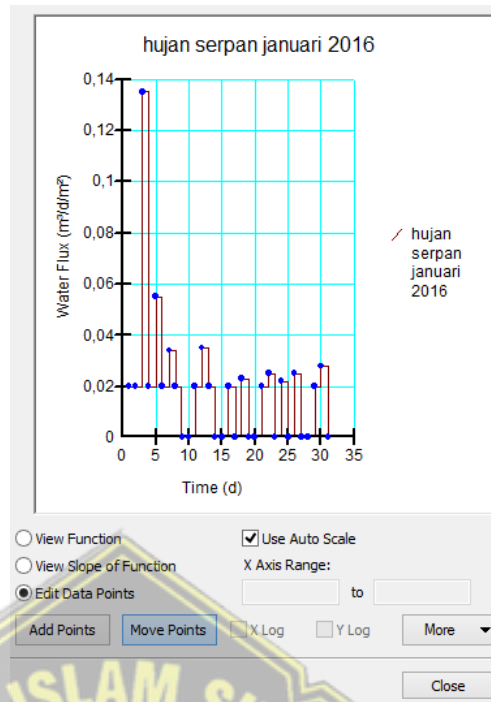
4.3.1 Data Curah Hujan

Data curah hujan yang di dapat bersumber dari BMKG Stasiun Serang-Panimbang. Dari data hujan di hitung hingga mendapatkan curah hujan bulanan dari tahun 2016-2021. Kemudian pada Tugas Akhir ini digunakan data curah hujan pada tahun awal yaitu 2016 selanjutnya pilih satu bulan di curah hujan tertinggi dari dua belas bulan yang terdapat dalam grafik. Selanjutnya dalam inputan data curah hujan, dimasukkan per hari dalam satu bulan. Grafik curah hujan dapat dilihat pada Gambar 4.5.



Gambar 4. 5 Grafik Curah Hujan Rata-rata Bulanan

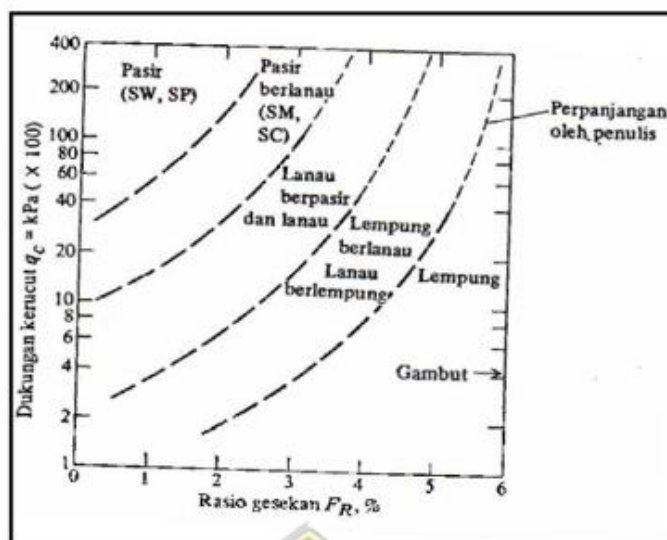
Permodelan hujan dilakukan untuk mengetahui seberapa besar pengaruh curah hujan terhadap kestabilan lereng. Data curah hujan yang diambil adalah bulan Januari 2016 yang merupakan curah hujan tertinggi pada tahun 2016. Input curah hujan pada tahun 2016 dapat dilihat pada Gambar 4.6.



Gambar 4. 6 *Input Curah Hujan 2016 Stasiun Serang-Panimbang*

4.3.2 Data Tanah

Dalam pengklasifikasian tanah untuk mendapatkan data tanah yang digunakan untuk menganalisisnya menggunakan grafik hubungan antara q_c dan R_f menurut Robertson dan Campanella (Bowles, 1997). Setiap kedalaman 0,2 meter sampai lapisan tanah terakhir. Hasil dari grafik menurut Robertson dan Campanella didapatkan jenis tanah setiap lapisan yaitu lempung, lempung berlanau, pasir berlanau, lanau berpasir dan pasir. Grafik hubungan q_c dan R_f menurut Robertson dan Campanella (Bowles, 1997) dapat dilihat pada Gambar 4.7.



Gambar 4. 7 Klasifikasi Tanah Grafik Hubungan q_c dan R_f Menurut Robertson dan Campanella (Bowles, 1997)

Pengklasifikasian tanah dengan menggunakan grafik menurut Robertson dan Campanella setiap kedalaman 0,2 meter dari data sondir selesai. Didapatkan hasilnya pada Tabel 4.1.

Tabel 4. 1 Klasifikasi Data Tanah Sondir

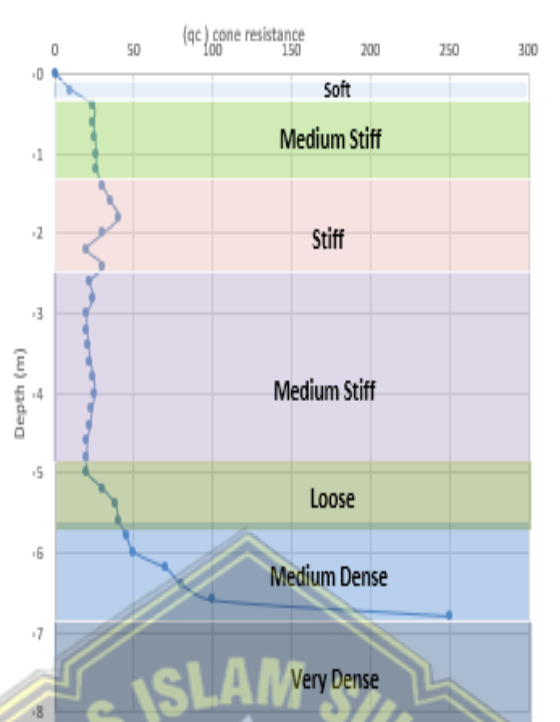
Kedalaman (m)	q_c (kg/cm ²)	FR (%)	Konsistensi
0,20	10	9,33	lempung
0,40	24	4,44	lempung berlanau
0,60	24	4,44	lempung berlanau
0,80	25	4,27	lempung berlanau
1,00	26	4,36	lempung berlanau
1,20	26	4,10	lempung berlanau
1,40	30	2,89	lanau berpasir
1,60	35	1,90	pasir berlanau
1,80	40	1,67	pasir berlanau
2,00	30	4,22	lempung berlanau
2,20	20	3,33	lanau berpasir
2,40	30	3,56	lempung berlanau
2,60	22	4,55	lempung berlanau
2,80	24	2,78	lanau berpasir
3,00	20	3,33	lanau berpasir
3,20	20	3,00	lanau berpasir
3,40	21	3,49	lanau berpasir
3,60	22	3,33	lanau berpasir
3,80	24	3,06	lanau berpasir
4,00	25	1,87	pasir berlanau

4,20	23	2,03	lanau berpasir
4,40	22	2,42	lanau berpasir
4,60	20	2,67	lanau berpasir
4,80	20	2,67	lanau berpasir
5,00	20	3,33	lanau berpasir
5,20	30	2,44	lanau berpasir
5,40	38	1,75	pasir berlanau
5,60	40	0,83	pasir berlanau
5,80	45	4,44	lempung berlanau
6,00	50	4,00	lempung berlanau
6,20	70	4,76	lempung berlanau
6,40	80	4,17	lanau berpasir
6,60	100	0	pasir
6,80	250	0	pasir

Untuk selanjutnya propertis tanah yang dibutuhkan untuk analisis yaitu unit weight, kohesi, sudut geser dalam dan k.sat didapatkan menggunakan tabel-tabel korelasi antara jenis tanah dan parameter tanah yang digunakan. Didapatkan data tanah yang digunakan dalam proses analisis pada program GeoStudio 2018 di ambil dari data Grafik Sondir Proyek Pembangunan Jalan Tol Serang-Panimbang Sta 43. Data tanah penelitian terdapat pada Tabel 4.1 serta Grafik Sondir pada Gambar 4.7.

Tabel 4. 2 Data Tanah

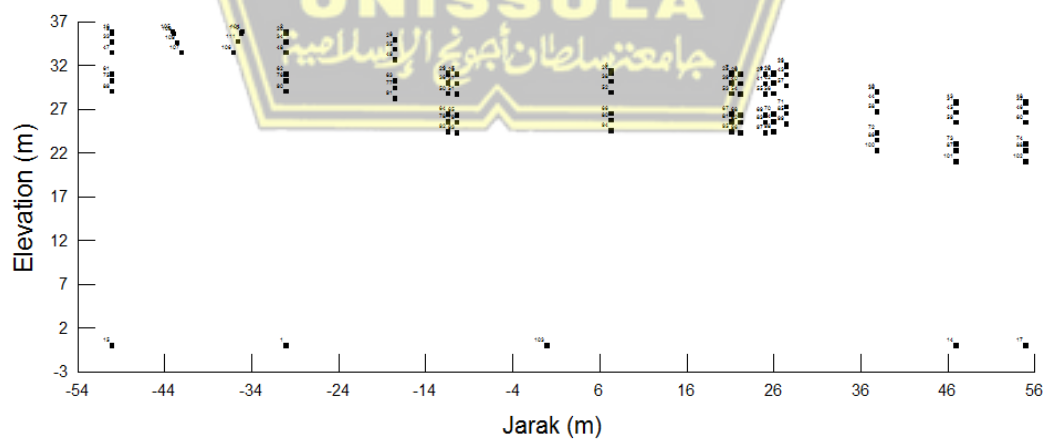
No	Kedalaman (m)	Konsistensi	Unit Weight (kN/m ³)	c (kN/m ²)	Phi (φ) (°)	K.sat (m/day)
1	0.00 - 0.20	Soft	17	0,5	20	4,50E-03
2	0.20 - 1.20	Medium Stiff	20	1,3	25	4,50E-03
3	1.20 - 2.40	Stiff	21	1,5	30	3,90E-04
4	2.40 - 4.80	Medium Stiff	20	1,1	30	3,90E-04
5	4.80 - 5.60	Loose	16	1,6	30	8,60E-02
6	5.60 - 6.80	Medium Dense	18	5,0	37	8,60E-02
7	> 6.80	Very Dense	22	10	>45	8,60E-02



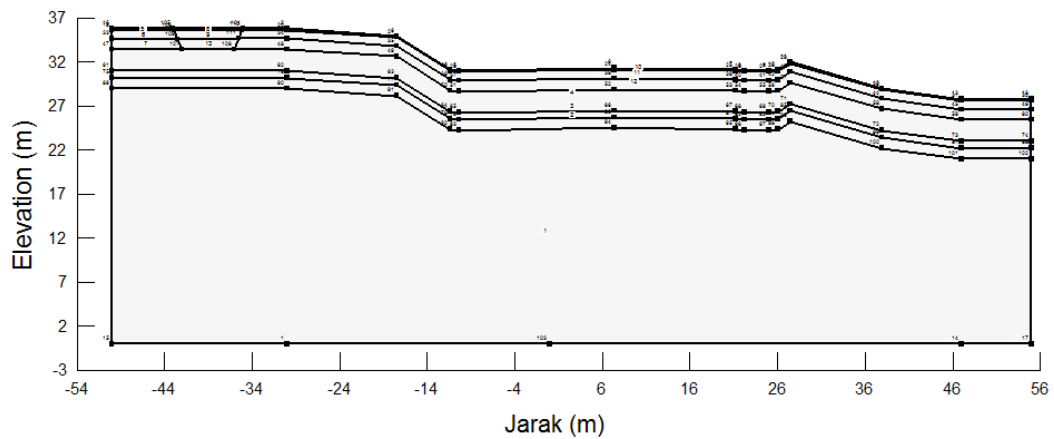
Gambar 4. 8 Grafik Sondir

4.4 Analisis Tanah

Data yang digunakan untuk melakukan permodelan dengan GeoStudio 2018 adalah data *Cross Section* pada Proyek Pembangunan Jalan Tol Serang-Panimbang Sta 43 dapat dilihat pada Gambar 4.8 dan Gambar 4.9.



Gambar 4. 9 Titik-titik Permodelan

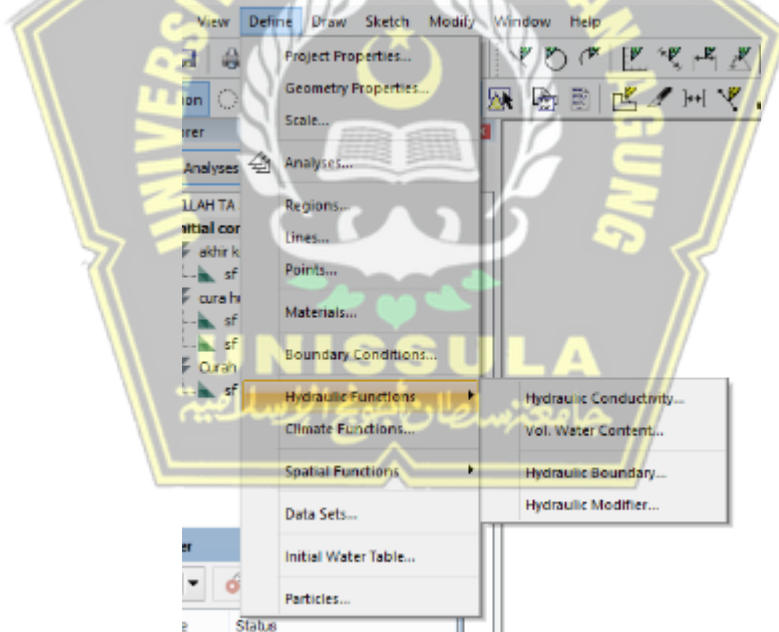


Gambar 4. 10 Titik Koordinat yang dihubungkan

4.5 Analisis Pengaruh Curah Hujan Dengan Program SEEP/W

Setelah dilakukan permodelan untuk mengetahui kontur tanah serta arah aliran pada STA-43, kemudian menganalisis menggunakan program SEEP/W.

4.5.1 *Input Hydraulic Conductivity dan Vol. Water Content*



Gambar 4. 11 *Input Hydraulic Conductivity*

- *Import* data tanah sesuai dengan jumlah jenis lapisan tanah yang digunakan. Ada beberapa pilihan, pilih satuan yang akan digunakan. Pada percobaan ini digunakan *SEEP Database m-day*.

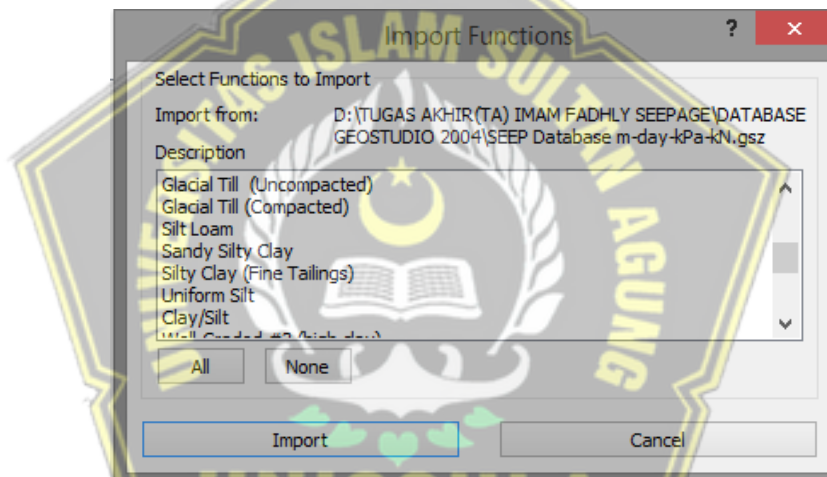
<< TUGAS AKHIR(TA) IMAM FADHLY SE... > DATABASE GEOSTUDIO 2004

Search DATABASE GEOSTUDI...

Name	Date modified	Type	Size
1	01/06/2022 8:47	GeoStudio Docum...	102 KB
SEEP Database ft-hour-psf-lb	14/04/2022 13:57	GeoStudio Docum...	503 KB
SEEP Database ft-sec-psf-lb	14/04/2022 13:57	GeoStudio Docum...	62 KB
SEEP Database m-day-kPa-kN	14/04/2022 13:57	GeoStudio Docum...	423 KB
SEEP Database m-sec-kPa-kN	14/04/2022 13:57	GeoStudio Docum...	423 KB

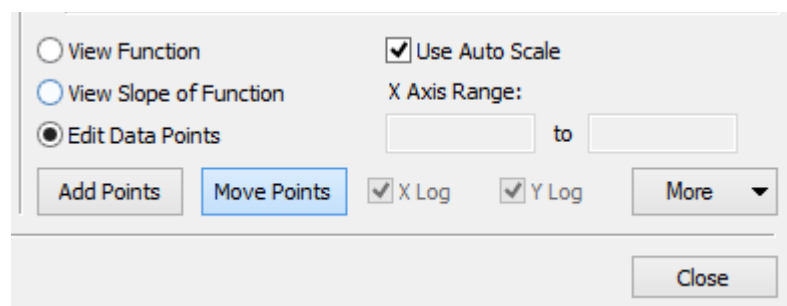
Gambar 4. 12 Database GeoStudio 2004

- Pilih jenis tanah sesuai dengan jenis lapisan tanah yang ada pada data Sondir.

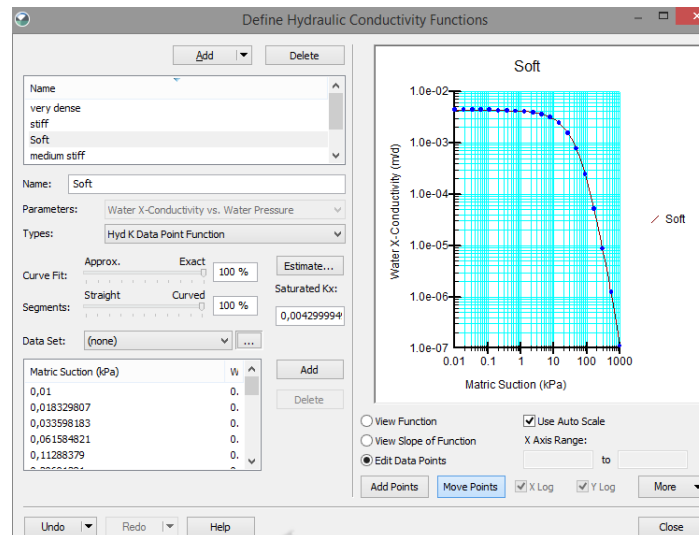


Gambar 4. 13 Import Function

- Edit dan sesuaikan nilai K.Sat sesuai dengan data (tabel 4.1).

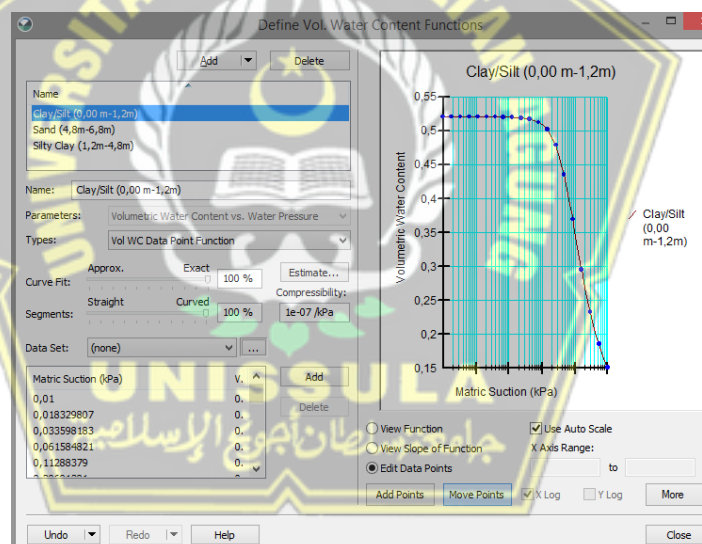


Gambar 4. 14 Import Nilai K.Sat



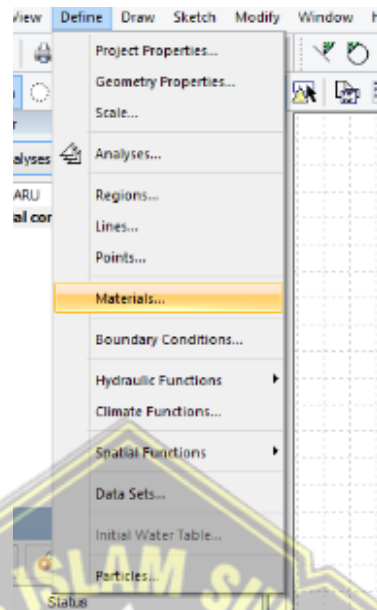
Gambar 4. 15 Define hydraulic Conductivity

- Untuk input *Volume Water Content*, setelah itu lakukan hal yang sama pada saat penginputan parameter tanah *Hydraulic Conductivity*.

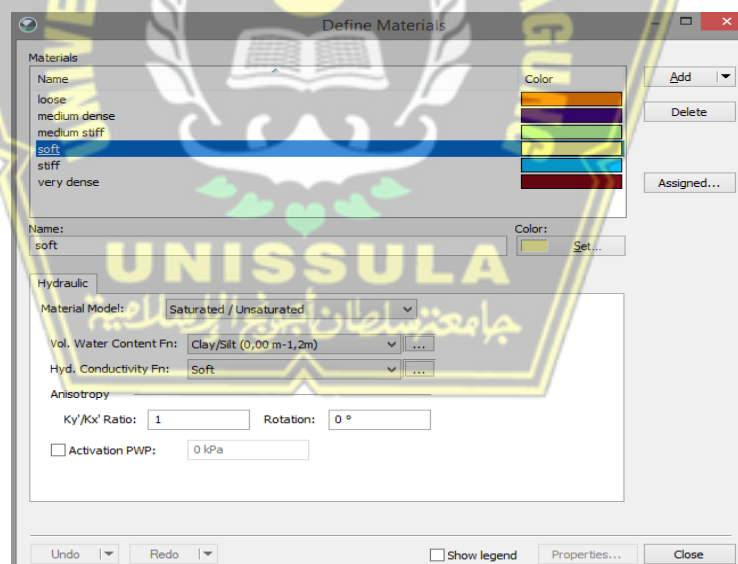


Gambar 4. 16 Vol Water Content functions

4.5.2 Input Material Properties

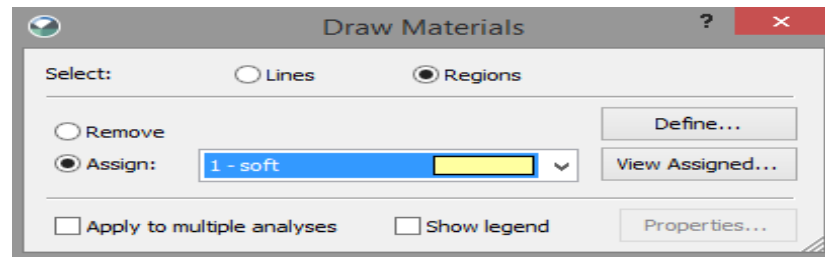


Gambar 4. 17 *Input Materials*



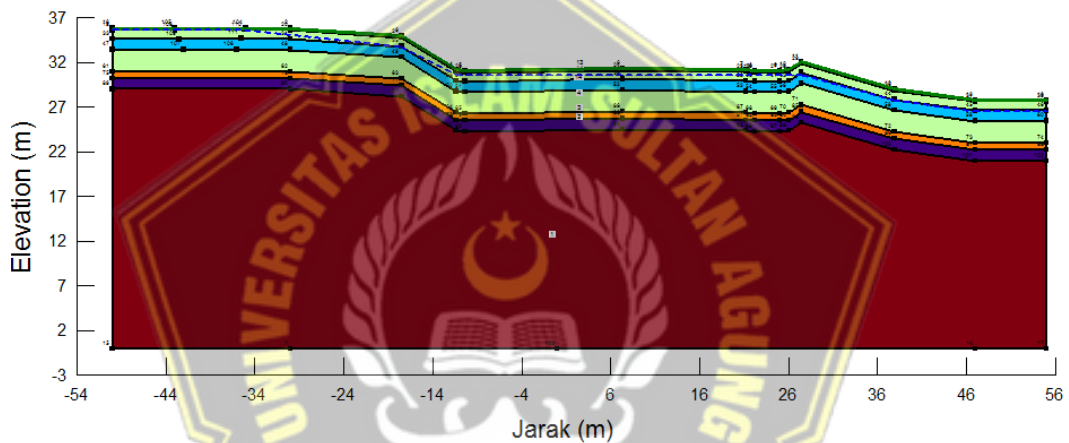
Gambar 4. 18 *Data Materials*

4.5.3 Input Draw Materials



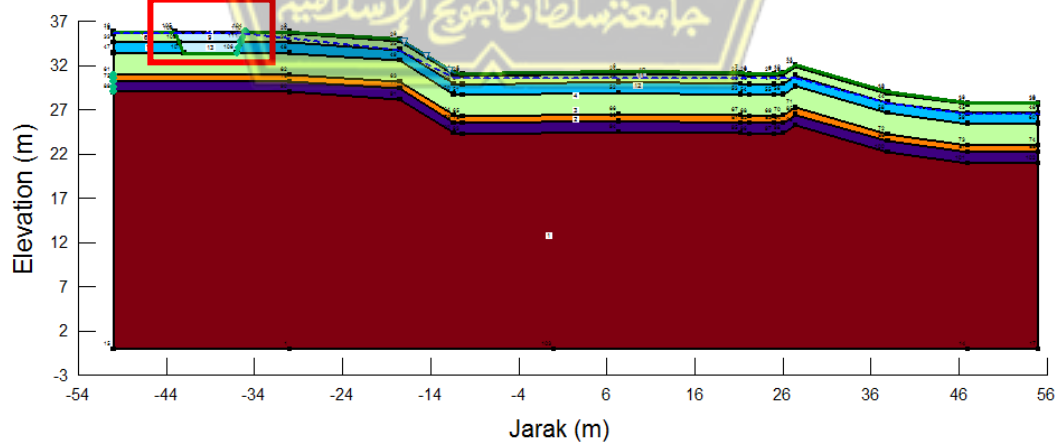
Gambar 4. 19 Draw Materials

- Setelah itu masukan material kepermodelan sesuai dengan tiap lapisan tanah.
- Permodelan *Initial Condition*.



Gambar 4. 20 Permodelan *Intial Condition*

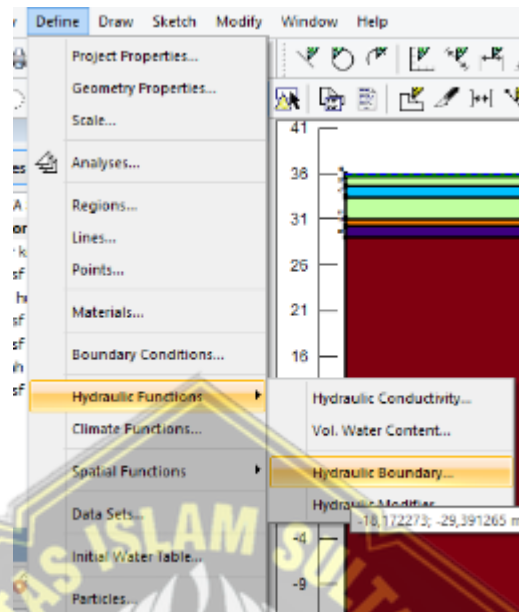
- Permodelan *Initial Condition* dengan adanya kolam (seepage).



Gambar 4. 21 Permodelan *Initial Condition* Dengan Kolam (Seepage)

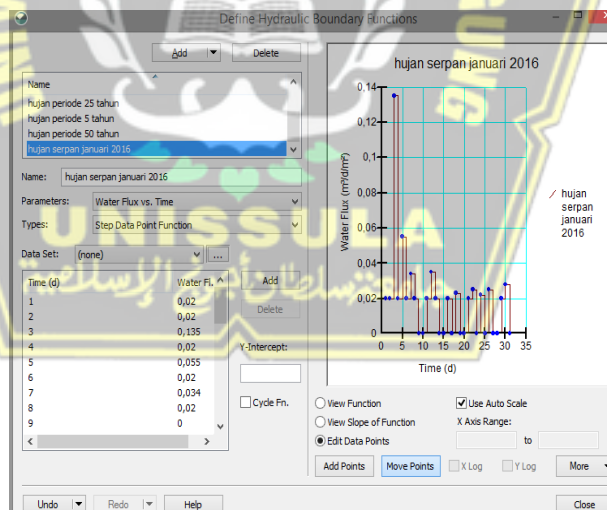
4.5.4 Define Hydraulic Functions

- Opsi *Hydraulic Functions* digunakan untuk menambahkan data curah hujan.



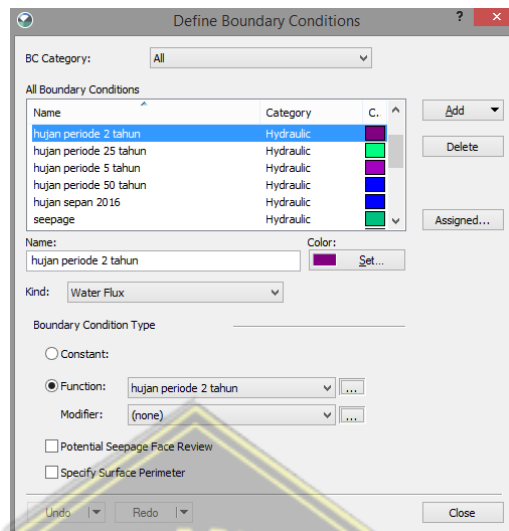
Gambar 4. 22 Opsi *Hydraulic Functions*

- Setelah itu masukan data curah hujan yang akan dipakai dalam analisis

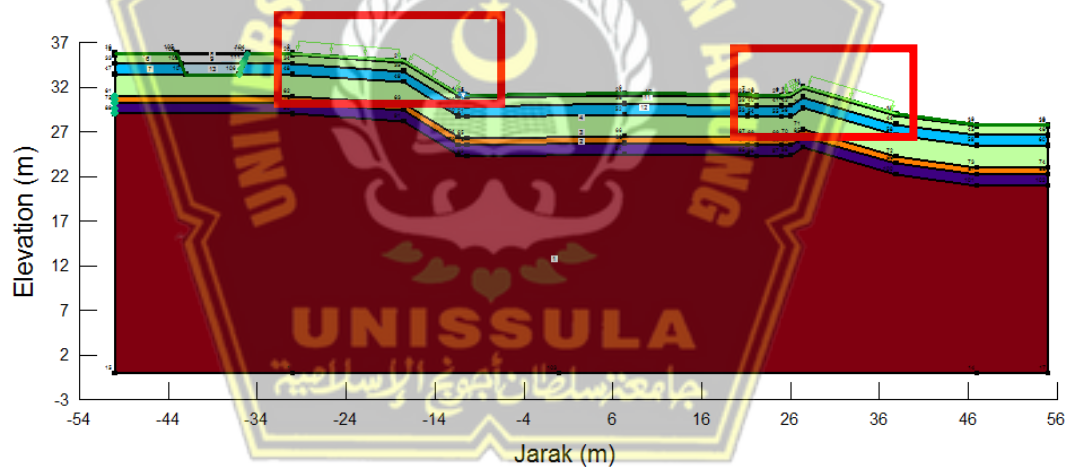


Gambar 4. 23 Data Curah Hujan

- Setelah data curah hujan telah terinput kemudian pilih *Draw Boundary conditions* untuk memberikan area hujan yang akan dipilih.



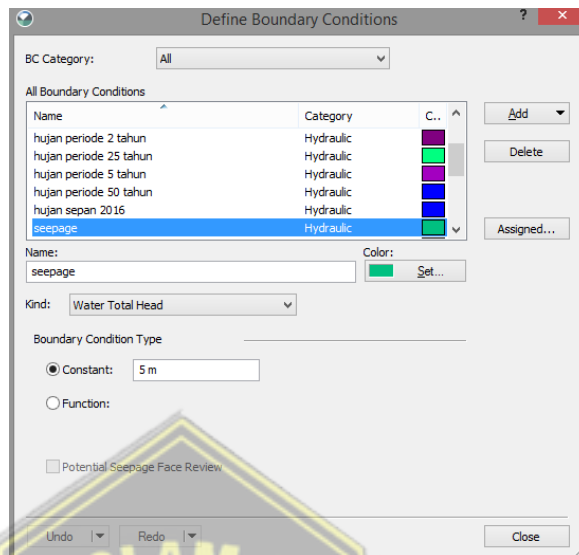
Gambar 4. 24 *Draw Boundary conditions*



Gambar 4. 25 Permodelan Penambahan Curah Hujan

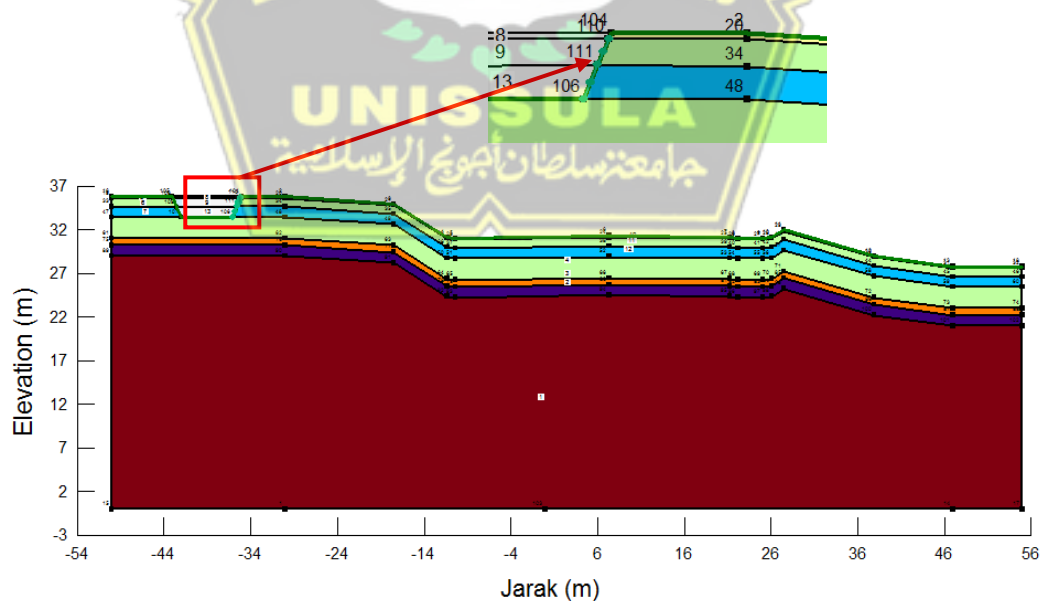
Dapat dilihat Gambar 4.25 area penambahan curah hujan pada permodelan untuk menganalisis terjadinya infiltrasi air hujan.

- Setelah itu input *seepage* yang akan digunakan dalam analisis, kemudian pilih *Draw Boundary conditions* untuk menambahkan *seepage*.



Gambar 4. 26 Draw Boundary conditions seepage

Pada Gambar 4.26 dapat dilihat nilai *seepage* 5 meter, nilai 5 meter itu didapat dari elevasi jalan di permodelan GeoStudio 30 meter sedangkan elevasi muka air kolam (*seepage*) 35 meter, jadi selisih elevasi muka air kolam (*seepage*) ke jalan 5 meter. Permodelan penambahan *seepage* dilihat pada Gambar 4.27.

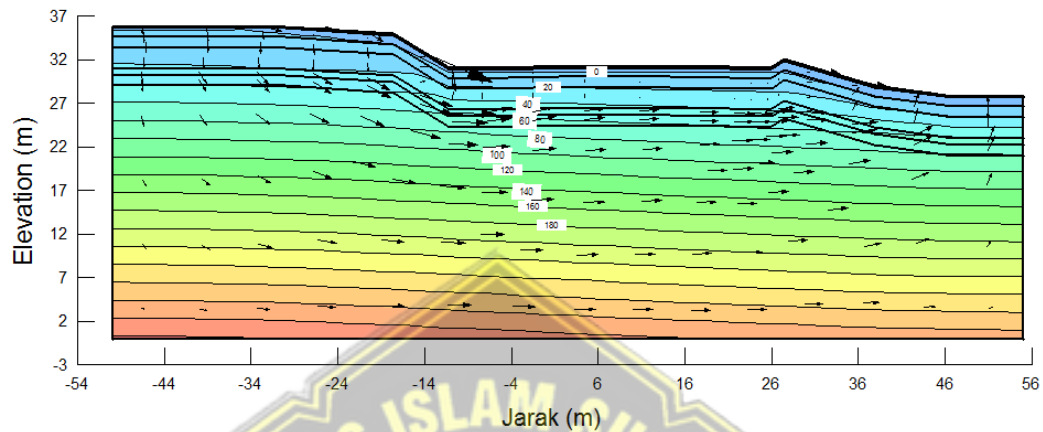


Gambar 4. 27 Permodelan Penambahan *Seepage*

4.5.5 Running Program

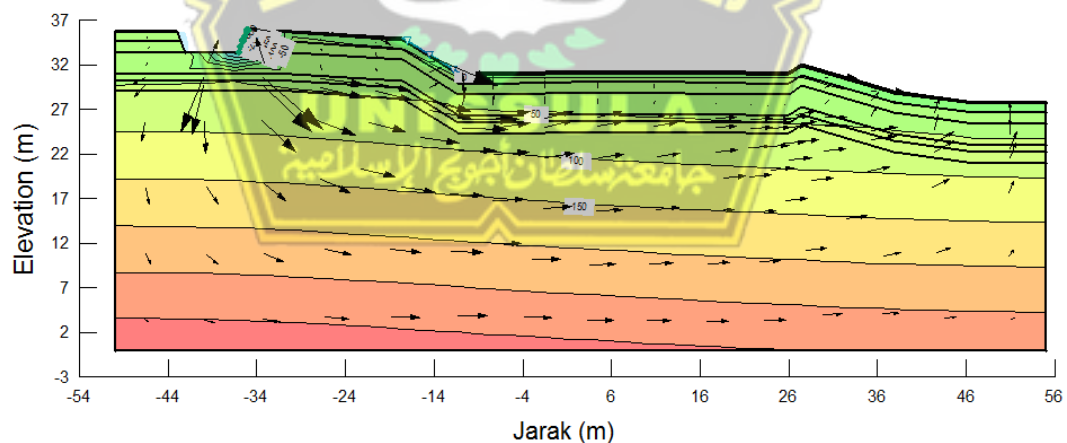
Untuk *running* pilih permodelan SEEP/W pada *initial condition* dan atur *water table*, setelah semuanya diatur kemudian bisa distart untuk run.

- Kondisi kontur *Pressure Head* pada permodelan awal



Gambar 4. 28 kontur *Pressure Head* pada permodelan awal

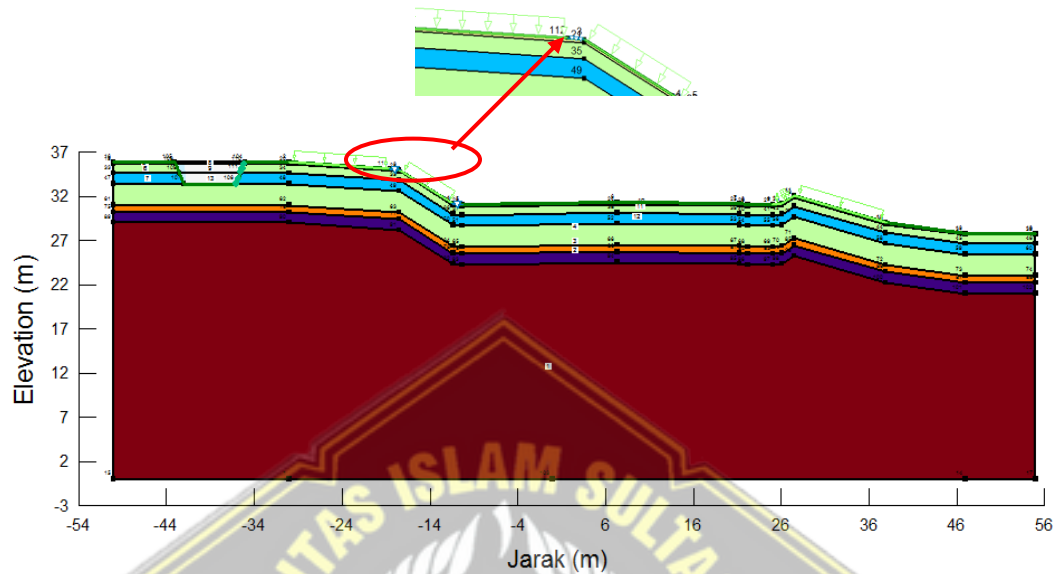
- Kondisi kontur *Pressure Head* pada permodelan dengan adanya kolam



Gambar 4. 29 kontur *Pressure Head* pada permodelan dengan adanya kolam

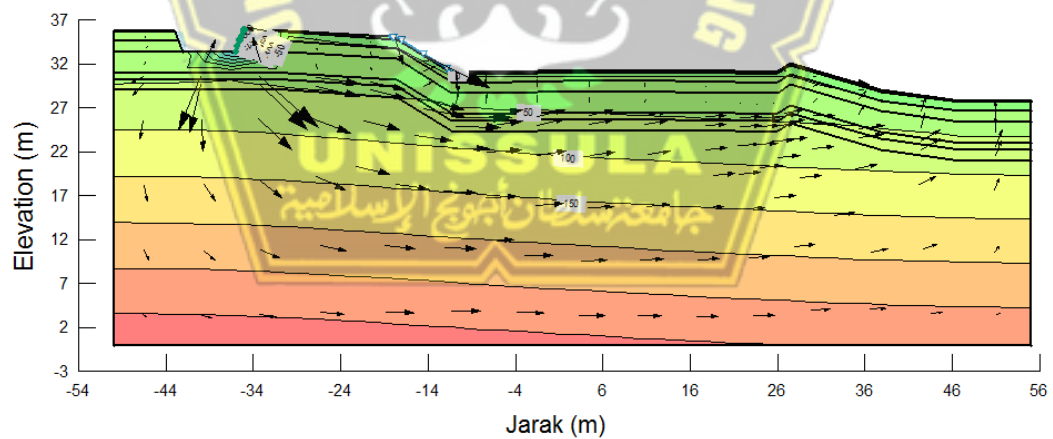
4.5.6 Analisis Setelah ditambah Subdrain dengan Program SEEP/W

Untuk analisisnya seperti sebelumnya, perbedaanya pada bagian atas lereng ditambah subdrain berfungsi untuk mengalirkan air.



Gambar 4. 30 Permodelan setelah ditambah subdrain

Dibawah ini merupakan hasil setelah di *Running*



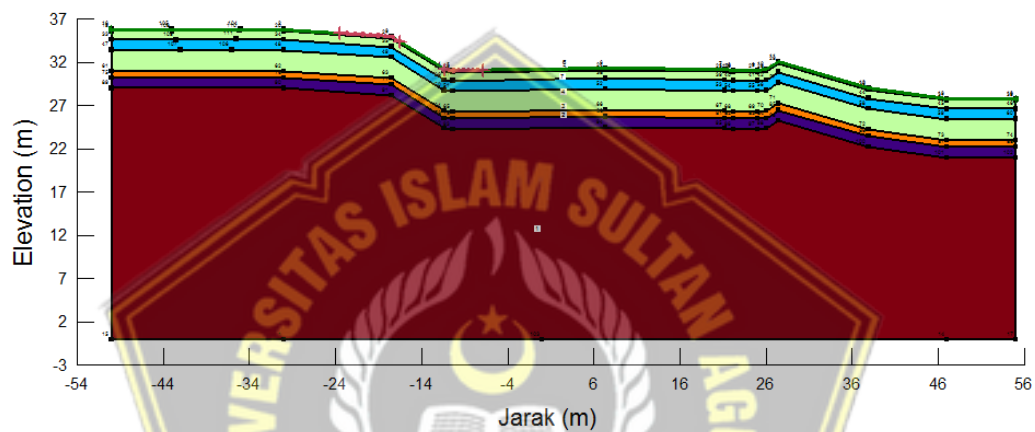
Gambar 4. 31 Kontur *pressure head* setelah ditambah *Subdrain*

Pada Gambar 4.31 merupakan hasil *Running* Program SEEP/W dengan kontur *Pressure Head* dimana pada awal kondisi arah aliran airnya menuju kelereng. Setelah ditambah *Subdrain* arah aliran airnya tertahan dan dialihkan sehingga arah aliran airnya tidak menuju kelereng.

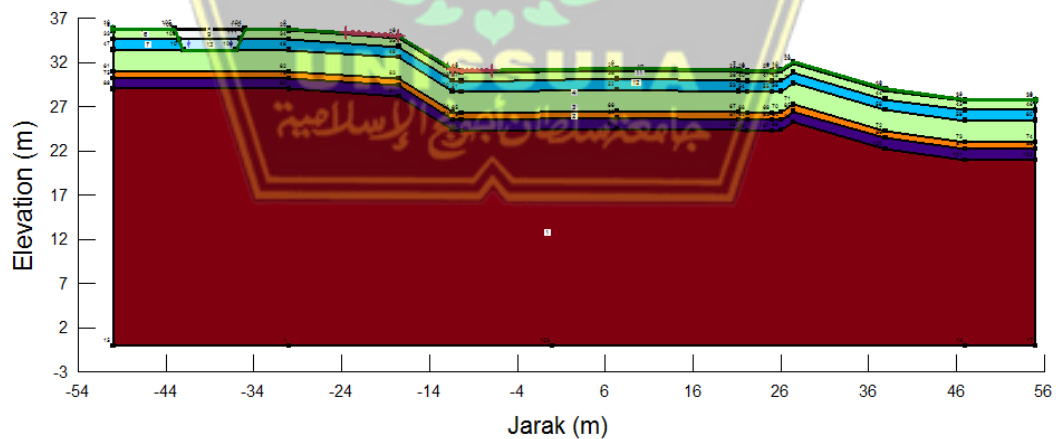
4.6 Analisis Kestabilan Lereng Menggunakan Program SLOPE/W

Dari analisis permodelan SEEP/W digunakan pada SLOPE/W sebagai kondisi tekanan air porinya, untuk melakukan analisis bidang gelincir lonsorannya menggunakan *Slife Surface* dengan *Entry and Exit* yaitu mencari bidang gelincir secara global.

- Untuk menghitung nilai *Safety Factor* dapat menggunakan program SLOPE/W dari permodelan tanah. Dalam menganalisis SLOPE/W menggunakan hasil permodelan dari program SEEP/W.

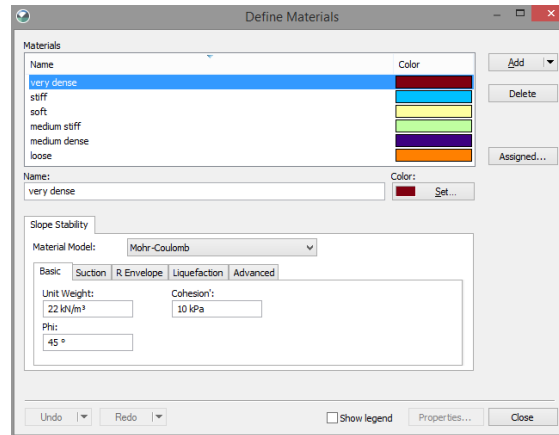


Gambar 4. 32 Permodelan SLOPE/W



Gambar 4. 33 Permodelan SLOPE/W dengan kolam

- Sebelum mencari nilai *Safety Factor* pada program SLOPE/W, input data parameter tanah (tabel 4.2) masukan kedalam permodelan SLOPE/W melalui menu *Define Material*.

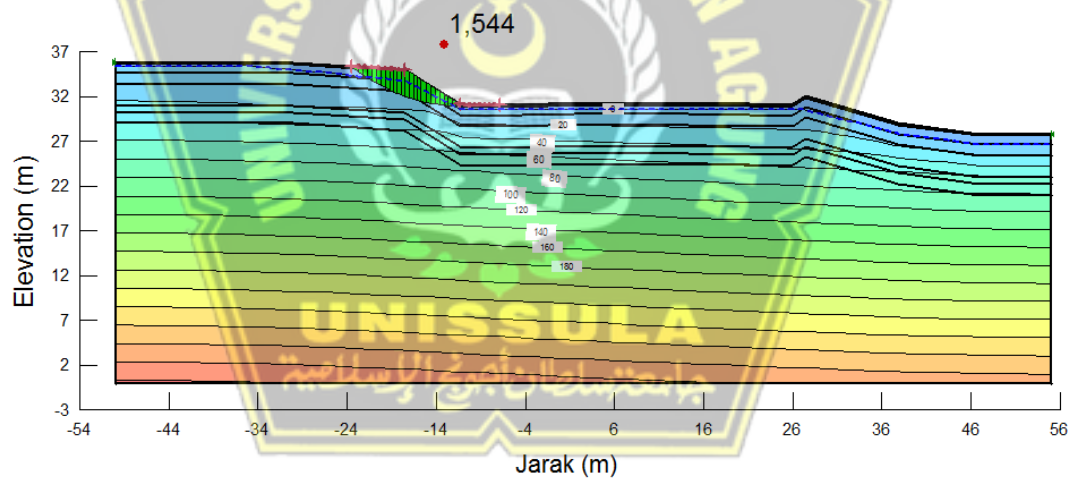


Gambar 4. 34 Input parameter tanah

- Setelah selesai input parameter tanah selanjutnya masuk permodelan SLOPE/W untuk mencari nilai *safety Factor*

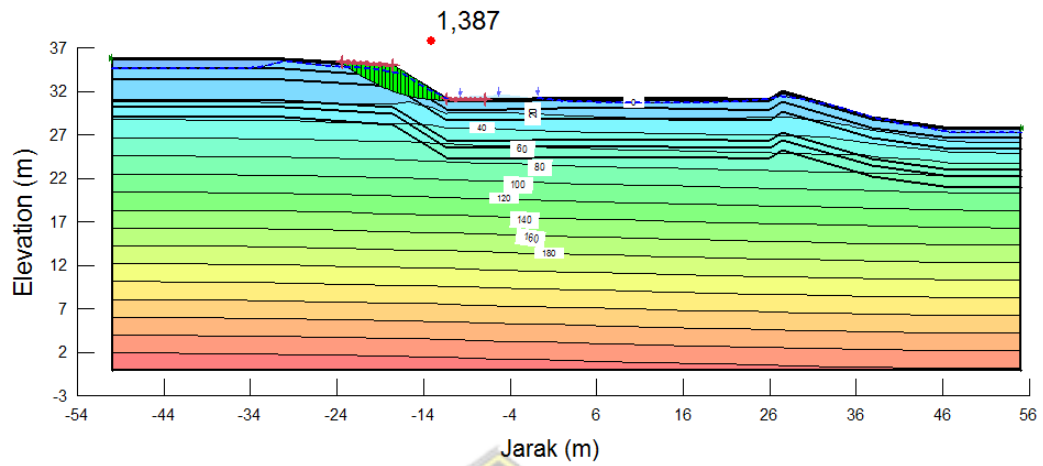
4.6.1 Kondisi Infiltrasi Air Hujan

- *Initial Condition*



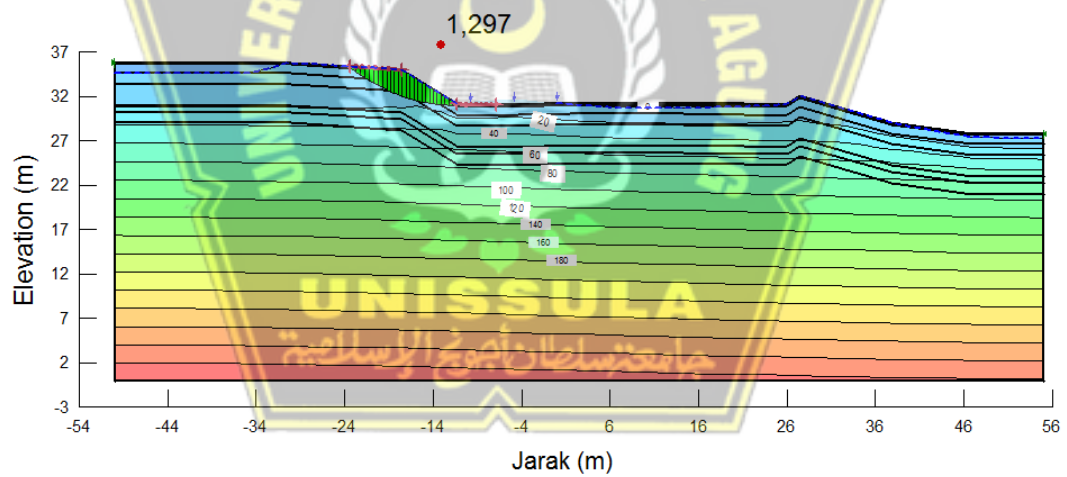
Gambar 4. 35 Nilai SF Pada Kondisi *Initial Condition*

- Curah Hujan Serpan 2016



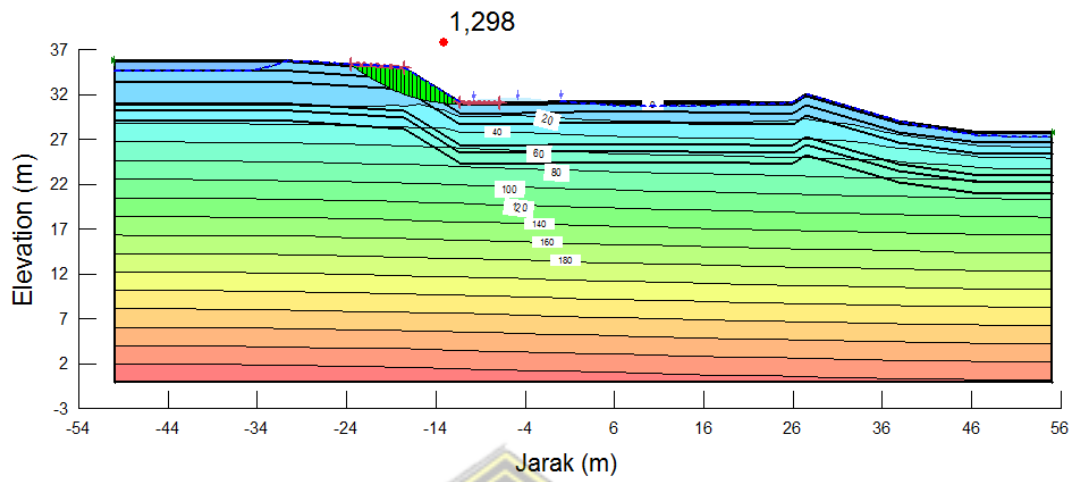
Gambar 4. 36 Nilai SF Curah Hujan Serpan 2016

- Periode Curah Hujan 2 tahun



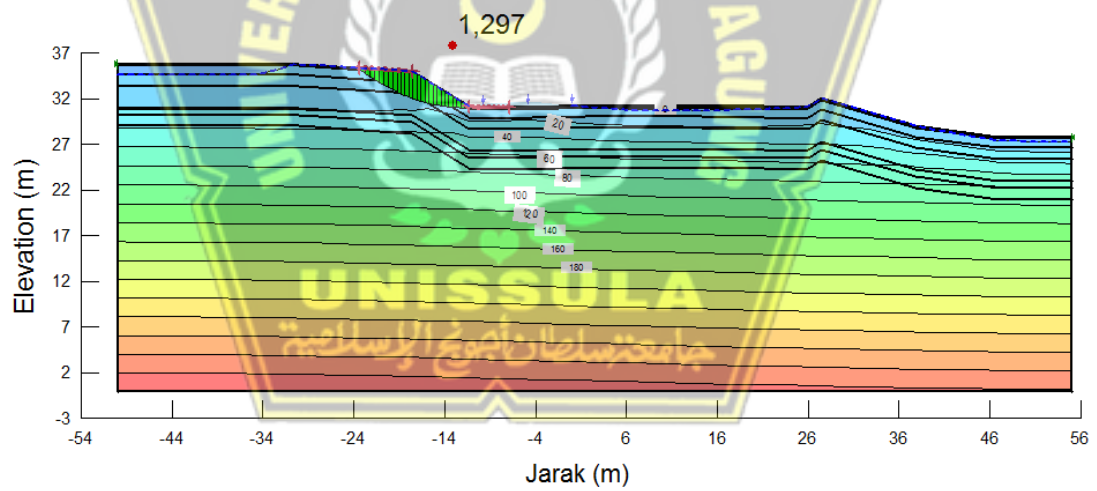
Gambar 4. 37 Nilai SF Curah Hujan Periode 2 tahun

- Periode Curah Hujan 5 tahun



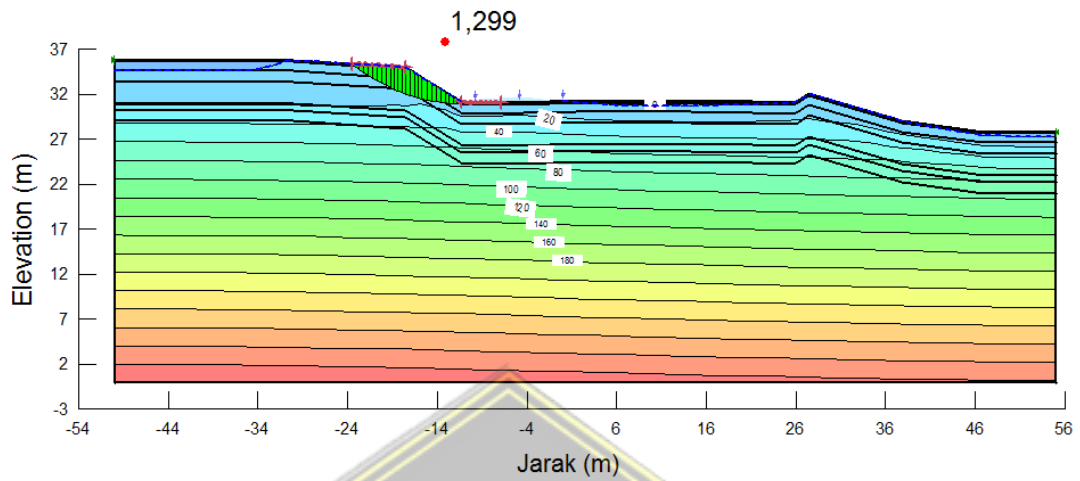
Gambar 4. 38 Nilai SF Curah Hujan Periode 5 tahun

- Periode Curah Hujan 10 tahun



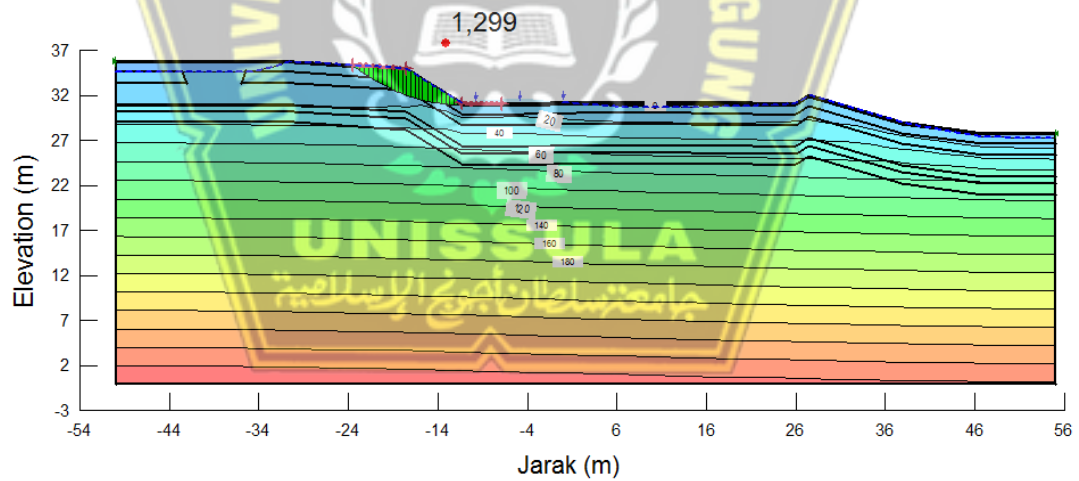
Gambar 4. 39 Nilai SF Curah Hujan Periode 10 tahun

- Periode Curah Hujan 25 tahun



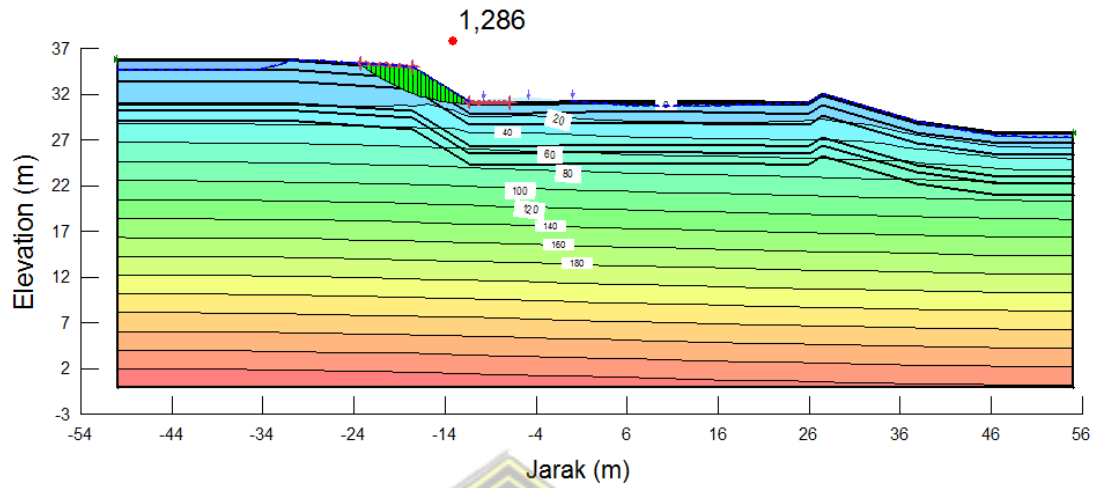
Gambar 4. 40 Nilai SF Curah Hujan Periode 25 tahun

- Periode Curah Hujan 50 tahun



Gambar 4. 41 Nilai SF Curah Hujan Periode 50 tahun

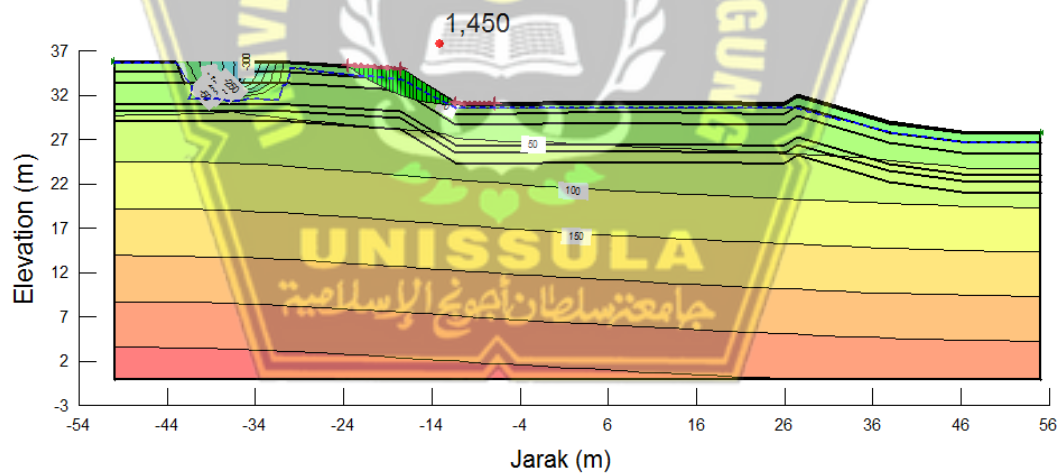
- Periode Curah Hujan 100 tahun



Gambar 4. 42 Nilai SF Curah Hujan Periode 100 tahun

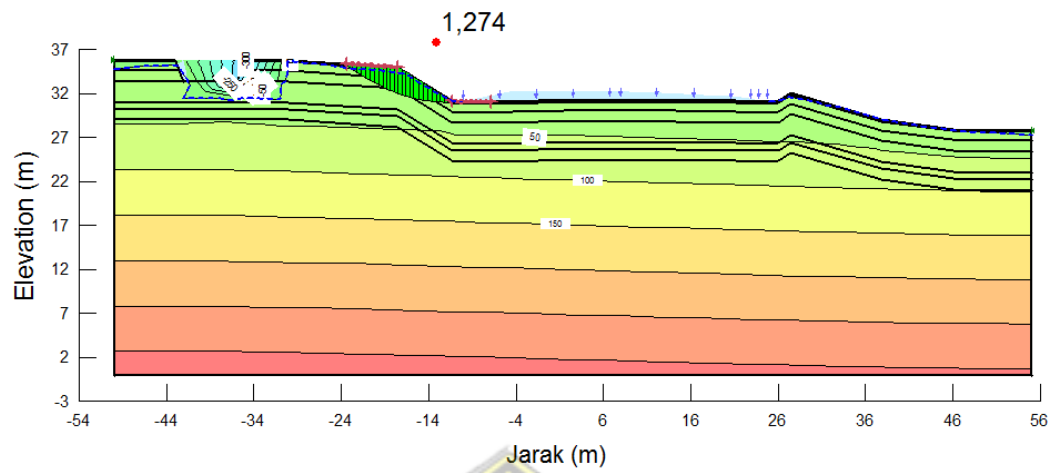
4.6.2 Kondisi Adanya Kolam (Seepage)

- Initial Condition Adanya Kolam



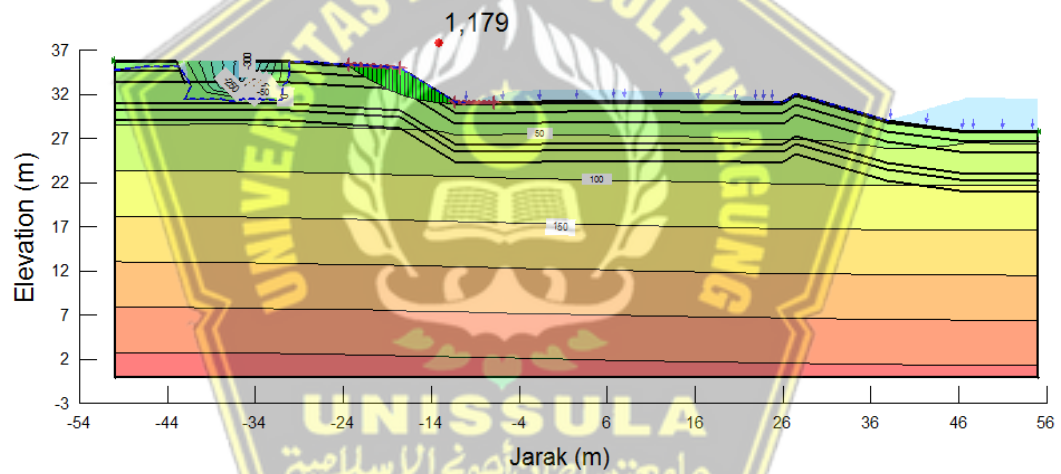
Gambar 4. 43 Nilai SF Pada Kondisi *Initial Condition* Adanya Kolam

- Curah Hujan Serpan 2016



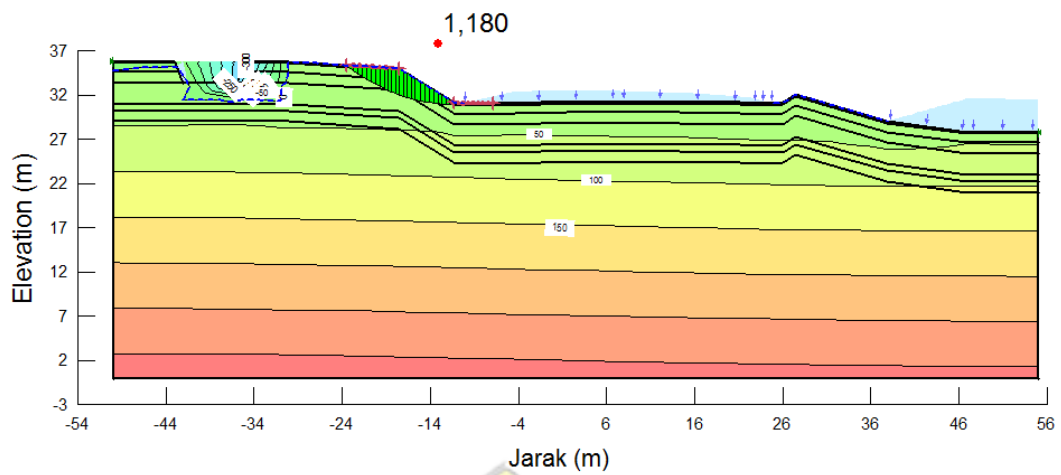
Gambar 4. 44 Nilai SF Curah Hujan Serpan 2016

- Periode Curah Hujan 2 Tahun



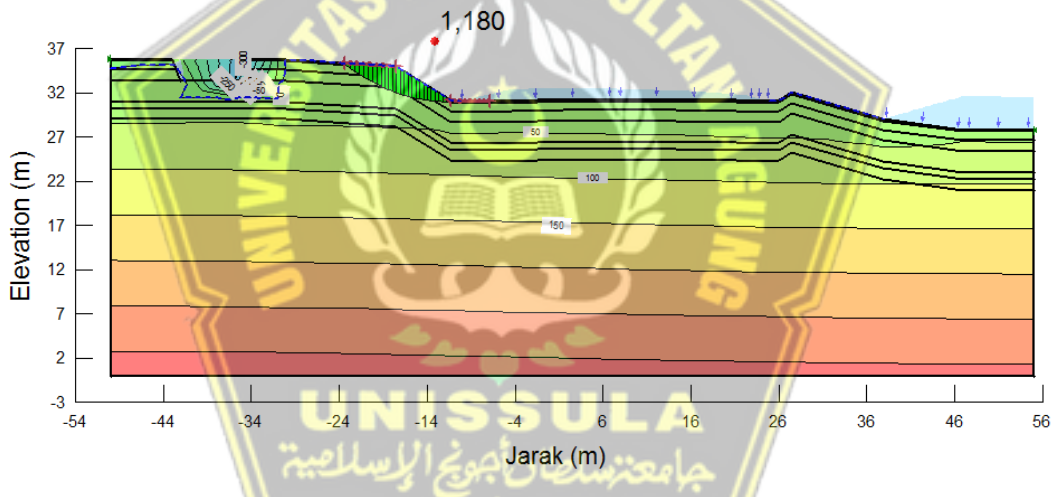
Gambar 4. 45 Nilai SF Curah Hujan Periode 2 tahun

- Periode Curah Hujan 5 Tahun



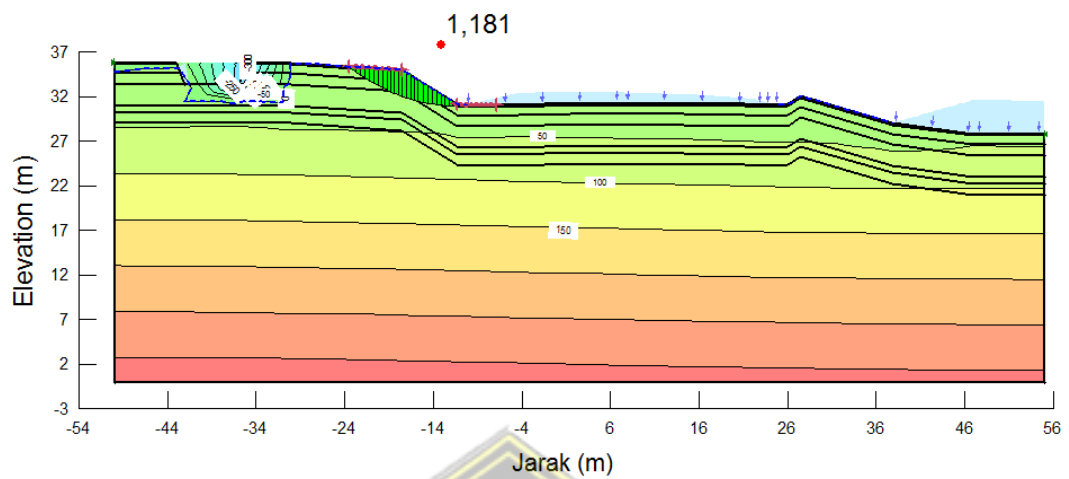
Gambar 4. 46 Nilai SF Curah Hujan Periode 5 tahun

- Periode Curah Hujan 10 Tahun



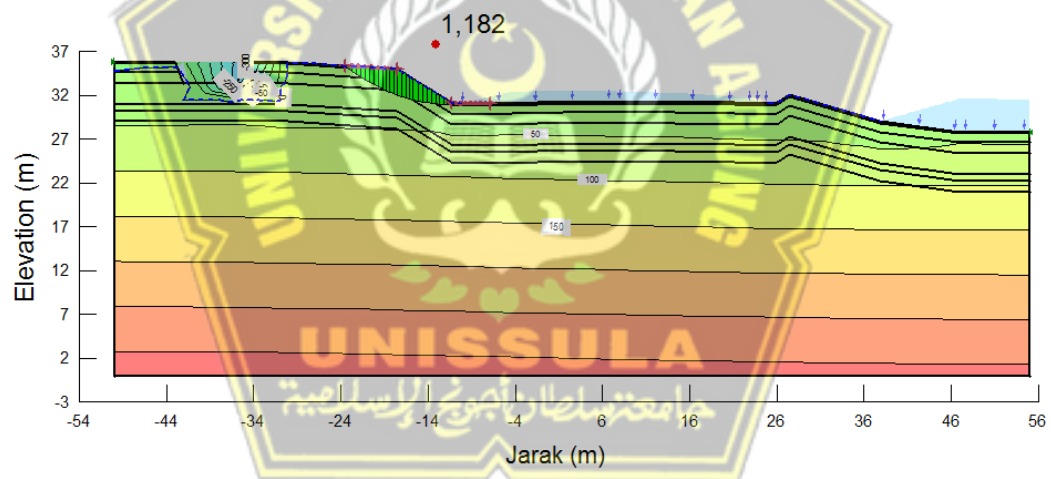
Gambar 4. 47 Nilai SF Curah Hujan Periode 10 tahun

- Periode Curah Hujan 25 Tahun



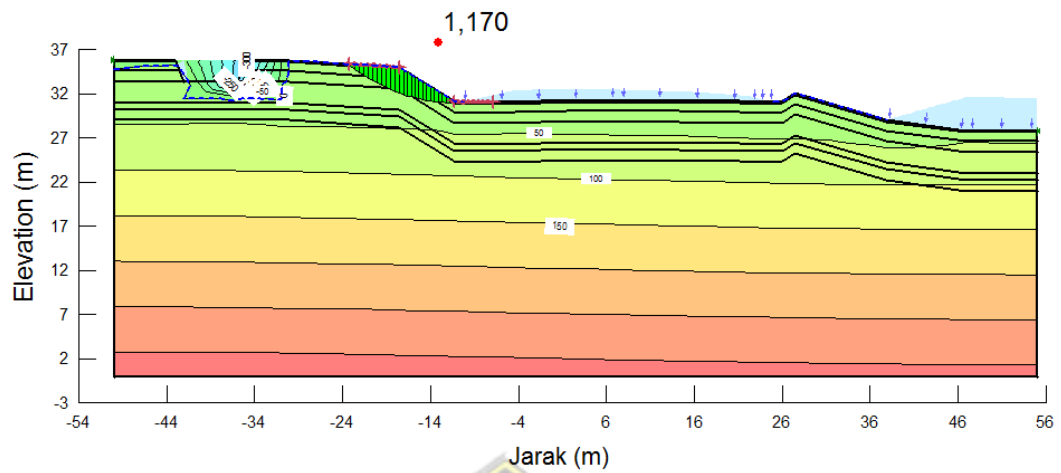
Gambar 4. 48 Nilai SF Curah Hujan Periode 25 tahun

- Periode Curah Hujan 50 Tahun



Gambar 4. 49 Nilai SF Curah Hujan Periode 50 tahun

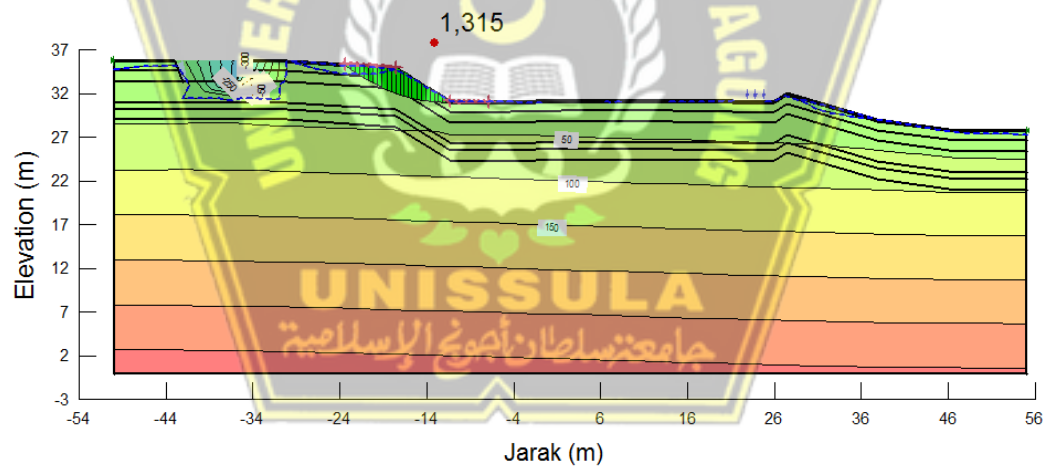
- Periode Curah Hujan 100 Tahun



Gambar 4. 50 Nilai SF Curah Hujan Periode 100 tahun

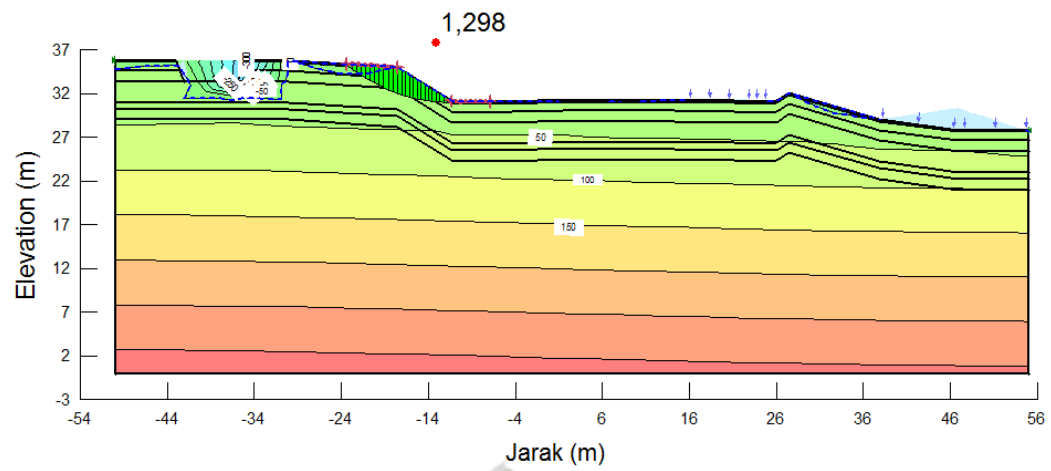
4.6.3 Kondisi Setelah ditambah Subdrain

- Curah Hujan Serpan 2016



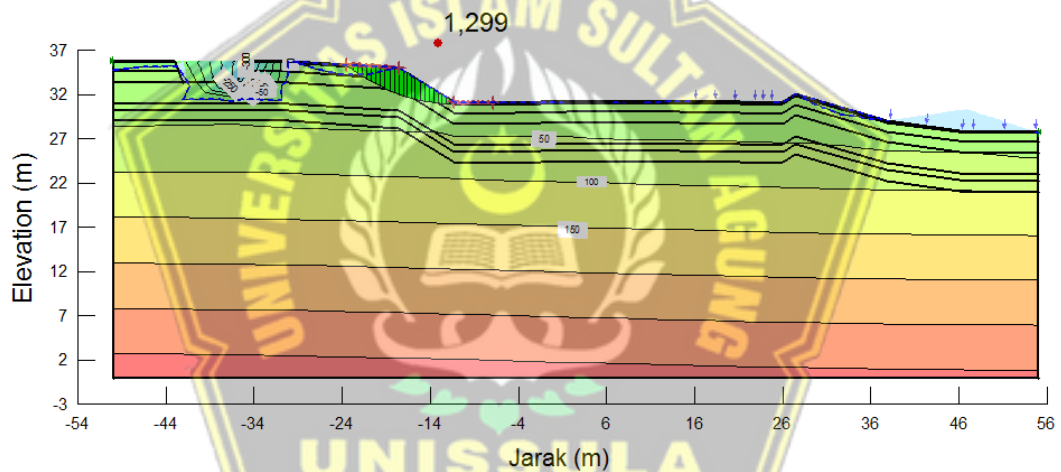
Gambar 4. 51 Nilai SF Curah Hujan Serpan 2016

- Periode Curah Hujan 2 tahun



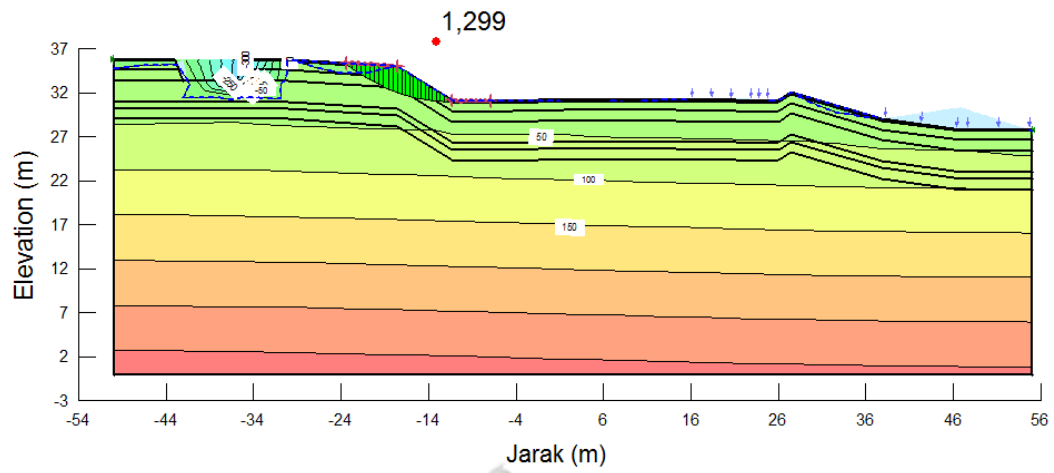
Gambar 4. 52 Nilai SF Curah Hujan Periode 2 tahun

- Periode Curah Hujan 5 tahun



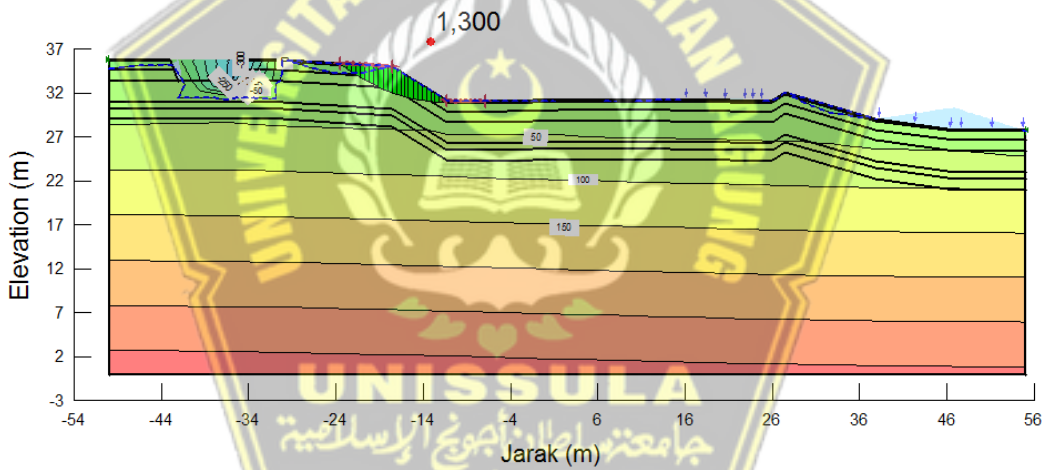
Gambar 4. 53 Nilai SF Curah Hujan Periode 5 tahun

- Periode Curah Hujan 10 tahun



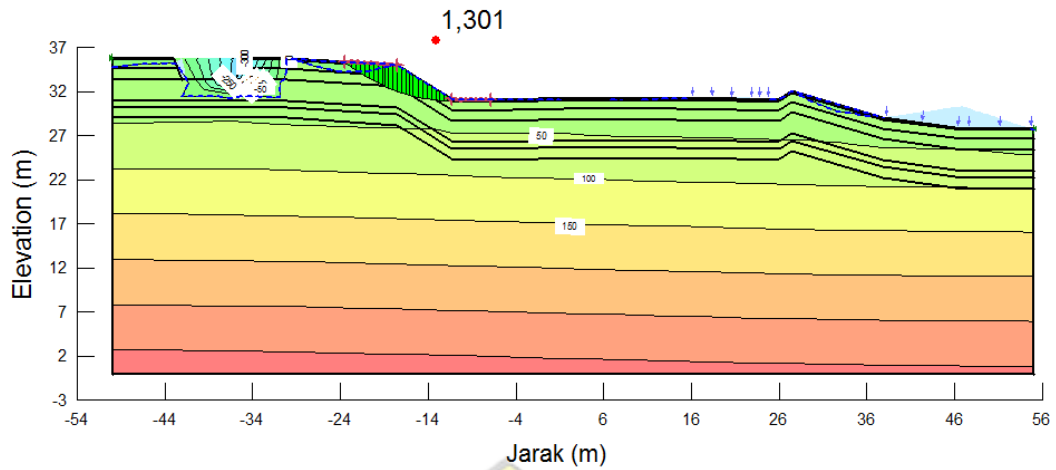
Gambar 4. 54 Nilai SF Curah Hujan Periode 10 tahun

- Periode Curah Hujan 25 tahun



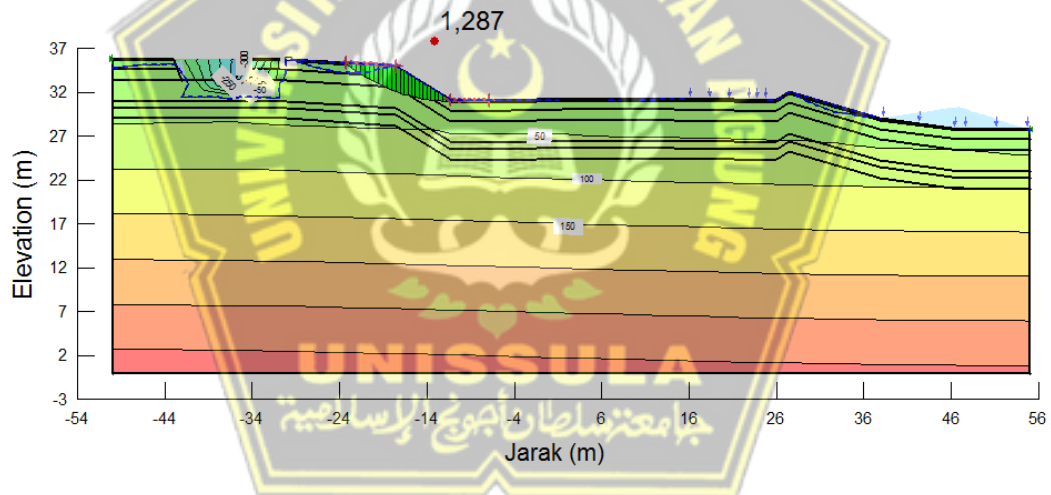
Gambar 4. 55 Nilai SF Curah Hujan Periode 25 tahun

- Periode Curah Hujan 50 tahun



Gambar 4. 56 Nilai SF Curah Hujan Periode 50 tahun

- Periode Curah Hujan 100 tahun



Gambar 4. 57 Nilai SF Curah Hujan Periode 100 tahun

4.7 Nilai *Safety Factor* Lereng

4.7.1 Tabel Nilai *Safety Factor* Lereng

Pada tabel 4.3 dapat dilihat nilai *safety factor* pada kondisi infiltrasi air hujan nilai *safety factor* cenderung lebih stabil.

Tabel 4. 3 Tabel Nilai *Safety Factor* Lereng

No	Analisis yang digunakan	Safety Factor
1	<i>Initial Condition</i>	1,544
2	Curah Hujan Serpan 2016	1,387
3	Curah Hujan Periode 2 Tahun	1,297
4	Curah Hujan Periode 5 Tahun	1,298
5	Curah Hujan Periode 10 Tahun	1,297
6	Curah Hujan Periode 25 Tahun	1,299
7	Curah Hujan Periode 50 Tahun	1,299
8	Curah Hujan Periode 100 Tahun	1,286

4.7.2 Tabel Nilai *Safety Factor* Lereng Dengan Adanya Kolam

Pada Tabel 4.4 kondisi lereng dengan adanya kolam nilai *Safety Factor* cenderung berkurang yang menyebabkan Stabilitas lereng dengan tanah tidak jenuh dapat terganggu akibat peristiwa hujan dan rembesan dari kolam berlebih yang mengurangi suction pada tanah.

Tabel 4. 4 Tabel Nilai *Safety Factor* Lereng Dengan Adanya Kolam

No	Analisis yang digunakan	Safety Factor
1	<i>Initial Condition</i>	1,450
2	Curah Hujan Serpan 2016	1,274
3	Curah Hujan Periode 2 Tahun	1,179
4	Curah Hujan Periode 5 Tahun	1,180
5	Curah Hujan Periode 10 Tahun	1,180
6	Curah Hujan Periode 25 Tahun	1,181
7	Curah Hujan Periode 50 Tahun	1,182
8	Curah Hujan Periode 100 Tahun	1,170

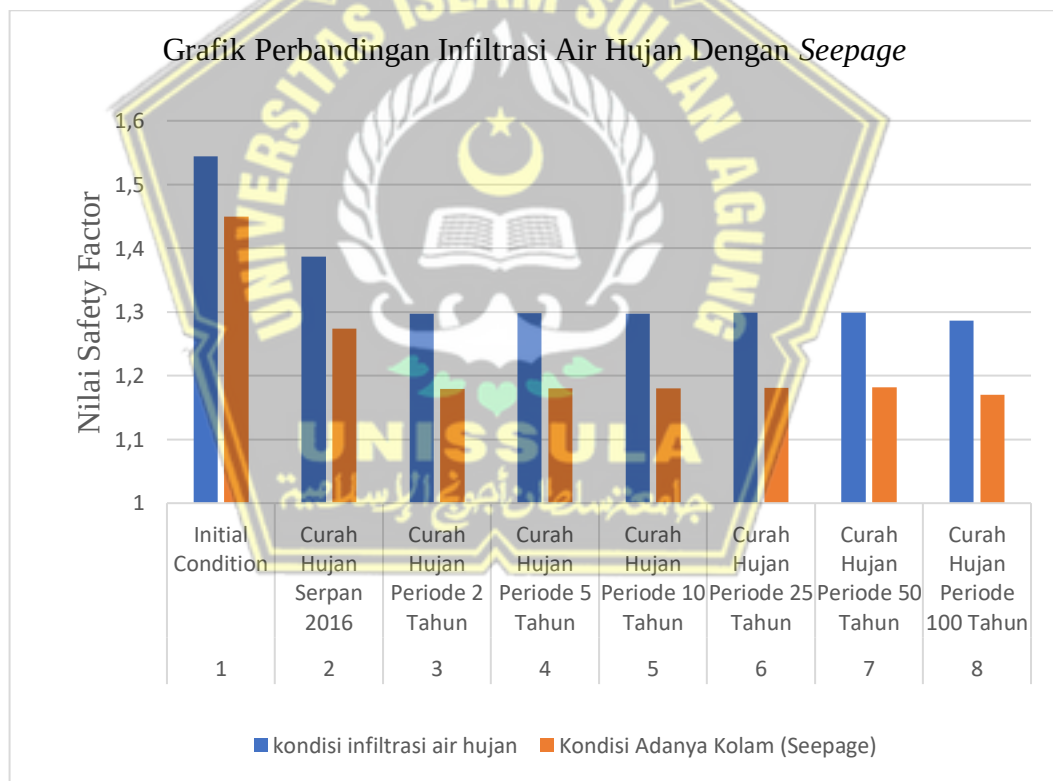
4.7.3 Tabel Nilai *Safety Factor* Lereng Ditambah Subdrain

Pada tabel 4.5 dapat dilihat nilai *Safety Factor* setelah diberi Subdrain menjadi lebih besar dari sebelumnya pada kondisi lereng dengan adanya kolam

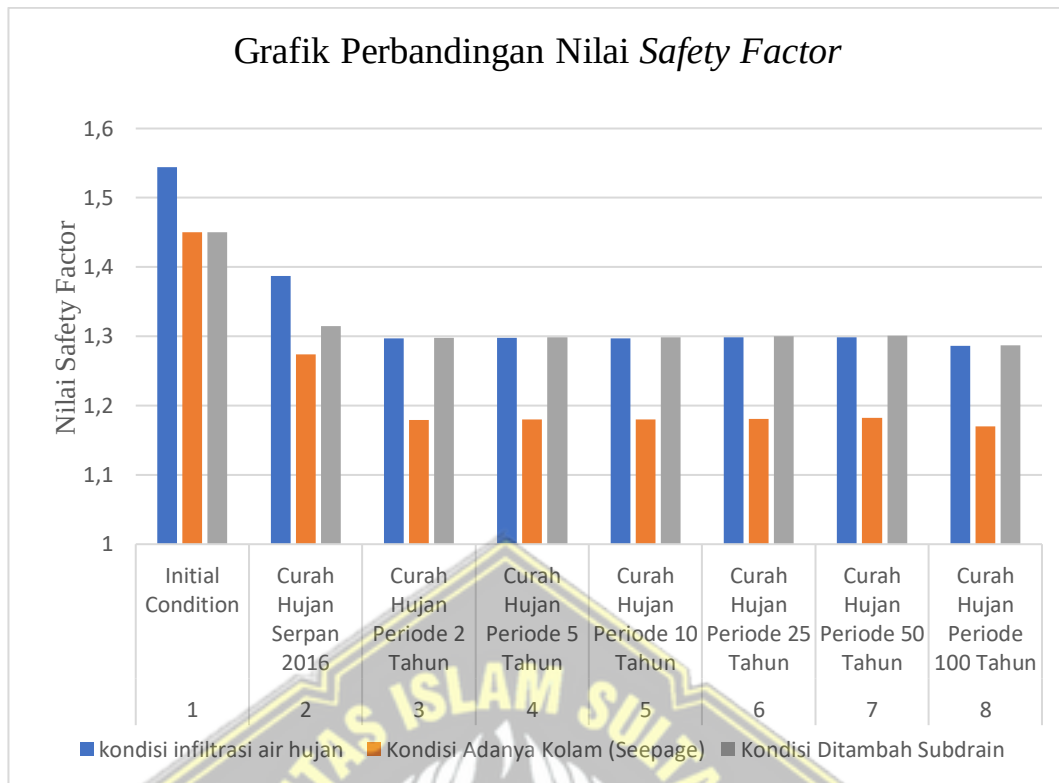
Tabel 4. 5 Tabel Nilai *Safety Faktor* Lereng Ditambah *Subdrain*

No	Analisis yang digunakan	Safety Faktor
1	<i>Initial Condition</i>	1,450
2	Curah Hujan Serpan 2016	1,315
3	Curah Hujan Periode 2 Tahun	1,298
4	Curah Hujan Periode 5 Tahun	1,299
5	Curah Hujan Periode 10 Tahun	1,299
6	Curah Hujan Periode 25 Tahun	1,300
7	Curah Hujan Periode 50 Tahun	1,301
8	Curah Hujan Periode 100 Tahun	1,287

4.7.4 Grafik Perbandingan Nilai *Safety Factor*



Gambar 4. 58 Grafik Perbandingan Infiltrasi Air Hujan Dengan Rembesan (*Seepage*)



Gambar 4. 59 Grafik Nilai *Safety Factor*

Pada Tabel dan Grafik di atas dapat dilihat perbandingan nilai *Safety Factor* dari permodelan kondisi infiltrasi air hujan dan kondisi adanya kolam (*Seepage*). Pada kondisi ini nilai *Safety Factor* cenderung lebih stabil. Sementara pada kondisi lereng dengan adanya kolam nilai *Safety Factor* cenderung berkurang yang menyebabkan Stabilitas lereng dengan tanah tidak jenuh dapat terganggu akibat peristiwa hujan dan rembesan dari kolam berlebih yang mengurangi *suction* pada tanah. Sedangkan setelah diberi Subdrain nilai *Safety Factor* menjadi lebih besar dari sebelumnya dengan Kondisi arah aliran airnya tidak langsung menuju pada lereng.

Pada gambar grafik 4.58 dapat dilihat hasil nilai *safety factor* yang dipengaruhi oleh *seepage* dan infiltrasi air hujan, nilai *safety factor* dengan rembesan (*seepage*) lebih besar dibandingkan dengan infiltrasi air hujan.

BAB V

PENUTUP

5.1 Kesimpulan

Berdasarkan penelitian yang telah dilakukan mengenai analisis stabilitas pada lereng di Proyek Pembangunan Jalan Tol Serang-Panimbang STA-43 hingga mendapatkan beberapa kesimpulan dibawah ini:

1. Arah rembesan air mengalir dari atas menuju ke bawah lereng masuk melalui lapisan tanah karena dipengaruhi adanya rembesan (*seepage*) dan infiltrasi air hujan.
2. Pengaruh kondisi rembesan (*seepage*) lebih besar dibandingkan dengan Infiltrasi air hujan didapatkan nilai *safety factor* pada periode hujan 100 tahun pengaruh infiltrasi air hujan sebesar 1,286 dan nilai *safety factor* rembesan (*seepage*) sebesar 1,170.
3. Pengaruh rembesan (*Seepage*) menyebabkan penurunan *safety factor* pada lereng dibandingkan dengan infiltrasi air hujan karena rembesan dari kolam menuju pada lereng menjadikan kestabilan lereng menjadi berkurang dan menyebabkan penurunan *safety factor*.
4. *Subdrain* dapat meningkatkan nilai *safety factor* karena aliran air yang masuk tidak langsung menuju pada lereng didapatkan nilai *safety factor* pada periode hujan 100 tahun sebesar 1,287.

5.2 Saran

1. Pengendalian aliran air dalam kasus ini adalah hal utama yang harus diperhatikan. Aliran air permukaan dan air tanah harus diawasi sehingga tidak mengakibatkan lereng jenuh.
2. Perlu ada studi lanjutan mengenai lapisan tanah dasar pada kondisi tanah galian dengan program lain dikarenakan keterbatasan dalam program SEEP/W dan SLOPE/W.
3. Suatu konstruksi seperti penahan air perlu dibangun, sehingga air tidak melewati bagian lereng. Air ditampung pada permukaan lereng dan dialirkan secara teratur ke bawah lereng. Konstruksi juga dapat berupa *sheet pile* yang cukup dalam menggunakan subdrain.

DAFTAR PUSTAKA

- Angelika, G. (2014). *Apartemen dengan Optimalisasi Penghawaan Alami di Kawasan Senopati, Jakarta Selatan*. Universitas Bina Nusantara
- Budiharjo, L. A. S., Mahardhika, D. C., Wahyuni, M., & Karlinasari, R. (2020). Pengaruh Jumlah Pemasangan Soil Nailing Terhadap Peningkatan Faktor Keamanan Lereng. *G-SMART Jurnal Teknik Sipil Unika Soegijapranata Semarang*, 4(2), 116–127.
- Craig, R. F. (1994). *Mekanika Tanah*. Erlangga.
- Das, B. M. (1995). *Mekanika Tanah 1*. Erlangga.
- Direktorat Jendral Penataan Ruang. (2007). *Pedoman Penataan Ruang di Kawasan Rawan Bencana Longsor*. Departemen Pekerjaan Umum.
- Fahlevi, F. (2019). *Analisis Stabilitas Lereng Dengan Perkuatan Sheet Pile Menggunakan Plaxis V.8 Dan Metode Bishop (Studi Kasus Pembangunan TPA Sapiro)*. Universitas Sumatera Utara.
- Goro, G. L. (2007). Studi Analisis Stabilitas Lereng Pada Timbunan Dengan Metode Elemen Hingga. *Wahana Teknik Sipil*, 12(1), 9–18.
- Hardiman, D. S., Karlinasari, R., & Rahardjo, P. P. (2019). Stability Analysis Of Embankment Above Soft Soil Slopes At Former Coal Mining Pit. *Proceedings of International Conference on “Landslide and Slope Stability” (SLOPE 2019)*.
- Hardiyatmo, H. C. (2010). *Mekanika Tanah I* (Edisi Ke V). Gadjah Mada University Press.
- Karnawati, D. (2005). *Bencana Alam Gerak Massa Tanah di Indonesia dan Upaya Penanggulangannya*. Universitas Gajah Mada.
- Karnawati, D. (2007). Mekanisme Gerakan Massa Batuan Akibat Gempa Bumi: Tinjauan dan Analisis Geologi Teknik. *Dinamika Teknik Sipil*, 7(2), 179–190.
- Martini. (2009). Analisis Perubahan Nilai Suction Akibat Hujan Terhadap Kestabilan Lereng. *Majalah Ilmiah Mektek*.
- Maulana, M. I., & Hakim, M. L. (2021). *Pengaruh Lama Pekerjaan Pada Stabilitas Lereng Galian Pada Proyek Jalan Tol*. Universitas Islam Sultan Agung.
- Mellawati, D. D. (2007). *Analisa Stabilitas Lereng Di Perbukitan Sekaran Semarang Dengan Menggunakan Metode Elemen Hingga Plaxis*. Universitas Negeri Semarang.
- Mohr. (1910). *Geotechnical Engineering Investigation Manual*. McGrawHill Book Co.

- Naryanto, H. S. (2011). Analisis Risiko Bencana Tanah Longsor di Kabupaten Karanganyar, Provinsi Jawa Tengah. *Jurnal Penanggulangan Bencana*, 2(1), 21–32.
- Naryanto, H. S., Soewandita, H., Ganesha, D., Prawiradisastra, F., & Kristijono, A. (2019). Analisis Penyebab Kejadian dan Evaluasi Bencana Tanah Longsor di Desa Banaran, Kecamatan Pulung, Kabupaten Ponorogo, Provinsi Jawa Timur Tanggal 1 April 2017. *Jurnal Ilmu Lingkungan*, 17(2), 272. <https://doi.org/10.14710/jil.17.2.272-282>
- Naryanto, H. S., Wisyanto, Sumargana, L., Ramadhan, R., & Prawiradisastra, S. (2016). Kajian Kondisi Bawah Permukaan Kawasan Rawan Longsor Dengan Geolistrik Untuk Penentuan Lokasi Penempatan Instrumentasi Sistem Peringatan Dini Longsor di Kecamatan Talegong, Kabupaten Garut. *Jurnal Riset Kebencanaan Indonesia*, 2(2).
- Rakhmindyarto, & Sinulingga, W. F. (2014). *Ekonomi Biru untuk Maritim Indonesia yang Berkelanjutan*. Kementerian Keuangan Republik Indonesia.
- Sartiyono, T. (2017). *Diklat Penanganan Longsoran Pada Struktur Jalan (Pengertian Lereng Dan Longsoran)*. <https://slidetodoc.com/diklat-penanganan-longsoran-pada-struktur-jalan-pengertian-lereng/>
- Setyanto, Zakaria, A., & Permana, G. W. (2016). Analisis Stabilitas Lereng dan Penanganan Longsoran Menggunakan Metode Elemen Hingga Plaxis V.8.2 (Studi Kasus Ruas Jalan Liwa - Simpang Gunung Kemala STA. 263+650). *Jurnal Rekayasa*, 20(2), 120–137.
- Silvianengsih, Liliwati, & Satwarnirat. (2015). Pengaruh Kadar Air Terhadap Kestabilan Lereng (Kampus Politeknik Negeri Padang). *Rekayasa Sipil*, XII(2), 36–45.
- Simatupang, Y. F. (2021). *Analisis Pengaruh Infiltrasi Hujan Terhadap Stabilitas Lereng Di Lau Simeme Dengan Metode Elemen Hingga (FEM)*. Universitas Sumatera Utara.
- Sinaga, S. (2019). *Analisis Stabilitas Lereng Menggunakan Metode Janbu (Studi Kasus Bukit Lereng Bandar Baru, Kabupaten Deli Serdang)*. Universitas HKBP Nommensen.
- Suryolelono, K. B. (2001). *Konsep dan Analisa Penanggulangan Bahaya Tanah Longsor*. KMTS UGM.
- Sutikno. (2001). *Mengenal Tanah Longsor*. Direktorat Geologi Tata Lingkungan Departemen Pertambangan dan Energi.
- Tarigan, R. (2012). *Studi Karakteristik Kuat Geser Tanah Lempung Dari Uji Unconfined Compressive Strength Dan Uji Triaksial Tak Terkonsolidasi Tak Terdrainase*. Universitas Sumatera Utara.
- Taufiq, M., & Dewantanu, P. (2011). *Analisis Pengaruh Infiltrasi Air Hujan Terhadap Kestabilan Lereng Pada Konstruksi Timbunan Tanah*. Universitas Islam Sultan Agung.

- Wardani, T. (2014). *Pengaruh Penggunaan Peta Gempa 2010 Terhadap Analisis Dinamik Stabilitas Lereng Bendungan Keuliling Aceh*. Universitas Komputer Indonesia.
- Wulandari, S., Hardiman, D. S., & Jati, Y. I. (2019). Case Study Of Soft Soil Improvement On Landslide Using Minipile With Platform At Batang - Semarang Toll Road. *23rd Annual National Conference on Geotechnical Engineering*.
- Yulikasari, A., Utama, W., & Purwanto, S. (2017). Analisis Stabilitas Lereng Tanah Di Daerah Olak Alen Blitar. *Jurnal Teknik ITS*, 6(2), 2337–3520.
- Zakaria, Z. (2009). *Analisis Kestabilan Lereng Tanah*.

