

**TUGAS AKHIR**

**ANALISIS STABILITAS LERENG TIMBUNAN  
JALAN DENGAN PERKUATAN GEOTEKSTIL  
MENGUNAKAN METODE ELEMEN HINGGA  
(*STABILITY ANALYSIS OF SLOPE ROAD  
EMBANKMENT WITH GEOTEXTILE  
REINFORCEMENT USING THE FINITE ELEMENT  
METHOD*)**

**(Studi Kasus di Ruas Jalan Tawang - Ngalang Segmen IV Sta. 7+750)**

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



**Ayoda Raza Maulida  
17511182**

**PROGRAM STUDI TEKNIK SIPIL  
PROGRAM SARJANA  
FAKULTAS TEKNIK SIPIL DAN PERENCANAAN  
UNIVERSITAS ISLAM INDONESIA  
2023**

## TUGAS AKHIR

# ANALISIS STABILITAS LERENG TIMBUNAN JALAN DENGAN PERKUATAN GEOTEKSTIL MENGUNAKAN METODE ELEMEN HINGGA (*STABILITY ANALYSIS OF SLOPE ROAD EMBANKMENT WITH GEOTEXTILE REINFORCEMENT USING THE FINITE ELEMENT METHOD ON TAWANG - NGALANG ROAD SEGMENT IV STA. 7+750*)

Disusun oleh

**Ayoda Raza Maulida**  
17511182

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

Diuji pada tanggal 31 Januari 2023

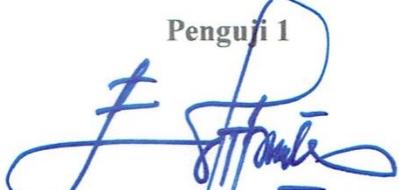
Oleh Dewan Penguji:

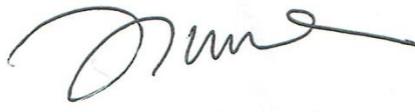
Pembimbing

Penguji 1

Penguji 2

  
Hanindya Kusuma Artati, S.T., M.T.  
NIK: 04110407

  
Edy Purwanto, Dr. Ir., CES., DEA.  
NIK: 855110101

  
Anisa Nur Amalina, S.T., M.Eng.  
NIK: 215111305



Mengesahkan,  
Ketua Program Studi Teknik Sipil

  
Ir. Yunalia Muntafi, S.T., M.T., Ph.D.  
NIK: 095110101

## LEMBAR DEDIKASI

### *Bismillahirrahmanirrahim*

Dengan menyebut nama Allah Yang Maha Pengasih Lagi Penyayang, shalawat serta salam tak lupa saya panjatkan kepada junjungan besar Rasulullah Muhammad SAW, beserta keluarga, sahabat, dan pengikut beliau hingga akhir zaman. Saya persembahkan karya ini untuk orang tua saya Ibu Yulinda Indrawati dan Bapak Sumargiyono, dua orang yang tidak hentinya memberikan kasih sayang, do'a, dan dukungan dalam hidup saya.

Bude saya Baiq Rusna Zaenab yang selalu mendo'akan dan memberikan dukungan hingga Tugas Akhir ini terselesaikan

Saudari - saudari saya Yola Aisyah Fitri dan Shaza Azzura Putri Mecca yang selalu mendo'akan dan memberikan dukungan hingga Tugas Akhir ini terselesaikan.

Saudari Ilma Izza Yasifa yang selalu mendukung dan memberi motivasi untuk menyelesaikan Tugas Akhir ini.

Sahabat - sahabat saya Abidzar, Adit, Adit, Alfandy, Aldy, Anan, Annas, Bangkit, Dana, Danu, Evan, Faiq, Faris, Irham, Iqron, Lutfi, Muaji, Ria, Ridwan, Rama, Wahyu, dan Waya yang membantu, mendukung, dan memberi motivasi untuk menyelesaikan Tugas Akhir ini.

Pemilik kos Wisma Biru Ibu Nurul Husnawati yang selalu memberi motivasi untuk menyelesaikan Tugas Akhir ini.

Teman - teman keluarga besar Teknik Sipil Universitas Islam Indonesia Angkatan 2017 yang sejak masa perkuliahan telah menjadi keluarga baru bagi saya. Saya berdo'a semoga Allah SWT membalas jasa kalian di kemudian hari.

## PERNYATAAN BEBAS PLAGIASI

Saya menyatakan dengan sesungguhnya bahwa Tugas Akhir yang saya susun sebagai salah satu syarat untuk penyelesaian program Sarjana di Program Studi Teknik Sipil, Universitas Islam Indonesia adalah hasil karya sendiri. Adapun bagian-bagian tertentu dalam penulisan 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 pada Tugas Akhir ini adanya plagiasi dalam bagian-bagian tertentu, saya bersedia menerima sanksi, termasuk pencabutan gelar akademik yang saya sandang sesuai dengan perundang-undangan yang berlaku.

Yogyakarta, 31 Januari 2023  
Yang membuat pernyataan,



Ayoda Raza Maulida  
17511182

## KATA PENGANTAR

Puji syukur penulis panjatkan kepada kehadiran Allah SWT, sehingga penyusun dapat menyelesaikan Tugas Akhir yang berjudul *Analisis Stabilitas Lereng Timbun Jalan Dengan Perkuatan Geotekstil Menggunakan Metode Elemen Hingga (Studi Kasus di Ruas Jalan Tawang - Ngalang Segmen IV Sta. 7+750)*. Tugas Akhir ini merupakan salah satu syarat akademik dalam menyelesaikan studi tingkat strata satu di Program Studi Teknik Sipil, Fakultas Teknik Sipil dan Perencanaan, Universitas Islam Indonesia, Yogyakarta.

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 hal ini, penulis ingin mengucapkan terima kasih yang sebesar-besarnya kepada:

1. Ibu Hanindya Kusuma Artati, S.T., M.T. selaku Dosen Pembimbing Tugas Akhir, terima kasih atas bimbingan, nasihat dan dukungan yang diberikan kepada saya selama penyusunan Tugas Akhir maupun selama masa perkuliahan.
2. Bapak Edy Purwanto, Dr. Ir., CES., DEA. selaku Dosen Penguji 1, dan Ibu Anisa Nur Amalina, S.T., M.Eng. selaku Dosen Penguji 2.
3. Ibu Ir. Yunalia Muntafi, S.T., M.T., Ph.D. selaku ketua Prodi Teknik Sipil Fakultas Teknik Sipil dan Perencanaan Universitas Islam Indonesia.
4. Seluruh Dosen dan Karyawan di Program Studi Teknik Sipil, Fakultas Teknik Sipil dan Perencanaan, Universitas Islam Indonesia.
5. Bapak dan Ibu penulis yang telah berkorban begitu banyak baik material maupun spritual hingga terselesainya tugas akhir ini.

Semoga penelitian yang telah dilakukan dan disajikan dalam bentuk laporan Tugas Akhir ini dapat memberikan manfaat untuk dunia Teknik Sipil dan pembaca pada umumnya.

Yogyakarta, 31 Januari 2023

Penulis,



Ayoda Raza Maulida  
17511182



## DAFTAR ISI

|  |       |
|--|-------|
| HALAMAN JUDUL  | i     |
| HALAMAN PENGESAHAN   | ii    |
| LEMBAR DEDIKASI  | iii   |
| PERNYATAAN BEBAS PLAGIASI  | iv    |
| KATA PENGANTAR   | v     |
| DAFTAR ISI   | vii   |
| DAFTAR TABEL   | xi    |
| DAFTAR GAMBAR  | xiii  |
| DAFTAR LAMPIRAN  | xxvi  |
| DAFTAR NOTASI SINGKATAN  | xxvii |
| ABSTRAK  | xxix  |
| <i>ABSTRACT</i>  | xxx   |
| BAB I PENDAHULUAN  | 1     |
| 1.1. Latar Belakang  | 1     |
| 1.2. Rumusan Masalah   | 2     |
| 1.3. Tujuan Penelitian   | 3     |
| 1.4. Manfaat Penelitian  | 3     |
| 1.5. Batasan Penelitian  | 4     |
| BAB II TINJAUAN PUSTAKA  | 5     |
| 2.1 Analisis Stabilitas Lereng Dengan Perkuatan Geotekstil             | 5     |
| 2.2 Analisis Stabilitas Lereng Tanpa Perkuatan Geotekstil.             | 7     |
| 2.3 Perbandingan Penelitian Terdahulu Dengan Penelitian Yang Dilakukan | 8     |

|   |    |
|---|----|
| BAB III LANDASAN TEORI  | 11 |
| 3.1 Analisis Stabilitas Lereng Dengan Perkuatan Geotekstil      | 11 |
| 3.1.1. Pengertian Umum  | 11 |
| 3.1.2. Klasifikasi Tanah  | 11 |
| 3.1.3 Parameter Kuat Geser Tanah                                | 13 |
| 3.1.4 <i>Standard Penetration Test (SPT)</i>                    | 17 |
| 3.2 Lereng  | 19 |
| 3.2.2 Penyebab Longsor  | 19 |
| 3.2.3 Variabel Pengaruh Kelongsoran                             | 20 |
| 3.2.4 Jenis Longsor   | 22 |
| 3.3 Analisis Stabilitas Lereng                                  | 24 |
| 3.3.1 Pengertian Umum   | 24 |
| 3.3.2 Teori Analisis Stabilitas Lereng                          | 25 |
| 3.3.3 Metode Analisis Stabilitas Lereng                         | 27 |
| 3.4 Penurunan Tanah   | 32 |
| 3.4.1 Umum  | 32 |
| 3.4.2 Penurunan Konsolidasi ( <i>Consolidation Settlement</i> ) | 32 |
| 3.4.3 Parameter Perhitungan Penurunan                           | 33 |
| 3.5 Perkuatan Lereng Menggunakan Geotekstil                     | 35 |
| 3.5.1 Perkuatan Tanah   | 35 |
| 3.5.2 Geotekstil  | 36 |
| 3.5.3 Prinsip Kerja Geotekstil                                  | 39 |
| 3.5.4 Perkuatan Menggunakan Geotekstil                          | 40 |
| 3.6 Program Plaxis  | 45 |
| BAB IV METODE PENELITIAN  | 47 |

|                                      |  |     |
|--------------------------------------|--|-----|
| 4.1                                  | Tinjauan Umum  | 47  |
| 4.2                                  | Data Penelitian  | 47  |
| 4.3                                  | Lokasi Penelitian  | 47  |
| 4.4                                  | Tahapan Penelitian   | 48  |
| 4.5                                  | Analisis Data  | 49  |
| 4.5.1                                | Potongan Melintang Jalan   | 49  |
| 4.5.2                                | Parameter Tanah  | 50  |
| 4.5.3                                | Geotekstil   | 51  |
| 4.5.4                                | Beban Perkerasan dan Lalu Lintas   | 51  |
| 4.5.5                                | Beban Gempa  | 52  |
| 4.6                                  | Analisis Data dengan <i>Software</i> Plaxis 8.6                              | 53  |
| 4.7                                  | Bagan Alir Penelitian  | 54  |
| <b>BAB V ANALISIS DAN PEMBAHASAN</b> |  | 57  |
| 5.1                                  | Gambaran Umum Analisis   | 57  |
| 5.1.1                                | Data Analisis Program Plaxis 8.6   | 58  |
| 5.2                                  | Lereng Timbunan Asli Sudut 39°   | 62  |
| 5.2.1                                | Analisis Menggunakan Program Plaxis Lereng Timbunan Asli Sudut 39°           | 62  |
| 5.2.2                                | Perhitungan Dengan Metode Fellenius Lereng Timbunan Asli Sudut 39°           | 88  |
| 5.2.3                                | Perhitungan Manual Penurunan Konsolidasi Pada Lereng Timbunan Asli Sudut 39° | 94  |
| 5.3                                  | Lereng Timbunan Sudut 34°  | 97  |
| 5.3.1                                | Analisis Menggunakan Program Plaxis Lereng Timbunan Sudut 34°                | 97  |
| 5.4                                  | Perhitungan Kebutuhan Geotekstil   | 124 |

|  |     |
|--|-----|
| 5.4.1 Data Perhitungan Geotekstil  | 124 |
| 5.4.2 Stabilitas Eksternal   | 126 |
| 5.4.3 Stabilitas Internal  | 129 |
| 5.4.4 Cek Gaya Tarik Tanah - Geotekstil  | 130 |
| 5.5 Lereng Timbunan Sudut 34° Dengan Perkuatan                                       | 131 |
| 5.5.1 Analisis Menggunakan Program Plaxis Lereng Timbunan Sudut 34° Dengan Perkuatan | 131 |
| 5.6 Pembahasan   | 158 |
| BAB VI KESIMPULAN DAN SARAN  | 163 |
| 6.1 Kesimpulan   | 163 |
| 6.2 Saran  | 164 |
| DAFTAR PUSTAKA   | 165 |
| LAMPIRAN   | 168 |

## DAFTAR TABEL

|             |  |     |
|-------------|--|-----|
| Tabel 2. 1  | Perbandingan Penelitian Terdahulu dengan Penelitian yang Dilakukan   | 9   |
| Tabel 3. 1  | Klasifikasi Tanah menurut Sistem USCS  | 12  |
| Tabel 3. 2  | Klasifikasi Tanah menurut Sistem AASTHO  | 13  |
| Tabel 3. 3  | Hubungan Nilai Angka Aman dengan Frekuensi Longsor   | 25  |
| Tabel 3. 4  | Nilai Angka Aman Untuk Perencanaan Lereng  | 26  |
| Tabel 3. 5  | Nilai <i>Interface</i> Tanah Kohesif dengan Geotekstil   | 39  |
| Tabel 4. 1  | Data Parameter Tanah   | 50  |
| Tabel 4. 2  | Data Geotekstil <i>Woven</i> UW-250  | 51  |
| Tabel 4. 3  | Data Parameter Beban Lalu Lintas   | 52  |
| Tabel 5. 1  | Parameter Tanah  | 58  |
| Tabel 5. 2  | Data Jenis Tanah Berdasarkan Data <i>Bore Hole</i> pada Sta. 7+750   | 59  |
| Tabel 5. 3  | Data Parameter Lalu Lintas   | 60  |
| Tabel 5. 4  | Parameter Geotekstil <i>Woven</i> UW-250   | 61  |
| Tabel 5. 5  | Rekapitulasi Hasil Angka Aman ( <i>SF</i> ) dan Penurunan Konsolidasi Lereng Timbunan Asli Sudut 39° Masa Konstruksi | 86  |
| Tabel 5. 6  | Perbandingan Nilai Angka Aman ( <i>SF</i> ) Masa Konstruksi dan Pasca Konstruksi Lereng Timbunan Asli Sudut 39°      | 88  |
| Tabel 5. 7  | Penurunan Konsolidasi Pada Lereng Timbunan Asli Sudut 39° Pasca Konstruksi   | 88  |
| Tabel 5. 8  | Rekapitulasi Perhitungan Manual Menggunakan Metode Fellenius   | 93  |
| Tabel 5. 9  | Angka Pori ( $e_o$ ) Berdasarkan Jenis Tanah   | 95  |
| Tabel 5. 10 | Indeks Kompresi Tanah ( $C_c$ ) Berdasarkan Jenis Tanah  | 95  |
| Tabel 5. 11 | Rekapitulasi Perhitungan Penurunan Konsolidasi Lereng Timbunan Asli Sudut 39°  | 96  |
| Tabel 5. 12 | Rekapitulasi Hasil Angka Aman ( <i>SF</i> ) dan Penurunan Konsolidasi Lereng Timbunan Sudut 34° Masa Konstruksi      | 122 |

|             |  |     |
|-------------|--|-----|
| Tabel 5. 13 | Perbandingan Nilai Angka Aman ( <i>SF</i> ) Masa Konstruksi dan Pasca Konstruksi Lereng Timbunan Sudut 34°                       | 123 |
| Tabel 5. 14 | Penurunan Konsolidasi Pada Lereng Timbunan Sudut 34° Pasca Konstruksi  | 124 |
| Tabel 5. 15 | Data Geotekstil <i>Woven UW-250</i>  | 125 |
| Tabel 5. 16 | Koefisien Daya Dukung Tanah  | 126 |
| Tabel 5. 17 | Rekapitulasi Kebutuhan Panjang Geotekstil  | 129 |
| Tabel 5. 18 | Rekapitulasi Hasil Perhitungan Stabilitas Internal   | 129 |
| Tabel 5. 19 | Rekapitulasi Hasil Angka Aman ( <i>SF</i> ) dan Penurunan Konsolidasi Lereng Timbunan Sudut 34° Dengan Perkuatan Masa Konstruksi | 156 |
| Tabel 5. 20 | Perbandingan Nilai Angka Aman ( <i>SF</i> ) Masa Konstruksi dan Pasca Konstruksi Lereng Timbunan Sudut 34° Dengan Perkuatan      | 157 |
| Tabel 5. 21 | Penurunan Konsolidasi Pada Lereng Timbunan Sudut 34° Dengan Perkuatan Pasca Konstruksi   | 158 |
| Tabel 5. 22 | Rekapitulasi Nilai Angka Aman ( <i>SF</i> ) Lereng Timbunan  | 160 |
| Tabel 5. 23 | Rekapitulasi Penurunan Konsolidasi Pada Lereng Timbunan Pasca Konstruksi Akibat Beban Struktur Jalan dan Beban Gempa             | 161 |

## DAFTAR GAMBAR

|              |   |    |
|--------------|---|----|
| Gambar 3. 1  | Lingkaran Kegagalan Mohr  | 16 |
| Gambar 3. 2  | Pengujian <i>Standard Penetration Test</i> (SPT)  | 18 |
| Gambar 3. 3  | Skema Pengujian <i>Standard Penetration Test</i> (SPT)                                      | 19 |
| Gambar 3. 4  | Tampak Lereng Akibat Pengaruh rangkak ( <i>Creep</i> )                                      | 21 |
| Gambar 3. 5  | Kelongsoran Lereng  | 23 |
| Gambar 3. 6  | Longsoran Translasi   | 23 |
| Gambar 3. 7  | Longsoran Rotasi  | 24 |
| Gambar 3. 8  | Gaya-Gaya yang Bekerja Pada Irisan  | 27 |
| Gambar 3. 9  | Indeks Kompresi Tanah ( <i>C<sub>c</sub></i> )  | 34 |
| Gambar 3. 10 | (a) Tumpukan Pasir dengan Sudut Lereng Asli (b) Tumpukan Pasir dengan Lereng yang Diperkuat | 36 |
| Gambar 3. 11 | Geotekstil <i>Woven</i>   | 37 |
| Gambar 3. 12 | Geotekstil <i>Non Woven</i>   | 37 |
| Gambar 3. 13 | Geotekstil Sebagai Pemisah ( <i>Separator</i> )   | 38 |
| Gambar 3. 14 | Geotekstil Sebagai Perkuatan ( <i>Reinforcement</i> )                                       | 38 |
| Gambar 3. 15 | Dasar Mekanisme Perkuatan Lereng dengan Tanah   | 41 |
| Gambar 3. 16 | Diagram Distribusi Tekanan Tanah Lateral  | 41 |
| Gambar 4. 1  | Lokasi Penelitian di Jalan Tawang - Ngalang Segmen IV                                       | 48 |
| Gambar 4. 2  | Potongan Melintang Jalan Tawang - Ngalang Segmen IV Sta. 7+750                              | 49 |
| Gambar 4. 3  | Detail Lereng Timbunan Jalan di Sta. 7+750  | 50 |
| Gambar 4. 4  | Peta Zonasi Gempa   | 52 |
| Gambar 4. 5  | Grafik Hubungan Percepatan dan Waktu Gempa  | 53 |
| Gambar 4. 6  | Bagan Alir Penelitian   | 55 |
| Gambar 4. 7  | Bagan Alir Pemodelan Lereng Timbunan  | 56 |
| Gambar 5. 1  | Data <i>Bore Hole</i> pada Sta. 7+750   | 59 |
| Gambar 5. 2  | Grafik Hubungan Percepatan dan Waktu Gempa  | 60 |

|              |  |    |
|--------------|--|----|
| Gambar 5. 3  | Kondisi Lereng Timbunan Eksisting  | 61 |
| Gambar 5. 4  | Pemodelan Lereng Timbunan Asli Sudut 39° Masa Konstruksi                               | 62 |
| Gambar 5. 5  | Pemodelan Lereng Timbunan Asli Sudut 39° Pasca Konstruksi                              | 62 |
| Gambar 5. 6  | Asumsi Fase Penimbunan Lereng Timbunan Asli Sudut 39°<br>Masa Konstruksi               | 63 |
| Gambar 5. 7  | <i>Meshing</i> Lereng Timbunan Asli Sudut 39° Masa Konstruksi                          | 64 |
| Gambar 5. 8  | <i>Generate Water Pressures</i> pada Lereng Timbunan Asli Sudut<br>39° Masa Konstruksi | 64 |
| Gambar 5. 9  | <i>Initial Soil Stresses</i> pada Lereng Timbunan Asli Sudut 39°<br>Masa Konstruksi    | 64 |
| Gambar 5. 10 | <i>Deformed Mesh</i> Penimbunan 2,5 m Lereng Timbunan Asli<br>Sudut 39°                | 65 |
| Gambar 5. 11 | <i>Total Displacement</i> Penimbunan 2,5 Lereng Timbunan Asli<br>Sudut 39°             | 65 |
| Gambar 5. 12 | Arah Pergerakan Tanah Penimbunan 2,5 m Lereng Timbunan<br>Asli sudut 39°               | 66 |
| Gambar 5. 13 | Potensi Kelongsoran Penimbunan 2,5 m Lereng Timbunan<br>Asli Sudut 39°                 | 66 |
| Gambar 5. 14 | <i>Effective Stresses</i> Penimbunan 2,5 m Timbunan Asli Sudut 39°                     | 67 |
| Gambar 5. 15 | Pengaturan Durasi Konsolidasi Lereng Timbunan Asli Sudut<br>39° Masa Konstruksi        | 67 |
| Gambar 5. 16 | Penurunan Konsolidasi Penimbunan 2,5 m Timbunan Asli<br>Sudut 39°                      | 68 |
| Gambar 5. 17 | <i>Deformed Mesh</i> Penimbunan 5 m Lereng Timbunan Asli<br>Sudut 39°                  | 68 |
| Gambar 5. 18 | <i>Total Displacement</i> Penimbunan 5 Lereng Timbunan Asli<br>Sudut 39°               | 69 |
| Gambar 5. 19 | Arah Pergerakan Tanah Penimbunan 5 m Lereng Timbunan<br>Asli Sudut 39°                 | 69 |
| Gambar 5. 20 | Potensi Kelongsoran Penimbunan 5 m Lereng Timbunan Asli<br>Sudut 39°                   | 69 |

|              |  |    |
|--------------|--|----|
| Gambar 5. 21 | <i>Effective Stresses</i> Penimbunan 5 m Lereng Timbunan Asli<br>Sudut 39°   | 70 |
| Gambar 5. 22 | Penurunan Konsolidasi Penimbunan 5 m Timbunan Asli<br>Sudut 39°  | 70 |
| Gambar 5. 23 | <i>Deformed Mesh</i> Penimbunan 7 m Lereng Timbunan Asli<br>Sudut 39°  | 71 |
| Gambar 5. 24 | <i>Total Displacement</i> Penimbunan 7 m Lereng Timbunan Asli<br>Sudut 39°   | 71 |
| Gambar 5. 25 | Arah Pergerakan Tanah Penimbunan 7 m Lereng Timbunan<br>Asli Sudut 39°   | 72 |
| Gambar 5. 26 | Potensi Kelongsoran Penimbunan 7 m Lereng Timbunan Asli<br>Sudut 39°   | 72 |
| Gambar 5. 27 | <i>Effective Stresses</i> Penimbunan 7 m Lereng Timbunan Asli<br>Sudut 39°   | 72 |
| Gambar 5. 28 | Penurunan Konsolidasi Penimbunan 7 m Lereng Timbunan<br>Asli Sudut 39°   | 73 |
| Gambar 5. 29 | <i>Deformed Mesh</i> Penimbunan 9 m Akibat Beban Struktur Jalan<br>Lereng Timbunan Asli Sudut 39°                    | 74 |
| Gambar 5. 30 | <i>Deformed Mesh</i> Penimbunan 9 m Akibat Beban Struktur Jalan<br>& Beban Gempa Lereng Timbunan Asli Sudut 39°      | 74 |
| Gambar 5. 31 | <i>Total Displacement</i> Penimbunan 9 m Akibat Beban Struktur<br>Jalan Lereng Timbunan Asli Sudut 39°               | 75 |
| Gambar 5. 32 | <i>Total Displacement</i> Penimbunan 9 m Akibat Beban Struktur<br>Jalan & Beban Gempa Lereng Timbunan Asli Sudut 39° | 75 |
| Gambar 5. 33 | Arah Pergerakan Tanah Penimbunan 9 m Beban Struktur Jalan<br>Lereng Timbunan Asli Sudut 39°                          | 76 |
| Gambar 5. 34 | Arah Pergerakan Tanah Penimbunan 9 m Beban Struktur &<br>Beban Gempa Lereng Timbunan Asli Sudut 39°                  | 76 |
| Gambar 5. 35 | Potensi Kelongsoran Penimbunan 9 m Akibat Beban Struktur<br>Jalan Lereng Timbunan Asli Sudut 39°                     | 76 |

|              |  |    |
|--------------|--|----|
| Gambar 5. 36 | Gambar 5. 37 Potensi Kelongsoran Penimbunan 9 m Akibat Beban Struktur Jalan & Beban Gempa Lereng Timbunan Asli Sudut 39° | 77 |
| Gambar 5. 38 | <i>Effective Stresses</i> Penimbunan 9 m Akibat Beban Struktur Jalan Lereng Timbunan Asli sudut 39°                      | 77 |
| Gambar 5. 39 | <i>Effective Stresses</i> Penimbunan 9 m Akibat Beban Struktur Jalan & Beban Gempa Lereng Timbunan Asli sudut 39°        | 77 |
| Gambar 5. 40 | Kurva <i>SF</i> Lereng Timbunan Asli sudut 39° Masa Konstruksi   | 78 |
| Gambar 5. 41 | Penurunan Konsolidasi Lereng Timbunan Asli Masa Konstruksi Sudut 39°   | 78 |
| Gambar 5. 42 | <i>Meshing</i> pada Lereng Timbunan Asli Sudut 39° Pasca Konstruksi  | 79 |
| Gambar 5. 43 | <i>Generate Water Pressures</i> pada Lereng Timbunan Asli Sudut 39° Pasca Konstruksi                                     | 80 |
| Gambar 5. 44 | <i>Intial Soil Stresses</i> pada Lereng Timbunan Asli Sudut 39° Pasca Konstruksi   | 80 |
| Gambar 5. 45 | <i>Deformed Mesh</i> Lereng Timbunan Asli Sudut 39° Akibat Beban Struktur Jalan Pasca Konstruksi                         | 81 |
| Gambar 5. 46 | <i>Deformed Mesh</i> Lereng Timbunan Asli Sudut 39° Akibat Beban Struktur Jalan & Beban Gempa Pasca Konstruksi           | 81 |
| Gambar 5. 47 | <i>Total Displacement</i> Lereng Timbunan Asli Sudut 39° Akibat Beban Struktur Jalan Pasca Konstruksi                    | 82 |
| Gambar 5. 48 | <i>Total Displacement</i> Lereng Timbunan Asli Sudut 39° Akibat Beban Struktur Jalan & Beban Gempa Pasca Konstruksi      | 82 |
| Gambar 5. 49 | Arah Pergerakan Tanah Lereng Timbunan Asli Sudut 39° Akibat Beban Struktur Jalan Pasca Konstruksi                        | 83 |
| Gambar 5. 50 | Arah Pergerakan Tanah Lereng Timbunan Asli Sudut 39° Akibat Beban Struktur Jalan & Beban Gempa Pasca Konstruksi          | 83 |
| Gambar 5. 51 | Potensi Kelongsoran Lereng Timbunan Asli Sudut 39° Akibat Beban Struktur Jalan Pasca Konstruksi                          | 83 |

|              |   |     |
|--------------|---|-----|
| Gambar 5. 52 | Potensi Kelongsoran Lereng Timbunan Asli Sudut 39° Akibat Beban Struktur Jalan & Beban Gempa Pasca Konstruksi       | 84  |
| Gambar 5. 53 | <i>Effective Stresses</i> Lereng Timbunan Asli Sudut 39° Akibat Beban Struktur Jalan Pasca Konstruksi               | 84  |
| Gambar 5. 54 | <i>Effective Stresses</i> Lereng Timbunan Asli Sudut 39° Akibat Beban Struktur Jalan & Beban Gempa Pasca Konstruksi | 84  |
| Gambar 5. 55 | Kurva <i>SF</i> Lereng Timbunan Asli Sudut 39° Pasca Konstruksi   | 85  |
| Gambar 5. 56 | Pengaturan Durasi Konsolidasi Lereng Timbunan Asli Sudut 39° Pasca Konstruksi                                       | 85  |
| Gambar 5. 57 | Penurunan Konsolidasi Lereng Timbunan Asli Pasca Sudut 39° Konstruksi   | 86  |
| Gambar 5. 58 | Grafik Angka Aman ( <i>SF</i> ) Lereng Timbunan Asli Sudut 39° Masa Konstruksi                                      | 87  |
| Gambar 5. 59 | Grafik Penurunan Konsolidasi Lereng Timbunan Asli Sudut 39° Masa Konstruksi   | 87  |
| Gambar 5. 60 | Pembagian Tiap Pias Lereng Timbunan Asli Sudut 39°  | 89  |
| Gambar 5. 61 | Batas Garis Lengkung Lereng Timbunan Asli Sudut 39°   | 91  |
| Gambar 5. 62 | Geometri Lereng Timbunan Sudut 34°  | 97  |
| Gambar 5. 63 | Pemodelan Lereng Timbunan Sudut 34° Masa Konstruksi   | 98  |
| Gambar 5. 64 | Pemodelan Lereng Timbunan Sudut 34° Pasca Konstruksi  | 98  |
| Gambar 5. 65 | Asumsi Fase Penimbunan Lereng Timbunan Sudut 34°  | 99  |
| Gambar 5. 66 | <i>Meshing</i> Lereng Timbunan Sudut 34° Masa Konstruksi  | 99  |
| Gambar 5. 67 | <i>Generate Water Pressures</i> pada Lereng Timbunan Sudut 34° Masa Konstruksi                                      | 100 |
| Gambar 5. 68 | <i>Initial Soil Stresses</i> pada Lereng Timbunan Sudut 34° Masa Konstruksi   | 100 |
| Gambar 5. 69 | <i>Deformed Mesh</i> Penimbunan 2,5 m Lereng Timbunan Sudut 34°   | 100 |
| Gambar 5. 70 | <i>Total Displacement</i> Penimbunan 2,5 Lereng Timbunan Sudut 34°  | 101 |

|              |   |     |
|--------------|---|-----|
| Gambar 5. 71 | Arah Pergerakan Tanah Penimbunan 2,5 m Lereng Timbunan Sudut 34°        | 101 |
| Gambar 5. 72 | Potensi Kelongsoran Penimbunan 2,5 m Lereng Timbunan Sudut 34°          | 102 |
| Gambar 5. 73 | <i>Effective Stresses</i> Penimbunan 2,5 m Timbunan Sudut 34°           | 102 |
| Gambar 5. 74 | Pengaturan Durasi Konsolidasi Lereng Timbunan Sudut 34° Masa Konstruksi | 103 |
| Gambar 5. 75 | Penurunan Konsolidasi Penimbunan 2,5 m Lereng Timbunan Sudut 34°        | 103 |
| Gambar 5. 76 | <i>Deformed Mesh</i> Penimbunan 5 m Lereng Timbunan Sudut 34°           | 104 |
| Gambar 5. 77 | <i>Total Displacement</i> Penimbunan 5 Lereng Timbunan Sudut 34°        | 104 |
| Gambar 5. 78 | Arah Pergerakan Tanah Penimbunan 5 m Lereng Timbunan Sudut 34°          | 105 |
| Gambar 5. 79 | Potensi Kelongsoran Penimbunan 5 m Lereng Timbunan Sudut 34°            | 105 |
| Gambar 5. 80 | <i>Effective Stresses</i> Penimbunan 5 m Lereng Timbunan Sudut 34°      | 105 |
| Gambar 5. 81 | Penurunan Konsolidasi Penimbunan 5 m Lereng Timbunan Sudut 34°          | 106 |
| Gambar 5. 82 | <i>Deformed Mesh</i> Penimbunan 7 m Lereng Timbunan Sudut 34°           | 106 |
| Gambar 5. 83 | <i>Total Displacement</i> Penimbunan 7 m Lereng Timbunan Sudut 34°      | 107 |
| Gambar 5. 84 | Arah Pergerakan Tanah Penimbunan 7 m Lereng Timbunan Sudut 34°          | 107 |
| Gambar 5. 85 | Potensi Kelongsoran Penimbunan 7 m Lereng Timbunan Sudut 34°            | 108 |
| Gambar 5. 86 | <i>Effective Stresses</i> Penimbunan 7 m Lereng Timbunan Sudut 34°      | 108 |

|               |  |     |
|---------------|--|-----|
| Gambar 5. 87  | Penurunan Konsolidasi Penimbunan 7 m Lereng Timbunan Sudut 34°   | 109 |
| Gambar 5. 88  | <i>Deformed Mesh</i> Penimbunan 9 m Akibat Beban Struktur Jalan Lereng Timbunan Sudut 34°                    | 109 |
| Gambar 5. 89  | <i>Deformed Mesh</i> Penimbunan 9 m Akibat Beban Struktur Jalan & Beban Gempa Lereng Timbunan Sudut 34°      | 110 |
| Gambar 5. 90  | <i>Total Displacement</i> Penimbunan 9 m Akibat Beban Struktur Jalan Lereng Timbunan Sudut 34°               | 110 |
| Gambar 5. 91  | <i>Total Displacement</i> Penimbunan 9 m Akibat Beban Struktur Jalan & Beban Gempa Lereng Timbunan Sudut 34° | 111 |
| Gambar 5. 92  | Arah Pergerakan Tanah Penimbunan 9 m Beban Struktur Jalan Lereng Timbunan Sudut 34°                          | 111 |
| Gambar 5. 93  | Arah Pergerakan Tanah Penimbunan 9 m Beban Struktur Jalan & Beban Gempa Lereng Timbunan Sudut 34°            | 111 |
| Gambar 5. 94  | Potensi Kelongsoran Penimbunan 9 m Akibat Beban Struktur Jalan Lereng Timbunan Sudut 34°                     | 112 |
| Gambar 5. 95  | Potensi Kelongsoran Penimbunan 9 m Akibat Beban Struktur Jalan & Beban Gempa Lereng Timbunan Sudut 34°       | 112 |
| Gambar 5. 96  | <i>Effective Stresses</i> Penimbunan 9 m Akibat Beban Struktur Jalan Lereng Timbunan Sudut 34°               | 113 |
| Gambar 5. 97  | <i>Effective Stresses</i> Penimbunan 9 m Akibat Beban Struktur Jalan & Beban Gempa Lereng Timbunan Sudut 34° | 113 |
| Gambar 5. 98  | Kurva <i>SF</i> Lereng Timbunan Sudut 34° Masa Konstruksi  | 113 |
| Gambar 5. 99  | Penurunan Konsolidasi Lereng Timbunan Sudut 34° Masa Konstruksi  | 114 |
| Gambar 5. 100 | <i>Meshing</i> pada Lereng Timbunan Sudut 34° Pasca Konstruksi   | 115 |
| Gambar 5. 101 | <i>Generate Water Pressures</i> pada Lereng Timbunan Sudut 34° Pasca Konstruksi                              | 115 |
| Gambar 5. 102 | <i>Intial Soil Stresses</i> pada Lereng Timbunan Sudut 34° Pasca Konstruksi                                  | 115 |

|               |   |     |
|---------------|---|-----|
| Gambar 5. 103 | <i>Deformed Mesh</i> Lereng Timbunan Sudut 34° Akibat Beban Struktur Jalan Pasca Konstruksi                     | 116 |
| Gambar 5. 104 | <i>Deformed Mesh</i> Lereng Timbunan Sudut 34° Akibat Beban Struktur Jalan & Beban Gempa Pasca Konstruksi       | 116 |
| Gambar 5. 105 | <i>Total Displacement</i> Lereng Timbunan Sudut 34° Akibat Beban Struktur Jalan Pasca Konstruksi                | 117 |
| Gambar 5. 106 | <i>Total Displacement</i> Lereng Timbunan Sudut 34° Akibat Beban Struktur Jalan & Beban Gempa Pasca Konstruksi  | 117 |
| Gambar 5. 107 | Arah Pergerakan Tanah Lereng Timbunan Sudut 34° Masa Akibat Beban Struktur Jalan Pasca Konstruksi               | 118 |
| Gambar 5. 108 | Arah Pergerakan Tanah Lereng Timbunan Sudut 34° Masa Akibat Beban Struktur Jalan & Beban Gempa Pasca Konstruksi | 118 |
| Gambar 5. 109 | Potensi Kelongsoran Lereng Timbunan Sudut 34° Akibat Beban Struktur Jalan Pasca Konstruksi                      | 119 |
| Gambar 5. 110 | Potensi Kelongsoran Lereng Timbunan Sudut 34° Akibat Beban Struktur Jalan & Beban Gempa Pasca Konstruksi        | 119 |
| Gambar 5. 111 | <i>Effective Stresses</i> Lereng Timbunan Sudut 34° Akibat Beban Struktur Jalan Pasca Konstruksi                | 119 |
| Gambar 5. 112 | <i>Effective Stresses</i> Lereng Timbunan Sudut 34° Akibat Beban Struktur Jalan & Beban Gempa Pasca Konstruksi  | 120 |
| Gambar 5. 113 | Kurva <i>SF</i> Lereng Timbunan Sudut 34° Pasca Konstruksi  | 120 |
| Gambar 5. 114 | Pengaturan Durasi Konsolidasi Lereng Timbunan Sudut 34° Pasca Konstruksi  | 121 |
| Gambar 5. 115 | Penurunan Konsolidasi Lereng Timbunan Sudut 34° Pasca Konstruksi  | 121 |
| Gambar 5. 116 | Grafik Angka Aman ( <i>SF</i> ) Lereng Timbunan Sudut 34° Masa Konstruksi                                       | 122 |
| Gambar 5. 117 | Grafik Penurunan Konsolidasi Lereng Timbunan Sudut 34° Masa Konstruksi  | 123 |
| Gambar 5. 118 | Zona Pada Timbunan 9 meter  | 124 |

|               |   |     |
|---------------|---|-----|
| Gambar 5. 119 | Gambar Pemasangan Geotekstil  | 130 |
| Gambar 5. 120 | Pemodelan Lereng Timbunan Sudut 34° Dengan Perkuatan Masa Konstruksi                            | 131 |
| Gambar 5. 121 | Pemodelan Lereng Timbunan Sudut 34° Dengan Perkuatan Pasca Konstruksi                           | 132 |
| Gambar 5. 122 | Asumsi Fase Penimbunan Lereng Timbunan Sudut 34° Dengan Perkuatan                               | 132 |
| Gambar 5. 123 | <i>Meshing</i> Lereng Timbunan Sudut 34° Dengan Perkuatan Masa Konstruksi                       | 133 |
| Gambar 5. 124 | <i>Generate Water Pressures</i> pada Lereng Timbunan Sudut 34° Dengan Perkuatan Masa Konstruksi | 133 |
| Gambar 5. 125 | <i>Initial Soil Stresses</i> pada Lereng Timbunan Sudut 34° Dengan Perkuatan Masa Konstruksi    | 134 |
| Gambar 5. 126 | <i>Deformed Mesh</i> Penimbunan 2,5 m Lereng Timbunan Sudut 34° Dengan Perkuatan                | 134 |
| Gambar 5. 127 | <i>Total Displacement</i> Penimbunan 2,5 Lereng Timbunan Sudut 34° Dengan Perkuatan             | 135 |
| Gambar 5. 128 | Arah Pergerakan Tanah Penimbunan 2,5 m Lereng Timbunan Sudut 34° Dengan Perkuatan               | 135 |
| Gambar 5. 129 | Potensi Kelongsoran Penimbunan 2,5 m Lereng Timbunan Sudut 34° Dengan Perkuatan                 | 136 |
| Gambar 5. 130 | <i>Effective Stresses</i> Penimbunan 2,5 m Lereng Timbunan Sudut 34° Dengan Perkuatan           | 136 |
| Gambar 5. 131 | Pengaturan Durasi Konsolidasi Lereng Timbunan Sudut 34° Dengan Perkuatan Masa Konstruksi        | 137 |
| Gambar 5. 132 | Penurunan Konsolidasi Penimbunan 2,5 m Timbunan Sudut 34° Dengan Perkuatan                      | 137 |
| Gambar 5. 133 | <i>Deformed Mesh</i> Penimbunan 5 m Lereng Timbunan Sudut 34° Dengan Perkuatan                  | 138 |
| Gambar 5. 134 | <i>Total Displacement</i> Penimbunan 5 Lereng Timbunan Sudut 34° Dengan Perkuatan               | 138 |

|               |   |     |
|---------------|---|-----|
| Gambar 5. 135 | Arah Pergerakan Tanah Penimbunan 5 m Lereng Timbunan Sudut 34° Dengan Perkuatan   | 139 |
| Gambar 5. 136 | Potensi Kelongsoran Penimbunan 5 m Lereng Timbunan Sudut 34° Dengan Perkuatan   | 139 |
| Gambar 5. 137 | <i>Effective Stresses</i> Penimbunan 5 m Lereng Timbunan Sudut 34° Dengan Perkuatan   | 139 |
| Gambar 5. 138 | Penurunan Konsolidasi Penimbunan 5 m Timbunan Sudut 34° Dengan Perkuatan  | 140 |
| Gambar 5. 139 | <i>Deformed Mesh</i> Penimbunan 7 m Lereng Timbunan Sudut 34° Dengan Perkuatan  | 141 |
| Gambar 5. 140 | <i>Total Displacement</i> Penimbunan 7 m Lereng Timbunan Sudut 34° Dengan Perkuatan   | 141 |
| Gambar 5. 141 | Arah Pergerakan Tanah Penimbunan 7 m Lereng Timbunan Sudut 34°  | 142 |
| Gambar 5. 142 | Potensi Kelongsoran Penimbunan 7 m Lereng Timbunan Sudut 34° Dengan Perkuatan   | 142 |
| Gambar 5. 143 | <i>Effective Stresses</i> Penimbunan 7 m Lereng Timbunan Sudut 34° Dengan Perkuatan   | 142 |
| Gambar 5. 144 | Penurunan Konsolidasi Penimbunan 7 m Timbunan Sudut 34° Dengan Perkuatan  | 143 |
| Gambar 5. 145 | <i>Deformed Mesh</i> Penimbunan 9 m Akibat Beban Struktur Jalan Lereng Timbunan Sudut 34° Dengan Perkuatan                    | 144 |
| Gambar 5. 146 | <i>Deformed Mesh</i> Penimbunan 9 m Akibat Beban Struktur Jalan & Beban Gempa Lereng Timbunan Sudut 34° Dengan Perkuatan      | 144 |
| Gambar 5. 147 | <i>Total Displacement</i> Penimbunan 9 m Akibat Beban Struktur Jalan Lereng Timbunan Sudut 34° Dengan Perkuatan               | 145 |
| Gambar 5. 148 | <i>Total Displacement</i> Penimbunan 9 m Akibat Beban Struktur Jalan & Beban Gempa Lereng Timbunan Sudut 34° Dengan Perkuatan | 145 |

|               |   |     |
|---------------|---|-----|
| Gambar 5. 149 | Arah Pergerakan Tanah Penimbunan 9 m Akibat Beban Struktur Jalan Lereng Timbunan Sudut 34° Dengan Perkuatan                           | 146 |
| Gambar 5. 150 | Arah Pergerakan Tanah Penimbunan 9 m Akibat Beban Struktur & Beban Gempa Lereng Timbunan Sudut 34° Dengan Perkuatan                   | 146 |
| Gambar 5. 151 | Potensi Kelongsoran Penimbunan 9 m Akibat Beban Struktur Jalan Lereng Timbunan Sudut 34° Dengan Perkuatan                             | 146 |
| Gambar 5. 152 | Potensi Kelongsoran Penimbunan 9 m Akibat Beban Struktur Jalan & Beban Gempa Lereng Timbunan Sudut 34° Dengan Perkuatan               | 147 |
| Gambar 5. 153 | <i>Effective Stresses</i> Penimbunan 9 m Akibat Beban Struktur Jalan Lereng Timbunan Sudut 34° Dengan Perkuatan                       | 147 |
| Gambar 5. 154 | <i>Effective Stresses</i> Penimbunan 9 m Akibat Beban Struktur & Beban Gempa Lereng Timbunan Sudut 34° Dengan Perkuatan               | 147 |
| Gambar 5. 155 | Kurva <i>SF</i> Lereng Timbunan Sudut 34° Dengan Perkuatan Masa Konstruksi  | 148 |
| Gambar 5. 156 | Penurunan Konsolidasi Lereng Timbunan Sudut 34° Dengan Perkuatan Masa Konstruksi  | 148 |
| Gambar 5. 157 | <i>Meshing</i> pada Lereng Timbunan Sudut 34° Dengan Perkuatan Pasca Konstruksi   | 149 |
| Gambar 5. 158 | <i>Generate Water Pressures</i> pada Lereng Timbunan Sudut 34° Dengan Perkuatan Pasca Konstruksi                                      | 150 |
| Gambar 5. 159 | <i>Intial Soil Stresses</i> pada Lereng Timbunan Sudut 34° Dengan Perkuatan Pasca Konstruksi  | 150 |
| Gambar 5. 160 | <i>Deformed Mesh</i> Lereng Timbunan Sudut 34° Dengan Perkuatan Akibat Beban Struktur Jalan Pasca Konstruksi                          | 150 |
| Gambar 5. 161 | <i>Deformed Mesh</i> Lereng Timbunan Sudut 34° Dengan Perkuatan Akibat Beban Struktur Perkerasan Jalan & Beban Gempa Pasca Konstruksi | 151 |
| Gambar 5. 162 | <i>Total Displacement</i> Lereng Timbunan Sudut 34° Dengan Perkuatan Akibat Beban Struktur Jalan Pasca Konstruksi                     | 151 |

|               |   |     |
|---------------|---|-----|
| Gambar 5. 163 | <i>Total Displacement</i> Lereng Timbunan Sudut 34° Dengan Perkuatan Akibat Beban Struktur Jalan & Beban Gempa Pasca Konstruksi   | 152 |
| Gambar 5. 164 | Arah Pergerakan Tanah Lereng Timbunan Sudut 34° Dengan Perkuatan Akibat Beban Struktur Jalan Pasca Konstruksi                     | 152 |
| Gambar 5. 165 | Arah Pergerakan Tanah Lereng Timbunan Sudut 34° Dengan Perkuatan Akibat Beban Struktur Jalan & Beban Gempa Pasca Konstruksi       | 153 |
| Gambar 5. 166 | Potensi Kelongsoran Lereng Timbunan Sudut 34° Dengan Perkuatan Akibat Beban Struktur Jalan Pasca Konstruksi                       | 153 |
| Gambar 5. 167 | Potensi Kelongsoran Lereng Timbunan Sudut 34° Dengan Perkuatan Akibat Beban Struktur Jalan & Beban Gempa Pasca Konstruksi         | 153 |
| Gambar 5. 168 | <i>Effective Stresses</i> Lereng Timbunan Sudut 34° Dengan Perkuatan Akibat Beban Struktur Jalan Pasca Konstruksi                 | 154 |
| Gambar 5. 169 | <i>Effective Stresses</i> Lereng Timbunan Sudut 34° Dengan Perkuatan Akibat Beban Struktur Jalan dan Beban Gempa Pasca Konstruksi | 154 |
| Gambar 5. 170 | Kurva <i>SF</i> Lereng Timbunan Sudut 34° Dengan Perkuatan Pasca Konstruksi   | 155 |
| Gambar 5. 171 | Pengaturan Durasi Konsolidasi Lereng Timbunan Sudut 34° Dengan Perkuatan Pasca Konstruksi   | 155 |
| Gambar 5. 172 | Penurunan Konsolidasi Lereng Timbunan Sudut 34° Dengan Perkuatan Pasca Konstruksi   | 156 |
| Gambar 5. 173 | Grafik Angka Aman ( <i>SF</i> ) Lereng Timbunan Sudut 34° Dengan Perkuatan Masa Konstruksi  | 157 |
| Gambar 5. 174 | Grafik Penurunan Konsolidasi Lereng Timbunan Sudut 34° Dengan Perkuatan Masa Konstruksi   | 157 |
| Gambar 5. 175 | Nilai Angka Aman ( <i>SF</i> ) Akhir Lereng Timbunan Pasca Konstruksi Akibat Beban Struktur Jalan dan Beban Gempa                 | 161 |

Gambar 5. 176 Perbandingan Penurunan Konsolidasi Akhir Lereng  
Timbunan Pasca Konstruksi Akibat Beban Struktur Jalan &  
Beban Gempa

162



## DAFTAR LAMPIRAN

|  |     |
|--|-----|
| Lampiran 1 Data Ruas Jalan Tawang - Ngalang Segmen IV Sta. 7+750 | 169 |
| Lampiran 2 Data Spesifikasi Geotekstil <i>Woven</i>              | 172 |
| Lampiran 3 Lingkaran Kelongsoran Metode Fellenius                | 173 |



## DAFTAR NOTASI SINGKATAN

|                |   |
|----------------|---|
| $c$            | = Kohesi  |
| $D$            | = Diameter (m)  |
| $S$            | = Jarak (m)   |
| $L$            | = Panjang (m)   |
| $SF$           | = Angka Aman  |
| $\tau_f$       | = Kuat Geser Tanah ( $\text{kN/m}^2$ )                                    |
| $\tau_d$       | = Tegangan geser yang terjadi sepanjang bidang runtuh ( $\text{kN/m}^2$ ) |
| $\sigma$       | = Tegangan normal ( $\text{kN/m}^2$ )                                     |
| $\phi$         | = Sudut geser dalam ( $^\circ$ )  |
| $\nu$          | = <i>Poisson ratio</i> tanah  |
| $C_u$          | = <i>Undrained shear strength</i> (kPa)                                   |
| $\gamma_b$     | = Berat Volume Tanah ( $\text{kN/m}^3$ )                                  |
| $\gamma_{sat}$ | = Berat Volume Tanah jenuh ( $\text{kN/m}^3$ )                            |
| $\sigma'f$     | = Tegangan normal efektif saat terjadi keruntuhan ( $\text{kN/m}^2$ )     |
| $\tau'f$       | = Tegangan geser efektif saat terjadi keruntuhan ( $\text{kN/m}^2$ )      |
| $u$            | = Tekanan air pori ( $\text{kN/m}^2$ )                                    |
| $R$            | = Jari-jari lingkaran bidang longsor (m)                                  |
| $e$            | = Modulus young ( $\text{KN/m}^2$ )                                       |
| $\psi$         | = Sudut dilatasi ( $^\circ$ )   |
| $k$            | = Koefisien permeabilitas (m/hari)  |
| $g$            | = Modulus geser ( $\text{kN/m}^2$ )                                       |
| $n$            | = Jumlah irisan   |
| $W_i$          | = Berat massa tanah irisan ke- $i$ (kN)                                   |
| $N_i$          | = Gaya normal efektif yang bekerja sepanjang dasar irisan (kN)            |
| $\theta_i$     | = Sudut yang didefinisikan ( $^\circ$ )                                   |
| $a_i$          | = Panjang lengkung lingkaran pada irisan (m)                              |
| $q$            | = Beban merata ( $\text{kN/m}^2$ )  |

|               |   |
|---------------|---|
| $L_o$         | = Panjang <i>overlapping</i> (m)                                |
| $Z_i$         | = Kedalaman tiap lembar geotekstil dari permukaan tanah (m)     |
| $A$           | = Sudut geser singgung masing-masing irisan ( $^{\circ}$ )      |
| $K_a$         | = Koefisien tanah aktif   |
| $N'$          | = Gaya normal efektif (kN)                                      |
| $\sigma_v$    | = Tegangan normal pada bidang kontak ( $\text{kN/m}^2$ )        |
| $\sigma_{hc}$ | = Tekanan horisontal rata-rata pada lipatan ( $\text{kN/m}^2$ ) |
| $S_v$         | = Jarak antar geotekstil arah vertikal (m)                      |
| $H$           | = Tinggi lapisan tanah (m)                                      |



## ABSTRAK

Jalan Tawang - Ngalang Segmen IV dibangun sebagai jalur alternatif Jalan Jogja - Wonosari melalui jalur Piyungan - Patuk. Beberapa ruas jalan dibangun di atas timbunan tanah yang cukup tinggi dengan kondisi tanah timbunan yang digunakan kurang baik dan dibangun di atas tanah lunak. Penelitian ini dikhususkan di Ruas Jalan Tawang - Ngalang Segmen IV Sta. 7+750 yang dibangun di atas timbunan tanah 9 m. Penelitian ini bertujuan untuk mengetahui nilai angka aman (*SF*) lereng timbunan serta mengetahui penurunan konsolidasi dalam waktu 365 hari (1 tahun).

Analisis stabilitas lereng dilakukan menggunakan metode elemen hingga dengan bantuan program Plaxis 8.6. Analisis lereng timbunan dilakukan pada lereng timbunan tanah asli sudut  $39^\circ$ , lereng timbunan setelah diubah sudut kemiringan lereng, dan lereng timbunan setelah diubah sudut kemiringan lereng serta diberi perkuatan geotekstil.

Nilai angka aman (*SF*) untuk lereng timbunan asli sudut  $39^\circ$  masa konstruksi penimbunan hingga 2,5 m 2,5265; penimbunan hingga 5 m 1,8616; penimbunan hingga 7 m 1,5425; dan penimbunan hingga 9 m 1,2846, saat pasca konstruksi nilai angka aman (*SF*) lereng timbunan asli sudut  $39^\circ$  1,1517 dengan penurunan konsolidasi 0,1865 m. Pada lereng timbunan dengan sudut  $34^\circ$  saat masa konstruksi penimbunan hingga 2,5 m 2,7294; penimbunan hingga 5 m 1,9798; penimbunan hingga 7 m 1,6733; dan penimbunan hingga 9 m 1,3998; saat pasca konstruksi nilai angka aman (*SF*) lereng timbunan sudut  $34^\circ$  1,2340 dengan penurunan konsolidasi 0,1645 m. Pada lereng timbunan dengan sudut  $34^\circ$  dengan perkuatan geotekstil saat masa konstruksi penimbunan hingga 2,5 m 2,6458; penimbunan hingga 5 m 2,4334; penimbunan hingga 7 m 2,0975; dan penimbunan hingga 9 m 1,5981; saat pasca konstruksi nilai angka aman (*SF*) lereng timbunan sudut  $34^\circ$  dengan perkuatan geotekstil 1,3283 sehingga lebih dari yang disyaratkan sebesar 1,3; dan hasil penurunan konsolidasi 0,1632 m. Hasil tersebut menunjukkan dengan perubahan sudut kemiringan lereng timbunan dan dengan adanya penambahan perkuatan geotekstil dapat meningkatkan angka aman (*SF*) lereng timbunan.

**Kata Kunci:** Lereng Timbunan, Angka Aman (*SF*), Konsolidasi, Geotekstil, Plaxis

## ABSTRACT

*Tawang - Ngalang Segment IV road was built as an alternative route for the Jogja - Wonosari Road via the Piyungan - Patuk route. Several roads were built on high embankment soils with poor condition of the used embankment soil and built on soft soil. This research is devoted to the Tawang - Ngalang segment IV road Sta. 7+750 which was built on a 9 m embankment soil. The purpose of this study was to obtain a safety number (SF) of embankment slopes and consolidation settlement within 365 days (1 year).*

*Slope stability analysis was carried out using the finite element method with the help of Plaxis 8.6. The embankment slope analysis was carried out on the original soil embankment slope with an angle of 39°, the embankment slope after the slope angle was changed, and the embankment slope after the slope angle was changed and geotextile reinforcement was given.*

*Safety number value (SF) for the original embankment slope with an angle of 39° of the embankment construction period up to 2,5 m 2,5265; embankment up to 5 m 1,8616; embankment up to 7 m 1,5425; and embankment up to 9 m 1,2846, during post-construction the safety number (SF) of the original embankment slope with an angle 39° was 1,1517 with a consolidation settlement of 0,1865 m. On the embankment slope with an angle of 34° during the construction period of the embankment up to 2,5 m 2,7294; embankment up to 5 m 1,1978; embankment up to 7 m 1,6733; and embankment up to 9 m 1,3998; during post-construction, the safety number (SF) of the slope of the 34° corner embankment was 1,2340 with a consolidation settlement of 0,1645 m. On the embankment slope with an angle of 34° with geotextile reinforcement during the construction period of the embankment up to 2,5 m 2,6458; embankment up to 5 m 2,4334; embankment up to 7 m 2,0975; and embankment up to 9 m 1,5981; during post-construction the safety number (SF) slope of the 34° corner embankment with geotextile reinforcement was 1,3283 so that it was more than required by 1,3; and the resulting consolidated settlement of 0,1632 m. These results show that changing the slope angle of the embankment and geotextile reinforcement can increase the slope embankment safety number (SF).*

**Keywords:** *Embankment Slope, Safety Number (SF), Consolidation, Geotextile, Plaxis*

# **BAB I**

## **PENDAHULUAN**

### **1.1. Latar Belakang**

Daerah Istimewa Yogyakarta adalah provinsi di Indonesia sedang melaksanakan pembangunan dalam sektor transportasi. Sektor transportasi memiliki pengaruh yang besar untuk perkembangan perekonomian suatu wilayah. Maka dari itu D.I. Yogyakarta sedang gencar melakukan pembangunan di sektor transportasi guna meningkatkan produktivitas dan aksesibilitas manusia, barang maupun jasa untuk tercapainya kemajuan ekonomi di daerah D.I. Yogyakarta.

Dalam pembangunan konstruksi jalan raya sering ditemui struktur bangunan jalan raya yang didirikan di atas timbunan tanah yang cukup tinggi dan memiliki kondisi tanah kurang baik sehingga memiliki resiko tinggi terhadap bahaya kelongsoran pada lerengnya. Secara umum terjadinya kelongsoran diakibatkan oleh kurangnya kuat geser tanah dan meningkatnya tegangan yang ada pada tanah, dengan meningkatnya kadar air pori pada lereng berimbans pada menurunnya kuat geser tanah dan sudut geser dalam tanah. Faktor – faktor pengaruh dari kestabilan suatu lereng dapat menghasilkan tegangan geser pada seluruh massa tanah, dan suatu pergerakan yang akan terjadi kecuali tahanan geser tanah pada setiap permukaan runtuh yang mungkin terjadi lebih besar dari tegangan geser yang bekerja (Bowles, 1991).

Jalan Tawang - Ngalang Segmen IV merupakan jalan penghubung Kabupaten Sleman dengan Kabupaten Gunung Kidul. Pembangunan jalan Tawang - Ngalang Segmen IV ini ditujukan sebagai jalur alternatif Jalan Jogja - Wonosari melalui jalur Piyungan - Patuk. Kondisi lokasi proyek pada Jalan Tawang-Ngalang Segmen IV memiliki topografi yang tidak rata sehingga dalam pengerjaannya dilakukan penggalian dan penimbunan untuk mendapatkan kondisi trase jalan yang aman dan nyaman. Namun di lokasi proyek terdapat beberapa timbunan jalan dengan kondisi tanah kritis sehingga memiliki potensi untuk

terjadinya longsor. Longsor dapat menyebabkan rusaknya sarana prasarana, kerugian harta benda, dan korban jiwa. Maka dari itu dibutuhkan suatu solusi untuk memperbaiki dan memperkuat tanah pada lereng timbunan. Salah satu solusi yang dapat dihadirkan adalah dengan cara memberikan perkuatan pada lereng timbunan sehingga dapat meningkatkan daya dukung tanah pada lereng timbunan. Salah satu bahan perkuatan yang ada adalah lapisan sintesis yang mempunyai ketahanan yang tinggi terhadap proses pelapukan, bahan ini diletakkan di atas tanah dasar sebelum dilakukan penimbunan tanah timbunan. Jenis perkuatan yang dimaksud adalah geotekstil sebagai salah satu bahan yang dapat digunakan dalam perbaikan dan perkuatan tanah sehingga diharapkan mampu meningkatkan daya dukung tanah.

Penelitian ini dilakukan untuk menganalisis stabilitas lereng timbunan jalan menggunakan metode elemen hingga dengan bantuan program Plaxis 8.6. Tujuan dari analisis stabilitas adalah mengetahui nilai angka aman ( $SF$ ), bidang longsor potensial, dan penurunan konsolidasi pada lereng timbunan jalan.

## **1.2. Rumusan Masalah**

Mengacu pada latar belakang diatas, maka dapat dirumuskan beberapa permasalahan yang dapat diteliti. Adapun rumusan permasalahan yang dapat diteliti pada penelitian ini adalah sebagai berikut.

1. Bagaimana angka aman ( $SF$ ) lereng timbunan asli sudut  $39^\circ$  dengan menggunakan metode elemen hingga?
2. Bagaimana besar penurunan konsolidasi yang terjadi pada lereng timbunan asli sudut  $39^\circ$  dengan menggunakan metode elemen hingga?
3. Bagaimana angka aman ( $SF$ ) lereng timbunan setelah diubah sudut kemiringan lereng menggunakan metode elemen hingga?
4. Bagaimana besar penurunan konsolidasi yang terjadi pada lereng timbunan setelah diubah sudut kemiringan lerengnya menggunakan metode elemen hingga?

5. Bagaimana angka aman ( $SF$ ) lereng timbunan setelah diubah sudut kemiringan lereng dan diberi perkuatan geotekstil menggunakan metode elemen hingga?
6. Bagaimana besar penurunan konsolidasi yang terjadi setelah diubah sudut kemiringan lereng dan diberi perkuatan geotekstil menggunakan metode elemen hingga?

### 1.3. Tujuan Penelitian

Adapun tujuan dari penelitian ini adalah sebagai berikut.

1. Mengetahui angka aman ( $SF$ ) lereng timbunan asli sudut  $39^\circ$  dengan menggunakan metode elemen hingga.
2. Mengetahui besar penurunan konsolidasi yang terjadi pada lereng timbunan asli sudut  $39^\circ$  dengan menggunakan metode elemen hingga.
3. Mengetahui angka aman ( $SF$ ) lereng timbunan setelah diubah sudut kemiringan lereng menggunakan metode elemen hingga.
4. Mengetahui besar penurunan konsolidasi yang terjadi pada lereng timbunan setelah diubah sudut kemiringan lereng menggunakan metode elemen hingga.
5. Mengetahui angka aman ( $SF$ ) lereng setelah diubah sudut kemiringan lereng dan diberi perkuatan geotekstil menggunakan metode elemen hingga.
6. Mengetahui besar penurunan konsolidasi yang terjadi pada lereng timbunan setelah diubah sudut kemiringan lereng dan diberi perkuatan geotekstil menggunakan metode elemen hingga.

### 1.4. Manfaat Penelitian

Beberapa manfaat yang dapat diperoleh dari penelitian ini adalah sebagai berikut.

1. Mengetahui dan dapat menggunakan metode elemen hingga dalam menganalisis kestabilan pada lereng timbunan.
2. Menambah pengetahuan mengenai desain lereng timbunan jalan yang efektif dan aman.

### 1.5 Batasan Penelitian

Permasalahan yang ada perlu dibatasi agar penelitian memiliki tujuan yang jelas dan tidak keluar dari topik utama penelitian, adapun batasan-batasan yang digunakan pada penelitian adalah sebagai berikut.

1. Lokasi penelitian berada di Ruas Jalan Tawang - Ngalang Segmen IV, tepatnya di Stasiun 7+750.
2. Data parameter tanah yang digunakan berdasarkan Laporan Akhir Penyelidikan Tanah Pembangunan Ruas Jalan Tawang - Ngalang Segmen IV.
3. Bahan perkuatan yang digunakan adalah bahan perkuatan jenis geotekstil tenun (*woven*) UW-250 yang diproduksi oleh PT. Teknindo Geosistem.
4. Metode analisis stabilitas yang digunakan adalah metode elemen hingga dengan program bantu Plaxis 8.6.
5. Beban gempa berdasarkan data beban gempa untuk wilayah Yogyakarta.
6. Beban merata yang digunakan adalah beban lalu lintas dan beban struktur jalan.
7. Tidak dilakukan analisis biaya dan waktu.

## **BAB II**

### **TINJAUAN PUSTAKA**

#### **2.1 Analisis Stabilitas Lereng Dengan Perkuatan Geotekstil**

Kafilanda (2019) melakukan penelitian mengenai stabilitas lereng pada menggunakan perkuatan jenis geotekstil dengan program bantu Geoslope. Studi kasus penelitian ini berada di Jalan Tol Balikpapan - Samarinda Stasiun 1+975. Tujuan dari penelitian tersebut adalah untuk mengetahui nilai angka aman ( $SF$ ) pada lereng yang diberikan perkuatan geotekstil. Berdasarkan penelitian tersebut kesimpulan yang didapat antaranya adalah nilai keamanan ( $SF$ ) analisis menggunakan program Slope/W adalah sebesar  $1,159 < 1,3$  serta nilai angka aman ( $SF$ ) menggunakan metode Fellenius pada lereng tanah asli  $0,95 < 1,3$  (tidak aman), sehingga perlu dilakukan perkuatan. Hasil analisis dengan menggunakan Slope/W didapatkan perbandingan antara nilai angka aman ( $SF$ ) pada lereng yang diberi perkuatan geotekstil dengan variasi geotekstil panjang per zona dan ditambahkan beban gempa menghasilkan nilai angka aman ( $SF$ ) sebesar 1,681; serta untuk timbunan yang diperkuat geotekstil tanpa beban gempa sebesar 2,303; Kemudian pada zona 3 dan 2 menghasilkan nilai  $SF$  2,128; serta dengan beban gempa pada zona 3 dan 2 menghasilkan nilai  $SF$  sebesar 1,511. Sehingga, dari hasil analisis stabilitas dengan program Slope/W terlihat bahwa hasilnya aman.

Arsy (2018) melakukan penelitian terkait analisis stabilitas pada timbunan pada konstruksi badan Jalan Tol Solo - Kertosono Sta. 4+175 yang diberi perkuatan tambahan jenis geotekstil, metode yang digunakan adalah metode perhitungan manual metode Fellenius. Penelitian tersebut bertujuan untuk mengetahui hasil analisis stabilitas timbunan pada badan jalan tanpa diberi perkuatan geotekstil, dan diberi perkuatan geotekstil, mengetahui hubungan antara panjang geotekstil terhadap nilai angka aman ( $SF$ ), mengetahui hubungan antara jarak vertikal antar geotekstil dengan nilai angka aman ( $SF$ ), serta mengetahui

hubungan antara sudut kemiringan lereng terhadap nilai angka aman ( $SF$ ). Beberapa kesimpulan yang bisa didapat dari penelitian tersebut antaranya adalah hasil analisis stabilitas timbunan badan jalan tanpa menggunakan perkuatan dengan metode manual Fellenius didapatkan nilai angka aman ( $SF$ ) sebesar 1,786. Sedangkan pada timbunan badan jalan yang diberi perkuatan geotekstil dengan metode manual Fellenius dengan variasi panjang geotekstil masing-masing 10 m, 13 m, dan 15 m adalah sebesar 2,339; 2,347; dan 2,375. Untuk nilai angka aman ( $SF$ ) pada timbunan badan jalan yang diberi perkuatan geotekstil dengan metode manual Fellenius dengan variasi jarak vertikal ( $S_v$ ) antar geotekstil 0,3 m; 0,4 m; dan 0,6 m adalah sebesar 2,646; 2,347; dan 2,059. Kemudian nilai angka aman ( $SF$ ) timbunan badan jalan yang diberi perkuatan geotekstil dengan metode manual Fellenius secara perhitungan manual pada variasi sudut kemiringan lereng  $19^\circ$ ,  $25^\circ$ , dan  $29^\circ$  adalah sebesar 2,440; 2,347; dan 2,355. Sehingga kesimpulan yang diperoleh pada penelitian tersebut adalah semakin panjang geotekstil yang digunakan, semakin kecil jarak vertikal antar lapisan geotekstil, dan semakin kecil sudut kemiringan lereng maka semakin besar nilai angka aman ( $SF$ ) yang dihasilkan.

Pradhana (2018) melakukan penelitian analisis stabilitas pada lereng dengan perkuatan geotekstil yang berlokasi pada bantaran Sungai Code. Tujuan dari penelitian tersebut adalah untuk mengetahui nilai angka aman ( $SF$ ) saat lereng belum diberi perkuatan geotekstil dan saat lereng sudah diberi perkuatan geotekstil dengan faktor variasi muka air tanah, beban merata yang diterima lereng, dan beban gempa pada daerah tersebut menggunakan program bantu Geoslope, kemudian dilakukan perbandingan nilai angka aman ( $SF$ ) dengan berbagai variasi tersebut. Berdasarkan hasil penelitian diperoleh pada lereng sebelum longsor didapatkan  $SF$  lereng setelah longsor dengan variasi beban merata 1, dan beban merata 2 adalah sebesar 1,055 dan 1,040. Pada variasi muka air tanah 1 1,039; dan muka air tanah 2 0,981. Sedangkan gempa didapatkan  $SF$  sebesar 0,861. Keadaan setelah longsor didapatkan  $SF$  dengan variasi beban vertikal 1, dan beban vertikal 2 adalah 1,293 dan 1,284. Dengan variasi muka air tanah 1 adalah 1,207; dan muka air tanah 2 adalah 1,089. Sedangkan untuk beban gempa didapatkan  $SF$

sebesar 0,956. Untuk perencanaan lereng yang diberi perkuatan geotekstil pada lereng dengan mengubah sedikit geometri dari lereng asli setelah longsor, didapatkan  $SF$  variasi beban geometri 1 sebesar 1,662; dan beban geometri 2 sebesar 1,653. Variasi muka air tanah 1 sebesar 1,623; dan muka air tanah 2 sebesar 1,567; dan beban gempa didapatkan nilai angka aman ( $SF$ ) sebesar 1,252.

## 2.2 Analisis Stabilitas Lereng Tanpa Perkuatan Geotekstil.

Utomo (2019) melakukan penelitian terkait analisis stabilitas lereng yang diberi perkuatan jenis *soil nailing* dengan menggunakan program bantu Geoslope. Studi kasus pada penelitian tersebut berlokasi di bantaran Sungai Code, Padukuhan Gemawang, Desa Sinduadi, Kecamatan Mlati, Kabupaten Sleman, Provinsi Daerah Istimewa Yogyakarta. Penelitian tersebut bertujuan untuk mengetahui nilai angka aman ( $SF$ ) lereng alami berdasarkan analisis kelongsoran metode perhitungan manual Fellenius dan Bishop. Untuk mengetahui nilai angka aman ( $SF$ ) lereng yang diberi perkuatan *soil nailing* dilakukan perhitungan kelongsoran menggunakan program Geoslope berdasarkan analisis kelongsoran metode baji (*wedge*). Berdasarkan penelitian tersebut diperoleh hasil pada perhitungan manual metode Fellenius diperoleh nilai angka aman ( $SF$ ) sebesar  $0,929 < 1,3$  (tidak aman) sedangkan dengan metode bishop didapatkan angka aman ( $SF$ )  $1,125 < 1,3$  (tidak aman). Untuk lereng yang diberi perkuatan *soil nailing* metode baji (*wedge*) pada sudut *nail*  $10^\circ$  diperoleh nilai angka aman ( $SF$ )  $1,5391 > 1,3$  (aman) dan dengan program Geoslope didapatkan nilai angka aman ( $SF$ ) tanpa beban gempa  $2,294 > 1,3$  (aman) dan setelah diberi beban gempa sebesar  $1,278 > 1,1$  (aman). Sudut *nail*  $20^\circ$  didapatkan nilai angka aman ( $SF$ ) tanpa beban gempa  $1,5977 > 1,3$  (aman) dan dengan beban gempa sebesar  $1,503 > 1,3$  (aman). Untuk sudut *nail*  $30^\circ$  didapatkan nilai angka aman ( $SF$ )  $1,6051 > 1,3$  (aman), untuk program Geoslope nilai angka aman ( $SF$ ) yang diperoleh tanpa beban gempa sebesar  $3,253 > 1,3$  (aman) dan dengan beban gempa menjadi sebesar  $1,653 > 1,3$  (aman). Dari penelitian tersebut dapat disimpulkan perbedaan nilai angka aman ( $SF$ ) dengan menggunakan metode baji (*wedge*) dan dengan program Geoslope, hal ini disebabkan karena metode baji (*wedge*) dalam

analisisnya menggunakan bidang gelincir longsor planar, sedangkan Geoslope menggunakan bidang gelincir longsor lingkaran.

Penelitian yang dilakukan Sekarti (2018) adalah analisis stabilitas timbunan dengan studi kasus di jalan Tol Semarang - Solo Ruas Salatiga - Kartasura. Tujuan dari penelitian tersebut adalah untuk mengetahui nilai angka aman (*SF*) lereng timbunan yang diberi variasi penambahan trap berdasarkan analisis kelongsoran. Metode yang digunakan adalah menggunakan program bantu Slope/W dengan metode Fellenius, Janbu Simplified, dan Morgenstern Price. Berdasarkan penelitian tersebut kesimpulan yang didapatkan adalah timbunan dengan variasi penambahan trap tanpa pengaruh beban gempa menggunakan metode Fellenius nilai angka aman mengalami peningkatan 9,72%; untuk metode Janbu Simplified meningkat sebesar 9,36%; sedangkan metode Morgensterns Price terjadi peningkatan sebesar 10,8%. Setelah diberi beban gempa peningkatan menjadi sebesar 1,86%; 1,94%; dan 2%. Berdasarkan analisis nilai angka aman (*SF*) yang paling kritis adalah metode Janbu Simplified. Pada penelitian dapat disimpulkan bahwa beban gempa dapat mempengaruhi kestabilan lereng timbunan secara signifikan mampu menurunkan tingkat kestabilan lereng timbunan dengan presentasi rata - rata sebesar 44,406%.

### **2.3 Perbandingan Penelitian Terdahulu Dengan Penelitian Yang Dilakukan**

Perbandingan penelitian atau tugas akhir ini dengan beberapa penelitian diatas disajikan dalam bentuk tabel, kemudian dapat dilihat pada Tabel 2.1 berikut.

Tabel 2. 1 Perbandingan Penelitian Terdahulu dengan Penelitian yang Dilakukan

| Penelitian Terdahulu |  |   |   |  |  | Penelitian yang Dilakukan   |
|----------------------|--|---|---|--|--|---|
| Peneliti             | Kafilanda (2019)   | Arsy (2018)   | Pradhana (2019)   | Sekarti (2018)   | Utomo (2019)   | Maulida (2023)  |
| Judul Penelitian     | Analisis Stabilitas Lereng dengan Perkuatan Geotekstil menggunakan Geoslope (Studi Kasus di Jalan Tol Balikpapan - Samarinda Sta. 1+975) | Analisis Stabilitas Lereng Timbunan dengan Perkuatan Geotekstil Menggunakan Metode Fellenius (Studi Kasus Proyek Jalan Tol Solo - Kertasono Sta. 4+175)     | Analisis Stabilitas Lereng Dengan Perkuatan Geotekstil (Studi Kasus Bantaran Sungai Code, Kecamatan Jetis, Daerah Istimewa Yogyakarta)  | Analisis Stabilitas Timbunan Di Jalan Tol Semarang - Solo Ruas Salatiga - Kartasura  | Analisis Stabilitas Lereng dengan Perkuatan <i>Soil Nailing</i> Menggunakan Program Geoslope (Studi Kasus Bantaran Sungai Code)                    | Analisis Stabilitas Lereng Timbunan Jalan dengan Perkuatan Geotekstil Menggunakan Metode Elemen Hingga (Studi Kasus di Ruas Jalan Tawang-Ngalang Segmen IV)   |
| Tujuan Penelitian    | Mengetahui nilai faktor keamanan (SF) pada lereng dengan diberikan perkuatan geotekstil dengan program Geoslope.                         | Mengetahui nilai angka aman ( <i>SF</i> ) lereng timbunan badan jalan tanpa perkuatan geotekstil, dengan perkuatan, dan hubungan antara panjang geotekstil. | Mencari nilai angka aman ( <i>SF</i> ) sebelum dan sesudah diberi perkuatan geotekstil dengan variasi muka air tanah, beban merata, dan beban gempa menggunakan program bantu Geoslope. | Mengetahui nilai angka aman ( <i>SF</i> ) lereng timbunan badan jalan dengan variasi penambahan trap berdasarkan analisis kelongsoran menggunakan program Slope/W. | Mengetahui faktor keamanan (SF) lereng alami berdasarkan analisis kelongsoran metode perhitungan manual, Fellenius dan Bishop yang disederhanakan. | Mengetahui nilai angka aman ( <i>SF</i> ) dan besar penurunan konsolidasi pada lereng timbunan asli, lereng timbunan sudut baru tanpa perkuatan dan dengan perkuatan geotekstil menggunakan metode elemen hingga. |

Lanjutan Tabel 2.1 Perbandingan Penelitian Terdahulu dengan Penelitian yang Akan Dilakukan

| Penelitian Terdahulu   |  |  |  |   |  | Penelitian yang Dilakukan  |
|------------------------|--|--|--|---|--|--|
| Peneliti               | Kafilanda (2019)   | Arsy (2018)  | Pradhana (2018)  | Sekarti (2018)  | Utomo (2019)   | Maulida (2023)   |
| Metode Penelitian      | Analisa menggunakan perhitungan manual dan program Geoslope untuk mencari nilai angka aman ( <i>SF</i> ) lereng.   | Analisa menggunakan perhitungan manual dengan metode Fellenius dan program Geoslope untuk mencari nilai angka aman ( <i>SF</i> ) pada lereng timbunan. | Analisa menggunakan program Geoslope untuk mencari nilai angka aman ( <i>SF</i> ) lereng dengan perkuatan geotekstil untuk dibandingkan dengan berbagai variasi.   | Analisa menggunakan program Slope/W untuk mencari nilai angka aman ( <i>SF</i> ) pada lereng timbunan.  | Analisa nilai angka aman ( <i>SF</i> ) lereng menggunakan program Geoslope dan metode Fellenius dan Bishop, kemudian dibandingkan hasilnya.                                  | Analisa menggunakan metode elemen hingga dengan bantuan program Plaxis 8.6 untuk mencari angka aman ( <i>SF</i> ) lereng timbunan dan penurunan konsolidasi yang akan terjadi. |
| Hasil Akhir Penelitian | Hasil analisis stabilitas menggunakan program Slope/W diperoleh <i>SF</i> timbunan yang diperkuat dengan geotekstil dan diberi beban gempa adalah 2,303. | Hasil analisis stabilitas lereng timbunan jalan menggunakan metode manual Fellenius diperoleh <i>SF</i> sebesar 1,786.                                 | Hasil analisis lereng dengan perkuatan geotekstil pasca longsor didapatkan <i>SF</i> variasi beban vertikal 1 1,662; dan beban vertikal 2 1,653. Variasi muka air tanah 1 2,623 dan muka air tanah 2 1,567. Sedangkan akibat gempa didapatkan <i>SF</i> sebesar 1,252. | Hasil analisis stabilitas pada lereng timbunan dengan variasi penambahan trap mengali peningkatan <i>SF</i> berturut-turut 9,72%; 9,36%; dan 10,8%. | Hasil analisis stabilitas diperoleh nilai <i>SF</i> lereng dengan sudut <i>nail</i> 10° 1,5391. Berdasarkan program Geoslope, setelah diberi beban gempa 1,278 > 1,1 (aman). |  |

## **BAB III**

### **LANDASAN TEORI**

#### **3.1 Analisis Stabilitas Lereng Dengan Perkuatan Geotekstil**

##### **3.1.1. Pengertian Umum**

Tanah merupakan kumpulan dari partikel-partikel mineral yang ikatan antar partikelnya lemah, dan terbentuknya tanah secara umum dari pelapukan batuan yang ada di bumi (Craig, 1987).

Berdasarkan dalam ilmu keteknikan pengertian dari tanah merupakan akumulasi mineral dari bahan organik dan endapan yang sifatnya relatif lepas (*loose*), yang biasanya terakumulasi di bagian atas batuan dasar (*bedrock*). Tanah bersifat relatif lemah untuk saling mengikat antar butirnya, hal ini disebabkan dari beberapa faktor antaranya adalah kandungan karbonat, zat organik, dan oksida-oksida yang mengendap antar partikelnya. Tanah berasal dari proses pelapukan batuan yang terjadi di atas permukaan bumi, proses pembentukannya dari batuan induk dengan dua proses pelapukan yaitu fisik maupun kimia. Secara fisik pembentukan tanah mengubah batuan menjadi partikel-partikel yang lebih kecil yang diakibatkan oleh pengaruh erosi, angin, air, es, suhu atau cuaca, dan faktor manusia. Pada tanah partikel - partikel berbentuk bulat, bergerigi, maupun bentuk-bentuk diantaranya. Pelapukan batuan akibat proses kimia dapat distimulasi oleh pengaruh oksigen, karbondioksida, air (terutama yang mengandung asam atau alkali) dan proses-proses kimia yang lain. (Hardiyatmo, 2010).

##### **3.1.2. Klasifikasi Tanah**

Langkah awal yang harus dilakukan dalam melakukan perencanaan sebuah bangunan gedung, jalan raya, dan sebagainya adalah memeriksa kondisi tanah di lokasi struktur bangunan akan dibangun. Pemeriksaan kondisi tanah dilakukan untuk mendapatkan informasi apakah kondisi tanah sudah sesuai dengan spesifikasi klasifikasi yang telah ditentukan. Tanah diklasifikasikan dengan cara

penggolongan sistematis berdasarkan variasi jenis tanah yang memiliki sifat - sifat identik dalam kelompok dan sub kelompok yang disesuaikan dengan pemakaiannya (Das, 1988).

Sistem klasifikasi tanah memiliki fungsi untuk membantu perancangan sehingga memberikan pengarahan melalui cara empiris yang tersedia dari hasil pengalaman yang telah lalu. Sistem klasifikasi tanah telah mengalami perkembangan dengan dasar dari sifat-sifat indeks tanah seperti distribusi ukuran dan plastisnya.

Yang sering digunakan untuk menjadi standar klasifikasi tanah adalah berdasarkan USCS (*Unified Soil Classification System*) dan AASHTO (*American Association of State Highway and Transportation Official*);

1. Klasifikasi Tanah menurut USCS (*Unified Soil Classification System*)

Menurut USCS (*Unified Soil Classification Sytem*) tanah diklasifikasikan berdasarkan dari butir kasar dengan 50% lebih yang tertahan pada ayakan nomor 200, yaitu tanah berbutir kasar (kerikil dan pasir) yang dimana jika kurang dari 50% lolos saringan nomor 200, sedangkan tanah berbutir halus (lanau dan lempung) yang jika lebih dari 50% lolos saringan nomor 200. Berdasarkan klasifikasi dari USCS dapat dilihat pada Tabel 3.1 berikut.

**Tabel 3. 1 Klasifikasi Tanah menurut Sistem USCS**

| Prosedur Klasifikasi   |   | Symbol  | Nama Jenis | Identifikasi Lab   |   |
|--|---|---|------------|--|---|
| Tanah Berbutir Kasar<br>(Lebih dari 50% tertahan pada ayakan No. 200 / Ø 0.075 mm) | Kerikil (lebih dari 50% tertahan pada ayakan No. 4 / Ø 4,75 mm) | Kerikil Murni<br>(Tanpa - sedikit butir halus)                            | GW         | Kerikil bergradasi baik, kerikil bercampur sedikit pasir tanpa / tak ada butiran halus | CU = D <sub>60</sub> /D <sub>10</sub> = 1 - 4<br>CC = D <sub>30</sub> <sup>2</sup> /D <sub>10</sub> = 1-3 |
|  |   | Kerikil Berbutir Halus<br>(Terdapat sejumlah butir halus)                 | GP         | Kerikil bergradasi buruk, kerikil bercampur pasir mengandung sedikit butira halus      | Tidak memenuhi syarat CU maupun CC untuk GW   |
|  |   | Kerikil Berlempung, kerikil mengandung pasir dan lempung bergradasi buruk | GM         |  | Indek Plastisitas kurang dari 7   |
|  |   | Kerikil berlempung, kerikil mengandung pasir dan lempung bergradasi buruk | GC         |  | Indek Plastisitas lebih dari 7  |
|  | Pasir (lebih dari 50% lolos pada ayakan No. 4 / Ø 4,75 mm)      | Pasir Bersih<br>(Tanpa / sedikit butiran halus)                           | SW         | Pasir bergaradasi baik, Pasir dengan sedikit pasir tanpa butiran halus                 | CU = D <sub>60</sub> /D <sub>10</sub> ≥ 6<br>CC = D <sub>30</sub> <sup>2</sup> /D <sub>10</sub> = 1-3     |
|  |   | Pasir berbutir Halus<br>(Terdapat sejumlah butir halus)                   | SP         | Pasir bergradasi buruk, dengan sedikit butiran halus                                   | Tidak memenuhi syarat CU maupun CC SW   |
|  |   | Pasir berlanau, pasir bercampur lanau lanau bergradasi buruk              | SM         |  | Indeks Plastisitas lebih dari 7<br>Ratio indeks plastisitas PI dan batas cair LL < 2.25                   |
|  |   | Pasir berlempung, pasir bercampur lempung bergradasi buruk                | SC         |  | Indeks plastisitas lebih dari 7<br>Ratio indeks plastisitas PI dan batas cair LL > 2.25                   |

(Sumber: Hardiyatmo, 2010)

## 2. Klasifikasi Tanah menurut AASTHO (*American Association of State Highway and Transportation Official*)

Pada sistem klasifikasi tanah berdasarkan AASHTO (*American Association of State Highway and Transportation Official*) awal mulanya diperkenalkan oleh Hoentogler dan Tarzagli. Dalam sistem klasifikasi menurut AASTHO berdasarkan dari ukuran butir dan plastisitas tanah, sehingga perlu dilakukan analisa pengujian saringan untuk mengklasifikasikan tanah. Pembagiannya terdapat dalam 8 kelompok yaitu A-1 hingga A-8, tanah organik bersifat tidak stabil sebagai bagan lapisan dari struktur jalan masuk ke dalam kelompok A-8. Untuk lanjutan klasifikasi tanah berdasarkan AASHTO dapat dilihat dari Tabel 3.2 berikut.

**Tabel 3. 2 Klasifikasi Tanah menurut Sistem AASTHO**

| General Classification                                 | Granular Materials<br>(35% or less passing 0.075 mm) |         |           |                                 |         |         |         | Silt-Clay Materials<br>(More than 35% passing 0.075 mm) |         |              |                |
|--|--|---------|-----------|---------------------------------|---------|---------|---------|---|---------|--------------|----------------|
|  | A-1  |         | A-3       | A-2                             |         |         |         | A-4   | A-5     | A-6          | A-7            |
| Group classification                                   | A-1-a  | A-1-b   | A-3       | A-2-4                           | A-2-5   | A-2-6   | A-2-7   | A-4   | A-5     | A-6          | A-7-5<br>A-7-6 |
| Sieve analysis, percent passing:                       |  |         |           |                                 |         |         |         |   |         |              |                |
| 2.00 mm (No. 10)                                       | 50 max.  | —       | —         | —                               | —       | —       | —       | —   | —       | —            | —              |
| 0.425 mm (No. 40)                                      | 30 max.  | 50 max. | 51 min.   | —                               | —       | —       | —       | —   | —       | —            | —              |
| 0.075 mm (No. 200)                                     | 15 max.  | 25 max. | 10 max.   | 35 max.                         | 35 max. | 35 max. | 35 max. | 36 min.   | 36 min. | 36 min.      | 36 min.        |
| Characteristics of fraction passing 0.425 mm (No. 40): |  |         |           |                                 |         |         |         |   |         |              |                |
| Liquid limit   | —  | —       | —         | 40 max.                         | 41 min. | 40 max. | 41 min. | 40 max.   | 41 min. | 40 max.      | 41 min.        |
| Plasticity index                                       | 6 max.   | —       | NP        | 10 max.                         | 10 max. | 11 min. | 11 min. | 10 max.   | 10 max. | 11 min.      | 11 min.        |
| Usual types of significant constituent materials       | Stone fragments, gravel, and sand                    |         | Fine sand | Silty or clayey gravel and sand |         |         |         | Silty soils   |         | Clayey soils |                |
| General rating as subgrade                             | Excellent to good                                    |         |           |                                 |         |         |         | Fair to Poor  |         |              |                |

\*© American Association of State Highway and Transportation Officials, 1978. Used by permission.  
†Plasticity index of A-7-5 subgroup is equal to or less than LL minus 30. Plasticity index of A-7-6 subgroup is greater than LL minus 30 (see Fig. 3.5).

(Sumber: Hardiyatmo, 2010)

### 3.1.3 Parameter Kuat Geser Tanah

Kuat geser tanah merupakan kemampuan dari tanah untuk melawan tegangan geser yang terjadi akibat adanya beban yang berada di permukaan tanah. Kuat geser tanah ini dapat mengalami keruntuhan yang dikarenakan adanya gerak relatif antar butir-butir tanah.

Kuat geser tanah dapat didefinisikan juga sebagai gaya tolak terhadap desakan atau tarikan yang dihadirkan oleh butir-butir tanah. Berdasarkan yang dijelaskan sebelumnya bahwa tanah bisa menahan pembebanan yang dialami:

1. Gesek antar butir tanah dapat berbanding lurus dengan tegangan normal pada bidang geser di permukaan tanah, dan
2. Jenis tanah dan kepadatan dapat mempengaruhi kohesi tanah, namun tergantung pada tegangan normal yang terjadi pada bidang geser di permukaan tanah.

Mohr (1910), menjelaskan bahwa keruntuhan suatu bahan dapat diakibatkan oleh kondisi kritis dari tegangan normal dan tegangan geser. Dalam analisis kapasitas dukungan tanah dan stabilitas lereng salah satu langkah awal adalah mengetahui parameter kuat geser tanah (Hardiyatmo, 2010). Hubungan antar tegangan normal dan tegangan geser pada bidang runtuh tanah didefinisikan pada persamaan 3.1 berikut.

$$\tau = f(\sigma) \quad (3.1)$$

Keterangan:

$\tau$  = Tegangan geser ( $\text{kN/m}^2$ )

$\sigma$  = Tegangan normal ( $\text{kN/m}^2$ )

Untuk menghitung daya dukung tanah dan stabilitas lereng sebelumnya diperlukan nilai kuat geser tanah untuk menghitung tekanan yang terjadi pada tanah. Dengan asumsi tegangan normal yang bekerja maka gaya geser akan bekerja pada permukaannya, sehingga nilai  $\tau$  akan meningkat akibat tekanan dan hingga mampu mencapai nilai batas.

Variabel untuk nilai kuat geser tanah bergantung pada tegangan geser antara butir-butir tanah dan kohesi pada permukaan butir-butir tanah. Berdasarkan dari pemaparan sebelumnya, tanah terbagi menjadi dua yaitu tanah kohesif contohnya adalah tanah lempung, sedangkan tanah tidak kohesif contohnya adalah tanah pasir. Jika tanah berada pada keadaan tak jenuh meski pada keadaan ranah

tersebut tidak kohesif, maka berdasarkan tegangan permukaan air yang terjadi dalam pori-pori sifat kohesif dapat terlihat. Sehingga jenis dan kondisi tanah dapat mempengaruhi kekuatan geser tanah.

Coulomb (1776), mendefinisikannya dalam Persamaan 3.2 sebagai berikut.

$$\tau = c + \sigma \operatorname{tg} \varphi \quad (3.2)$$

Keterangan :

$\tau$  = Tegangan geser ( $\text{kN/m}^2$ )

$c$  = Kohesi tanah ( $\text{kN/m}^2$ )

$\sigma$  = Tegangan normal pada bidang runtuh ( $\text{kN/m}^2$ )

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

Persamaan Coulomb bisa diefektifkan sesuai Terzaghi (1967) karena pengaruh tekanan air pori cukup besar, persamaan yang didapat dapat dilihat pada persamaan 3.3 dan 3.4 berikut.

$$\tau = c' + (\sigma - u) \operatorname{tg} \varphi' \quad (3.3)$$

Karena,  $\sigma = \sigma - u$ , maka

$$\tau = c' + \sigma' \operatorname{tg} \varphi' \quad (3.4)$$

Keterangan :

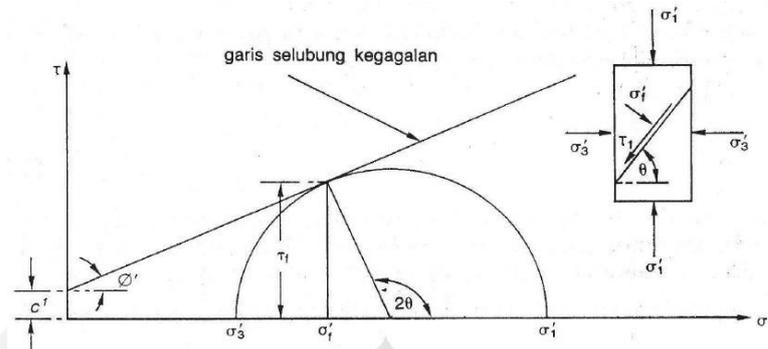
$\sigma'$  = Tegangan normal efektif ( $\text{kN/m}^2$ )

$c'$  = Kohesi tanah efektif ( $\text{kN/m}^2$ )

$\varphi'$  = Sudut geser dalam tanah efektif ( $^\circ$ )

$u$  = Tegangan air pori ( $\text{kN/m}^2$ )

Tegangan efektif  $\sigma'_1$  dan  $\sigma'_3$  pada saat dinyatakan berdasarkan kuat geser tanah saat keruntuhan terjadi. Lingkaran kegagalan Mohr dapat dilihat pada Gambar 3.1 berikut.



**Gambar 3. 1 Lingkaran Kegagalan Mohr**  
(Sumber: Hardiyatmo, 2010)

Berdasarkan gambar lingkaran Mohr pada Gambar 3.1 dapat dilihat bahwa:

$c'$  = Kohesi ( $\text{kN/m}^2$ )

$\theta$  = Sudut keruntuhan ( $^\circ$ )

$\varphi$  = Sudut geser dalam tanah efektif ( $^\circ$ )

$\sigma'f$  = Tegangan normal efektif pada saat terjadi keruntuhan

$\sigma'_1$  = Tegangan utama mayor efektif ( $\text{kN/m}^2$ )

$\sigma'_3$  = Tegangan utama minor efektif ( $\text{kN/m}^2$ )

$\tau'f$  = Tegangan geser efektif pada saat terjadi keruntuhan

Parameter-parameter yang ada pada lingkaran Mohr dapat disubstitusi pada persamaan 3.5, 3.6 dan 3.7 berikut.

$$Tf' = (\sigma'_1 - \sigma'_3) \sin 2\theta \quad (3.5)$$

$$\sigma f' = (\sigma'_1 - \sigma'_3) + (\sigma'_1 - \sigma'_3) \sin 2\theta \quad (3.6)$$

$$\sin \varphi = \frac{\left(\frac{\sigma'_1 - \sigma'_3}{2}\right)}{\left(\frac{\sigma'_1 + \sigma'_3}{2}\right)} \quad (3.7)$$

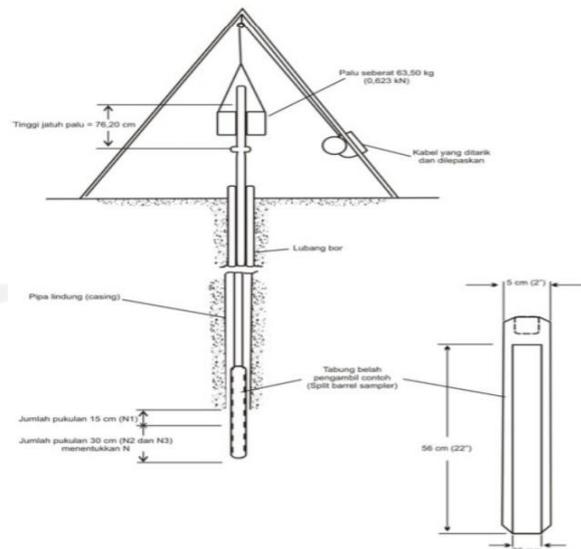
Parameter kuat geser tanah dapat ditentukan berdasarkan beberapa uji laboratorium pada sampel tanah asli (*undisturbed*), sampel tanah dipastikan kondisinya tidak berubah kondisi yang dimaksud adalah kondisi kadar air dan susunan butiran. Berikut merupakan beberapacara untuk menentukan parameter kuat geser tanah, yaitu:

1. Uji geser kipas (*vane shear test*)
2. Uji tekan bebas (*unconfined compression test*)
3. Uji triaksial (*triaxial test*)
4. Uji kuat geser langsung (*direct shear test*)

#### **3.1.4 Standard Penetration Test (SPT)**

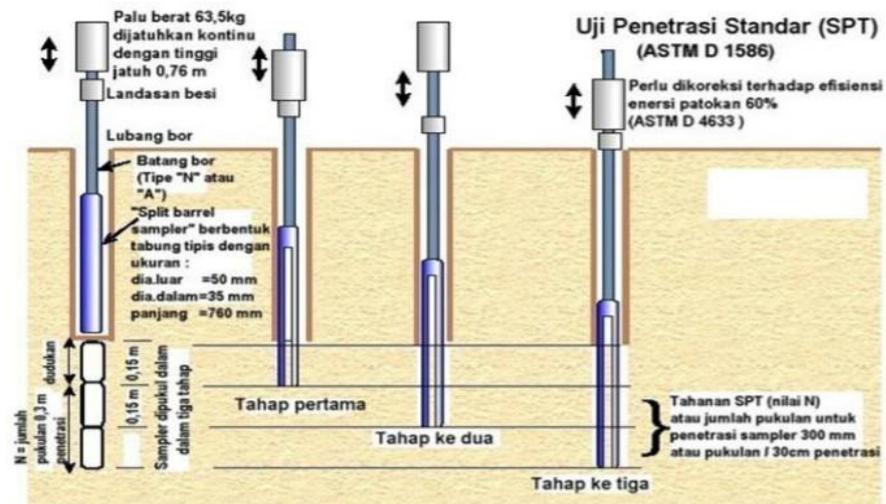
Berdasarkan (SNI 4153, 2008) standar pengujian yang ditetapkan adalah cara dalam melakukan uji tanah dilapangan sesuai dengan metode *Standard Penetration Test* (SPT), pengujian metode ini bertujuan untuk mendapatkan parameter perlawanan penetrasi lapisan tanah di lapangan. Parameter pengujian yang didapatkan berasal dari jumlah pukulan terhadap penetrasi konus, tujuannya untuk mengidentifikasi semua lapisan tanah yang ada di lapangan. Standar dari uji tanah di lapangan dengan metode SPT yaitu: peralatan pengujian harus sesuai dengan syarat metode SPT yang terdiri dari peralatan konus dan peralatan lainnya, cara uji yang sesuai persyaratan, laporan pengujian dan contoh pengujian. Metode pengujian ini digunakan untuk semua jenis tanah pada umumnya (SNI 4153, 2008).

Pengujian *Standard Penetration Test* (SPT) merupakan metode uji yang dilakukan bersamaan dengan melakukan pengeboran untuk mengetahui perlawanan dinamik tanah maupun pengambilan contoh tanah dengan teknik penumbukaan. Pengujian SPT terdiri dari beberapa pengujian seperti uji pemukulan tabung belah dinding tebal ke dalam tanah dan uji pengukuran jumlah pukulan untuk memasukkan tabung belah sedalam 300 mm arah vertikal. Dalam pengujian SPT alat yang digunakan adalah palu dengan massa 63,5 kg yang kemudian dijatuhkan berulang dengan ketinggian jatuh 0,76 m. Tahapan pengujian SPT terdapat tiga tahapan pelaksanaan yaitu, tahap pertama melakukan pencatatan sebagai kedudukan, tahap kedua adalah jumlah pada pukulan, tahap ketiga dijumlahkan untuk memperoleh nilai pukulan N atau perlawanan SPT. Alat pada proses pengujian SPT dapat dilihat pada Gambar 3.2 berikut.



**Gambar 3. 2 Pengujian *Standard Penetration Test (SPT)***  
(Sumber: SNI 4153:2008, 2008)

Contoh cara mendapatkan nilai SPT adalah menggunakan pada tabung belah standar yang dipukul arah vertikal sedalam 15 cm (6"). Pemukulan tahap kedua sedalam 30 cm (12") dengan jumlah pukulan jumlah pukulan yang dibuthkan untuk terjadinya penetrasi tabung belah standar sedalam 30 cm didefinisikan sebagai nilai-N. Untuk pengujian yang lebih baik dilakukan dengan cara menghitung jumlah pukulan pada tiap penetrasi sedalam 7,62 cm (3") atau setiap 15 cm (6"), sehingga kedalaman sembarang jenis tanah pada dasar lubang bor dapat ditentukan termasuk elevasi lapisan keras dapat tetap dicatat. Dicatat jumlah pemukulan N pada penetrasi yang pertama, selajutnya dicatat setiap penetrasi sedalam 15 cm. Perhitungan jumlah pukulan yang dihitung adalah  $N_2 + N_3$ , Nilai  $N_1$  tidak termasuk karena kondisi tanah dianggap dalam keadaan kotor hasil dari pengeboran. Apabali nilai N lebih besar darip 50 pukulan, maka pengujian dihentikan dan pengujian ditambahkan hingga minimum kedalaman 6 meter dan dicatat jumlah pukulan pada setiap 5 cm penetrasi yang terjadi. Skema pengujian SPT dapat dilihat pada Gambar 3.3 berikut.



**Gambar 3. 3 Skema Pengujian *Standard Penetration Test* (SPT)**  
(Sumber: SNI 4153:2008, 2008)

## 3.2 Lereng

### 3.2.1 Pengertian Umum

Suatu permukaan tanah yang miring dan membentuk sudut tertentu terhadap suatu bidang horizontal disebut sebagai lereng. Lereng berdasarkan pembentukannya dibagi menjadi dua yaitu, lereng alami dan lereng buatan. Lereng alami adalah lereng yang terbentuk secara alami karena adanya proses geologi. Sedangkan lereng buatan adalah lereng yang terbentuk atau dibentuk oleh manusia dengan tujuan tertentu. Berdasarkan definisi lereng di atas, lereng memiliki dua permukaan tanah yang memiliki perbedaan ketinggian, maka terdapat gaya - gaya dorong yang bekerja. Pada kasus lereng terdapat gaya-gaya mendorong pada tanah sehingga tanah yang lebih tinggi posisinya cenderung akan bergerak kearah bawah karena adanya gaya potensial gravitasi yang menyebabkan terjadinya longsor.

### 3.2.2 Penyebab Longsor

Penyebab dari terjadinya kelongsoran lereng alam dapat disebabkan oleh beberapa faktor sebagai berikut (Hardiyatmo, 2010):

1. Bertambahnya beban pada lereng atau dengan bertambahnya beban pada lereng dikarenakan adanya bangunan baru, menyebabkan beban air yang

masuk ke pori-pori tanah lereng atau yang menggenang di atas permukaan tanah, beban dinamis oleh tumbuhan-tumbuhan yang tertiuip angin dan sebagainya.

2. Pencuraman sudut kemiringan pada lereng.
3. Pengerukan atau pemotongan pada kaki lereng.
4. Bencana alam seperti gempa bumi.
5. Perubahan posisi muka air yang terjadi secara cepat (*rapid dawdown*) pada bendung, sungai dan lain-lain.
6. Naiknya tekanan tanah lateral yang disebabkan oleh air yang mengisi retakan dan mendorong tanah ke arah lateral.
7. Menurunya tahanan geser tanah pembentuk lereng yang disebabkan oleh kondisi tanah lereng memiliki tanah jenis lempung yang mudah kembang susut, kenaikan kadar air, kenaikan tekanan air pori, tekanan rembesan dari genangan air di dalam tanah.

### 3.2.3 Variabel Pengaruh Kelongsoran

Terdapat tiga variabel yang bisa mengakibatkan terjadinya kelongsoran lereng alam yaitu pengaruh iklim, pengaruh air, pengaruh rangkak atau creep (Hardiyatmo, 2010). Berikut penjelasan dari variabel yang mengakibatkan kelongsoran.

#### 1. Pengaruh Iklim

Berdasarkan Hardiyatmo (2010) beberapa jenis tanah mengambang saat musim hujan, dan menyusut pada musim kemarau. Pada musim hujan kuat geser tanah ini menjadi sangat rendah di bandingkan dengan musim kemarau. Oleh karena itu, kuat geser tanah yang digunakan dalam analisis stabilitas lereng harus berdasarkan pada kuat geser tanah yang terendah yaitu pada musim hujan, atau kuat geser pada saat tanah jenuh air.

#### 2. Pengaruh air

Berdasarkan Hardiyatmo (2010) aliran air atau rembesan air yang adalah parameter yang bisa mempengaruhi stabilitas lereng. Rembesan air menimbulkan gaya rembesan yang sangat mempengaruhi pada stabilitas lereng, kendalanya adalah pengaruh ini cukup sulit untuk diidentifikasi.

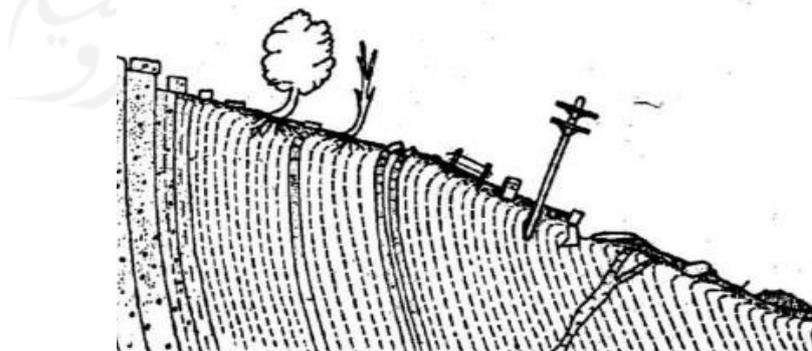
Aliran air mampu menyebabkan erosi yaitu terkikisnya tanah permukaan sehingga tinggi lereng menjadi berkurang, maka stabilitas lereng meningkat. Sebaliknya jika erosi yang terjadi memotong kaki lereng dapat menambah tinggi lereng atau mempercuram lereng, maka stabilitas lereng berkurang.

Penurunan muka air yang mendadak pada saluran atau di dekat lereng menyebabkan pengurangan gaya angkat air pada massa tanah dan mendambah beban lereng. Dengan bertambahnya massa menyebabkan naiknya tegangan geser tanah dan apabila melebihi tahanan geser tanah maka longsor bisa terjadi pada lereng, biasanya terjadi pada lereng yang memiliki tanah dengan permeabilitas rendah.

### 3. Pengaruh Rangkak (*Creep*)

Menurut Hardiyatmo (2010) di dekat permukaan tanah miring, perubahan temperatur, perubahan musim, pengaruh pembekuan air di daerah dingin menyebabkan terjadinya siklus kembang-susut. Saat tanah mengembang, tanah akan bergerak naik sehingga melawan gaya gravitasi, sedangkan saat tanah menyusut, tanah akan bergerak turun dibantu oleh gravitasi. Hasil dari kedua gerakan adalah terjadinya gerakan perlahan lereng turun ke arah bawah.

Zona rangkak bervariasi dari beberapa sentimeter sampai beberapa meter yang bergantung pada sifat tanah dan kondisi iklim. Gambaran gerakan lereng akibat rangkak (*creep*) berdasarkan Taylor (1948) dapat dilihat pada Gambar 3.4 berikut.



**Gambar 3. 4 Tampak Lereng Akibat Pengaruh rangkak (*Creep*)**  
(Sumber: Taylor, 1948)

Seperti yang ditunjukkan dalam Gambar 3.5 rangkai dapat memberi dampak sebagai berikut.

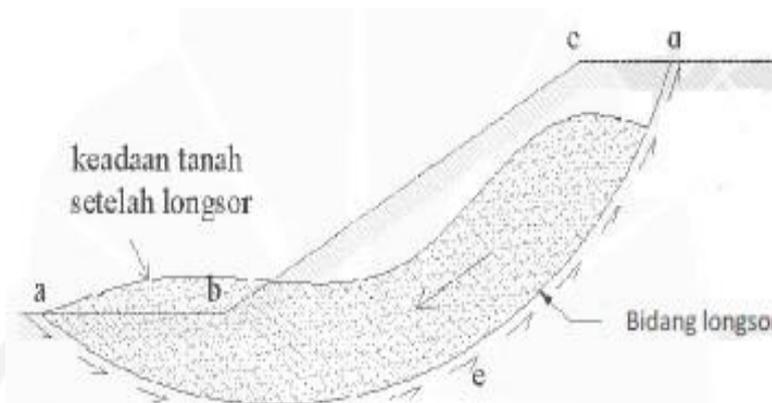
- a. Blok bantuan bergerak.
- b. Bagian bawah lereng melengkung dan menarik batuan.
- c. Mengakibatkan bangunan-bangunan yang ada di lereng miring.
- d. Dinding penahan tanah dan pondasi retak dan bergeser.
- e. Jalan raya dan jalan rel mengalami kerusakan seperti keluar dari alurnya.
- f. Batu-batu besar bergerak ke arah bawah lereng, dan sebagainya.

#### **3.2.4 Jenis Longsor**

Salah satu dari bencana alam yang sering terjadi adalah longsor (*landslide*), longsor sering kerap terjadi pada saat musim hujan. Penyebab terjadinya longsor adalah bergesernya tanah pada lereng curam, kondisi tanah yang berbeda-beda atau tidak homogen tidak memiliki lekatan antara lapisan pada tanah. Namun masih terdapat pengaruh rembesan dari aktifitas geologi seperti patahan lempeng bumi, rekahan dan liniasi, kondisi dari bentuk dan kemiringan lereng, kekuatan material pembentuk lereng, kedudukan muka air tanah dan kondisi aliran drainase juga menjadi factor-faktor penyebab terjadinya longsor (*landslide*) (Verhoef, 1985).

Kegagalan geser disepanjang bidang longsor pada lereng mengakibatkan terjadinya gerakan pada material pembentuk lereng disebut dengan longSORan. Masa material tanah dapat menyatu atau terpecah-pecah menjadi butiran ketika bergerak, perpindahan material total bergantung pada besarnya regangan untuk mencapai kuat geser pada puncak dan pada tebal zona longSOR (Hardiyatmo, 2010).

LongSORan tidak akan terjadi jika tidak memiliki gaya perlawanan, gaya perlawanan berasal dari tahanan geser tanah sepanjang bidang longSOR seperti pada Gambar 3.5 berikut.

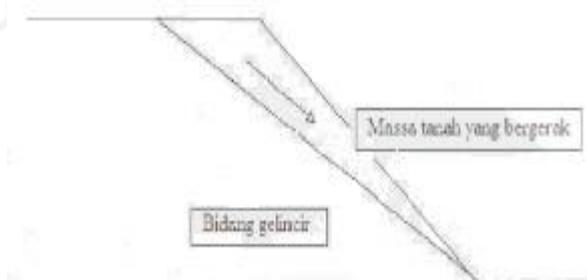


**Gambar 3. 5 Kelongsoran Lereng**  
(Sumber: Hardiyatmo, 2010)

Longsoran dibagi menjadi dua yaitu longsoran translasi dan longsoran translasi (Hardiyatmo, 2010), berikut penjelasannya:

1. Longsoran Translasi.

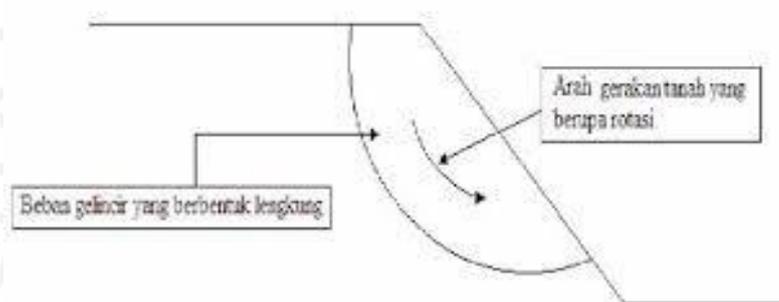
Longsoran transisi merupakan gerakan pada sepanjang diskontinuitas atau bidang yang lemah secara pendekatan sejajar dengan lereng sehingga tanah bergerak secara transisi. Penyebab dari longsoran translasi adalah bergeraknya massa tanah dan batuan pada bidang gelincir dengan bentuk rata atau gelombang landai. Untuk lereng yang mengandung tanah lempung, translasi akan terjadi di sepanjang lapisan tipis pasir atau lanau, khususnya jika bidang lemah tersebut sejajar dengan lereng yang ada, translasi pada lereng ini disebabkan oleh tekanan air pori yang cukup tinggi dalam pasir atau lanau. Gambar longsoran translasi dapat dilihat pada Gambar 3.6 berikut.



**Gambar 3. 6 Longsoran Translasi**  
(Sumber: Hardiyatmo, 2010)

## 2. Longsoran Rotasi.

Longsoran rotasi memiliki bidang longsor yang melengkung ke atas, penyebabnya adalah Bergeraknya massa tanah dan batuan pada bidang gelincir yang berbentuk cekung. Longsoran rotasi (*shump*) sering terjadi pada kondisi lereng yang material penyusunnya relative homogen contohnya adalah timbunan buatan (tanggul). Longsoran rotasi dapat dilihat pada Gambar 3.7 berikut.



**Gambar 3. 7 Longsoran Rotasi**  
(Sumber: Hardiyatmo, 2010)

## 3.3 Analisis Stabilitas Lereng

### 3.3.1 Pengertian Umum

Kondisi lereng adalah kondisi dimana permukaan tanah tidak rata horizontal, pada lereng gaya gravitasi akan cenderung mendorong tanah untuk bergerak ke bawah. Jika komponen gravitasi sangat besar dan melampaui tahanan geseran tanah pada bidang longsor, maka terjadilah kelongsoran lereng. Analisis stabilitas untuk kondisi permukaan tanah yang miring disebut juga sebagai analisis stabilitas lereng (Hardiyatmo, 2010).

Stabilitas lereng dipengaruhi oleh dua faktor yaitu faktor dalam dan faktor luar. Faktor dalam berupa longsoran yang terjadi tanpa adanya perubahan kondisi luar atau gempa bumi, sedangkan faktor luar berupa bertambahnya gaya geser dengan dan tanpa adanya perubahan kuat geser (Hardiyatmo, 2010).

### 3.3.2 Teori Analisis Stabilitas Lereng

Analisis stabilitas bertujuan untuk mengetahui nilai angka aman dari bidang longsor yang potensial. Berikut merupakan beberapa gagasan yang dibuat berdasarkan analisis stabilitas.

1. Jika terjadi kelongsoran di sepanjang permukaan bidang tertentu dapat diasumsikan secara bidang dua dimensi.
2. Tanah geser dari massa tanah pada setiap titik sepanjang bidang longsor tidak tergantung dari orientasi permukaan longsor, atau dengan kata lain kuat geser tanah dianggap isotropis.
3. Angka aman ( $SF$ ) didefinisikan dengan memperlihatkan terganggan geser rata-rata sepanjang bidang longsor potensial, dan kuat geser tanah rata-rata sepanjang permukaan longsor.
4. Massa tanah longsor dianggap sebagai benda masif.

Dalam melakukan analisa stabilitas lereng, konsep yang umum digunakan adalah konsep keseimbangan plastis batas, dengan parameternya adalah angka aman ( $SF$ ) dari bidang longsor yang memiliki potensi kelongsoran. Hubungan angka aman ( $SF$ ) dengan frekuensi kejadian longsor pada suatu lereng dapat dilihat pada Tabel 3.3 dan Nilai angka aman dalam perencanaan suatu lereng dapat dilihat pada Tabel 3.4.

**Tabel 3. 3 Hubungan Nilai Angka Aman dengan Frekuensi Longsor**

| <b>Angka Aman (<math>SF</math>)</b> | <b>Deskripsi</b>                                 |
|-------------------------------------|--|
| $SF < 1,07$                         | Frekuensi longsor biasa/sering (lereng labil)    |
| $1,07 < SF < 1,25$                  | Frekuensi longsor pernah terjadi (lereng kritis) |
| $SF > 1,25$                         | Frekuensi longsor jarang terjadi (lereng stabil) |

(Sumber: Bowles, 1989)

**Tabel 3. 4 Nilai Angka Aman Untuk Perencanaan Lereng**

| <b>Angka Aman (<math>SF</math>)</b> | <b>Deskripsi</b>                             |
|-------------------------------------|--|
| $SF < 1,00$                         | Lereng dengan kondisi tidak mantap           |
| $1,00 < SF < 1,20$                  | Lereng dengan kondisi kemantapan diragukan   |
| $1,30 < SF < 1,40$                  | Lereng dengan kondisi memuaskan              |
| $1,50 < SF < 1,70$                  | Lereng dengan kondisi mantap (lereng stabil) |

(Sumber: Sosrodarsono, 1994)

Nilai kohesi ( $c$ ) dan sudut geser dalam tanah ( $\phi$ ) memiliki pengaruh yang besar terhadap stabilitas suatu lereng. Kondisi tanah yang semakin kering biasanya memiliki nilai angka aman ( $SF$ ) yang tinggi, dan nilai angka aman ( $SF$ ) akan semakin kecil pada kondisi tanah yang semakin jenuh. Naiknya muka air tanah merupakan salah satu sebab lereng menjadi tidak stabil. Hal ini karena ketika muka air tanah naik maka derajat kejenuhan dan tekanan air pori juga akan naik sehingga tegangan efektif dan kuat geser tanah mengalami penurunan.

Oleh Terzaghi pengaruh stabilitas suatu lereng dibagi menjadi dua yaitu pengaruh dalam dan pengaruh luar. Pengaruh dalam berupa longsor yang terjadi tanpa adanya perubahan kondisi luar atau gempa bumi, sedangkan pengaruh luar berupa pengaruh yang menyebabkan bertambahnya gaya geser dengan tanpa adanya perubahan kuat geser tanah (Hardiyatmo, 2010).

Angka aman ( $SF$ ) pada analisis stabilitas lereng didefinisikan sebagai nilai banding antara gaya yang menahan dan gaya yang menggerakkan seperti pada Persamaan 3.8 berikut.

$$SF = \frac{\tau}{\tau d} \quad (3.8)$$

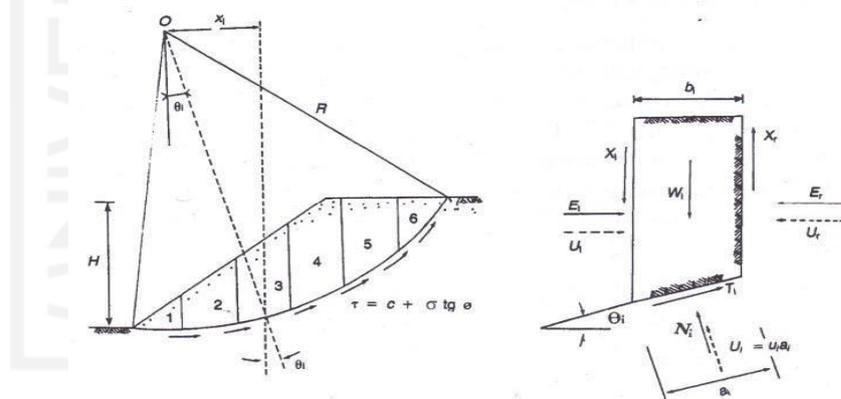
Dengan  $SF$  merupakan nilai angka aman,  $\tau$  adalah tahanan geser maksimum yang dapat diberikan oleh tanah disepanjang bidang longsor, dan  $\tau d$  adalah tegangan geser yang terjadi akibat gaya berat tanah dan beban lainnya pada bidang longsor.

### 3.3.3 Metode Analisis Stabilitas Lereng

Dalam melakukan analisis stabilitas suatu lereng ini ada beberapa metode yang umum digunakan, berikut adalah metode analisis stabilitas yang umum digunakan.

#### 1. Metode Irisan (*Method of Slices*)

Metode irisan (*Method of Slices*) adalah salah satu metode yang umum digunakan dalam menganalisis stabilitas suatu lereng. Metode irisan lebih cocok digunakan pada lereng dengan kondisi tanah yang tidak homogen dan terdapat aliran air yang tidak menentu. Berat tanah pada titik tertentu mempengaruhi gaya normal suatu titik di lingkaran bidang longsor. Dalam analisis menggunakan metode ini, tanah pada bidang potensi longsor dibagi secara vertikal menjadi beberapa irisan, keseimbangan pada tiap irisan harus diperhatikan. Gaya-gaya yang bekerja pada irisan metode irisan dapat dilihat pada Gambar 3.8 berikut.



**Gambar 3. 8 Gaya-Gaya yang Bekerja pada Irisan**  
(Sumber: Hardiyatmo, 2010)

Keterangan:

- $E_l, E_r$  = Gaya normal efektif di sepanjang dasar irisan
- $N_i$  = Resultan gaya normal efektif di sepanjang dasar irisan
- $T_i$  = Resultan gaya geser efektif di sepanjang dasar irisan
- $U_i$  = Tekanan air pori di dasar irisan
- $U_l, U_r$  = Tekanan air pori di kedua sisi irisan
- $X_l, X_r$  = Gaya geser efektif di sepanjang irisan

Angka aman ( $SF$ ) didapatkan berdasarkan rasio besar tahanan geser ( $\tau$ ) terhadap besar kekuatan geser ( $\tau_m$ ) yang harus dikerahkan untuk mempertahankan syarat titik batas keseimbangan. Untuk menghitung angka aman ( $SF$ ) digunakan Persamaan 3.9 berikut.

$$SF = \frac{\tau}{\tau_m} \quad (3.9)$$

Berdasarkan peninjauan momen terhadap titik O, jumlah momen akibat gaya-gaya geser pada busur keruntuhan AC harus sama dengan momen akibat massa tanah ABCD. Untuk setiap irisan, lengan momen  $W = r \cdot \sin\alpha$  sehingga terbentuk Persamaan 3.10, Persamaan 3.11, dan Persamaan 3.12 berikut.

$$\sum Tr = \sum W \times r \times \sin\alpha \quad (3.10)$$

$$T = \frac{\tau}{SF} \times l \quad (3.11)$$

$$SF = \frac{\sum \tau \times l}{\sum W \sin\alpha} \quad (3.12)$$

Untuk analisis yang menggunakan tegangan efektif dapat digunakan Persamaan 3.13 berikut.

$$SF = \frac{c'La - \tan\phi \sum N'}{\sum W \sin\alpha} \quad (3.13)$$

## 2. Metode Fellenius (*Ordinary Method Of Slice*)

Fellenius (1927, 1936) memperkenalkan metode ini dengan menganggap gaya-gaya yang bekerja pada sisi kanan hingga sisi kiri dari sembarang irisan memiliki resultan nol pada arah tegak lurus bidang longsor. Berdasarkan metode Fellenius diasumsikan bahwa keruntuhan terjadi melalui rotasi dari suatu blok tanah pada permukaan longsor berbentuk lingkaran (*circle*) dengan titik O sebagai titik pusat rotasi, dengan gaya

normal P bekerja di tengah-tengah *slice*. Resultan gaya-gaya antar irisan pada tiap irisannya adalah dianggap nol, atau dengan kata lain resultan gaya-gaya antar *slice* diabaikan. Jadi total asumsi yang dibuat oleh metode ini adalah:

- Posisi gaya normal P berada di tengah alas irisan : n
- Resultan gaya antar irisan sama dengan nol : n-1, Total : 2n-1

Dengan asumsi maka persamaan keseimbangan momen untuk seluruh irisan terhadap titik pusat rotasi dapat diuji untuk memperoleh nilai angka aman (*SF*). Keseimbangan arah vertikal dan gaya-gaya bekerja adalah:

$$\begin{aligned}
 N_i + U_i &= W_i \cos \theta_i \\
 \text{Atau,} \\
 N_i &= W_i \cos \theta_i - U_i \\
 &= W_i \cos \theta_i - u_i a_i
 \end{aligned}
 \tag{3.14}$$

Angka aman didefinisikan sebagai,

$$\begin{aligned}
 SF &= \frac{\text{Jumlah momen dari tahanan geser sepanjang bidang longsor}}{\text{Jumlah momen dari berat massa tanah yang longsor}} \\
 &= \frac{\sum Mr}{\sum Md}
 \end{aligned}$$

Lengan momen dari berat massa tanah tiap irisan adalah  $R \sin \theta$ , maka:

$$\sum Md = R \sum_{n=1}^{i=n} W_i \sin \theta_i
 \tag{3.15}$$

Keterangan:

$\theta_i$  = Sudut yang didefinisikan

$N$  = Jumlah irisan

$N_i$  = Resultan gaya normal efektif di sepanjang dasar irisan

$R$  = Jari-jari lingkaran bidang potensi longsor

$W_i$  = Berat massa tanah pada irisan ke-i

Dengan *equation* yang sama, momen yang menahan tanah akan longsor:

$$\sum M_r = R \sum_{n=1}^{i=n} (ca_i + N_i \operatorname{tg} \varphi) \quad (3.16)$$

Maka persamaan untuk angka aman menjadi,

$$SF = \frac{\sum_{n=1}^{i=n} (ca_i + N_i \operatorname{tg} \varphi)}{\sum_{n=1}^{i=n} W_i \sin \theta_i} \quad (3.17)$$

Apabila terdapat muka air tanah pada lereng, maka tekanan air pori pada bidang longsor tidak menambah momen akibat tanah yang akan longsor ( $Md$ ), karena resultan gaya akibat tekanan air pori titik pusat lingkaran.

$$SF = \frac{\sum_{n=1}^{i=n} ca_i (W_i \cos \theta_i - u_i a_i) \operatorname{tg} \varphi}{\sum_{n=1}^{i=n} W_i \sin \theta_i} \quad (3.18)$$

Keterangan:

$SF$  = Angka aman

$\varphi$  = Sudut gesek dalam tanah ( $^{\circ}$ )

$\theta_i$  = Sudut yang didefinisikan

$a_i$  = Panjang lengkung lingkaran pada irisan ke-i (m)

$C$  = Kohesi tanah ( $\text{kN/m}^2$ )

$u_i$  = Tekanan air pori pada irisan ke-i ( $\text{kN/m}^2$ )

$W_i$  = Berat irisan tanah ke-i (kN)

Untuk gaya-gaya selain dari berat tanahnya sendiri seperti adanya struktur bangunan yang ada diatas lereng, maka akibat beban tersebut dimasukkan diperhitungkan sebagai  $Md$ .

### 3. Metode Bishop

Dalam metode Bishop diasumsikan bahwa resultan gaya pada sisi irisan merupakan horizontal, yaitu  $X1-X2 = 0$ . Dengan menyelesaikan kembali gaya-gaya arah vertikal didapatkan Persamaan 3.19 berikut.

$$W = N'. \cos\alpha + u. \cos\alpha - \frac{c'}{SF} \sin\alpha - \frac{N'}{SF} \tan\phi' \sin\alpha \quad (3.19)$$

Dilakukan substitusi nilai  $1 = b.\sec\alpha$ , maka didapatkan Persamaan 3.20 untuk nilai angka amana sebagai berikut.

$$SF = \frac{1}{\sum W \sin\alpha} \sum \left[ (c'.b + (W - u.b)\tan\phi') \frac{\sec\alpha}{1 - \frac{\tan\alpha \times \tan\phi'}{SF}} \right] \quad (3.20)$$

Keterangan:

$SF$  = Angka aman

$\phi$  = Sudut geser dalam

$\alpha$  = Sudut geser singgung masing-masing irisan

$c'$  = Kohesi tanah efektif

$l$  = Panjang dasar

$N'$  = Gaya normal efektif

$u$  = Tekanan air pori pada pusat dasar

$W$  = Berat total irisan

#### 4. Metode Elemen Hingga

Metode keseimbangan batas memungkinkan untuk melakukan evaluasi lereng secara cepat, namun dalam prosesnya memperbolehkan hitungan yang sama antara lereng timbunan baru, lereng yang baru digali, dan lereng alami (Hardiyatmo, 2003). Metode keseimbangan batas mengabaikan tegangan-tegangan di dalam lereng yang sangat dipengaruhi oleh  $K_0$ , yaitu rasio tegangan lateral terhadap tegangan vertical efektif. Namun distribusi tegangan dalam pada tiga lereng tersebut tentu akan berbeda sehingga mempengaruhi stabilitasnya.

Clough dan Woodward (1967) adalah yang pertama kali memperkenalkan metode Elemen Hingga (*Finite Element Method*), namun penggunaannya terbatas hanya pada lereng dengan struktur tanah yang kompleks. Pada metode elemen hingga dapat mengakomodasi pengaruh penimbunan dan penggalian secara bertahap, sehingga pengaruh sejarah tegangan dalam

tanah terhadap deformasinya dapat ditelusuri. Akan tetapi, kualitas metode elemen hingga secara langsung bergantung pada kemampuan dari model konstitutif yang dipilih, yang secara realistis mensimulasi kelakuan non linier dari tanah pembentuk lereng timbunan. Dalam aplikasinya model konstitutif hanya dapat benar-benar dikembangkan dengan uji lapangan kualitas tinggi yang didukung dengan pengamatan di lapangan.

### **3.4 Penurunan Tanah**

#### **3.4.1 Umum**

Pembebanan di atas suatu lapisan tanah akan menyebabkan partikel tanah mengalami penambahan tegangan, sehingga tanah akan mengalami penurunan (*settlement*). Deformasi partikel tanah dan keluarnya air atau udara melalui pori-melalu tanah menjadi faktor-faktor terjadinya penurunan pada tanah. Umumnya tanah lunak memiliki penurunan tanah yang sangat besar, sehingga menyebabkan permasalahan dalam pekerjaan konstruksi. Penyebab penurunan yang besar adalah penurunan konsolidasi pada tanah ketika tanah meneri beban.

#### **3.4.2 Penurunan Konsolidasi (*Consolidation Settlement*)**

Penurunan konsolidasi disebut juga sebagai penurunan primer atau penurunan tanah. Penurunan konsolidasi disebabkan oleh pembebanan pada tanah yang mengakibatkan naiknya air pori dan air akan berusaha keluar atau mengalir dari pori-pori tanah sehingga volume tanah menjadi berkurang. Untuk jenis tanah lunak besar penurunan konsolidasi bergantung pada sejarah geologis tanah. Tanah pada kedalaman tertentu telah mengalami tegangan efektif pra-konsolidasi, yakni tegangan efektif terbesar yang pernah dialami sebelumnya. Tegangan efektif pra-konsolidasi dapat lebih kecil atau sama dengan tegangan *overburden* efektif saat ini. *Normally consolidated* merupakan keadaan pada tegangan *overburden* efektif saat ini merupakan tegangan terbesar (maksimum) yang pernah dialami tanah tersebut. Perhitungan untuk mencari nilai penurunan *normally consolidated* dapat dilakukan dengan Persamaan 3.21 berikut ini.

$$S_c = H \frac{C_c}{1 + e_o} \log \frac{P_o + \Delta p}{P_o} \quad (3.21)$$

Dengan:

$S_c$  = Penurunan primer (m)

$\Delta p$  = Perubahan tegangan vertical ( $\text{kN/m}^2$ )

$C_c$  = Indeks kompresi tanah

$e_o$  = Angka pori

$H$  = Tebal lapisan tanah (m)

$P_o$  = Tekanan overburden efektif ( $\text{kN/m}^2$ )

### 3.4.3 Parameter Perhitungan Penurunan

Diperlukan beberapa parameter-parameter untuk menghitung besarnya penurunan suatu lapisan tanah. Parameter-parameter yang dimaksud adalah indeks tegangan overburden efektif ( $P_o$ ), kompresi tanah ( $C_c$ ), dan distribusi tegangan tanah ( $\Delta p$ ), berikut adalah penjelasannya.

#### 1. Tegangan *Overburden* Efektif ( $P_o$ )

Tegangan *overburden* efektif merupakan tegangan vertikal efektif tanah asli yang diberi beban atau lapisan tanah di atas titik tanah asli yang ditinjau (Satindra, 2018). Rumus perhitungan tegangan *overburden* efektif dapat dilihat pada Persamaan 3.22.

$$P_o = \gamma' \times H \quad (3.22)$$

Dengan:

$P_o$  = Tegangan overburden efektif

$H$  = Tebal lapisan tanah

$\gamma'$  = Berat volume tanah efektif

#### 2. Indeks Kompresi Tanah ( $C_c$ )

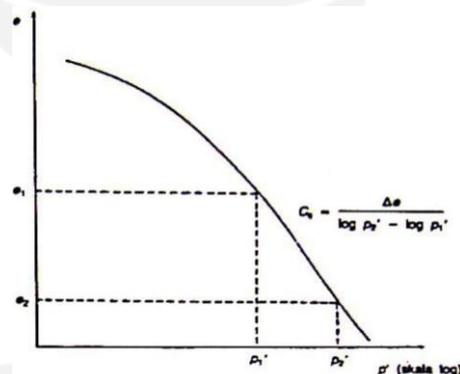
Sesuai dengan Terzaghi dan Peck (1967) menyatakan untuk mendapatkan indeks kompresi ( $C_c$ ) tanah pada tanah lempung *undisturbed* metode yang digunakan adalah persamaan empiris (Barimbing, 2017). Perhitungan indeks

kompresi tanah ( $C_c$ ) bisa dilakukan dengan menggunakan Persamaan 3.23 berikut ini.

$$C_c = 0,009(LL - 10) \quad (3.23)$$

Notasi  $LL$  adalah batas cair (*liquid limit*). Persamaan 3.23 ini berlaku untuk perhitungan jenis tanah lempung anorganik yang mempunyai sensitivitas rendah hingga sedang dengan kesalahan 30%, namun apabila sensitivitas lebih besar dari 4 Persamaan 3.23 disarankan untuk tidak digunakan. Pada tanah lempung disarankan untuk dilakukan pembentukan kembali (*remolded*) seperti pada Persamaan 3.24 dan gambar hubungan grafik indeks kompresi tanah ( $C_c$ ) dapat dilihat pada Gambar 3.9 berikut.

$$C_c = 0,007(LL - 100) \quad (3.24)$$



**Gambar 3. 9 Indeks Kompresi Tanah ( $C_c$ )**

(Sumber : Hardiyatmo, 2003)

Nilai  $C_c$  berdasarkan pada sifat-sifat tanah di beberapa lokasi tertentu yang ditentukan dalam Azzous (1976) dapat dilihat pada Persamaan 3.25 sampai 3.28 berikut.

$$C_c = 0,0115 w_N \text{ (untuk tanah organik, gambut)} \quad (3.25)$$

$$C_c = 0,0046 (LL - 9) \text{ (untuk lempung Brasilia)} \quad (3.26)$$

$$C_c = 0,01 w_N \text{ (untuk lempung Chicago)} \quad (3.27)$$

$$C_c = 0,208e_o + 0,0083 \text{ (untuk lempung Chicago)} \quad (3.28)$$

Notasi  $w_N$  merupakan kadar air asli dan angka pori di lapangan dalam (%).

### 3 Distribusi Tegangan Tanah ( $\Delta p$ )

Distribusi tegangan tanah akibat pembebanan di atas tanah ditinjau dari titik tengah setiap lapis tanah. Rumus perhitungan distribusi tegangan tanah ada pada Persamaan 3.29 berikut.

$$\Delta p = q \times H \quad (3.29)$$

Persamaan untuk mengetahui nilai  $q$  dijabarkan pada Persamaan 3.30 berikut.

$$q = \gamma_{\text{timbunan}} \times H \quad (3.30)$$

Keterangan:

$\Delta p$  = Perubahan tegangan vertikal

$\gamma_{\text{timbunan}}$  = Berat volume tanah timbunan

$l$  = Faktor pengaruh

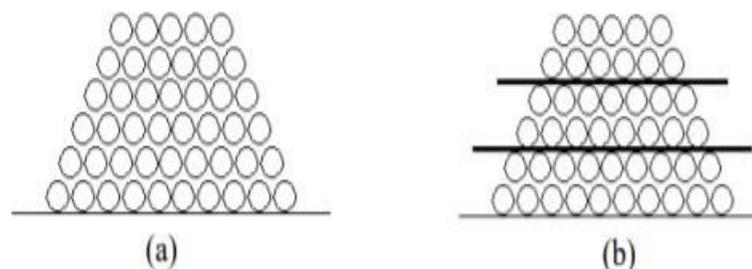
$H$  = Tebal lapisan tanah

$q$  = Beban timbunan

## 3.5 Perkuatan Lereng Menggunakan Geotekstil

### 3.5.1 Perkuatan Tanah

Berdasarkan penelitian Perancis Henri Vidal pada tahun 1966 ditemukan bahwa memperlandai sudut kemiringan lereng dan memberikan material fleksibel dengan kemampuan menahan tarikan dapat memberikan kestabilan pada tumpukan pasir alam dengan sudut kemiringan lereng asli. Perbedaan kondisi pada tumpukan pasir dengan sudut lereng asli dengan yang sudah diperkuat dapat dilihat pada Gambar 3.10 berikut.



**Gambar 3. 10 (a) Tumpukan Pasir dengan Sudut Lereng Asli (b) Tumpukan Pasir dengan Lereng yang Diperkuat**

Penyebab keruntuhan atau kelongsoran adalah tergulingnya atau tergelincirnya butiran-butiran tanah, sehingga dengan mengetahui tipe keruntuhan yang terjadi, maka perkuatan tanah dapat diterapkan pada bidang potensi longsor dengan cara penambahan material perkuatan tanah, penjangkaran (*soil nailing*) dan sebagainya pada suatu lereng.

Tanah harus diberi perkuatan apabila tanah yang ditemukan di lapangan bersifat mudah tertekan, lepas, permeabilitasnya tinggi dan sifat-sifat lain yang tidak sesuai dengan spesifikasi di proyek pembangunan tersebut. Terdapat banyak metode perkuatan yang bisa dilaksanakan, salahnya satunya adalah perkuatan tanah yang menggunakan material yang memiliki fleksibilitas relatif tinggi (Purwanto, 2012).

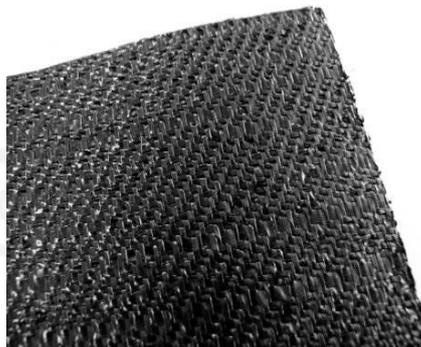
### 3.5.2 Geotekstil

Dalam pelaksanaan tugas akhir ini jenis perkuatan tanah yang digunakan adalah geotekstil. Yang dimana geotekstil merupakan satu dari jenis geosintetik yang berbahan dasar dari bahan sintetik, geotekstil pada umumnya tembus air dan selalu dipasang bersamaan dengan pondasi, tanah, batuan atau material geoteknik lainnya. Pada proses pembuatannya geotekstil adalah mengkombinasikan struktur tekstil lembaran dalam elemen pada tekstil. Elemen tersebut biasanya dapat berupa filamen (serat menerus) ataupun serat serabut (*stable fiber*). Berdasarkan dari cara pembuatan geotekstil sendiri dapat dibedakan menjadi:

#### 1. Geoteksti *Woven* (Geotekstil Anyam)

Geotekstil *woven* atau geotekstil anyam merupakan jenis yang memiliki kekuatan tarik yang cukup tinggi sehingga aplikasi dilapangan banyak digunakan sebagai perkuatan lapisan dan pemisah lapisan. Dari fungsinya

sebagai perkuat lapisan berfungsi sebagai tulang pada tanah dan sebagai pemisah lapisan berfungsi memisahkan antara tanah lunak dan tanah keras.



**Gambar 3. 11 Geotekstil Woven**  
(Sumber: Isparmo, 2010)

2. Geotekstil *Non Woven* (Geotekstil Nir-Anyam)

Geotekstil *non woven* atau geotekstil nir-anyam merupakan *filter fabric* dengan bentuk menyerupai kain karpet, biasanya berbahan dasar polimer polyester atau *polypropylene*. Bahan ini biasanya digunakan sebagai penyaring, untuk mencegah terbawanya partikel tanah oleh air.

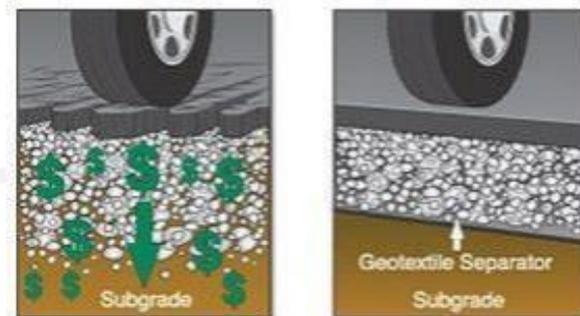


**Gambar 3. 12 Geotekstil Non Woven**  
(Sumber: Isparmo, 2010)

Fungsi dari geotekstil terbagi menjadi dua fungsi yaitu sebagai bahan pemisah dan fungsi sebagai bahan perkuatan geoteknik (Isparmo, 2010) adalah sebagai berikut:

1. Sebagai fungsi pemisah, dimana diletakkan pada dua jenis material berbeda yang berfungsi untuk menghindarkan pencampuran dan kontaminasi dari kedua material yang berbeda. Salah satu pengaplikasiannya pada konstruksi

jalan yang bertujuan memisahkan agregat dengan lapisan tanah dasar seperti Gambar 3.13 berikut.



**Gambar 3. 13 Geotekstil Sebagai Pemisah (*Separator*)**

(Sumber: Isparmo, 2010)

2. Sebagai fungsi perkuatan, tanah memiliki kekuatan untuk menahan tekanan namun tidak untuk menahan tarik. Ketidak dapat menahan tarik ini dipenuhi oleh geotekstil, yang memiliki kemampuan untuk menahan tarik yang kuat hingga fungsinya sebagai tulang beton. Material ini diletakkan di bawah timbunan tanah lunak, digunakan membangun dinding untuk sebagai penahan tanah dan digunakan untuk perkuatan perkerasan bahan susun tanag dasarnya seperti Gambar 3.14 berikut.



**Gambar 3. 14 Geotekstil Sebagai Perkuatan (*Reinforcement*)**

(Sumber: Isparmo, 2010)

Berdasarkan Hardiyatmo (2010) sifat-sifat tanah menjadi kuat menahan tarik ini merupakan hasil dari adanya interaksi antara tanah dan geotekstil. Dengan gesekan ini, tanah mentransfer gaya-gaya yang bekerja padanya ke geotekstil. Interaksi tanah dengan geotekstil dipengaruhi oleh *interface*. Nilai *interface* dapat diperoleh dari uji geser dan uji tarik. Beberapa nilai *interface* telah banyak

diusulkan oleh beberapa peneliti dan juga turut dicantumkan dalam penawaran teknis produk geotekstil. Berikut ini nilai *interface* untuk jenis tanah kohesif dengan geotekstil yang diusulkan disertai dengan keterangan asumsi dan jenis bahan yang ditinjau dalam Tabel 3.5 berikut.

**Tabel 3. 5 Nilai *Interface* Tanah Kohesif dengan Geotekstil**

| Sumber Referensi           | Nilai <i>Interface</i>                           |                           |
|----------------------------|--|---------------------------|
|                            | Geotekstil <i>non woven</i>                      | Geotekstil <i>woven</i>   |
| Suryokekono (2000)         | 0,67   |                           |
|                            | Asumsi praktis di lapangan                       |                           |
| Brinkgreeve (2002)         | -  |                           |
|                            | Asumsi praktik untuk analisis menggunakan Plaxis |                           |
| Kamon (2008)               | -  | 0,85                      |
|                            |  | <i>Polypropylen woven</i> |
| Rifa'i (2009)              | 0,84-1,3   | 0,78-0,95                 |
|                            | TS600-R206                                       | BW250                     |
| Mariapan (2011)            | -  | 0,85                      |
|                            |  | <i>Polypropylen woven</i> |
| Produsen Geotekstil (2001) | 0,92   | 0,84                      |
|                            | <i>Geosynthetic Clay (GCL)</i>                   |                           |

### 3.5.3 Prinsip Kerja Geotekstil

Tegangan geser yang terjadi oleh gesekan pada bidang kontak dinyatakan pada Persamaan 3.32 berikut ini.

$$T = c + \sigma_v \operatorname{tg} \varphi \quad (3.32)$$

Keterangan:

$T$  = Tegangan geser (kN/m)

$\varphi$  = Sudut geser antara tanah dan geotekstil (°)

$\sigma_v$  = Tegangan normal pada bidang kontak (interface) tanah-geotekstil (kN/m<sup>2</sup>)

$\tau$  = Tegangan geser yang bekerja di permukaan bidang kontak antara geotekstil dan butiran-butiran tanah (kN/m<sup>2</sup>)

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

Gaya-gaya tarik yang akan bekerja pada geotekstil dapat dinyatakan dalam Persamaan 3.33 berikut ini.

$$T_a = \tau \times b \times L \times tg \varphi \quad (3.33)$$

Keterangan:

$T_a$  = Gaya tarik pada geotekstil (kN/m)

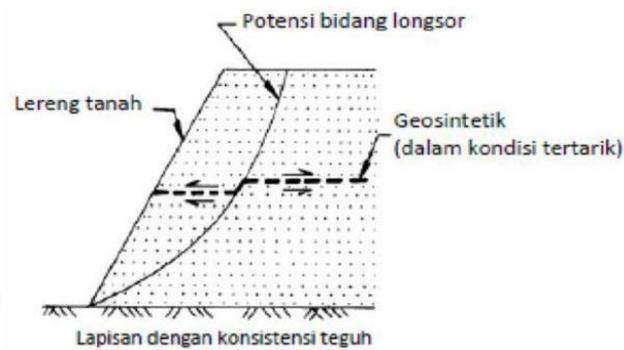
$\varphi$  = Sudut geser antara tanah dan geotekstil (°)

$B$  = Lebar tulangan (m)

$L$  = Panjang tulangan (m)

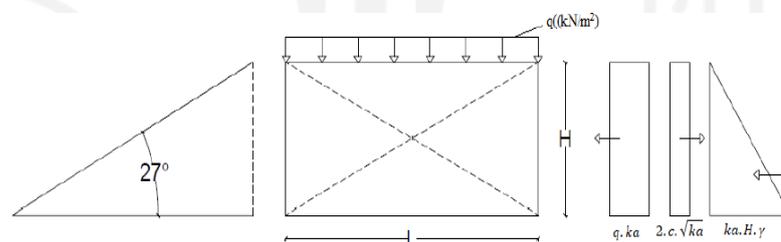
#### 3.5.4 Perkuatan Menggunakan Geotekstil

Pengaruh pemakaian geotekstil untuk perkuatan lereng timbunan adalah berfungsi untuk meningkatkan sifat mekanis massa tanah, meningkatkan faktor keamanan lereng dan menstabilkan lereng dengan kemiringan curam (<70°). Lereng tanah yang diperkuat umumnya terdiri dari timbunan padat yang digabungkan dengan perkuatan geotekstil yang disusun secara horizontal. Ketika lereng tanah diberi perkuatan geotekstil, material komposit tanah lereng tersebut menghasilkan kekuatan tekan dan tarik tinggi sehingga dapat menahan gaya dan deformasi yang bekerja. Geotekstil berperan sebagai tahanan tarik gesekan (*adhesi*), saling mengikat (*interlocking*) atau pengurungan (*confinement*) yang digabungkan ke tanah/lereng dan menjaga stabilitas massa tanah seperti yang digambarkan pada Gambar 3.15 berikut.



**Gambar 3. 15 Dasar Mekanisme Perkuatan Lereng dengan Tanah**  
(Sumber: Departemen Pekerjaan Umum, 2009)

Perkuatan dengan menggunakan geotekstil memiliki gaya stabilitas yang perlu diperhitungkan. Analisis stabilitas lereng dengan perkuatan terdiri dari beberapa analisis stabilitas eksternal dan stabilitas internal. Stabilitas eksternal terdiri dari stabilitas terhadap geser, guling, eksentrisitas, dan kapasitas dukung tanah. Stabilitas internal berupa stabilitas terhadap gaya-gaya dan panjang efektif geotekstil. Adapun diagram distribusi tekanan tanah lateral pada lereng dapat dilihat pada Gambar 3.16.



**Gambar 3. 16 Diagram Distribusi Tekanan Tanah Lateral**  
(Sumber: Purwanto, 2012)

Untuk mendapat jarak vertical antar lapis geotekstil ( $S_v$ ) menggunakan persamaan 3.34 sampai dengan persamaan 3.36 berikut ini.

$$K_a = \tan^2\left(45^\circ - \left(\frac{\varphi}{2}\right)\right) \quad (3.34)$$

$$\sigma_{hc} = q \cdot k_a - 2 \cdot c \cdot \sqrt{k_a} + k_a \cdot H \cdot \gamma_b \quad (3.35)$$

$$S_v = \frac{T_a}{\sigma_{hc} \cdot SF} \quad (3.36)$$

Keterangan:

$Ka$  = Koefisien tanah aktif

$\sigma_{hc}$  = Tekanan horizontal rata-rata pada lipatan ( $\text{kN/m}^2$ )

$S_v$  = Jarak geoteksti arah vertikal (m)

$\gamma$  = Berat volume tanah ( $\text{kN/m}^3$ )

$c$  = Kohesi ( $\text{kN/m}^2$ )

$SF$  = Angka aman

$Ta$  = Kuat tarik geotekstil *allowable*

$q$  = Beban merata ( $\text{kN/m}^2$ )

### 1. Stabilitas Eksternal

#### a. Stabilitas Terhadap Geser

Faktor aman terhadap geser dinyatakan pada Persamaan 3.37 berikut.

$$SF = \frac{L \cdot (1 + \gamma b) \cdot \tan \varphi}{(q \cdot ka \cdot H + ka \cdot H^2 \cdot \gamma b - 2 \cdot c \cdot \sqrt{ka \cdot H})} \quad (3.37)$$

Keterangan:

$SF$  = Angka aman

$\varphi$  = Sudut gesek antara tanah dan geotekstil ( $^\circ$ )

$\gamma b$  = Berat volume tanah ( $\text{kN/m}^3$ )

$c$  = Kohesi ( $\text{kN/m}^2$ )

$H$  = Tinggi lapisan tanah (m)

$Ka$  = Koefisien tanah aktif

$L$  = Panjang geotekstil (m)

$q$  = Beban merata ( $\text{kN/m}^2$ )

#### b. Stabilitas Terhadap Guling

Angka aman terhadap guling dapat dinyatakan pada Persamaan 3.38 berikut.

$$SF = \frac{L^2 \cdot (\frac{1}{2} \cdot q + \frac{1}{2} \cdot \gamma b \cdot H)}{(\frac{1}{2} \cdot q \cdot ka \cdot H + \frac{1}{6} \cdot ka \cdot H^2 \cdot \gamma b - 2 \cdot c \cdot \sqrt{ka \cdot H})} \quad (3.38)$$

Keterangan:

$SF$  = Angka aman

$\gamma b$  = Berat volume tanah (kN/m<sup>3</sup>)

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

$H$  = Tinggi lapisan tanah (m)

$L$  = Panjang geotekstil (m)

$q$  = Beban merata (kN/m<sup>2</sup>)

c. Stabilitas Terhadap Eksentrisitas

Nilai  $\frac{1}{6}L$  harus lebih besar dari nilai eksentrisitas yang dinyatakan pada Persamaan 3.39 dan Persamaan 3.40 berikut ini.

$$\frac{1}{6}L \geq e \quad (3.39)$$

$$\frac{1}{6}L \geq \frac{(\frac{1}{2}q \cdot ka \cdot H^2 + \frac{1}{6}ka \cdot H^2 \cdot \gamma b - c \cdot \sqrt{ka} \cdot H^2)}{(q \cdot L + \gamma b \cdot H \cdot L)} \quad (3.40)$$

Keterangan:

$e$  = Nilai eksentrisitas tanah (m)

$L$  = Panjang geotekstil (m).

$\gamma b$  = Berat volume tanah (kN/m<sup>3</sup>)

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

$H$  = Tinggi lapisan tanah (m)

$Ka$  = Koefisien tanah aktif

$q$  = Beban merata (kN/m<sup>2</sup>)

d. Stabilitas Terhadap Kapasitas Dukung Tanah

Angka aman terhadap kapasitas dukung tanah dinyatakan pada Persamaan 3.41 sampai dengan Persamaan 3.43 berikut.

$$SF = \frac{\sigma_{ult}}{q_{ult}} \quad (3.41)$$

$$q_{ult} = c \cdot Nc + 0,5 \cdot L \cdot \gamma b \cdot N\gamma \quad (3.42)$$

$$q_{ult} = c \cdot Nc + q \cdot Nq + 0,5 \cdot L \cdot \gamma b \cdot N\gamma \quad (3.43)$$

## 2. Stabilitas Internal

### a. Panjang Geotekstil *Overlapping* ( $L_o$ )

Untuk mencari kebutuh panjang geotekstil *overlapping* dapat digunakan Persamaan 3.44 berikut.

$$L_o = \frac{\sigma_{hc} \times S_v \times SF}{2 \times Z_i \times \gamma_b \times \tan \varphi} \quad (3.44)$$

Keterangan:

$L_o$  = Panjang overlapping (m)

$\sigma_{hc}$  = Tegangan ultimit ( $\text{kN/m}^2$ )

$S_v$  = Jarak geotekstil arah vertikal (m)

$Z_i$  = Kedalaman geotekstil yang ditekuk masuk ketanah (m)

$\gamma_b$  = Berat volume tanah ( $\text{kN/m}^3$ )

$SF$  = Angka aman

$\varphi$  = Sudut gesek antara tanah dan geotekstil ( $^\circ$ )

### b. Panjang Efektif Geotekstil ( $L_{ef}$ )

Panjang efektif geotekstil ( $L_{ef}$ ) dapat dihitung menggunakan Persamaan 3.45 berikut.

$$L_{ef} = \frac{SF \times S_v \times K_a \times \gamma_b \times Z_i}{2 \times \gamma_b \times Z_i \times \tan \varphi} \geq 0,5m \quad (3.45)$$

Keterangan:

$L_{ef}$  = Panjang efektif geotekstil (m)

$\varphi$  = Sudut gesek antara tanah dan geotekstil ( $^\circ$ )

$\gamma_b$  = Berat volume tanah ( $\text{kN/m}^3$ )

$SF$  = Angka aman

$K_a$  = Koefisien tanah aktif

$S_v$  = Jarak geotekstil arah vertikal (m)

$Z_i$  = Kedalaman geotekstil yang ditekuk masuk ketanah (m)

### 3.6 Program Plaxis

*Software* Plaxis dirancang berdasarkan metode elemen hingga dua dimensi yang dapat digunakan secara khusus untuk menganalisis deformasi dan stabilitas. Program ini digunakan untuk mempermudah analisis di bidang geoteknik. Kondisi sesungguhnya dapat dimodelkan dalam regangan (*plane-strain*) maupun secara *axisymmetric*. Program ini menerapkan model antar muka grafis yang cukup mudah untuk digunakan, pengguna dapat membuat model geometri dan jaring elemen berdasarkan penampang melintang dari kondisi yang ingin dianalisis. Program ini terdiri dari empat buah sub-program yaitu masukkan perhitungan, keluaran, dan kurva.

Model yang akan digunakan pada penelitian ini yaitu model Mohr-Coulomb. Model ini merupakan model elastis – plastis yang terdiri dari lima buah parameter, yaitu  $E$  dan  $\mu$  untuk memodelkan elastisitas tanah,  $\varphi$  dan  $c$  untuk memodelkan plastisitas tanah, dan  $\psi$  sebagai dudut dilatasi. Model Mohr-Coulomb merupakan suatu pendekatan “ordo pertama” dari perilaku tanah atau batuan. Model ini disarankan digunakan dalam analisis awal dari masalah yang dihadapi. Setiap lapisan akan dimodelkan dengan sebuah nilai kekakuan rata-rata yang konstan. Karena kekakuan yang konstan, maka perhitungan cenderung cepat dan dapat diperoleh perkiraan awal dari bentuk deformasi dari model. Disamping kelima parameter dari model tersebut, kondisi tegangan awal dari tanah memegang peranan yang penting dalam hampir seluruh masalah deformasi tanah. Tegangan horizontal awal tanah harus ditentukan terlebih dahulu dengan menentukan nilai  $k_0$  yang tepat (Brinkgreve, 2007).

Kondisi dilapangan yang disimulasikan ke dalam program Plaxis bertujuan untuk mengimplementasikan tahapan pelaksanaan dilapangan ke dalam tahapan pengerjaan pada program, dengan harapan pelaksanaan dilapangan dapat sedekat mungkin pada program, sehingga respon yang dihasilkan dari program dapat diasumsikan sebagai cerminan dari kondisi yang sebenarnya terjadi dilapangan.

Terdapat tahapan-tahapan analisis saat menggunakan program Plaxis, berikut adalah penjelasan dari tahapan-tahapan tersebut.

1. Tahapan Input Data

Pada tahapan input data hal yang dilakukan ialah pemodelan berupa data geometri lereng alami, lereng timbuna, perkuatan tambahan jika ada yang akan dianalisis, material tanah, pembebanan, *meshing*, dan *initial condition*. Sehingga hasil input data menggambarkan kondisi nyata yang ada di lapangan.

2. Tahap Perhitungan

Ketika tahap input data selesai, tahapan berikutnya adalah tahap perhitungan pada program Plaxis. Pada tahap ini, analisis dilakukan sesuai dengan kebutuhan terhadap model yang telah didefinisikan dalam input data. Terdapat beberapa *type calculation* yang disediakan, yaitu *type plastic*, *consolidation*, *phi/c reduction*, dan *dynamic analysis*.

3. Tahap Hasil

Setelah tahap perhitungan selesai, hasil dari tahap perhitungan sebelumnya dapat dilihat pada tahap hasil (*output*). Hasil tahap perhitungan dapat ditampilkan dalam bentuk angka, gambar, dan kurva. Hasil yang akan ditinjau dalam penelitian ini berupa *total displacement*, potensi kelongsoran, *safety factor*, dan *total stresses*.

4. Tahapan Pembuatan Kurva

Pada program Plaxis hasil analisis yang ditampilkan dapat berupa kurva. Kurva menggambarkan hasil dari semua tahapan perhitungan, dan menampilkan 2 parameter untuk melihat perbandingan dari masing-masing tahap perhitungan. Kurva yang akan diambil sebagai perbandingan dalam penelitian ini adalah kurva dari *safety factor* dan *kurva vertical displacement*.

## **BAB IV**

### **METODE PENELITIAN**

#### **4.1 Tinjauan Umum**

Penelitian ini dilakukan pada Ruas Jalan Tawang - Ngalang Segmen IV Sta 7+750, metode penelitian yang dilakukan adalah dengan mengumpulkan data-data yang dibutuhkan seperti data-data tanah di lapangan hasil pemeriksaan dan pengujian tanah di lapangan maupun di laboratorium. Penelitian ini dilakukan mengacu pada referensi - referensi yang ada seperti jurnal, buku-buku, dan standar pengujian yang sesuai dengan topik penelitian.

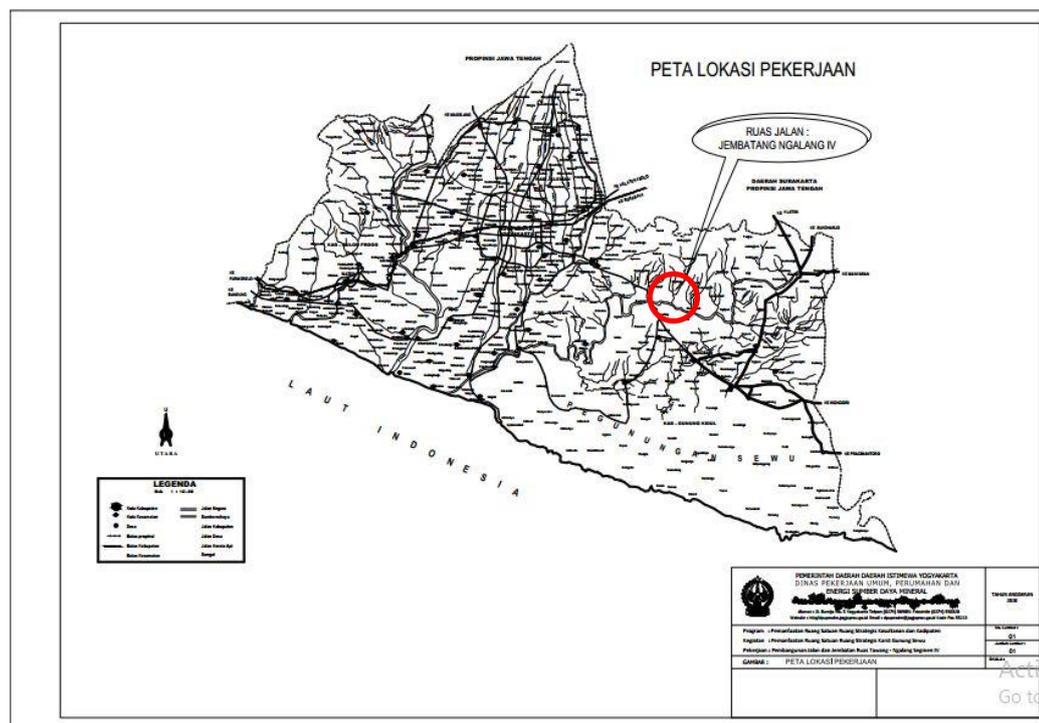
Pada penelitian ini dilakukan analisis stabilitas lereng timbunan. Analisis stabilitas dilakukan pada lereng timbunan asli, lereng timbunan dengan perubahan sudut kemiringan lereng, dan lereng timbunan dengan perubahan sudut kemiringan lereng yang diberi perkuatan geotekstil. Metode analisis stabilitas pada penelitian ini menggunakan metode elemen hingga dengan bantuan *software* Plaxis 8.6. Berdasarkan analisis tersebut dicari solusi yang dapat mengatasi permasalahan yang terjadi pada lereng timbunan.

#### **4.2 Data Penelitian**

1. Peta Lokasi.
2. Data Penyelidikan Tanah.
3. Gambar Potongan Melintang Lereng Timbunan Jalan.

#### **4.3 Lokasi Penelitian**

Lokasi penelitian berada di Ruas Jalan Tawang - Ngalang Segmen IV Sta. 7+750. Untuk lokasi penelitian dapat dilihat pada Gambar 4.1 berikut.



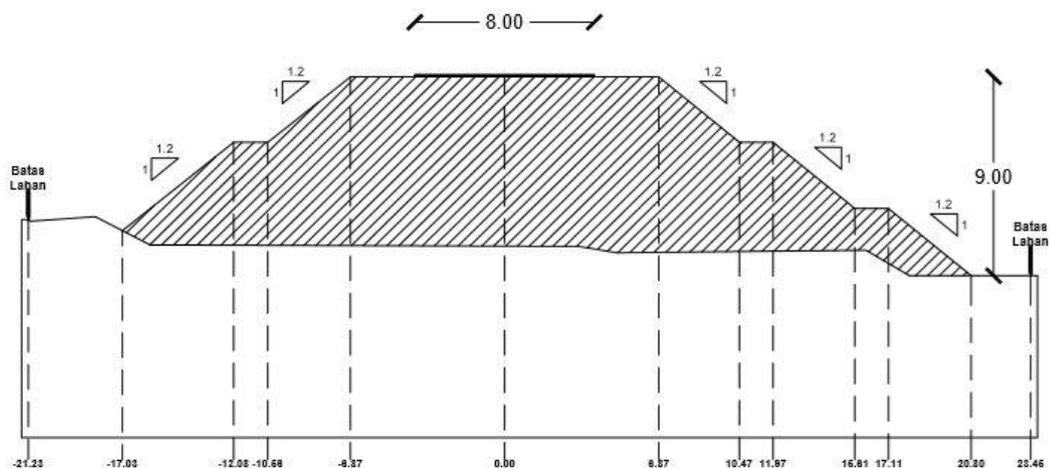
**Gambar 4. 1 Lokasi Penelitian di Jalan Tawang - Nglang Segmen IV**  
 (Sumber: Dinas Pekerjaan Umum Perumahan dan Energi Sumber Daya Mineral  
 Daerah Istimewa Yogyakarta, 2022)

#### 4.4 Tahapan Penelitian

Pada penelitian ini terdapat beberapa tahapan - tahapan yang dilakukan, penjelesan tahapan-tahapan yang dilakukan pada penelitian ini adalah sebagai berikut.

1. Tahap pengumpulan data, dimana tahap ini meliputi tahap pengambilan data tanah (data uji lapangan dan laboratorium) yang dibutuhkan untuk keperluan analisis dari Laporan Akhir Penyelidikan Tanah Pembangunan Ruas Jalan Tawang - Nglang Segmen IV.
2. Tahap analisis dan pengolahan data, pada tahap ini data yang telah diambil (data uji lapangan dan data laboratorium), kemudian diolah dengan logika dan teori yang berlaku sebagai koreksi (analisis menggunakan metode elemen hingga dengan bantuan program Plaxis 8.6), selanjutnya dapat ditentukan tindak lanjut dari hasil program Plaxis 8.6.





**Gambar 4.3 Detail Lereng Timbunan Jalan di Sta. 7+750**

(Sumber: Dinas Pekerjaan Umum Perumahan dan Energi Sumber Daya Mineral Daerah Istimewa Yogyakarta, 2022)

#### 4.5.2 Parameter Tanah

Untuk melakukan analisis stabilitas pada lereng timbunan, dibutuhkan data-data parameter tanah di lokasi lereng timbunan tersebut. Data parameter tanah yang didapatkan berdasarkan data sekunder dari Laporan Akhir Penyelidikan Tanah Proyek Jalan Tawang - Ngalang Segmen IV. Adapun input parameter tanah dapat dilihat pada Tabel 4.1.

**Tabel 4.1 Data Parameter Tanah**

| Parameter                    | Satuan            | Tanah Timbunan (Lempun Kepasiran) | Lempung Lunak | Lempung Padat | Batu Lempung | Lapili (Kerikil) |
|------------------------------|-------------------|-----------------------------------|---------------|---------------|--------------|------------------|
| Model                        | -                 | MC                                | MC            | MC            | MC           | MC               |
| Jenis                        | -                 | UNDRAINED                         | DRAINED       | DRAINED       | DRAINED      | DRAINED          |
| $\gamma$ Unsaturated         | kN/m <sup>3</sup> | 14,2                              | 16,1          | 16,3          | 17,2         | 17,1             |
| $\gamma$ Saturated           | kN/m <sup>3</sup> | 16                                | 18            | 18            | 19           | 19               |
| $E$                          | kN/m <sup>2</sup> | 7512                              | 12160         | 14465         | 27540        | 20670            |
| $\nu$                        | -                 | 0,23                              | 0,33          | 0,32          | 0,34         | 0,3              |
| Kohesi ( $c$ )               | kN/m <sup>2</sup> | 10,6                              | 15,6          | 16,6          | 22,5         | 13,6             |
| Sudut Geser Dalam ( $\phi$ ) | ( $^{\circ}$ )    | 13,6                              | 25,1          | 25,5          | 27,2         | 23,2             |
| Permeabilitas $K_x$          | m/hari            | 0,0027                            | 0,0003        | 0,0003        | 0,00003      | 0,01             |
| Permeabilitas $K_y$          | m/hari            | 0,0027                            | 0,0003        | 0,0003        | 0,00003      | 0,01             |

(Sumber: PT Geomine Bara Studio, 2022)

### 4.5.3 Geotekstil

Pada *software* Plaxis 8.6 untuk penambahan perkuatan geotekstil yang diinput adalah nilai *normal stiffness* ( $EA$ ) yang dihitung menggunakan Persamaan 4.1 berikut.

$$EA = \frac{FN}{\Delta l_{\text{gt}}} \quad (4.1)$$

Keterangan:

$\Delta l_{\text{gt}}$  = Regangan pada geotekstil

$Fg$  = Kuat tarik ijin geotekstil (kN/m), dan

Perkuatan geotekstil yang digunakan pada penelitian ini adalah geotekstil jenis *woven* UW-250 produksi dari PT. Tekindo Geosistem. Data dari geotekstil *woven* UW-250 dapat dilihat pada Tabel 4.2.

**Tabel 4. 2 Data Geotekstil Woven UW-250**

| Parameter       | Notasi | Nilai | Satuan |
|-----------------|--------|-------|--------|
| Kuat Tarik Ijin | $Ta$   | 52    | kN/m   |
| Regangan        | $E$    | 20    | %      |
| Kekakuan Normal | $EA$   | 260   | kN/m   |

(Sumber: PT. Teknindo Geosistem, 2013)

### 4.5.4 Beban Perkerasan dan Lalu Lintas

Pada penelitian ini terdapat beban merata yang akan diinput, beban tersebut adalah beban struktur perkerasan dengan asumsi sebesar 10 kN/m<sup>2</sup>. Sedangkan untuk beban lalu lintas sebesar 15 kN/m<sup>2</sup>. Beban lalu lintas dapat dilihat berdasarkan fungsi jalan dan sistem jaringan jalan pada Tabel 4.3.

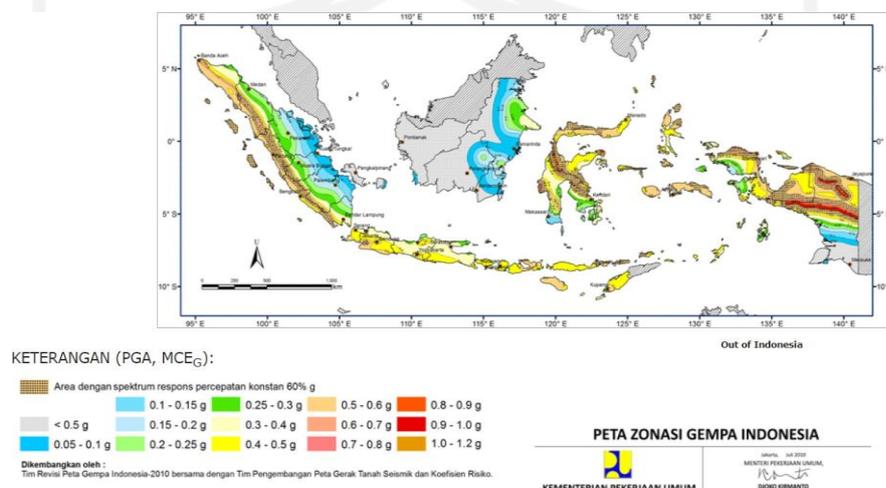
**Tabel 4. 3 Data Parameter Beban Lalu Lintas**

| Jenis Jalan | Sistem Jaringan | Lalu Lintas Harian Rata - Rata (LHR) | Beban Lalu Lintas (kN/m <sup>2</sup> ) |
|-------------|-----------------|--------------------------------------|--|
| Primer      | Arteri          | Semua                                | 15                                     |
|             | Kolektor        | >10.000                              | 15                                     |
|             |                 | <10.000                              | 15                                     |
| Sekunder    | Arteri          | >20.000                              | 15                                     |
|             |                 | <20.000                              | 12                                     |
|             | Sekunder        | >6.000                               | 12                                     |
|             |                 | <6000                                | 10                                     |
|             | Lokal           | >500                                 | 10                                     |
|             |                 | <500                                 | 10                                     |

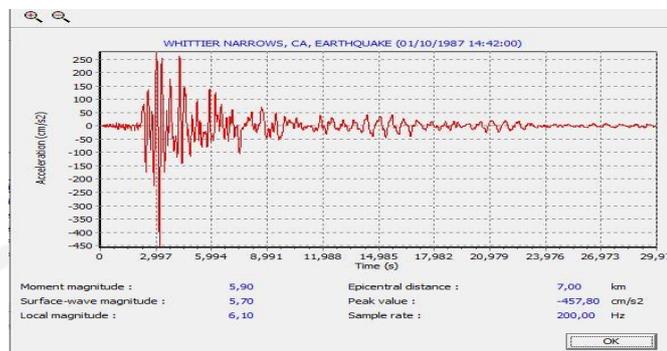
(Sumber: Departemen Pekerjaan Umum, 2009)

#### 4.5.5 Beban Gempa

Wilayah Yogyakarta memiliki percepatan puncak gempa (PGA) antara 0,4 – 0,5 g, dengan beban gempa yang digunakan adalah beban gempa dinamik. Data gempa yang sesuai dengan durasi gempa tersebut adalah data pada Gempa Whittier Narrows, California pada tahun 1987 dengan percepatan puncak gempa sebesar 0,4671 g. Untuk waktu interval digunakan waktu 3,6 detik, karena diasumsikan dengan waktu tersebut percepatan puncak sudah melewati percepatan. Peta zonasi serta grafik hubungan antara percepatan gempa dan waktu gempa dapat dilihat pada Gambar 4.4 dan 4.5.



**Gambar 4. 4 Peta Zonasi Gempa**  
(Sumber: puskim.pu.go.id, 2018)



**Gambar 4. 5 Grafik Hubungan Percepatan dan Waktu Gempa**  
(Sumber: usgs.gov, 2018)

#### 4.6 Analisis Data dengan *Software* Plaxis 8.6

Tahapan analisis menggunakan *software* Plaxis 8.6 dilakukan dengan tiga tahapan, untuk tahapan yang pertama adalah tahapan input (*Plaxis Input*), tahapan kedua proses perhitungan (*Plaxis Calculation*), tahapan terakhir adalah hasil (*Plaxis Output*). Rincian langkah-langkah analisis menggunakan *software* Plaxis adalah sebagai berikut.

##### 1. Input (*Plaxis Input*)

Pada langkah ini data-data yang dibutuhkan diinput kedalam *software* Plaxis secara berurutan sebagai berikut.

- a. Modeling geometri untuk lereng timbunan,
- b. memberikan kondisi batas (*boundary condition*),
- c. membentuk mesh lapisan tanah pada lereng timbunan,
- d. menentukan kondisi air tanah,
- e. menentukan konfigurasi awal mesh,
- f. menghitung tegangan-tegangan awal, dan
- g. menspesifikasikan titik yang ingin ditinjau.

##### 2. Proses perhitungan (*Calculation* pada *Software* Plaxis)

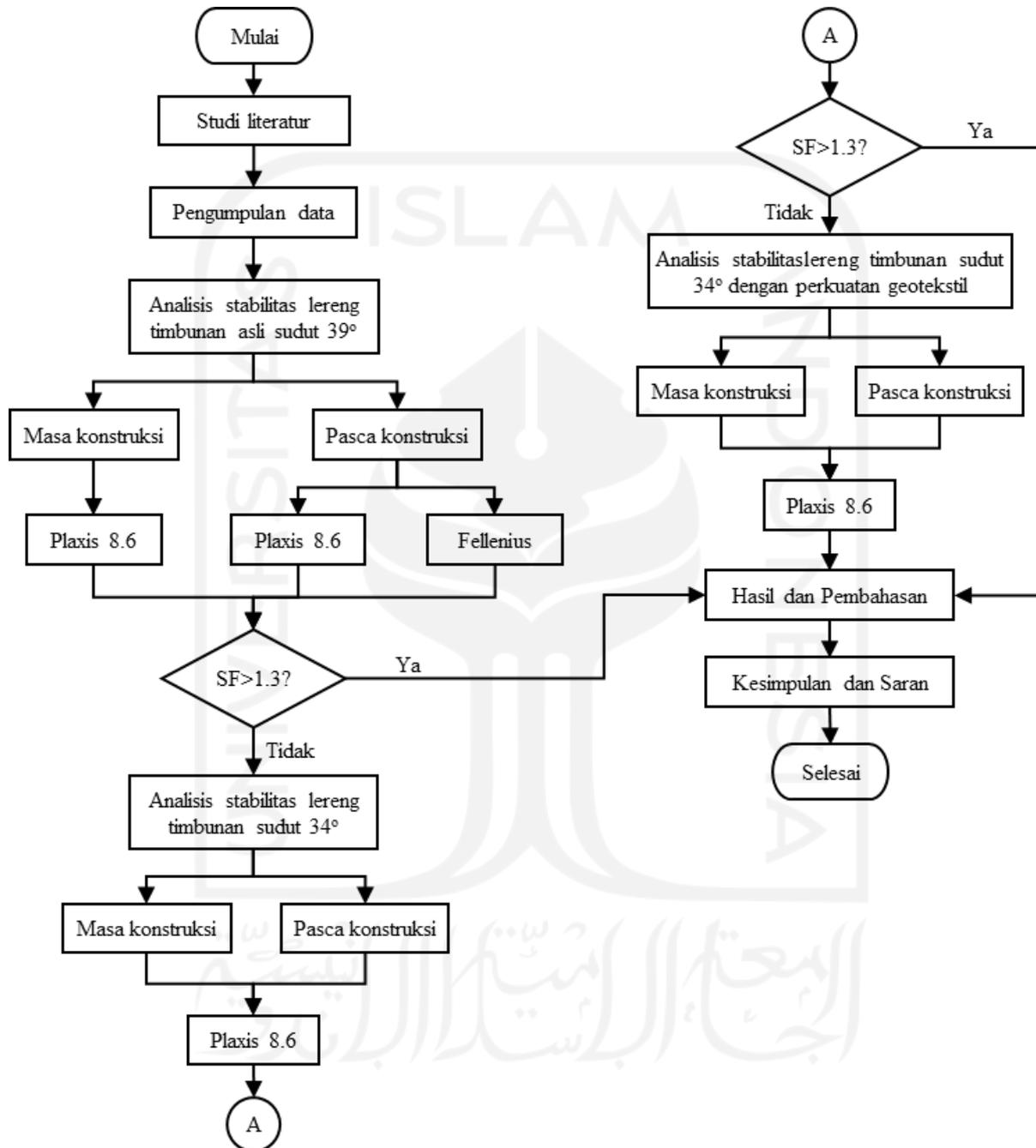
##### 3. Hasil (*Plaxis Output*)

Hasil dari calculation pada *software* Plaxis akan menghasilkan data-data sebagai berikut.

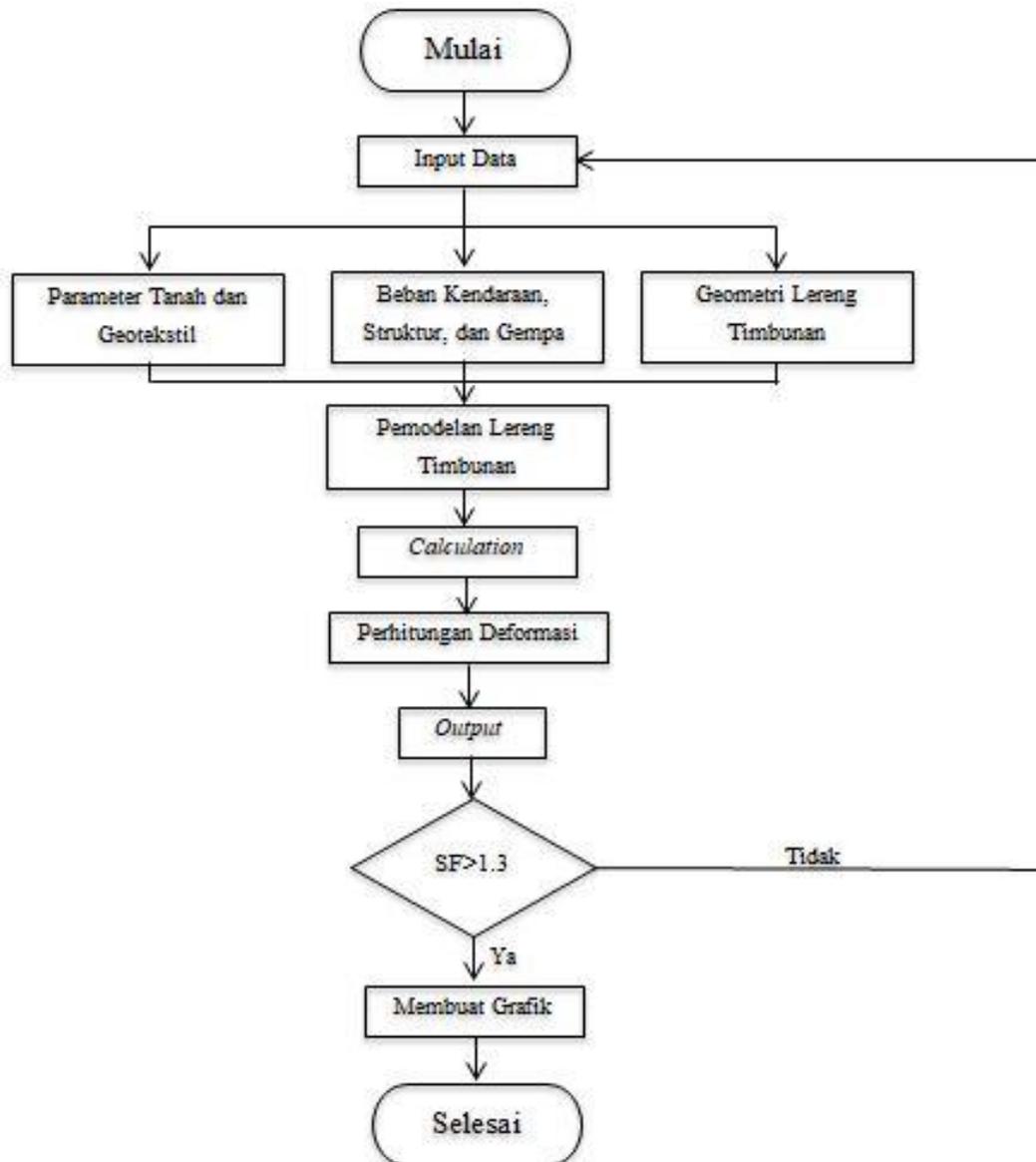
- a. Nilai angka aman ( $SF$ ) pada lereng timbunan asli, lereng timbunan dengan perubahan sudut kemiringan, lereng timbunan dengan perubahan sudut kemiringan dengan perkuatan,
- b. besar *displacement* pada lereng timbunan, dan
- c. besarnya penurunan konsolidasi yang akan terjadi selama 365 hari (1 tahun).

#### **4.7 Bagan Alir Penelitian**

Bagan alir adalah proses yang dilalui selama penelitian berlangsung, dengan adanya bagan alir maka langkah - langkah yang ditempuh pada proses penelitian menjadi jelas. Proses penelitian Tugas Akhir ini dapat dilihat pada Gambar 4.6 dan proses pemodelan lereng timbunan dapat dilihat pada Gambar 4.7.



**Gambar 4. 6 Bagan Alir Penelitian**



Gambar 4. 7 Bagan Alir Pemodelan Lereng Timbunan

## **BAB V**

### **ANALISIS DAN PEMBAHASAN**

#### **5.1 Gambaran Umum Analisis**

Ruas Jalan Tawang - Ngalang Segmen IV Sta. 7+750 merupakan tempat studi kasus penelitian Tugas Akhir ini. Lapisan tanah dasar yang ada di lokasi didominasi oleh tanah lempung. Sedangkan tanah yang digunakan untuk timbunan merupakan tanah lempung kepasiran. Analisis ini dilakukan untuk mengetahui apakah terjadi kelongsoran lereng pada lereng timbunan yang sudah ditentukan..

Analisis stabilitas lereng dilakukan pada lereng timbunan asli sudut  $39^\circ$ , lereng timbunan dengan perubahan sudut kemiringan lereng menjadi  $34^\circ$ , serta lereng timbunan dengan sudut kemiringan lereng  $34^\circ$  yang diberi perkuatan geotekstil. Variasi bentuk timbunan ini dianalisis untuk mendapatkan bentuk timbunan yang paling aman terhadap beban-beban yang membebaninya.

Parameter beban yang digunakan adalah beban lalu lintas, beban struktur jalan, dan beban gempa. Ketika lereng timbunan asli sudut  $39^\circ$  memiliki angka aman ( $SF$ ) yang belum memenuhi syarat angka aman ( $SF$ ), maka akan dilakukan perubahan sudut kemiringan lereng menjadi  $34^\circ$  dan apabila belum memenuhi syarat angka aman ( $SF$ ), maka akan diberi perkuatan tambahan jenis geotekstil. Oleh karena itu perlu dilakukan analisis dengan menggunakan perkuatan pada lereng timbunan asli sudut  $39^\circ$ , sehingga dapat diketahui apakah perubahan sudut kemiringan lereng dan penambahan perkuatan geotekstil mampu menahan kelongsoran yang mungkin terjadi dan meningkatkan nilai angka aman ( $SF$ ) lereng timbunan jalan. Selain itu dicari juga penurunan konsolidasi lereng timbunan dengan asumsi waktu 365 hari (1 tahun).

### 5.1.1 Data Analisis Program Plaxis 8.6

Kondisi lereng timbunan sesuai dengan Ruas Jalan Tawang - Ngalang Segmen IV Sta. 7+750. Untuk data-data yang dihunakan adalah parameter tanah yang hasil laboratorium uji tanah pada lokasi Sta. 7+750, beban-beban yang bekerja, dan geotekstil yang akan digunakan, dan kondisi eksisting lereng.

#### 1. Data Tanah

Adapun data parameter tanah dapat dilihat pada Tabel 5.1, sedangkan hasil pemboran titik BH 05 dapat dilihat pada Gambar 5.1 dan Tabel 5.2 berikut.

**Tabel 5. 1 Parameter Tanah**

| Parameter                    | Satuan            | Tanah Timbunan (Lempung Kepasiran) | Lempung Lunak | Lempung Padat | Batu Lempung | Lapili (Kerikil) |
|------------------------------|-------------------|------------------------------------|---------------|---------------|--------------|------------------|
| Model                        | -                 | MC                                 | MC            | MC            | MC           | MC               |
| Jenis                        | -                 | UNDRAINED                          | DRAINED       | DRAINED       | DRAINED      | DRAINED          |
| $\gamma$ Unsaturated         | kN/m <sup>3</sup> | 14,2                               | 16,1          | 16,3          | 17,2         | 17,1             |
| $\gamma$ Saturated           | kN/m <sup>3</sup> | 16                                 | 18            | 18            | 19           | 19               |
| $E$                          | kN/m <sup>2</sup> | 7512                               | 12160         | 14465         | 27540        | 20670            |
| $\nu$                        | -                 | 0,23                               | 0,33          | 0,32          | 0,34         | 0,3              |
| Kohesi ( $c$ )               | kN/m <sup>2</sup> | 10,6                               | 15,6          | 16,6          | 22,5         | 13,6             |
| Sudut Geser Dalam ( $\phi$ ) | ( $^{\circ}$ )    | 13,6                               | 25,1          | 25,5          | 27,2         | 23,2             |
| Permeabilitas $K_x$          | m/hari            | 0,0027                             | 0,0003        | 0,0003        | 0,00003      | 0,01             |
| Permeabilitas $K_y$          | m/hari            | 0,0027                             | 0,0003        | 0,0003        | 0,00003      | 0,01             |

(Sumber: PT. Geomine Bara Studio, 2022)



stabilitas yang disajikan pada Tabel 5.3. Kemudian asumsi beban dari struktur jalan adalah sebesar  $10 \text{ kN/m}^2$ , maka digunakan total beban sebesar  $25 \text{ kN/m}^2$ .

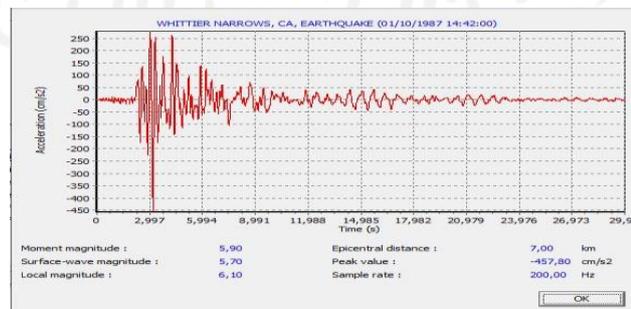
**Tabel 5. 3 Data Parameter Lalu Lintas**

| Fungsi   | Sistem Jaringan | Lalu Lintas Harian Rata - Rata (LHR) | Beban Lalu Lintas ( $\text{kN/m}^2$ ) |
|----------|-----------------|--------------------------------------|---------------------------------------|
| Primer   | Arteri          | Semua                                | 15                                    |
|          | Kolektor        | $> 10.000$                           | 15                                    |
|          |                 | $< 10.000$                           | 12                                    |
| Sekunder | Arteri          | $> 20.000$                           | 15                                    |
|          |                 | $< 20.000$                           | 12                                    |
|          | Sekunder        | $> 6.000$                            | 12                                    |
|          |                 | $< 6.000$                            | 10                                    |
|          | Lokal           | $> 500$                              | 10                                    |
|          |                 | $< 500$                              | 10                                    |

(Sumber: Departemen Pekerjaan Umum, 2009)

### 3. Data Beban Gempa

Wilayah Yogyakarta memiliki percepatan puncak gempa (PGA) antara  $0,4 - 0,5 \text{ g}$ , dengan beban gempa yang digunakan adalah beban gempa dinamik. Data gempa yang sesuai dengan data gempa wilayah Yogyakarta adalah data pada Gempa Whittier Narrows, California pada tahun 1987 dengan percepatan puncak gempa sebesar  $0,4671 \text{ g}$ . Untuk waktu interval digunakan waktu  $3,6 \text{ detik}$ , dengan asumsi bahwa waktu tersebut percepatan puncak gempa sudah terlewati. Grafik hubungan percepatan dan waktu gempa bisa dilihat pada Gambar 5.2 berikut.



**Gambar 5. 2 Grafik Hubungan Percepatan dan Waktu Gempa**  
(Sumber: usgs.gov, 2018)

#### 4. Data Geotekstil

Geotekstil jenis *woven* UW-250 merupakan perkuatan geotekstil yang akan digunakan pada penelitian ini. Geotekstil *woven* UW-250 merupakan produksi dari PT. Tekindo Geosistem yang memiliki nilai kuat tarik ijin dan regangannya yang diperoleh dari brosur produksinya, yaitu sebesar  $52 \text{ kN/m}^2$  dan 20%. Sehingga nilai perkuatan geotekstil yang diinput ke dalam program Plaxis 8.6 dapat dilihat pada Tabel 5.4 berikut.

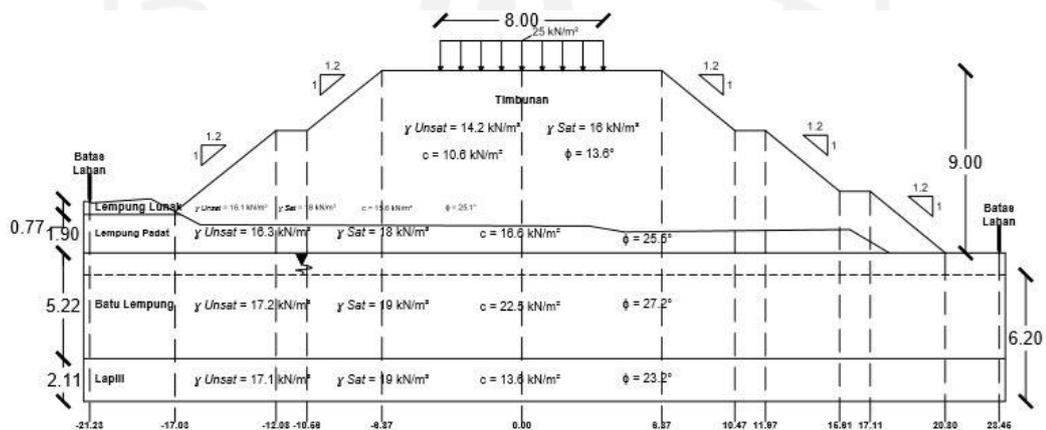
**Tabel 5. 4 Parameter Geotekstil Woven UW-250**

| Parameter       | Notasi | Nilai | Satuan |
|-----------------|--------|-------|--------|
| Kuat Tarik Ijin | Ta     | 52    | kN/m   |
| Regangan        | E      | 20    | %      |
| Kekakuan Normal | EA     | 260   | kN/m   |

(Sumber: PT Tekindo Geosistem Unggul, 2020)

#### 5. Kondisi Lereng Timbunan Eksisting

Bentuk timbunan eksisting dan data jenis tanah dapat digambarkan sesuai dengan kondisi di lapangan. Kondisi lereng timbunan eksisting dan jenis tanah setiap lapisan disajikan dalam Gambar 5.3 berikut.



**Gambar 5. 3 Kondisi Lereng Timbunan Eksisting**

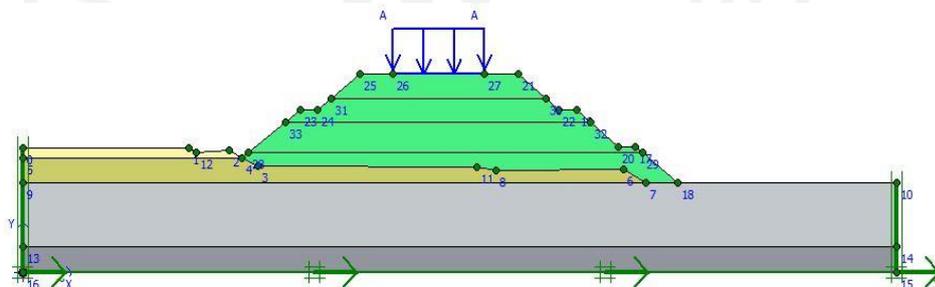
## 5.2 Lereng Timbunan Asli Sudut 39°

### 5.2.1 Analisis Menggunakan Program Plaxis Lereng Timbunan Asli Sudut 39°

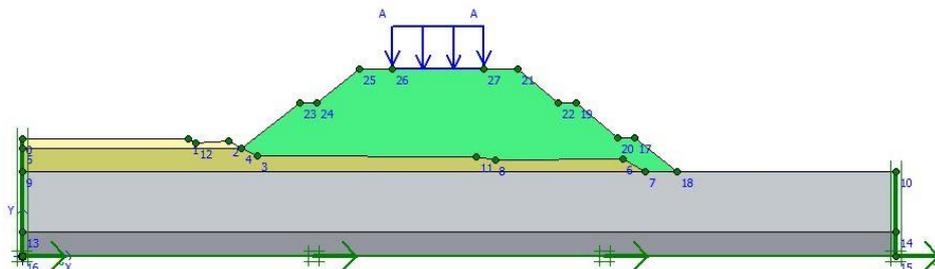
Hasil analisis stabilitas dari program Plaxis 8.6 yang akan ditampilkan pada analisis ini merupakan hasil analisis pada lereng timbunan asli sudut 39°. Timbunan asli sudut 39° dibangun di atas tanah asli yang terdiri dari 4 lapisan tanah yang memiliki kedalaman 10 meter dengan sudut kemiringan lereng sebesar 39°. Penjabaran analisis meliputi pemodelan awal lereng timbunan asli sudut 39° dan kondisi lereng timbunan asli sudut 39° hasil analisis.

#### 1. Pemodelan Lereng Timbunan

Pemodelan awal lereng timbunan menggunakan tanah timbunan asli yang ada di lokasi. Lebar total lereng sepanjang 37,73 meter dan tinggi timbunannya 9 meter. Timbunan ini akan difungsikan sebagai Ruas Jalan Tawang - Ngalang Segmen IV Sta. 7+750. Gambar pemodelan lereng timbunan asli sudut 39° masa konstruksi dan lereng timbunan asli sudut 39° pasca konstruksi disajikan dalam Gambar 5.4 dan Gambar 5.5.



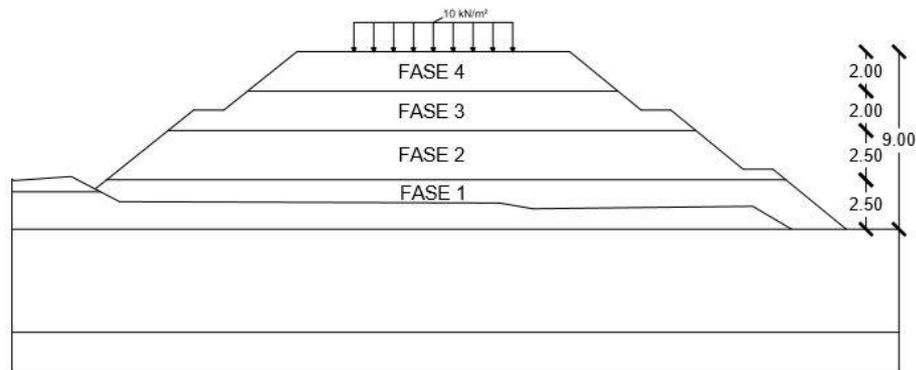
**Gambar 5. 4 Pemodelan Lereng Timbunan Asli Sudut 39° Masa Konstruksi**



**Gambar 5. 5 Pemodelan Lereng Timbunan Asli Sudut 39° Pasca Konstruksi**

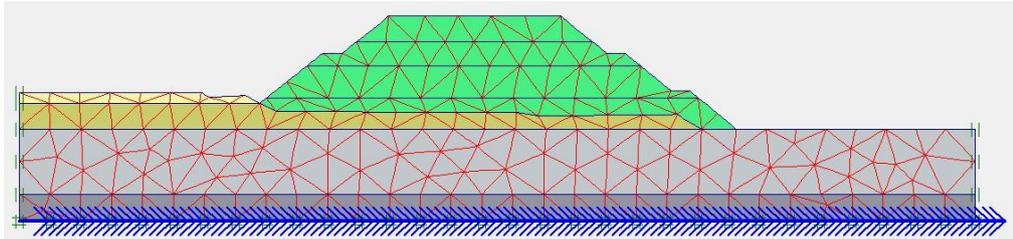
## 2. Kondisi Masa Konstruksi

Kondisi masa konstruksi pada lereng timbunan asli sudut  $39^\circ$  adalah saat awal timbunan dibangun, tanah pada timbunan saat masa konstruksi masih bersifat *drained* karena tanah timbunan masih dapat mendrainase air dengan baik. Beban merata yang dimasukkan pada masa konstruksi sebesar  $10 \text{ kN/m}^2$  akibat dari beban struktur jalan di atas timbunan. Analisis stabilitas dilakukan 4 tahapan dengan asumsi dilakukan ketika setiap fase penimbunan selesai, penimbunan fase pertama diasumsikan selesai ketika timbunan mencapai tinggi 2,5 m dan kemudian dianalisis kondisi timbunan tersebut, selanjutnya pada ketinggian 5 m, 7 m, hingga 9 m. Pada analisis penimbunan hingga 9 m dengan beban struktur jalan diinput. Gambar asumsi fase penimbunan disajikan dalam Gambar 5.6 berikut.



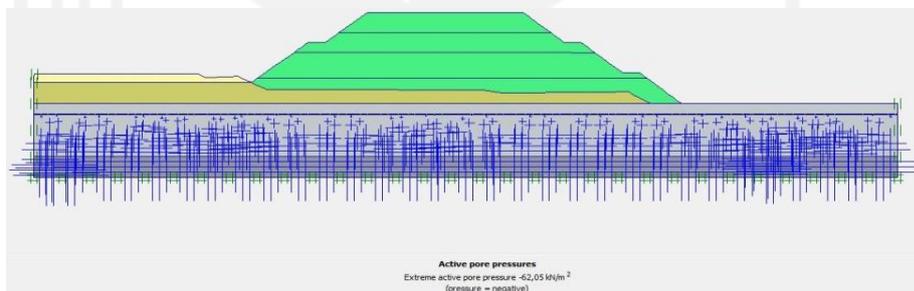
**Gambar 5. 6 Asumsi Fase Penimbunan Lereng Timbunan Asli Sudut  $39^\circ$  Masa Konstruksi**

Setelah pemodelan geometri lereng timbunan asli sudut  $39^\circ$  selesai, tahapan-tahapan selanjutnya adalah input parameter tanah pada pemodelan lereng timbunan, setelah input parameter tanah selesai dilanjutkan penyusunan jaringan elemen (*meshing*), *meshing* dilakukan setelah input parameter tanah dan bahan pada pemodelan lereng timbunan dilakukan. Hasil dari jaringan elemen hingga (*meshing*) pada lereng timbunan asli sudut  $39^\circ$  masa konstruksi disajikan dalam Gambar 5.7 berikut.

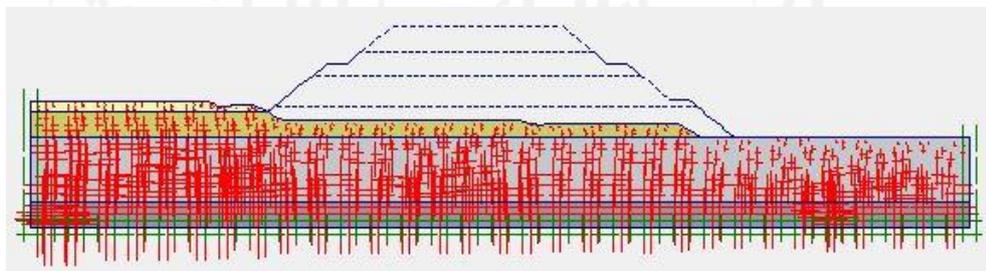


**Gambar 5. 7 Meshing Lereng Timbunan Asli Sudut 39° Masa Konstruksi**

Tahapan selanjutnya adalah pengondisian awal (*initial condition*). Karena posisi muka air tanah berada di kedalaman 3,8 m dari permukaan tanah asli, maka dalam proses tekanan air (*generate water pressures*) garis muka air tanah diletakkan sesuai dengan kondisi di lapangan. Kemudian dilanjutkan dengan konfigurasi geometri awal dan perhitungan *general intial stresses*. Hasil dari *generate water pressures* dan *intial soil stresses* pada lereng timbunan asli sudut 39° masa konstruksi disajikan dalam Gambar 5.8 dan Gambar 5.9 berikut.



**Gambar 5. 8 Generate Water Pressures pada Lereng Timbunan Asli Sudut 39° Masa Konstruksi**

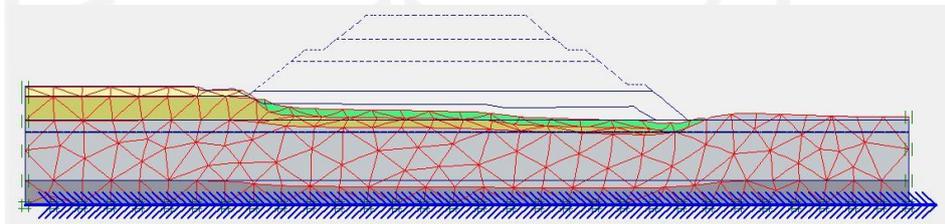


**Gambar 5. 9 Initial Soil Stresses pada Lereng Timbunan Asli Sudut 39° Masa Konstruksi**

Tahapan selanjutnya yaitu tahap analisis perhitungan (*calculation*) lereng timbunan asli sudut  $39^\circ$  masa konstruksi, tahapan analisis dilakukan empat fase sesuai dengan asumsi fase penimbunan.

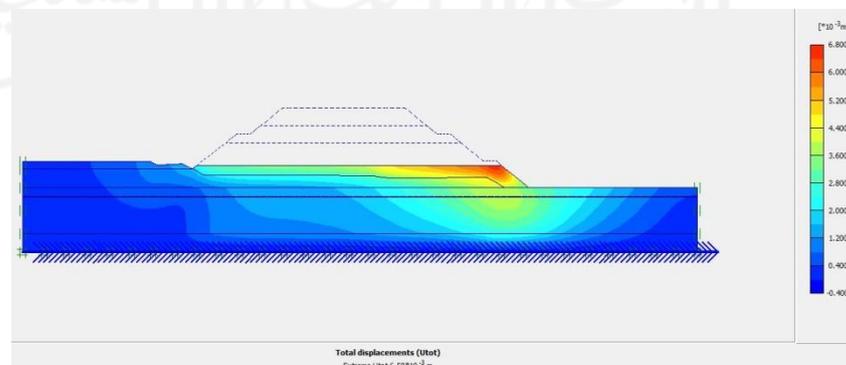
a. Penimbunan fase 1

Penimbunan fase 1 dilakukan hingga tinggi timbunan asli sudut  $39^\circ$  mencapai 2,5 m, berikut merupakan analisis stabilitas penimbunan hingga 2,5 m. Hasil *deformed mesh* pada timbunan asli sudut  $39^\circ$  saat penimbunan 2,5 m disajikan dalam Gambar 5.10 berikut.



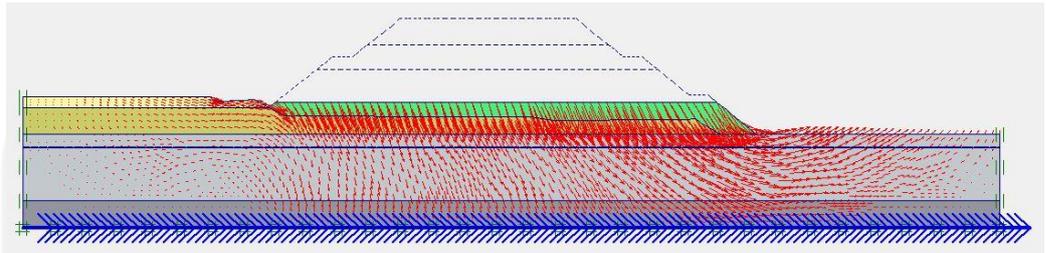
**Gambar 5. 10 Deformed Mesh Penimbunan 2,5 m Lereng Timbunan Asli Sudut  $39^\circ$**

Pada timbunan asli sudut  $39^\circ$  saat penimbunan hingga 2,5 m terjadi *displacement* yang lebih terkonsentrasi pada daerah kanan timbunan. Kondisi *displacement* terbesar terjadi pada bagian kanan timbunan. Besar nilai *total displacement* yang terjadi pada timbunan saat penimbunan hingga 2,5 m adalah sebesar  $6,58 \times 10^{-3}$  m. Gambar *Total displacement* yang terjadi pada timbunan asli sudut  $39^\circ$  saat penimbunan hingga 2,5 m disajikan dalam Gambar 5.11 berikut.



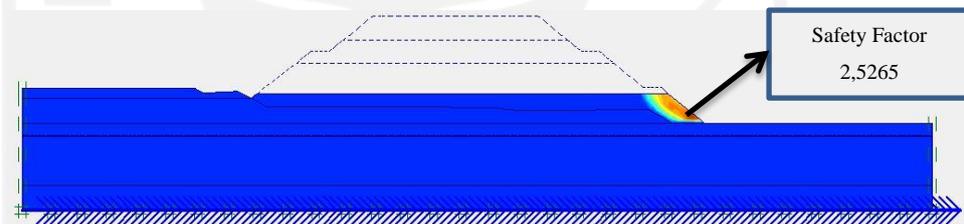
**Gambar 5. 11 Total Displacement Penimbunan 2,5 Lereng Timbunan Asli Sudut  $39^\circ$**

Arah pergerakan tanah akibat beban penimbunan di dominasi oleh arah vertikal ke arah kanan timbunan. Arah pergerakan tanah pada timbunan asli sudut  $39^\circ$  saat penimbunan hingga 2,5 m disajikan dalam Gambar 5.12 berikut.



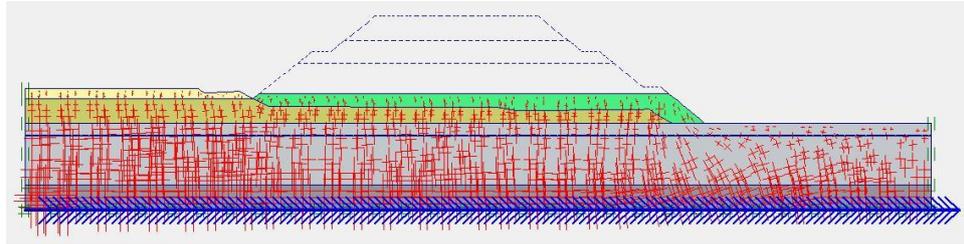
**Gambar 5. 12 Arah Pergerakan Tanah Penimbunan 2,5 m Lereng Timbunan Asli sudut  $39^\circ$**

Untuk bidang potensi kelongsoran pada timbunan asli sudut  $39^\circ$  saat penimbunan hingga 2,5 m disajikan dalam Gambar 5.13 berikut.



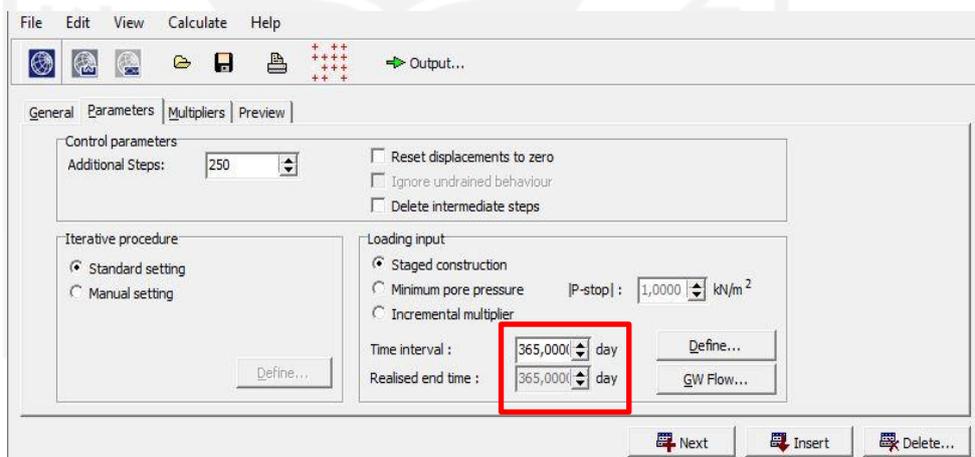
**Gambar 5. 13 Potensi Kelongsoran Penimbunan 2,5 m Lereng Timbunan Asli Sudut  $39^\circ$**

Besar nilai *effective stresses* pada timbunan asli sudut  $39^\circ$  saat penimbunan hingga 2,5 m sebesar  $-121,32 \text{ kN/m}^2$ . Ilustrasi *effective stresses* pada timbunan asli sudut  $39^\circ$  saat penimbunan hingga 2,5 m disajikan dalam Gambar 5.14 berikut.

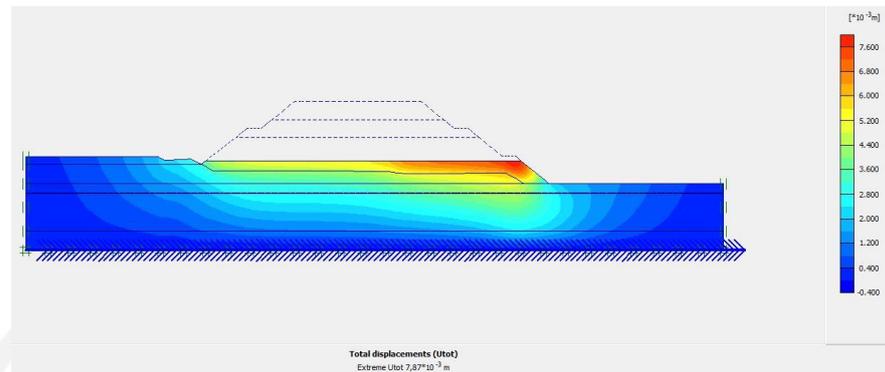


**Gambar 5. 14 Effective Stresses Penimbunan 2,5 m Timbunan Asli Sudut 39°**

Nilai angka aman ( $SF$ ) lereng timbunan asli sudut 39° saat penimbunan hingga 2,5 m yang didapatkan dari hasil analisis adalah sebesar 2,5265. Sehingga kondisi lereng timbunan asli sudut 39° saat penimbunan hingga 2,5 m masih aman dan bisa dilakukan penimbunan fase selanjutnya. Selanjutnya hasil penurunan konsolidasi dengan estimasi waktu 365 hari pada lereng timbunan asli sudut 39° saat penimbunan 2,5 m hari disajikan dalam Gambar 5.15 dan Gambar 5.16.



**Gambar 5. 15 Pengaturan Durasi Konsolidasi Lereng Timbunan Asli Sudut 39° Masa Konstruksi**

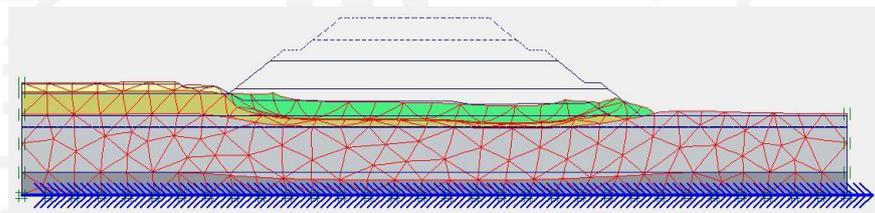


**Gambar 5. 16 Penurunan Konsolidasi Penimbunan 2,5 m Timbunan Asli Sudut 39°**

Penurunan konsolidasi lereng timbunan asli sudut 39° yang akan terjadi saat penimbunan hingga 2,5 m yang didapatkan dari hasil analisis adalah sebesar  $7,87 \times 10^{-3}$  m.

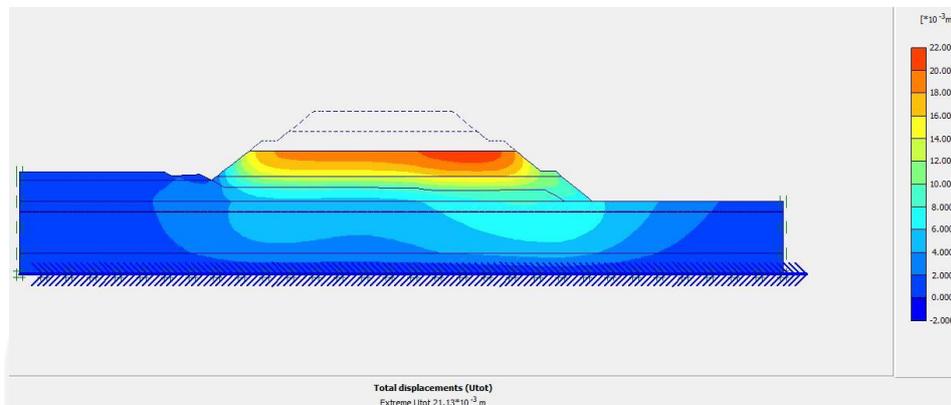
b. Penimbunan fase 2

Penimbunan fase 2 dilakukan hingga tinggi timbunan asli sudut 39° mencapai 5 m, berikut merupakan analisis stabilitas penimbunan hingga 5 m. Hasil *deformed mesh* pada timbunan asli sudut 39° saat penimbunan 5 m disajikan dalam Gambar 5.17 Berikut.



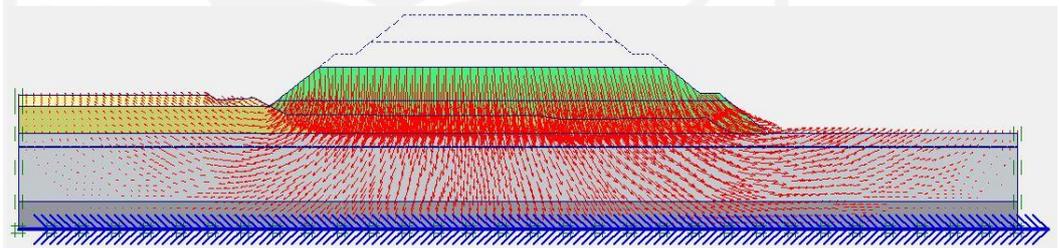
**Gambar 5. 17 Deformed Mesh Penimbunan 5 m Lereng Timbunan Asli Sudut 39°**

Pada timbunan asli sudut 39° saat penimbunan hingga 5 m terjadi *displacement* yang lebih terkonsentrasi pada daerah kanan timbunan. Kondisi *Displacement* dengan nilai terbesar terjadi pada bagian kanan timbunan. Besar nilai *total displacement* yang terjadi pada timbunan asli sudut 39° saat penimbunan 5 m adalah sebesar  $21,13 \times 10^{-3}$  m. *Total displacement* yang terjadi pada timbunan asli saat penimbunan 5 m disajikan dalam Gambar 5.18 berikut.



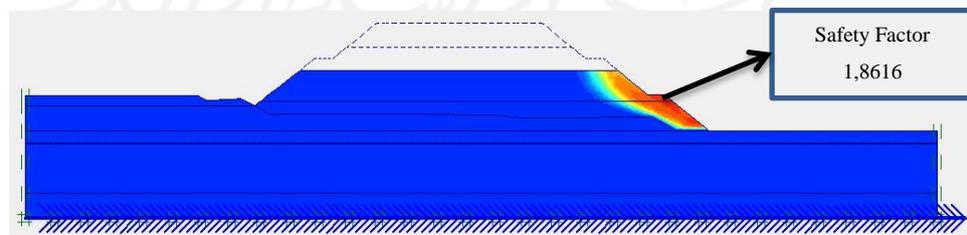
**Gambar 5. 18 Total Displacement Penimbunan 5 Lereng Timbunan Asli Sudut 39°**

Arah pergerakan tanah akibat beban penimbunan di dominasi oleh arah vertikal ke arah tengah timbunan. Arah pergerakan pada timbunan asli sudut 39° saat penimbunan 5 m disajikan dalam Gambar 5.19 berikut.



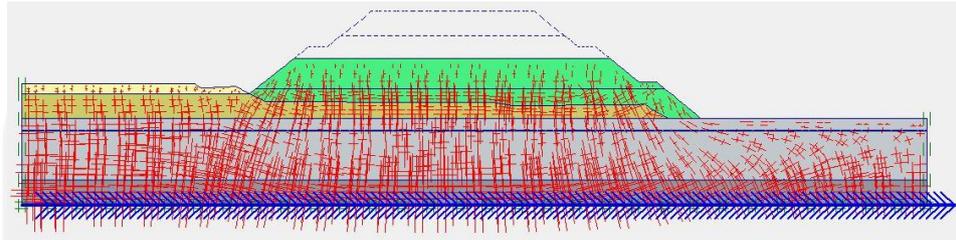
**Gambar 5. 19 Arah Pergerakan Tanah Penimbunan 5 m Lereng Timbunan Asli Sudut 39°**

Untuk daerah potensi kelongsoran pada timbunan asli sudut 39° saat penimbunan hingga 5 m disajikan dalam Gambar 5.20.



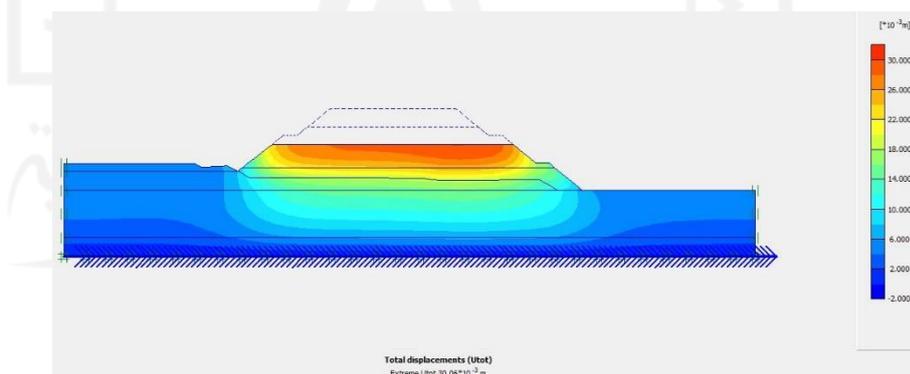
**Gambar 5. 20 Potensi Kelongsoran Penimbunan 5 m Lereng Timbunan Asli Sudut 39°**

Besar nilai *effective stresses* pada timbunan saat penimbunan hingga 5 m sebesar  $-146,43 \text{ kN/m}^2$ . Ilustrasi *effective stresses* pada timbunan asli sudut  $39^\circ$  saat penimbunan hingga 5 m dapat dilihat pada Gambar 5.21 berikut.



**Gambar 5. 21 Effective Stresses Penimbunan 5 m Lereng Timbunan Asli Sudut  $39^\circ$**

Nilai angka aman ( $SF$ ) lereng timbunan asli sudut  $39^\circ$  saat penimbunan hingga 5 m yang didapatkan dari hasil analisis adalah sebesar 1,8616. Sehingga kondisi lereng timbunan asli sudut  $39^\circ$  saat penimbunan hingga 5 m masih aman dan bisa dilakukan penimbunan fase selanjutnya. Selanjutnya hasil penurunan konsolidasi dengan estimasi waktu 365 hari pada lereng timbunan asli sudut  $39^\circ$  saat penimbunan 5 m disajikan dalam Gambar 5.22.

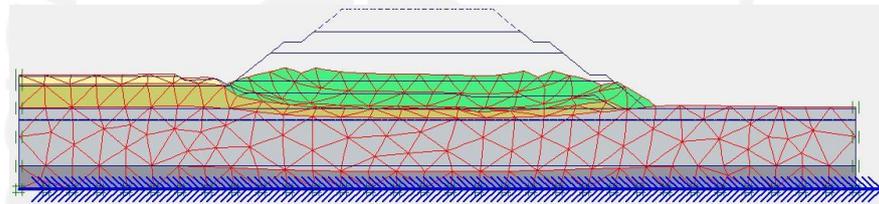


**Gambar 5. 22 Penurunan Konsolidasi Penimbunan 5 m Timbunan Asli Sudut  $39^\circ$**

Penurunan konsolidasi lereng timbunan asli sudut  $39^\circ$  saat penimbunan hingga 5 m yang didapatkan dari hasil analisis adalah sebesar  $25,61 \times 10^{-3}$  m.

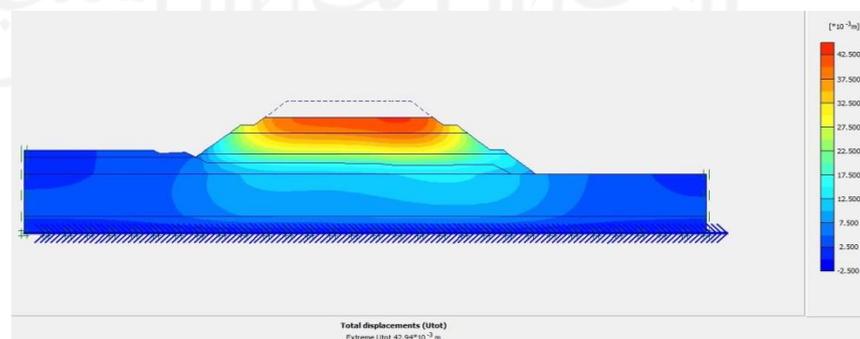
c. Penimbunan fase 3

Penimbunan fase 3 dilakukan hingga tinggi timbunan asli sudut  $39^\circ$  mencapai 7 m, berikut merupakan analisis stabilitas lereng timbunan asli sudut  $39^\circ$  saat penimbunan hingga 7 m. Hasil *deformed mesh* pada timbunan asli sudut  $39^\circ$  saat penimbunan 7 m disajikan dalam Gambar 5.23 berikut.



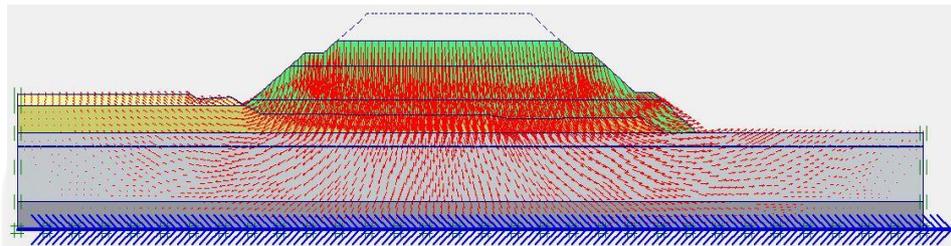
**Gambar 5. 23 Deformed Mesh Penimbunan 7 m Lereng Timbunan Asli Sudut  $39^\circ$**

Pada timbunan asli sudut  $39^\circ$  saat penimbunan hingga 7 m terjadi *displacement* yang lebih terkonsentrasi pada daerah kanan timbunan. Kondisi *displacement* terbesar terjadi pada bagian kanan timbunan. Besar nilai *total displacement* yang terjadi pada timbunan saat penimbunan 7 m adalah sebesar  $40,06 \times 10^{-3}$  m. *Total displacement* yang terjadi pada timbunan asli sudut  $39^\circ$  saat penimbunan 7 m disajikan dalam Gambar 5.24 berikut.



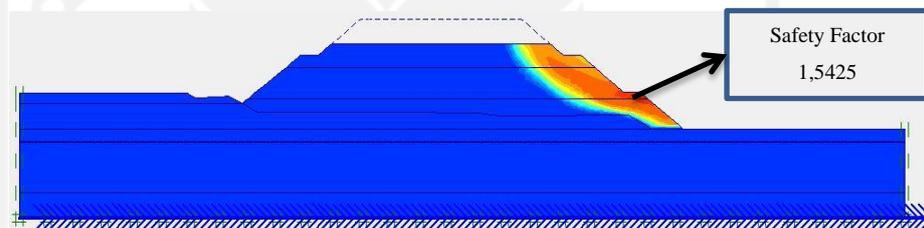
**Gambar 5. 24 Total Displacement Penimbunan 7 m Lereng Timbunan Asli Sudut  $39^\circ$**

Arah pergerakan tanah akibat beban penimbunan di dominasi oleh arah vertikal ke arah tengah timbunan. Arah pergerakan tanah pada timbunan asli sudut  $39^\circ$  saat penimbunan 7 m disajikan dalam Gambar 5.25 berikut.



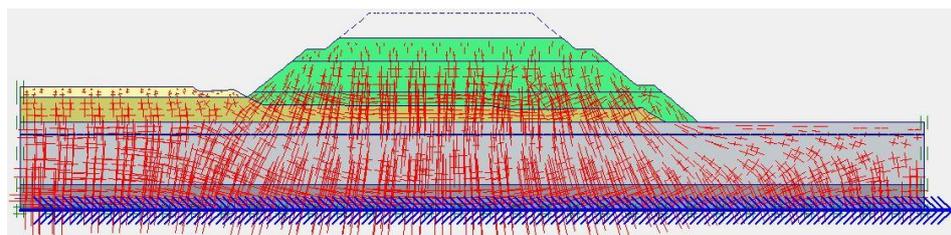
**Gambar 5. 25 Arah Pergerakan Tanah Penimbunan 7 m Lereng Timbunan Asli Sudut  $39^\circ$**

Untuk bidang potensi kelongsoran timbunan asli sudut  $39^\circ$  saat penimbunan hingga 7 m disajikan dalam Gambar 5.26 berikut.



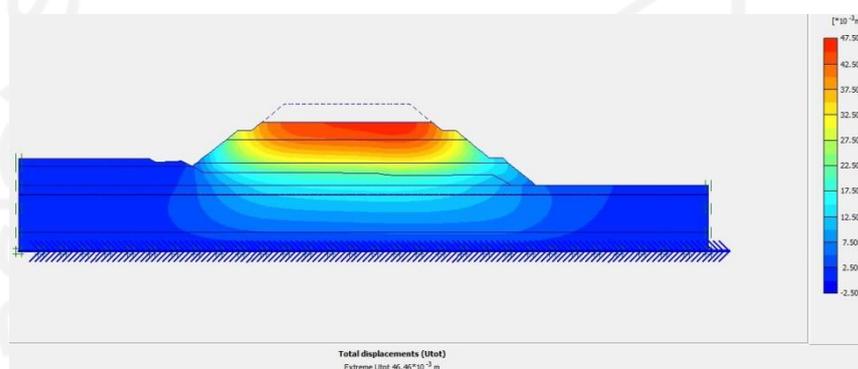
**Gambar 5. 26 Potensi Kelongsoran Penimbunan 7 m Lereng Timbunan Asli Sudut  $39^\circ$**

Besarnya nilai *effective stresses* pada timbunan saat penimbunan hingga 7 m sebesar  $-188,19 \text{ kN/m}^2$ . *Effective stresses* pada timbunan asli sudut  $39^\circ$  saat penimbunan hingga 7 m dapat disajikan dalam Gambar 5.27 berikut.



**Gambar 5. 27 *Effective Stresses* Penimbunan 7 m Lereng Timbunan Asli Sudut  $39^\circ$**

Nilai angka aman ( $SF$ ) lereng timbunan asli sudut  $39^\circ$  saat penimbunan hingga 7 m yang didapatkan dari hasil analisis adalah sebesar 1,5425. Sehingga kondisi lereng timbunan asli sudut  $39^\circ$  saat penimbunan hingga 7 m masih aman dan bisa dilakukan penimbunan fase selanjutnya. Selanjutnya hasil penurunan konsolidasi dengan estimasi waktu 365 hari pada lereng timbunan asli sudut  $39^\circ$  saat penimbunan 7 m disajikan dalam Gambar 5.28 berikut.

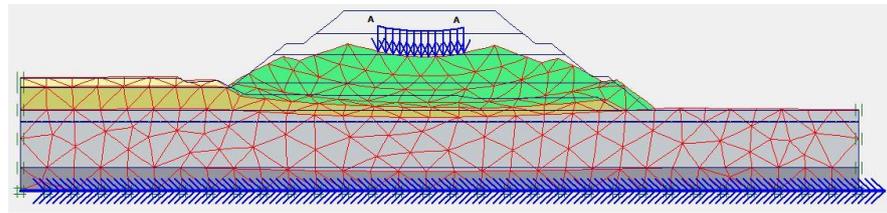


**Gambar 5. 28 Penurunan Konsolidasi Penimbunan 7 m Lereng Timbunan Asli Sudut  $39^\circ$**

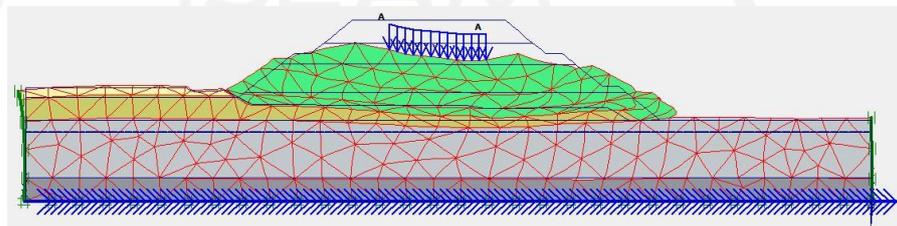
Penurunan konsolidasi lereng timbunan asli sudut  $39^\circ$  saat penimbunan hingga 7 m yang didapatkan dari hasil analisis adalah sebesar  $46,46 \times 10^{-3}$  m.

d. Penimbunan fase 4

Penimbunan fase 4 dilakukan hingga tinggi timbunan asli sudut  $39^\circ$  mencapai 9 m. Pada fase ini proses penimbunan telah selesai dan pekerjaan struktur jalan sudah selesai, maka pada analisis dimasukkan beban struktur jalan sebesar  $10 \text{ kN/m}^2$  dan beban gempa. Berikut merupakan analisis stabilitas lereng timbunan asli sudut  $39^\circ$  saat penimbunan hingga 9 m. Hasil *deformed mesh* timbunan asli saat penimbunan 9 m dengan beban struktur jalan dan beban gempa disajikan dalam Gambar 5.29 dan Gambar 5.30 berikut.

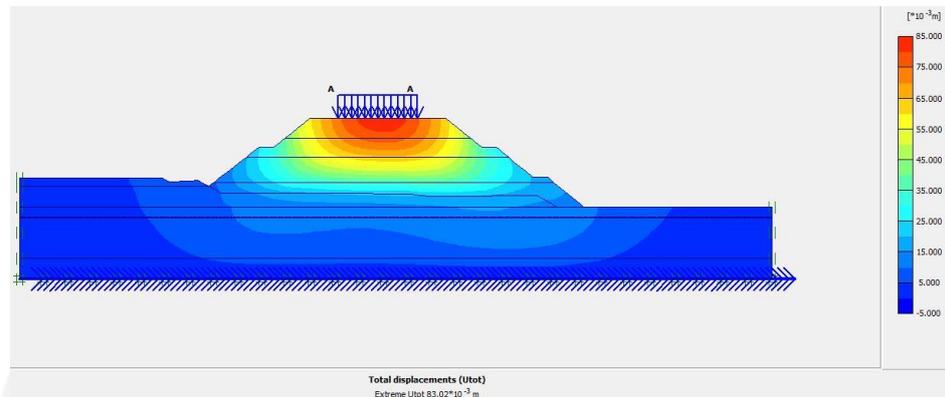


**Gambar 5. 29 Deformed Mesh Penimbunan 9 m Akibat Beban Struktur Jalan Lereng Timbunan Asli Sudut 39°**

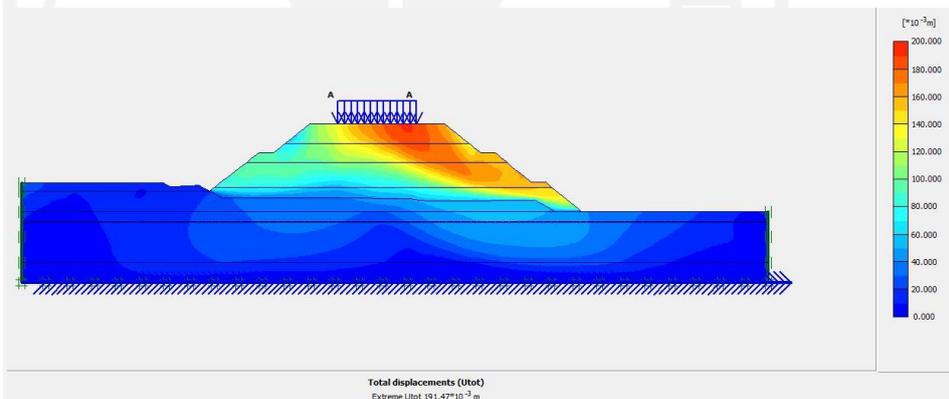


**Gambar 5. 30 Deformed Mesh Penimbunan 9 m Akibat Beban Struktur Jalan & Beban Gempa Lereng Timbunan Asli Sudut 39°**

Pada timbunan asli sudut 39° saat penimbunan hingga 9 m yang diberi beban struktur jalan mengalami *displacement* yang lebih terkonsentrasi pada daerah tengah timbunan, dan setelah diberi beban gempa *displacement* terkonsentrasi pada daerah kanan timbunan. Akibat beban struktur jalan kondisi *displacement* terbesar terjadi pada bagian tengah timbunan sedangkan akibat beban struktur jalan dan beban gempa terjadi pada bagian kanan timbunan. Besar nilai *total displacement* yang dialami timbunan saat penimbunan 9 m akibat beban struktur jalan adalah sebesar  $83,02 \times 10^{-3}$  m sedangkan akibat beban struktur jalan dan beban gempa adalah  $191,47 \times 10^{-3}$ . *Total displacement* akibat beban struktur jalan, serta beban struktur jalan dan beban gempa pada timbunan asli sudut 39° saat penimbunan 9 m disajikan dalam Gambar 5.31 dan Gambar 5.32 berikut.

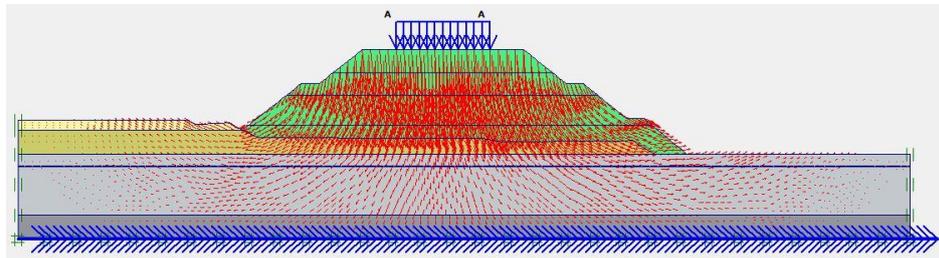


**Gambar 5. 31 *Total Displacement* Penimbunan 9 m Akibat Beban Struktur Jalan Lereng Timbunan Asli Sudut 39°**

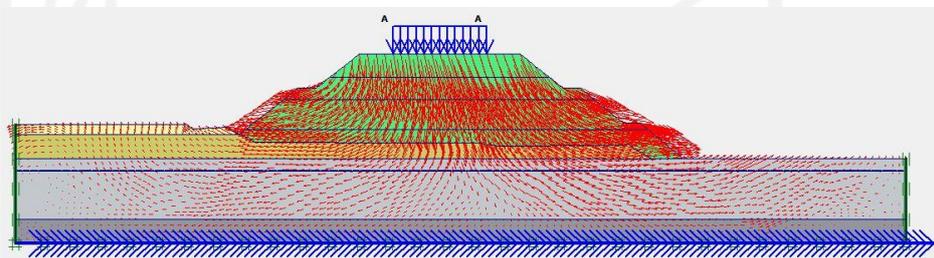


**Gambar 5. 32 *Total Displacement* Penimbunan 9 m Akibat Beban Struktur Jalan & Beban Gempa Lereng Timbunan Asli Sudut 39°**

Arah pergerakan tanah pada timbunan asli sudut 39° saat penimbunan hingga 9 m akibat beban struktur jalan di dominasi oleh arah vertikal ke arah tengah timbunan, sedangkan arah pergerakan tanah akibat beban gempa terjadi pergerakan memutar dikarenakan gaya gempa. Arah pergerakan tanah pada timbunan asli sudut 39° saat penimbunan 9 m disajikan dalam Gambar 5.33 dan 5.34 berikut.

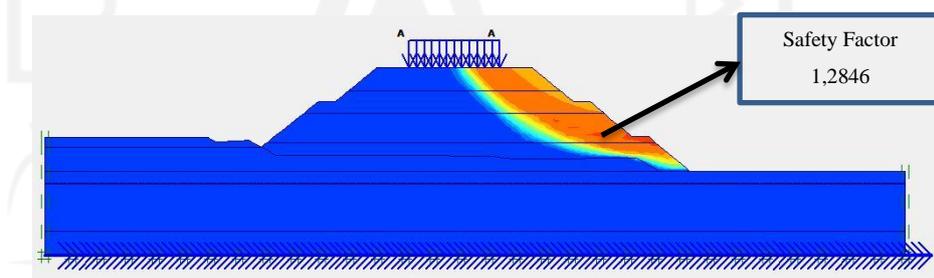


**Gambar 5. 33 Arah Pergerakan Tanah Penimbunan 9 m Beban Struktur Jalan Lereng Timbunan Asli Sudut  $39^\circ$**

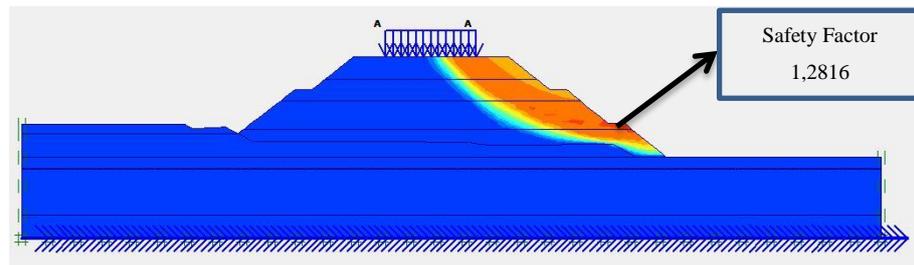


**Gambar 5. 34 Arah Pergerakan Tanah Penimbunan 9 m Beban Struktur & Beban Gempa Lereng Timbunan Asli Sudut  $39^\circ$**

Untuk bidang potensi kelongsoran pada lereng timbunan asli sudut  $39^\circ$  saat penimbunan hingga 9 m akibat beban struktur jalan, sedangkan akibat beban struktur jalan dan beban gempa disajikan dalam Gambar 5.35 dan 5.36.

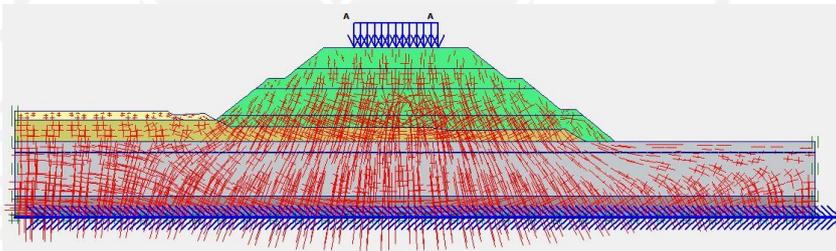


**Gambar 5. 35 Potensi Kelongsoran Penimbunan 9 m Akibat Beban Struktur Jalan Lereng Timbunan Asli Sudut  $39^\circ$**

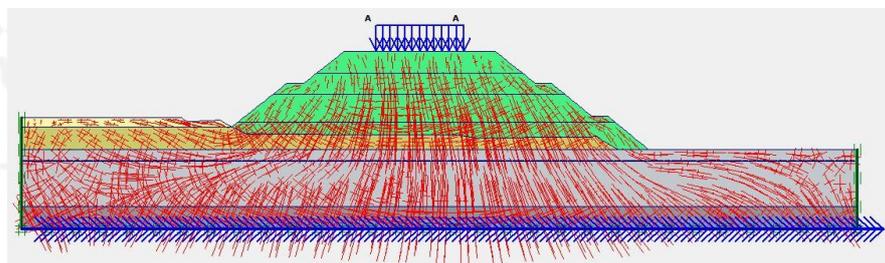


**Gambar 5. 36 Gambar 5. 37 Potensi Kelongsoran Penimbunan 9 m Akibat Beban Struktur Jalan & Beban Gempa Lereng Timbunan Asli Sudut 39°**

Besar nilai *effective stresses* pada timbunan saat penimbunan hingga 9 m akibat beban beban struktur jalan adaalah sebesar  $-224,13 \text{ kN/m}^2$ , sedangkan akibat beban gempa sebesar  $-225,03 \text{ kN/m}^2$ . Ilustrasi *effective stresses* pada timbunan asli sudut  $39^\circ$  saat penimbunan hingga 9 m disajikan pada Gambar 5.38 dan 5.39 berikut.



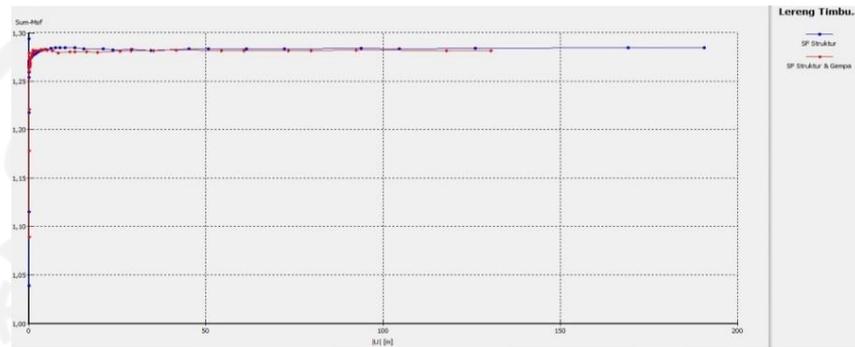
**Gambar 5. 38 Effective Stresses Penimbunan 9 m Akibat Beban Struktur Jalan Lereng Timbunan Asli sudut 39°**



**Gambar 5. 39 Effective Stresses Penimbunan 9 m Akibat Beban Struktur Jalan & Beban Gempa Lereng Timbunan Asli sudut 39°**

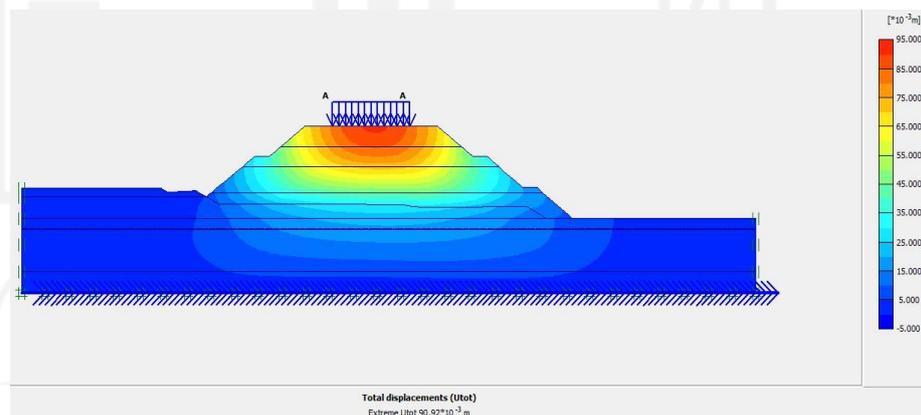
Nilai angka aman ( $SF$ ) akhir saat masa konstruksi didapatkan hasil analisis stabilitas pada lereng timbunan asli sudut  $39^\circ$  akibat beban

struktur jalan adalah sebesar 1,2846. Sedangkan nilai angka aman ( $SF$ ) pada lereng timbunan asli sudut  $39^\circ$  masa konstruksi akibat beban struktur jalan dan beban gempa adalah sebesar 1,2816. Hasil nilai angka aman ( $SF$ ) dapat dilihat pada kurva Gambar 5.40 berikut.



**Gambar 5. 40 Kurva  $SF$  Lereng Timbunan Asli sudut  $39^\circ$  Masa Konstruksi**

Selanjutnya hasil penurunan konsolidasi dengan estimasi waktu 365 hari pada lereng timbunan asli sudut  $39^\circ$  masa konstruksi disajikan dalam Gambar 5.40 dan 5.41 berikut.

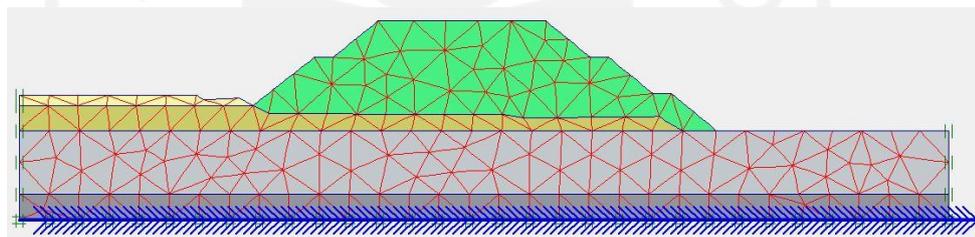


**Gambar 5. 41 Penurunan Konsolidasi Lereng Timbunan Asli Masa Konstruksi Sudut  $39^\circ$**

Penurunan konsolidasi lereng timbunan asli sudut  $39^\circ$  masa konstruksi yang didapatkan dari hasil analisis adalah sebesar  $90,92 \times 10^{-3}$  m.

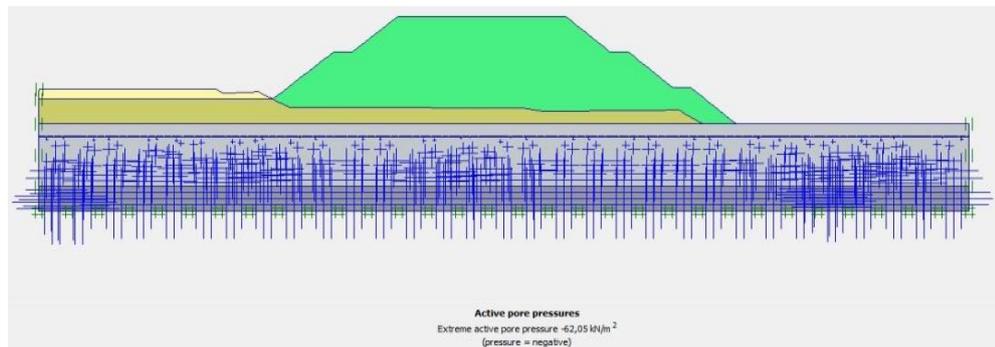
### 3. Kondisi Pasca Kontruksi

Kondisi pasca konstruksi adalah saat timbunan sudah siap digunakan atau difungsikan sebagai ruas jalan. Sifat tanah timbunan pada pasca konstruksi bersifat *undrained* karena air sudah tidak dapat terdrainase lagi akibat adanya struktur jalan di atasnya. Analisis pada kondisi pasca konstruks selain input beban struktur jalan dan beban gempa, beban lalu lintas juga diinput menjadi parameter beban tambahan. Setelah pemodelan geometri lereng timbunan dilakukan, tahapan-tahapan selanjutnya adalah input parameter tanah pada pemodelan lereng timbunan dan dilanjutkan penyusunan jaringan elemen (*meshing*). Hasil dari jaringan elemen hingga (*meshing*) pada lereng timbunan asli sudut  $39^\circ$  pasca konstruksi disajikan dalam Gambar 5.42 berikut.

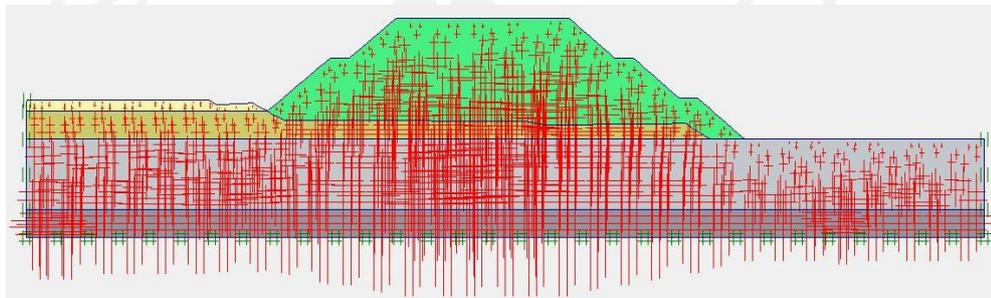


**Gambar 5. 42 Meshing pada Lereng Timbunan Asli Sudut  $39^\circ$  Pasca Konstruksi**

Selanjutnya pengaturan pengondisin awal (*initial condition*), pada pengaturan pengondisian awal dilakukan proses tekanan air (*generate water pressures*). Kemudian dilanjutkan dengan konfigurasi geometri awal dengan perhitungan *general intial stresses*. Hasil dari *generate water pressures* dan *intial soil stresses* pada timbunan asli sudut  $39^\circ$  pasca konstruksi disajikan dalam Gambar 5.43 dan Gambar 5.44 berikut.

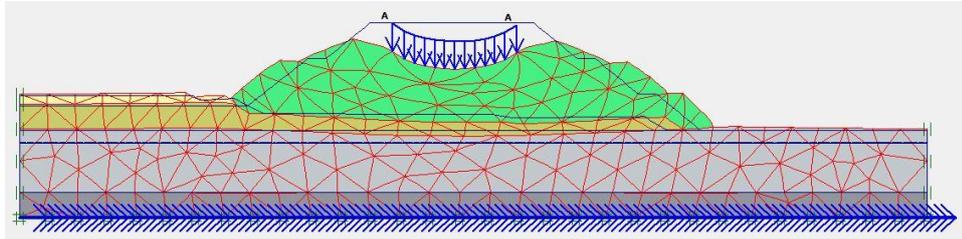


**Gambar 5. 43 Generate Water Pressures pada Lereng Timbunan Asli Sudut 39° Pasca Konstruksi**

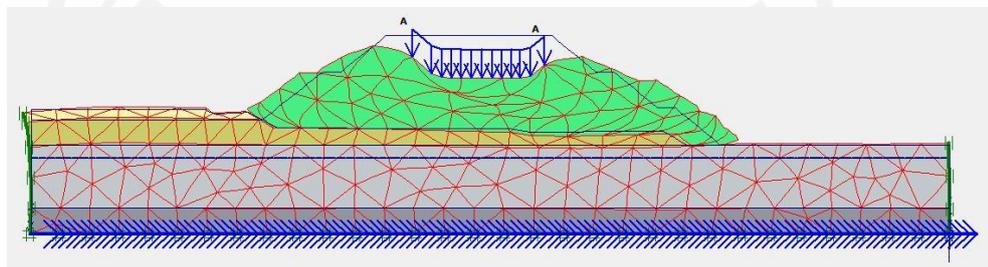


**Gambar 5. 44 Intial Soil Stresses pada Lereng Timbunan Asli Sudut 39° Pasca Konstruksi**

Pada tahap selanjutnya masuk ke tahap analisis perhitungan (*calculation*) lereng timbunan asli sudut 39°. Tahapan analisis meliputi analisis berat timbunan, analisis akibat beban struktur jalan, analisis akibat beban struktur perkerasan jalan dan beban gempa, kemudian analisis angka aman (*SF*) dan penurunan konsolidasi yang terjadi pada lereng timbunan asli sudut 39° pasca konstruksi. Untuk hasil *deformed mesh* disajikan dalam Gambar 5.45 dan Gambar 5.46 berikut.

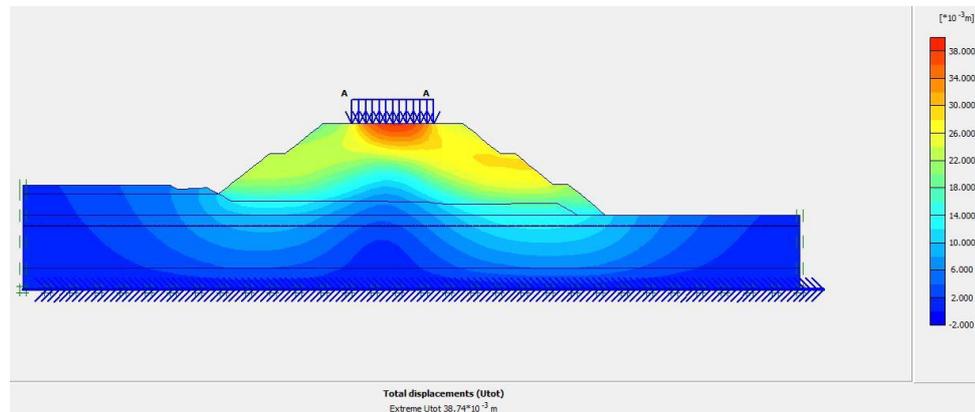


**Gambar 5. 45** *Deformed Mesh* Lereng Timbunan Asli Sudut 39° Akibat Beban Struktur Jalan Pasca Konstruksi

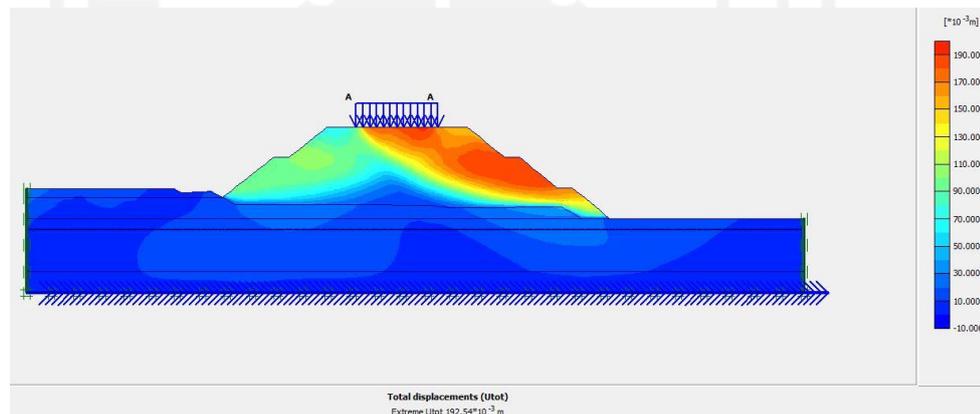


**Gambar 5. 46** *Deformed Mesh* Lereng Timbunan Asli Sudut 39° Akibat Beban Struktur Jalan & Beban Gempa Pasca Konstruksi

Timbunan asli sudut 39° pasca konstruksi yang diberi beban struktur jalan mengalami *displacement* yang lebih terkonsentrasi pada bagian tengah timbunan, dan setelah diberi beban gempa *displacement* terkonsentrasi pada daerah kanan timbunan. Akibat beban struktur jalan kondisi *displacement* terbesar terjadi pada bagian tengah timbunan sedangkan akibat beban struktur jalan dan beban gempa terjadi pada bagian kanan timbunan. Besarnya nilai total *displacement* yang dialami timbunan akibat beban struktur jalan sebesar  $38,74 \times 10^{-3}$  m, sedangkan akibat beban struktur jalan dan beban gempa sebesar  $192,54 \times 10^{-3}$  m. *Total displacement* akibat beban struktur jalan, serta beban struktur jalan dan beban gempa pada timbunan asli sudut 39° pasca konstruksi disajikan dalam Gambar 5.47 dan Gambar 5.48 berikut.

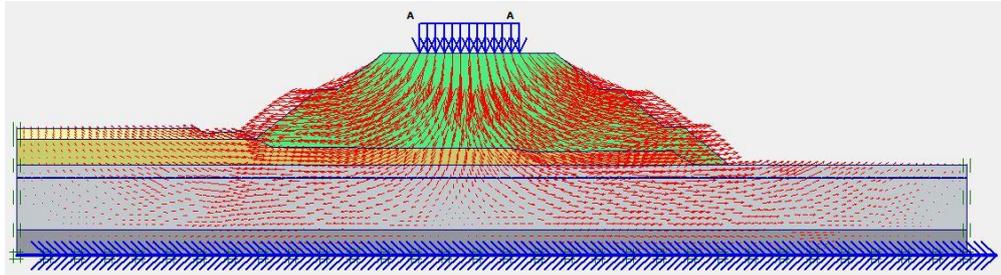


**Gambar 5. 47 Total Displacement Lereng Timbunan Asli Sudut 39° Akibat Beban Struktur Jalan Pasca Konstruksi**

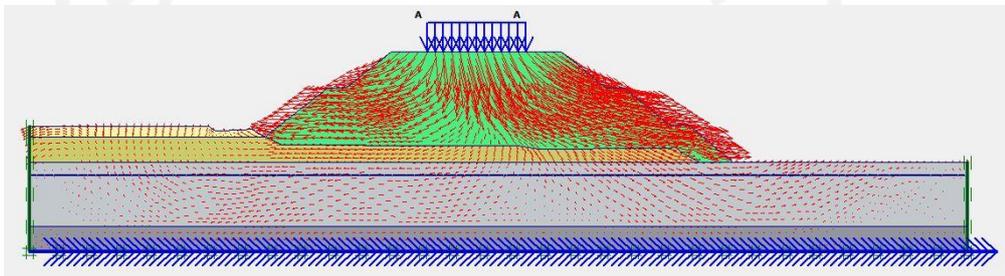


**Gambar 5. 48 Total Displacement Lereng Timbunan Asli Sudut 39° Akibat Beban Struktur Jalan & Beban Gempa Pasca Konstruksi**

Arah pergerakan tanah pada timbunan asli sudut 39° pasca konstruksi akibat beban struktur jalan didominasi oleh pergerakan arah vertikal, sedangkan pergerakan tanah akibat beban struktur jalan dan beban gempa pergerakannya menjadi memutar yang disebabkan adanya gaya gempa. Arah pergerakan tanah pada timbunan asli pasca konstruksi disajikan dalam Gambar 5.49 dan Gambar 5.50 berikut.

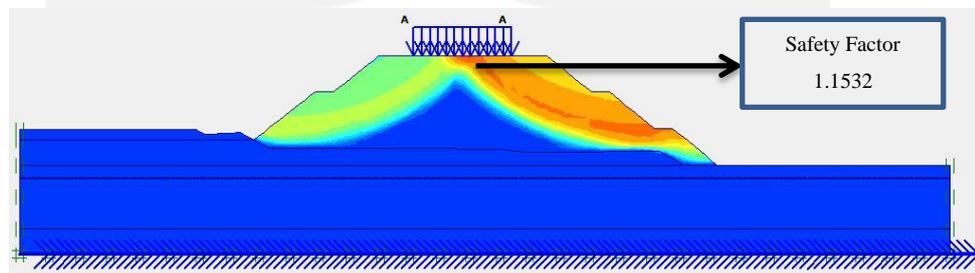


**Gambar 5. 49 Arah Pergerakan Tanah Lereng Timbunan Asli Sudut  $39^\circ$  Akibat Beban Struktur Jalan Pasca Konstruksi**

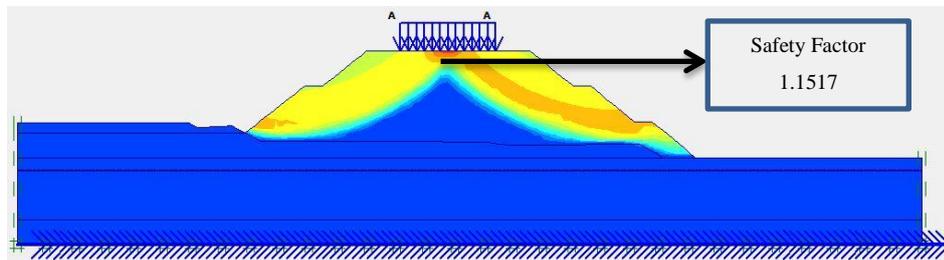


**Gambar 5. 50 Arah Pergerakan Tanah Lereng Timbunan Asli Sudut  $39^\circ$  Akibat Beban Struktur Jalan & Beban Gempa Pasca Konstruksi**

Untuk bidang potensi kelongsoran pada timbunan asli sudut  $39^\circ$  pasca konstruksi akibat beban struktur jalan, serta bidang potensi kelongsoran pada timbunan asli pasca konstruksi akibat beban struktur jalan dan beban dengan gempa disajikan dalam Gambar 5.51 dan Gambar 5.52 berikut.

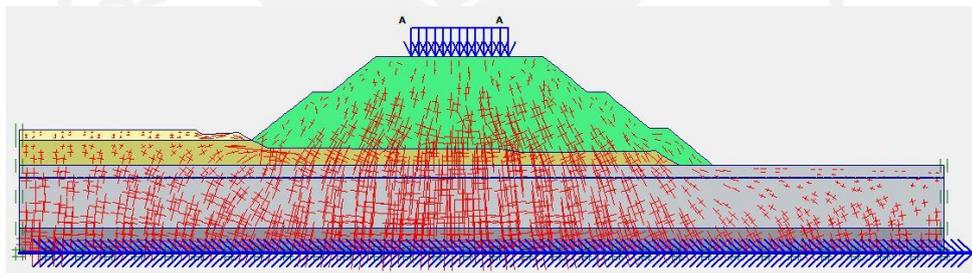


**Gambar 5. 51 Potensi Kelongsoran Lereng Timbunan Asli Sudut  $39^\circ$  Akibat Beban Struktur Jalan Pasca Konstruksi**

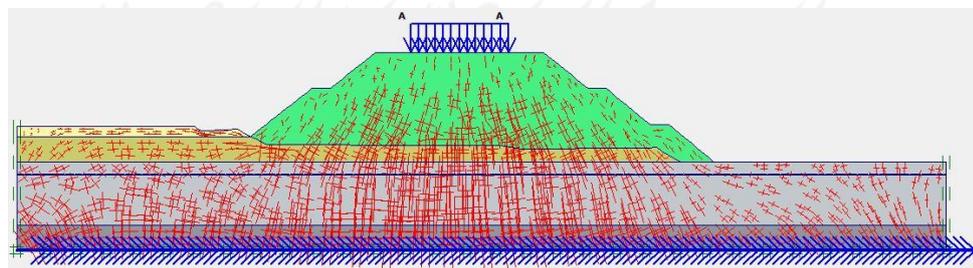


**Gambar 5. 52 Potensi Kelongsoran Lereng Timbunan Asli Sudut 39° Akibat Beban Struktur Jalan & Beban Gempa Pasca Konstruksi**

Besar nilai *effective stresses* pada lereng timbunan asli sudut 39° pasca konstruksi akibat beban struktur sebesar  $-312,49 \text{ kN/m}^2$ , sedangkan akibat beban struktur jalan dan gempa sebesar  $-314,36 \text{ kN/m}^2$ . Hasil *effective stresses* timbunan asli pasca sudut 39° konstruksi disajikan dalam Gambar 5.53 dan Gambar 5.54 berikut.

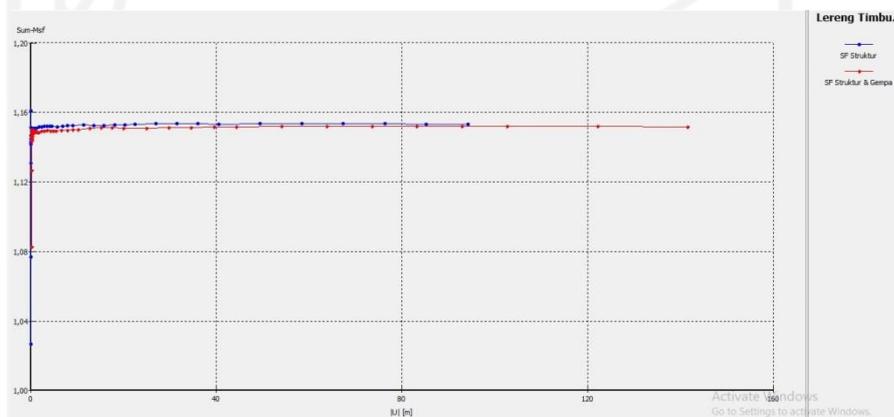


**Gambar 5. 53 Effective Stresses Lereng Timbunan Asli Sudut 39° Akibat Beban Struktur Jalan Pasca Konstruksi**



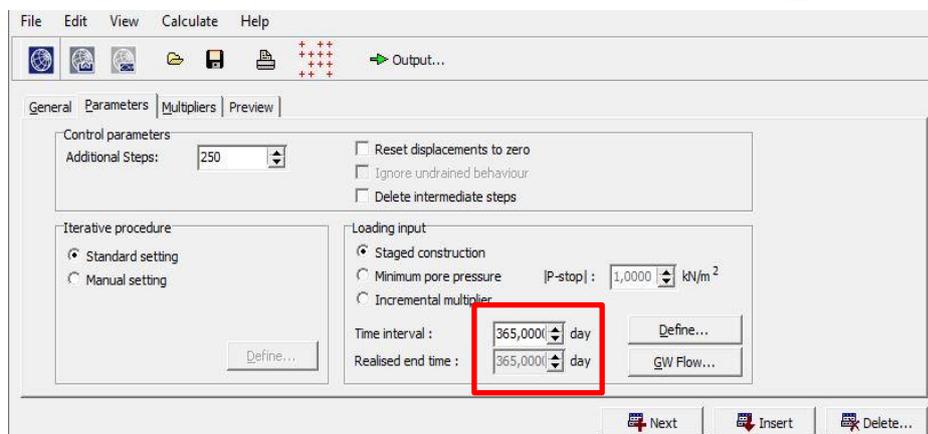
**Gambar 5. 54 Effective Stresses Lereng Timbunan Asli Sudut 39° Akibat Beban Struktur Jalan & Beban Gempa Pasca Konstruksi**

Setelah dilakukan beberapa tahapan-tahapan analisis maka didapatkan nilai angka aman ( $SF$ ). Nilai angka aman ( $SF$ ) untuk lereng timbunan asli sudut  $39^\circ$  pasca konstruksi yang didapatkan dari hasil analisis akibat beban struktur jalan adalah sebesar 1,1576. Sedangkan nilai angka aman ( $SF$ ) lereng timbunan asli sudut  $39^\circ$  pasca konstruksi akibat beban struktur jalan dan beban gempa adalah sebesar 1,1552. Hasil nilai angka ( $SF$ ) aman dapat dilihat pada kurva Gambar 5.55 dibawah ini.

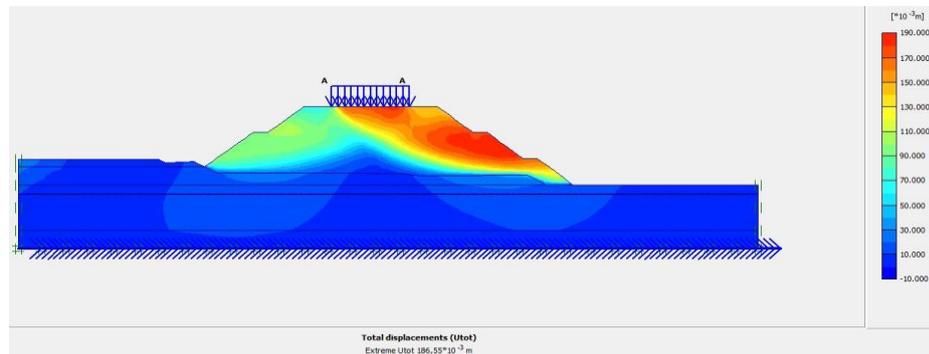


**Gambar 5. 55 Kurva  $SF$  Lereng Timbunan Asli Sudut  $39^\circ$  Pasca Konstruksi**

Selanjutnya hasil penurunan konsolidasi dengan estimasi waktu 365 hari pada lereng timbunan asli sudut  $39^\circ$  pasca konstruksi disajikan dalam Gambar 5.55 dan Gambar 5.56.



**Gambar 5. 56 Pengaturan Durasi Konsolidasi Lereng Timbunan Asli Sudut  $39^\circ$  Pasca Konstruksi**



**Gambar 5. 57 Penurunan Konsolidasi Lereng Timbunan Asli Pasca Sudut 39° Konstruksi**

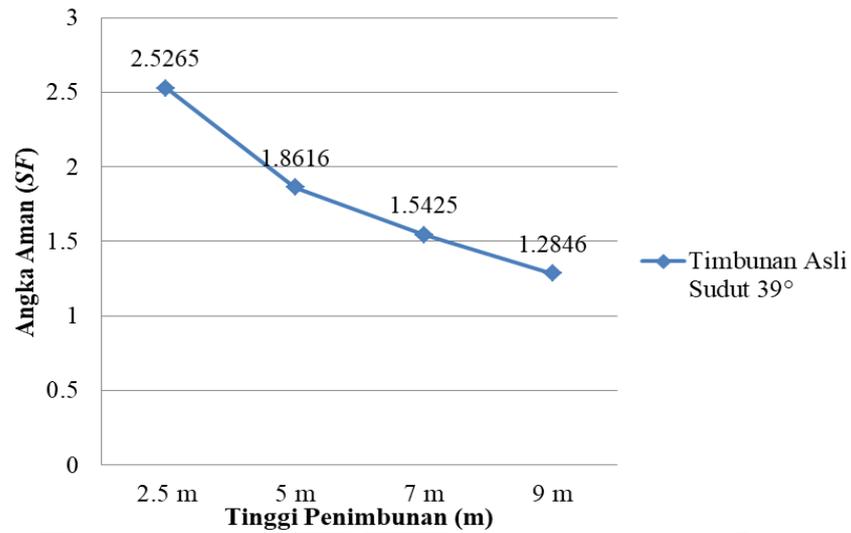
Penurunan konsolidasi lereng timbunan asli sudut 39° pasca konstruksi yang didapatkan dari hasil analisis adalah sebesar  $186,55 \times 10^{-3}$  m.

4. Rekapitulasi Nilai Angka Aman ( $SF$ ) dan Penurunan Konsolidasi  
Kemudian dari hasil analisis dilakukan rekapitulasi nilai angka aman ( $SF$ ) dan konsolidasi ada lereng timbunan asli sudut 39°. Rekapitulasi analisis perhitungan angka aman ( $SF$ ) dan konsolidasi pada lereng timbunan asli sudut 39° untuk masa konstruksi disajikan pada Tabel 5.5 berikut.

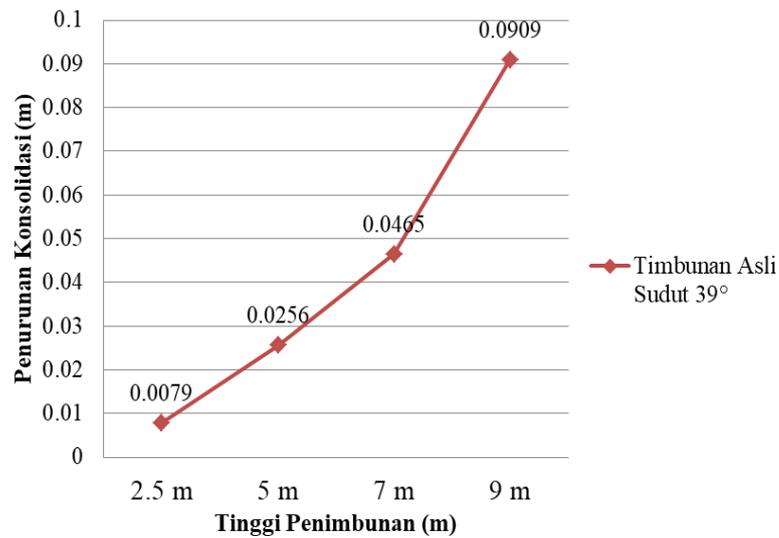
**Tabel 5. 5 Rekapitulasi Hasil Angka Aman ( $SF$ ) dan Penurunan Konsolidasi Lereng Timbunan Asli Sudut 39° Masa Konstruksi**

| Keterangan       | Angka Aman ( $SF$ ) | Penurunan Konsolidasi (m) |
|------------------|---------------------|---------------------------|
| Penimbunan 2,5 m | 2,5265              | 0,0079                    |
| Penimbunan 5 m   | 1,8616              | 0,0256                    |
| Penimbunan 7 m   | 1,5425              | 0,0465                    |
| Penimbunan 9 m   | 1,2846              | 0,0909                    |

Berdasarkan Tabel 5.5 angka aman ( $SF$ ) lereng timbunan asli sudut 39° masa konstruksi pada fase penimbunan 2,5 m; 5 m; 7 m memiliki nilai angka aman ( $SF$ ) yang aman. Namun pada fase penimbunan hingga 9 m belum memenuhi syarat batas aman yang ditentukan sebesar 1,3. Grafik rekapitulasi hasil angka aman ( $SF$ ) dan penurunan konsolidasi dengan estimasi waktu 365 hari pada lereng timbunan sudut 39° masa konstruksi dapat dilihat pada Gambar 5.58 dan Gambar 5.59.



**Gambar 5. 58 Grafik Angka Aman ( $SF$ ) Lereng Timbunan Asli Sudut  $39^\circ$  Masa Konstruksi**



**Gambar 5. 59 Grafik Penurunan Konsolidasi Lereng Timbunan Asli Sudut  $39^\circ$  Masa Konstruksi**

Untuk perbandingan angka aman ( $SF$ ) lereng timbunan asli sudut  $39^\circ$  masa konstruksi dan pasca konstruksi disajikan pada Tabel 5.6 berikut.

**Tabel 5. 6 Perbandingan Nilai Angka Aman ( $SF$ ) Masa Konstruksi dan Pasca Konstruksi Lereng Timbunan Asli Sudut  $39^\circ$**

| Keterangan                     | Angka Aman ( $SF$ ) |               |                  |               |
|--------------------------------|---------------------|---------------|------------------|---------------|
|                                | Masa Konstruksi     |               | Pasca Konstruksi |               |
|                                | Beban Struktur      | Beban & Gempa | Beban Struktur   | Beban & Gempa |
| Timbunan Asli Sudut $39^\circ$ | 1,2846              | 1,2816        | 1,1532           | 1,1517        |

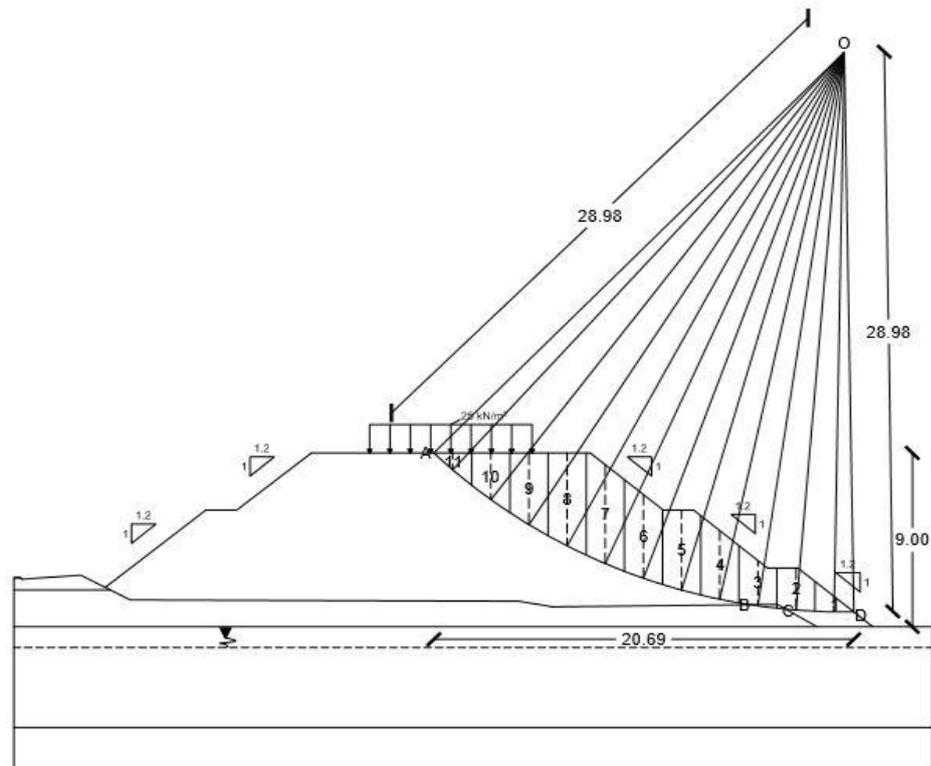
Berdasarkan Tabel 5.6 lereng timbunan asli sudut  $39^\circ$  pasca konstruksi memiliki nilai angka aman ( $SF$ ) yang kurang dari yang syarat yang ditentukan sebesar 1,3. Maka perlu dilakukan analisis kembali dengan solusi untuk memperlandai kemiringan lereng timbunan asli sudut  $39^\circ$ . Untuk hasil penurunan konsolidasi pada lereng timbunan asli sudut  $39^\circ$  pasca konstruksi disajikan pada Tabel 5.7 sebagai berikut.

**Tabel 5. 7 Penurunan Konsolidasi Pada Lereng Timbunan Asli Sudut  $39^\circ$  Pasca Konstruksi**

| Konsolidasi                    |           |        |
|--------------------------------|-----------|--------|
| Timbunan                       | Penurunan | Satuan |
| Timbunan Asli Sudut $39^\circ$ | 0,1865    | m      |

### 5.2.2 Perhitungan Dengan Metode Fellenius Lereng Timbunan Asli Sudut $39^\circ$

Pada penelitian ini dilakukan analisis stabilitas perhitungan manual dengan metode irisan (Fellenius), hal ini dilakukan untuk membandingkan dan mengkonfirmasi nilai angka aman ( $SF$ ) pada lereng asli sudut  $39^\circ$ . Untuk bidang potensi kelongsoran diambil dari program Plaxis 8.6 sesuai dengan Gambar 5.46. Dari gambar tersebut dapat dilihat bahwa garis potensi kelongsoran pada lereng timbunan asli sudut  $39^\circ$  terbentuk hingga kaki lereng dengan R (jari-jari) 28.98 m, sesuai dengan metode Fellenius dalam perhitungan akan dibagi menjadi 11 pias. Pembagian tiap pias pada lereng timbunan asli sudut  $39^\circ$  disajikan dalam Gambar 5.60 berikut.



**Gambar 5. 60 Pembagian Tiap Pias Lereng Timbunan Asli Sudut  $39^\circ$**

Sesuai dengan Gambar 5.60 bidang longsor pada analisis perhitungan ini akan dibagi menjadi 11 pias. Panjang total dari bidang longsor arah horizontal adalah 20.69 m, maka di setiap piasnya akan mempunyai panjang horizontal  $20.69/11 = 1,88$  m. Berikut merupakan langkah-langkah perhitungan stabilitas lereng menggunakan metode Fellenius.

1. Mengukur panjang bidang longsor yang terjadi pada setiap pias ( $L$ ). Rekapitulasi bidang longsor untuk setiap pias dapat dilihat pada Tabel 5.8.
2. Perhitungan berat setiap irisan

$$W_i = \gamma \times A_i$$

Untuk irisan yang terdapat beban di atasnya, maka berat dari irisan dapat diperhitungkan dengan rumus berikut.

$$W_i = (\gamma \times A_i) + (q \times L)$$

Dimana nilai  $q$  yang digunakan adalah beban struktur jalan dan beban lalu lintas ( $\text{kN/m}^2$ ), nilai  $L$  merupakan lebar irisan yang terkena beban (m).

Contoh perhitungan mencari berat irisan tanah dari irisan 1 dan irisan 11 untuk lereng timbunan asli. Untuk hasil perhitungan berat irisan 1 sampai 11 dapat dilihat pada Tabel 5.8.

$$W_1 = \gamma \times A_1 = (14,2 \times 1,4923) = 21,187433 \text{ kN}$$

$$W_{11} = (\gamma \times A_1) + (q \times L) = (14,2 \times 1,6255) + (25 \times 1,88)$$

$$= 70,0821 \text{ kN}$$

3. Mengukur besar sudut ( $\alpha$ ) dan radian setiap pias irisan pada bidang longsor. Rekapitulasi besar sudut pada bidang longsor untuk setiap pias irisan dapat dilihat pada Tabel 5.8.

$$Rad_1 = \alpha \times \frac{\pi}{180}$$

$$= 1 \times \frac{\pi}{180}$$

$$= 0,017453$$

$$Rad_{11} = \alpha \times \frac{\pi}{180}$$

$$= 42 \times \frac{\pi}{180}$$

$$= 0,733038$$

4. Menghitung nilai  $W \sin \alpha$  untuk setiap pias.

$$Pias 1 = W \times \sin \alpha$$

$$= 21,19066 \times \sin(1)$$

$$= 0,369828 \text{ kN/m}$$

$$Pias 11 = W \times \sin \alpha$$

$$= 70,0821 \times \sin(42)$$

$$= 46,894078 \text{ kN/m}$$

Rekapitulasi hasil perhitungan  $W \sin \alpha$  untuk setiap pias dapat dilihat pada Tabel 5.8.

5. Menghitung nilai  $W \cos \alpha$  untuk setiap pias.

$$Pias 1 = W \times \cos \alpha$$

$$= 21,190660 \times \cos(1)$$

$$= 21,187433 \text{ kN/m}$$

$$\text{Pias 11} = W \times \cos \alpha$$

$$= 70,0821 \times \cos(42)$$

$$= 52,08115 \text{ kN/m}$$

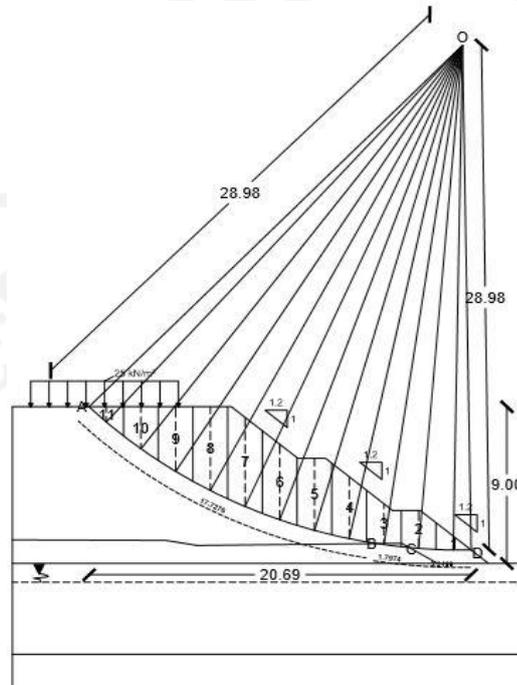
Rekapitulasi hasil perhitungan  $W \cos \alpha$  untuk setiap pias irisan dapat dilihat pada Tabel 5.8.

Berdasarkan hasil pengukuran dari potensi kelongsoran pada lereng timbunan asli sudut  $39^\circ$  didapatkan panjang garis lengkung pada lereng timbunan (A-B) sebesar 17,7276 m, panjang garis lengkung (B-C) sebesar 1,7974 m, dan panjang garis lengkung (C-D) sebesar 3,3499 m. Setelah panjang garis lengkung diketahui, maka dilanjutkan dengan menghitung nilai tahanan kelongsoran yang dikerahkan oleh komponen kohesi adalah sebagai berikut.

$$\sum ciai = (10,6 \times 17,7276) + (16,6 \times 1,7974) + (10,6 \times 3,3499)$$

$$= 253,25834 \text{ kN}$$

Gambar batas garis lengkung A-B, B-C, dan C-D dapat disajikan dalam gambar 5.61.



**Gambar 5. 61 Batas Garis Lengkung Lereng Timbunan Asli Sudut  $39^\circ$**

Nilai tahanan longsoran oleh komponen gesekan pada lereng timbunan adalah sebagai berikut.

$$\begin{aligned} W_i \cos \theta - U_i x \tan \varphi &= ((931,203186 \times \tan(13,6)) + (117,221842 \times \\ &\quad \tan(25,5)) \\ &= 281,19371 \text{ kN} \end{aligned}$$

Pada lereng timbunan dilakukan pembebanan dengan beban merata yang dihasilkan dari beban struktur jalan sebesar 10 kN/m<sup>2</sup> dan beban lalu lintas sebesar 15 kN/m<sup>2</sup>, maka total beban merata yang digunakan sebesar 25 kN/m<sup>2</sup>. Momen yang dihasilkan dari beban merata tersebut diperhitungkan sebagai gaya yang menggerakkan tanah. Perhitungan gaya tersebut adalah sebagai berikut.

$$\begin{aligned} Wq &= (q \times A) \\ &= (25 \times 4 \times 1) \\ &= 100 \text{ kN} \end{aligned}$$

Rekapitulasi perhitungan manual tanpa mempertimbangkan beban gempa dengan metode Fellenius disajikan dalam Tabel 5.8 di bawah ini.

Tabel 5. 8 Rekapitulasi Perhitungan Manual Menggunakan Metode Fellenius

| No Irisan    | Lapisan Tanah | A (m <sup>2</sup> ) | Berat Wi (kN/m) | $\theta$ (°) | Radian   | Wi.cos $\theta_i$ (kN/m) | Wi.sin $\theta_i$ (kN/m) | Wi cos $\theta$ -<br>Ui= ui. ai (kN/m) |
|--------------|---------------|---------------------|-----------------|--------------|----------|--------------------------|--------------------------|--|
| 1            | 1             | 1,492300            | 21,190660       | 1            | 0,017453 | 21,187433                | 0,369828                 | 21,187433                              |
| 2            | 1             | 3,738600            | 53,088120       | 5            | 0,087266 | 53,668774                | 4,695409                 | 53,668774                              |
|              | 3             | 0,048200            | 0,078566        |              |          |                          |                          |  |
| 3            | 1             | 4,357700            | 61,879340       | 8            | 0,139626 | 63,553068                | 8,931801                 | 63,553068                              |
|              | 3             | 0,141000            | 2,298300        |              |          |                          |                          |  |
| 4            | 1             | 6,677100            | 94,814820       | 12           | 0,209440 | 92,742889                | 19,713110                | 92,742889                              |
| 5            | 1             | 7,728900            | 109,750380      | 16           | 0,279253 | 105,498836               | 30,251305                | 105,498836                             |
| 6            | 1             | 8,137300            | 115,549660      | 20           | 0,349066 | 108,581163               | 39,520311                | 108,581163                             |
| 7            | 1             | 9,606000            | 136,405200      | 24           | 0,418879 | 124,612351               | 55,480993                | 124,612351                             |
| 8            | 1             | 9,038100            | 128,341020      | 28           | 0,488692 | 113,318395               | 60,252459                | 113,318395                             |
| 9            | 1             | 6,974000            | 126,280800      | 32           | 0,558505 | 107,092192               | 66,918629                | 107,092192                             |
| 10           | 1             | 4,526300            | 111,273460      | 37           | 0,645772 | 88,866936                | 66,966040                | 88,866936                              |
| 11           | 1             | 23,082100           | 70,082100       | 42           | 0,733038 | 52,081150                | 46,894078                | 52,081150                              |
| <b>Total</b> |               |                     |                 |              |          | 931,203186               | 399,993963               |  |

#### 6. Perhitungan nilai angka aman ( $SF$ ) lereng timbunan asli sudut $39^\circ$

Nilai angka keamanan ( $SF$ ) pada lereng timbunan asli sudut  $39^\circ$  dengan perhitungan manual menggunakan metode Fellenius adalah sebagai berikut.

$$\begin{aligned} SF &= \frac{(\sum cial) + ((Wi \cos \theta - Ui) \times \tan \varphi)}{(Wi \sin \alpha) + (Beban \times Luas)} \\ &= \frac{(253,25834 + 281,19371)}{(399,993963 + 100)} \\ &= 1,0689 \end{aligned}$$

Berdasarkan analisis stabilitas dengan perhitungan manual metode Fellenius nilai angka aman ( $SF$ ) pada lereng timbunan asli sudut  $39^\circ$  dengan tidak memperhitungkan pengaruh beban gempa adalah sebesar 1,0689. Selesih dari hasil perhitungan manual metode Fellenius dengan analisis lereng timbunan asli sudut  $39^\circ$  pasca konstruksi tanpa beban gempa dengan menggunakan *software* Plaxis 8.6 tidak signifikan. Karena nilai angka aman ( $SF$ ) analisis lereng timbunan asli sudut  $39^\circ$  tanpa beban gempa dengan menggunakan program Plaxis 8.6 adalah sebesar 1,1532.

#### 5.2.3 Perhitungan Manual Penurunan Konsolidasi Pada Lereng Timbunan Asli Sudut $39^\circ$

Analisis perhitungan manual penurunan konsolidasi yang digunakan adalah metode Tarzaghi untuk tanah *normally consolidated*, analisis ini dilakukan untuk membandingkan dan mengkonfirmasi penurunan konsolidasi pada lereng timbunan asli sudut  $39^\circ$ . Data yang digunakan adalah data parameter tanah dan asumsi sesuai dengan teori yang ada. Berikut merupakan langkah-langkah perhitungan penurunan konsolidasi metode Tarzaghi:

1. Menentukan angka pori tanah ( $e_o$ )

Untuk menentukan angka pori ( $e_o$ ) tanah dilakukan asumsi yang berdasarkan pada Tabel 5.9 berikut.

**Tabel 5. 9 Angka Pori ( $e_o$ ) Berdasarkan Jenis Tanah**

| <b>Type Tanah</b>                                 | <b>Angka Pori (<math>e_o</math>)</b> |
|---|--------------------------------------|
| Pasir Lepas Dengan Butiran Seragam                | 0,8                                  |
| Pasir Padat Dengan Butiran Seragam                | 0,45                                 |
| Pasir Berlanau Yang Lepas Dengan Butiran Bersudut | 0,65                                 |
| Pasir Berlanau Yang Padat Dengan Butiran Bersudut | 0,4                                  |
| Lempung Kaku                                      | 0,6                                  |
| Lempung Lembek                                    | 0,9 – 1,4                            |
| Tanah   | 0,9                                  |
| Lempung Organik Lembek                            | 2,5 – 3,2                            |
| <i>Glacial Till</i>                               | 0,3                                  |

(Sumber: Das, 1988)

 $e_o$  tanah lapis 1 = 0,6 $e_o$  tanah lapis 2 = 0,6 $e_o$  tanah lapis 3 =

$$y_{Sat} = \frac{G_s \times y_w}{1 + e}$$

$$19 = \frac{2,68 \times 9,81}{1 + e}$$

$$e_o = 0,3837$$

2. Menentukan Indeks Kompresi Tanah ( $C_c$ )

Untuk menentukan indeks kompresi tanah ( $C_c$ ) dilakukan asumsi berdasarkan pada Tabel 5.10 berikut.

**Tabel 5. 10 Indeks Kompresi Tanah ( $C_c$ ) Berdasarkan Jenis Tanah**

| <b>Jenis Tanah</b>       | <b><math>C_c</math></b> |
|--------------------------|-------------------------|
| Pasir Padat              | 0,0005 - 0,01           |
| Pasir Tidak Padat        | 0,025 – 0,05            |
| Lempung Agak             | 0,03 – 0,06             |
| Lempung Kenyal           | 0,06 – 0,15             |
| Lempung Medium s/d Lunak | 0,15 – 1,0              |
| Tanah Organik            | 1,0 – 4,5               |
| Batu/Cadas               | 0                       |

 $C_c$  tanah lapis 1 = 0,03

$$C_c \text{ tanah lapis 2} = 0,03$$

$$C_c \text{ tanah lapis 3} = 0,30 (e_o - 0,27) = 0,30 (0,3837 - 0,27) = 0,03411$$

### 3. Distribusi Tegangan Tanah ( $\Delta p$ )

$$\begin{aligned} \Delta p &= \gamma_{\text{timbunan}} \times H \\ &= (16 \times 9) + (10 \times 8) \\ &= 224 \text{ kN/m}^2 \end{aligned}$$

### 4. Tekanan Overbuden ( $P_o$ )

$$\begin{aligned} P_o \text{ tanah lapis 1} &= \gamma_{\text{sat}} \times H \\ &= 18 \times 1,9 \\ &= 34,2 \text{ kN/m}^2 \end{aligned}$$

Untuk nilai  $P_o$  lapisan tanah selanjutan dapat dilihat pada Tabel 5.11.

### 5. Perhitungan Penurunan Konsolidasi ( $Sc$ )

$$\begin{aligned} Sc \text{ tanah lapis 1} &= H \frac{C_c}{1 + e_o} \log \frac{P_o + \Delta p}{P_o} \\ &= 1,9 \frac{0,03}{1 + 0,6} \log \frac{34,2 + 224}{34,2} \\ &= 0,03128 \text{ m} \end{aligned}$$

Untuk nilai  $Sc$  lapisan tanah selanjutan dapat dilihat pada Tabel 5.11.

### 6. Rekapitulasi Hasil Penurunan Konsolidasi

Hasil perhitungan manual penurunan konsolidasi pada lereng timbunan asli sudut  $39^\circ$  dapat dilihat pada Tabel 5.11 berikut.

**Tabel 5. 11 Rekapitulasi Perhitungan Penurunan Konsolidasi Lereng Timbunan Asli Sudut  $39^\circ$**

| Keterangan    | H (m) | $e_o$  | $C_c$   | $P_o$ (kN/m <sup>2</sup> ) | $Sc$ (m) |
|---------------|-------|--------|---------|----------------------------|----------|
| Tanah lapis 1 | 1,9   | 0,6    | 0,03    | 34,2                       | 0,0313   |
| Tanah lapis 2 | 5,22  | 0,6    | 0,03    | 50,5341                    | 0,0240   |
| Tanah lapis 3 | 2,11  | 0,3837 | 0,03411 | 15,3819                    | 0,0620   |
| <b>Total</b>  |       |        |         |                            | 0,1173   |

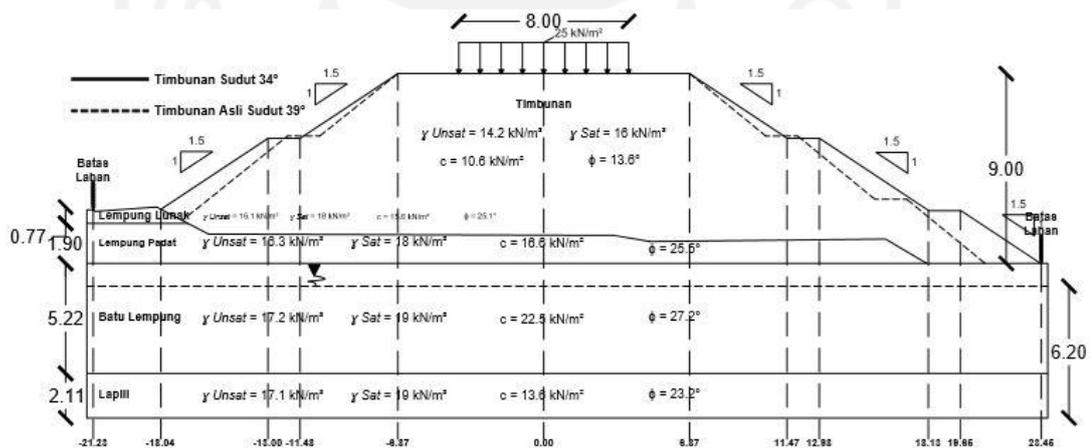
Berdasarkan perhitungan manual penurunan konsolidasi menggunakan metode Tarzaghi adalah sebesar 0,1173 m. Selesih dari hasil perhitungan manual metode Tarzaghi dengan analisis lereng timbunan asli sudut  $39^\circ$  masa konstruksi tanpa beban gempa dengan menggunakan *software* Plaxis 8.6 tidak signifikan.

Karena penurunan konsolidasi pada lereng timbunan asli sudut  $39^\circ$  tanpa beban gempa dengan menggunakan program Plaxis 8.6 adalah sebesar 0,0909 m.

### 5.3 Lereng Timbunan Sudut $34^\circ$

#### 5.3.1 Analisis Menggunakan Program Plaxis Lereng Timbunan Sudut $34^\circ$

Berdasarkan hasil analisis stabilitas lereng timbunan asli sudut  $39^\circ$  nilai angka aman ( $SF$ ) masih belum mencapai nilai angka aman ( $SF$ ) yang disyaratkan sebesar 1,3. Maka dihadirkan solusi untuk memperlandai kemiringan lereng, sehingga hasil program Plaxis 8.6 yang akan ditampilkan pada analisis ini adalah lereng timbunan dengan sudut baru yaitu dengan sudut kemiringan  $34^\circ$ . Gambar geometri lereng timbunan sudut  $34^\circ$  dapat dilihat pada Gambar 5.62 sebagai berikut.



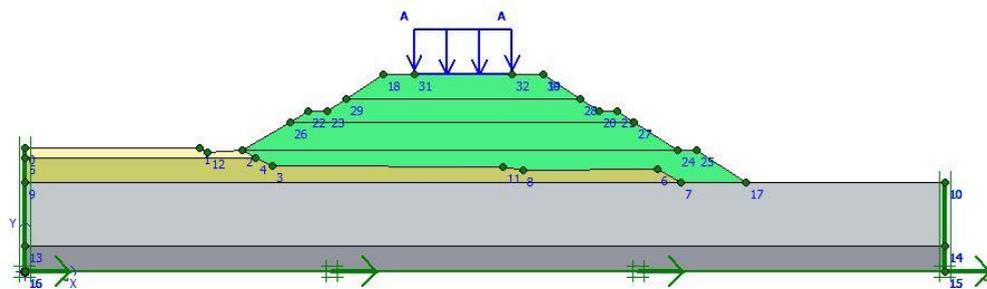
**Gambar 5. 62 Geometri Lereng Timbunan Sudut  $34^\circ$**

Desain ini bertujuan untuk meningkatkan angka aman ( $SF$ ) dengan cara memperlandai lereng timbunan asli sudut  $39^\circ$  memanfaatkan lahan yang masih tersisa. Penjabaran analisis meliputi pemodelan awal lereng timbunan sudut  $34^\circ$  dan kondisi lereng timbunan sudut  $34^\circ$  hasil analisis adalah sebagai berikut.

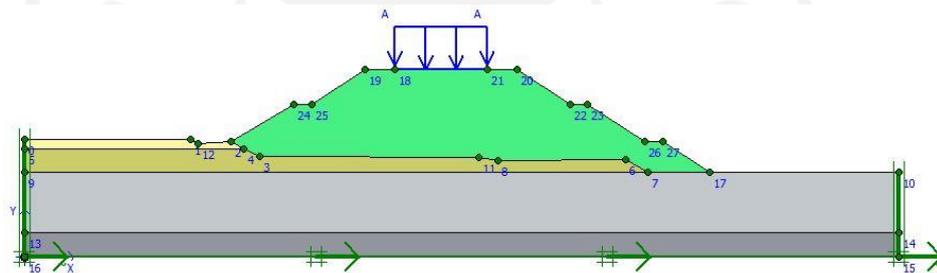
#### 1. Pemodelan Lereng Timbunan

Pemodelan lereng timbunan menggunakan tanah timbunan asli  $39^\circ$  yang sudah diubah sudut kemiringan lerengnya menjadi sebesar  $34^\circ$ . Lebar total lereng timbunan menjadi sepanjang 41 meter dan tinggi timbunan dipertahankan 9 meter yang akan difungsikan sebagai Ruas Jalan Tawang –

Ngalang Segmen IV Sta. 7+750. Gambar pemodelan lereng timbunan sudut  $34^\circ$  masa konstruksi dan pasca konstruksi disajikan dalam Gambar 5.63 dan Gambar 5.64.



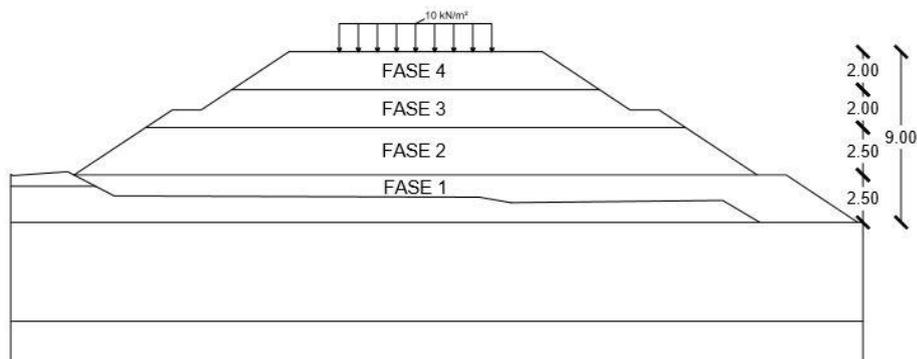
**Gambar 5. 63 Pemodelan Lereng Timbunan Sudut  $34^\circ$  Masa Konstruksi**



**Gambar 5. 64 Pemodelan Lereng Timbunan Sudut  $34^\circ$  Pasca Konstruksi**

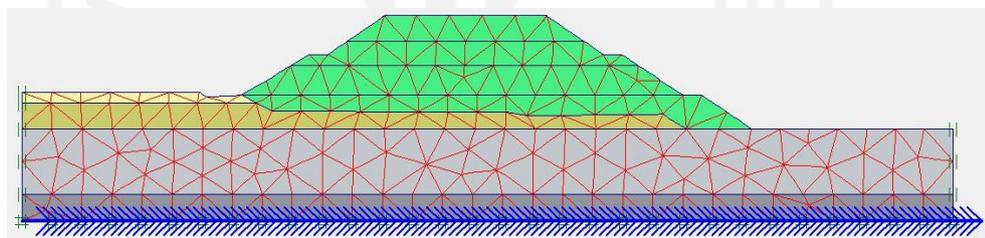
## 2. Kondisi Masa Konstruksi

Kondisi masa konstruksi terjadi pada saat awal timbunan dibangun, tanah pada timbunan saat masa konstruksi masih bersifat *drained* karena timbunan masih dapat mendrainase air dengan baik. Beban merata yang dimasukkan pada masa konstruksi sebesar  $10 \text{ kN/m}^2$  yaitu akibat beban dari struktur jalan yang dibangun di atas timbunan. Analisis stabilitas dilakukan 4 tahapan dengan asumsi dilakukan ketika setiap fase penimbunan selesai, penimbunan fase pertama diasumsikan selesai ketika timbunan mencapai tinggi 2,5 m dan kemudian dianalisis kondisi timbunan tersebut, selanjutnya pada ketinggian 5 m, 7 m, hingga 9 m. Pada analisis penimbunan hingga 9 m dengan beban struktur jalan diinput. Gambar asumsi fase penimbunan pada lereng timbunan sudut  $34^\circ$  bisa dilihat pada Gambar 5.65 berikut.



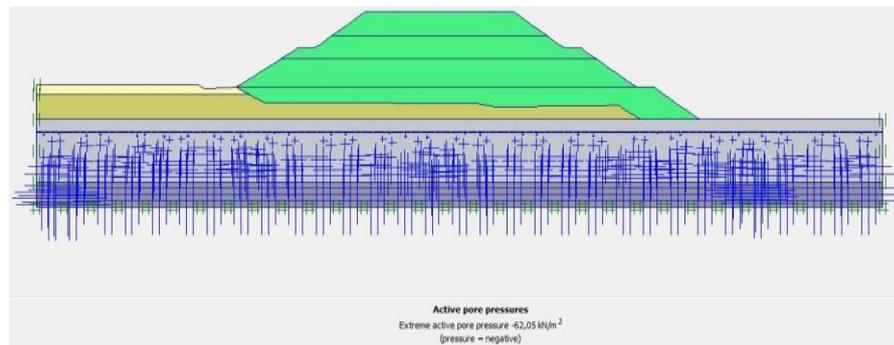
**Gambar 5. 65 Asumsi Fase Penimbunan Lereng Timbunan Sudut 34°**

Setelah pemodelan geometri lereng timbunan sudut 34° selesai, tahapan-tahapan setelah pemodelan geometri lereng timbunan selesai adalah input parameter tanah pada pemodelan lereng timbunan, selanjutnya dilakukan penyusunan jaringan elemen (*meshing*). Hasil dari jaringan elemen hingga (*meshing*) pada lereng timbunan sudut 34° masa konstruksi disajikan dalam Gambar 5.66 berikut.

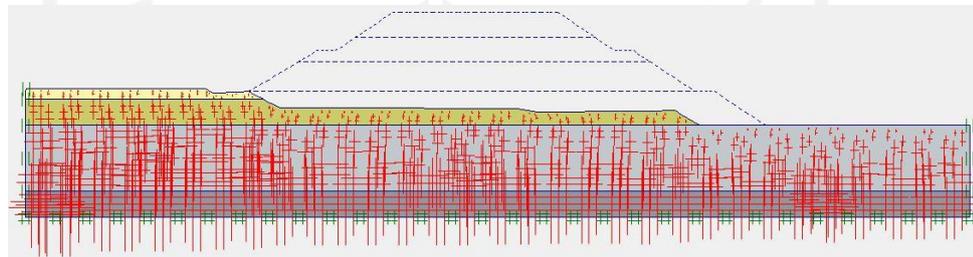


**Gambar 5. 66 Meshing Lereng Timbunan Sudut 34° Masa Konstruksi**

Langkah selanjutnya adalah pengondisian awal (*initial condition*). Karena posisi muka air tanah berada di kedalaman 3,8 m dari permukaan tanah asli, maka dalam proses tekanan air (*generate water pressures*) garis muka air tanah diletakkan sesuai dengan kondisi di lapangan. Kemudian dilanjutkan dengan konfigurasi geometri awal dan perhitungan *general intial stresses*. Hasil dari *generate water pressures* dan *intial soil stresses* pada lereng timbunan sudut 34° masa konstruksi disajikan dalam Gambar 5.67 dan Gambar 5.68 berikut.



**Gambar 5. 67 Generate Water Pressures pada Lereng Timbunan Sudut 34° Masa Konstruksi**

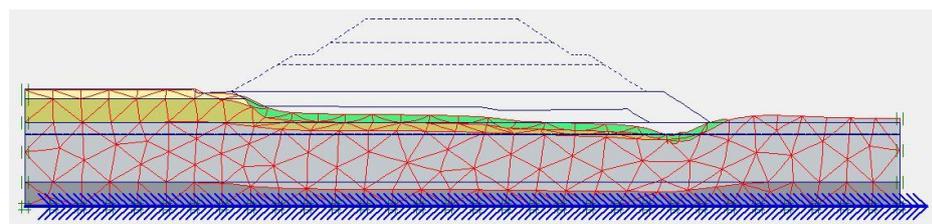


**Gambar 5. 68 Initial Soil Stresses pada Lereng Timbunan Sudut 34° Masa Konstruksi**

Tahapan selanjutnya yaitu tahap analisis perhitungan (*calculation*) lereng timbunan sudut 34° masa konstruksi, tahapan analisis dilakukan empat fase sesuai dengan asumsi fase penimbunan.

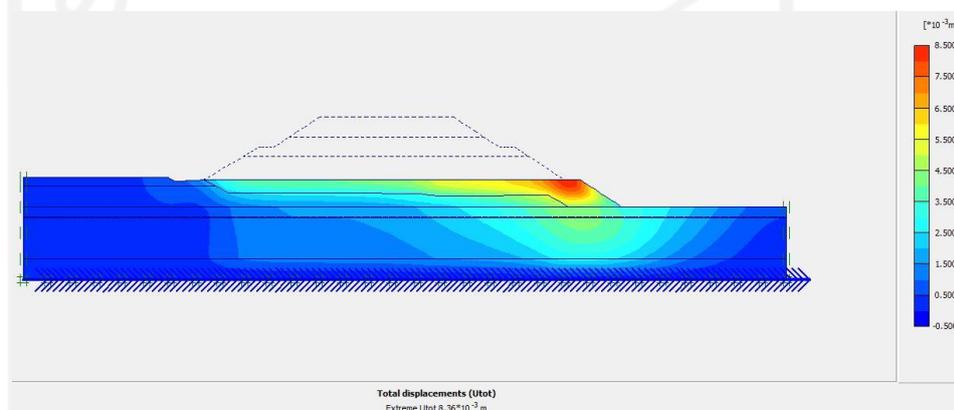
a. Penimbunan fase 1

Penimbunan fase 1 dilakukan hingga tinggi timbunan mencapai 2,5 m, berikut merupakan analisis stabilitas penimbunan hingga 2,5 m. Hasil *deformed mesh* pada timbunan sudut 34° saat penimbunan 2,5 m disajikan dalam Gambar 5.69 berikut.



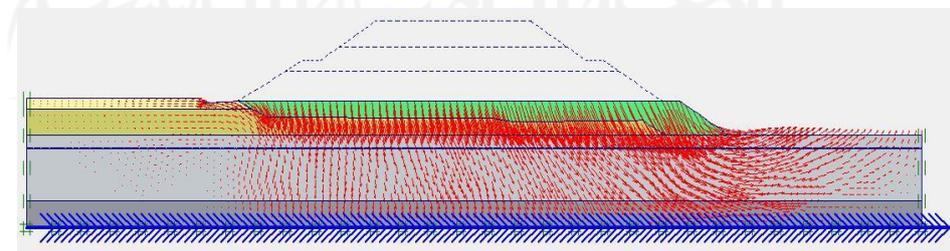
**Gambar 5. 69 Deformed Mesh Penimbunan 2,5 m Lereng Timbunan Sudut 34°**

Pada timbunan sudut  $34^\circ$  saat penimbunan hingga 2,5 m terjadi *displacement* yang lebih terkonsentrasi pada daerah kanan timbunan. Kondisi *displacement* terbesar terjadi pada bagian kanan timbunan. Besar nilai *total displacement* yang terjadi pada timbunan saat penimbunan 2,5 m adalah sebesar  $8,36 \times 10^{-3}$  m. Gambar *Total displacement* pada timbunan sudut  $34^\circ$  saat penimbunan hingga 2,5 m disajikan dalam Gambar 5.70 berikut.



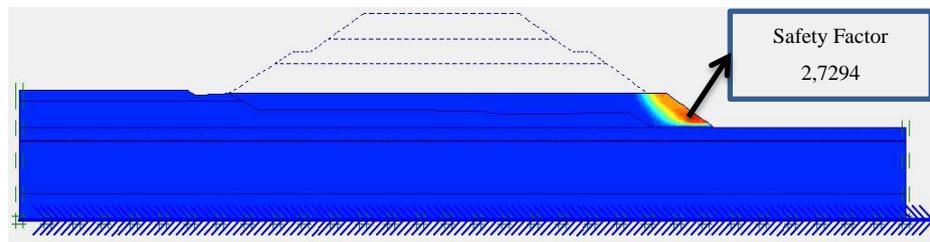
**Gambar 5. 70 Total Displacement Penimbunan 2,5 Lereng Timbunan Sudut  $34^\circ$**

Arah pergerakan tanah akibat beban penimbunan di dominasi oleh arah vertikal kearah kanan timbunan. Arah pergerakan tanah pada timbunan sudut  $34^\circ$  saat penimbunan hingga 2,5 m disajikan dalam Gambar 5.71 berikut.



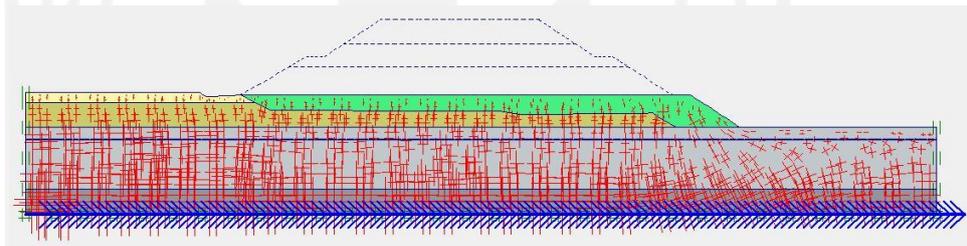
**Gambar 5. 71 Arah Pergerakan Tanah Penimbunan 2,5 m Lereng Timbunan Sudut  $34^\circ$**

Untuk bidang potensi kelongsoran pada timbunan sudut  $34^\circ$  saat penimbunan hingga 2,5 m disajikan dalam Gambar 5.72 berikut.



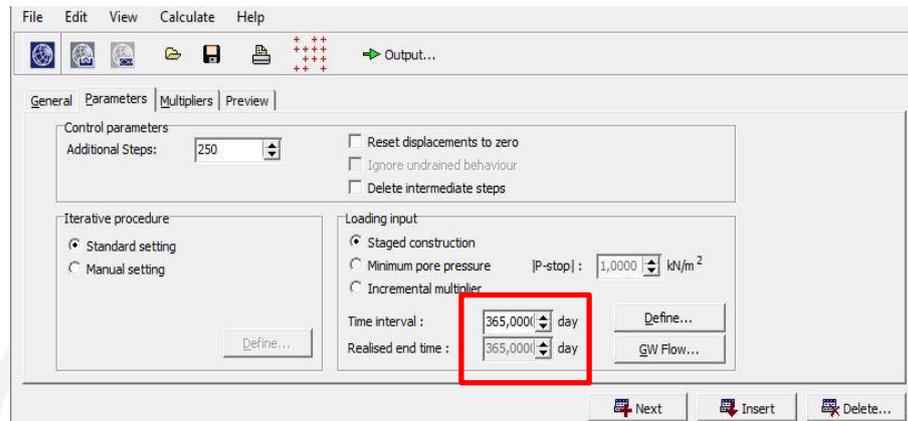
**Gambar 5. 72 Potensi Kelongsoran Penimbunan 2,5 m Lereng Timbunan Sudut 34°**

Besar nilai *effective stresses* pada timbunan saat penimbunan hingga 2,5 m sebesar  $-121,41 \text{ kN/m}^2$ . Ilustrasi *effective stresses* pada timbunan sudut 34° saat penimbunan hingga 2,5 m dapat disajikan dalam Gambar 5.73 berikut.

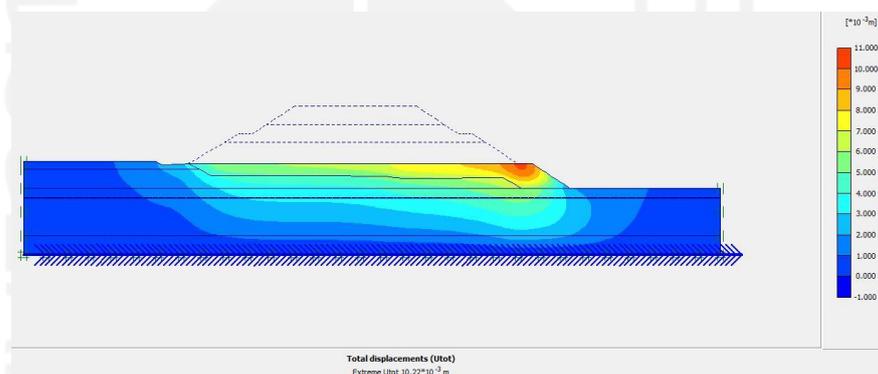


**Gambar 5. 73 Effective Stresses Penimbunan 2,5 m Timbunan Sudut 34°**

Nilai angka aman (*SF*) lereng timbunan sudut 34° saat penimbunan hingga 2,5 m yang didapatkan hasil analisis adalah sebesar 2,7294. Sehingga kondisi lereng timbunan saat penimbunan hingga 2,5 m masih aman dan bisa dilakukan penimbunan fase selanjutnya. Selanjutnya hasil penurunan konsolidasi pada lereng timbunan sudut 34° saat penimbunan 2,5 m selama 365 hari disajikan dalam Gambar 5.74 dan Gambar 5.75.



**Gambar 5. 74 Pengaturan Durasi Konsolidasi Lereng Timbunan Sudut 34° Masa Konstruksi**

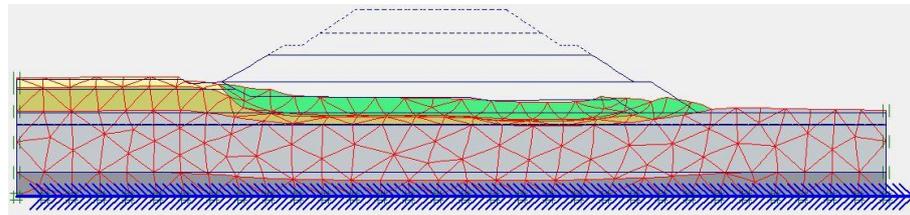


**Gambar 5. 75 Penurunan Konsolidasi Penimbunan 2,5 m Lereng Timbunan Sudut 34°**

Penurunan konsolidasi lereng timbunan sudut 34° saat penimbunan hingga 2,5 m yang didapatkan dari hasil analisis adalah sebesar  $10,22 \times 10^{-3}$  m.

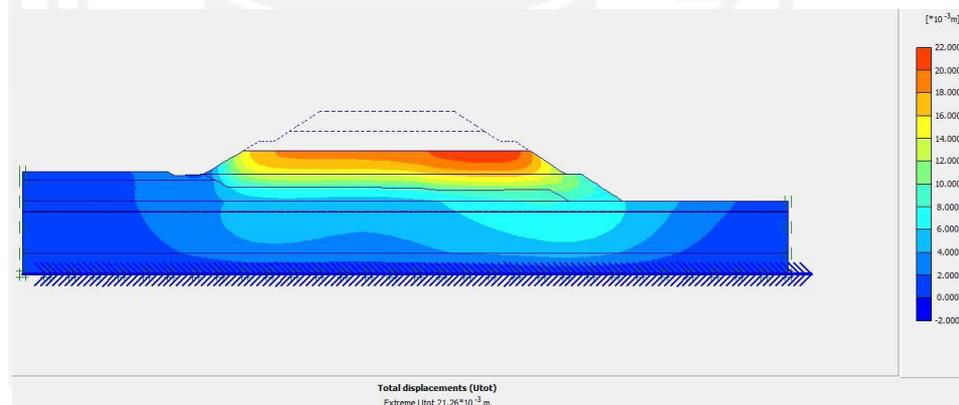
b. Penimbunan fase 2

Penimbunan fase 2 dilakukan hingga tinggi timbunan mencapai 5 m, berikut merupakan analisis stabilitas penimbunan hingga 5 m. Hasil *deformed mesh* pada timbunan sudut 34° saat penimbunan 5 m disajikan dalam Gambar 5.76 berikut.



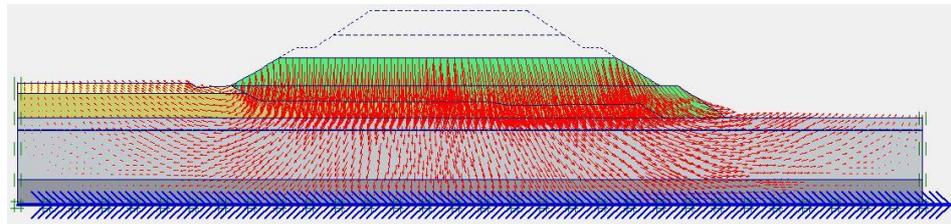
**Gambar 5. 76 Deformed Mesh Penimbunan 5 m Lereng Timbunan Sudut 34°**

Pada timbunan sudut 34° saat penimbunan hingga 5 m terjadi *displacement* yang lebih terkonsentrasi pada daerah kanan timbunan. Kondisi *displacement* terbesar terjadi pada bagian kanan timbunan. Besar nilai *total displacement* yang terjadi pada timbunan saat penimbunan 5 m adalah sebesar  $21,26 \times 10^{-3}$  m. *Total displacement* yang terjadi pada timbunan sudut 34° saat penimbunan 5 m disajikan dalam Gambar 5.77 berikut.



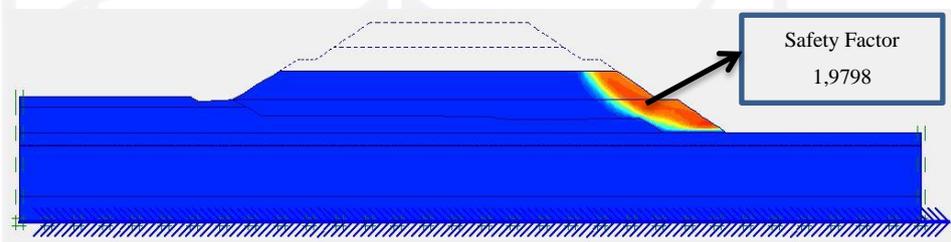
**Gambar 5. 77 Total Displacement Penimbunan 5 Lereng Timbunan Sudut 34°**

Arah pergerakan tanah akibat beban penimbunan di dominasi oleh arah vertikal kearah tengah timbunan. Arah pergerakan tanah pada timbunan sudut 34° saat penimbunan 5 m disajikan dalam Gambar 5.78 berikut.



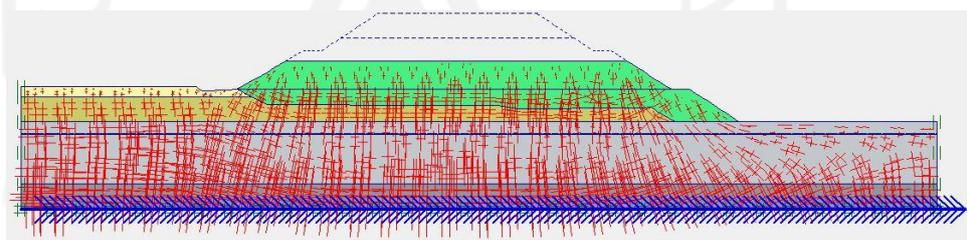
**Gambar 5. 78 Arah Pergerakan Tanah Penimbunan 5 m Lereng Timbunan Sudut 34°**

Untuk bidang potensi kelongsoran pada timbunan sudut 34° saat penimbunan hingga 5 m disajikan dalam Gambar 5.79 berikut.



**Gambar 5. 79 Potensi Kelongsoran Penimbunan 5 m Lereng Timbunan Sudut 34°**

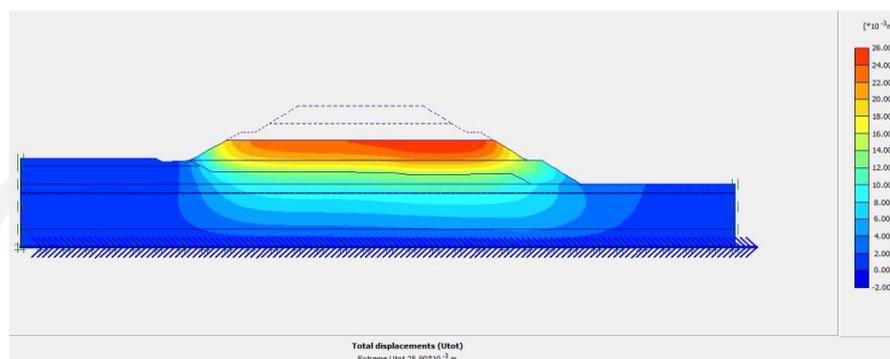
Besar nilai *effective stresses* pada timbunan saat penimbunan hingga 5 m sebesar  $-153,47 \text{ kN/m}^2$ . Ilustrasi *effective stresses* pada timbunan sudut 34° hingga 5 m dapat dilihat dalam Gambar 5.80 berikut.



**Gambar 5. 80 Effective Stresses Penimbunan 5 m Lereng Timbunan Sudut 34°**

Nilai angka aman (*SF*) lereng timbunan sudut 34° saat penimbunan hingga 5 m yang didapatkan dari hasil analisis adalah sebesar 1,9798. Sehingga kondisi lereng timbunan sudut 34° saat penimbunan hingga 5 m masih aman dan bisa dilakukan penimbunan fase selanjutnya.

Selanjutnya hasil penurunan konsolidasi pada lereng timbunan sudut  $34^\circ$  saat penimbunan 5 m selama 365 hari disajikan dalam Gambar 5.81.

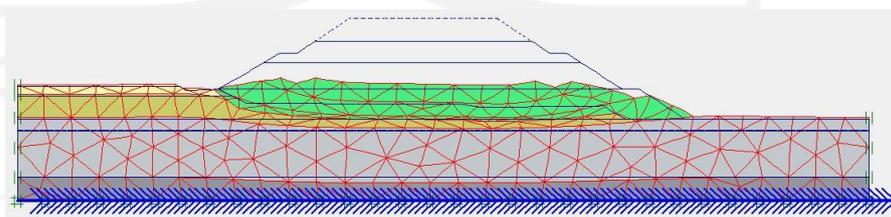


**Gambar 5. 81 Penurunan Konsolidasi Penimbunan 5 m Lereng Timbunan Sudut  $34^\circ$**

Penurunan konsolidasi lereng timbunan sudut  $34^\circ$  saat penimbunan hingga 5 m yang didapatkan dari hasil analisis adalah sebesar  $25,90 \times 10^{-3}$  m.

c. Penimbunan fase 3

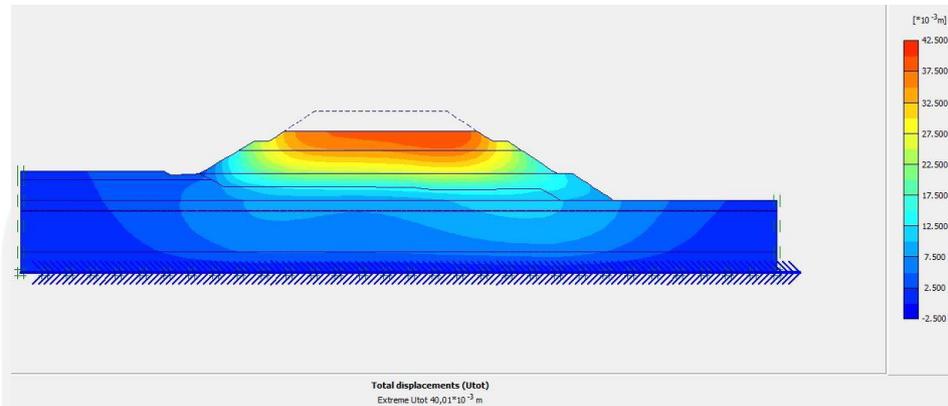
Penimbunan fase 3 dilakukan hingga tinggi timbunan mencapai 7 m, berikut merupakan analisis stabilitas lereng timbunan sudut  $34^\circ$  saat penimbunan hingga 7 m. Hasil *deformed mesh* pada timbunan sudut  $34^\circ$  saat penimbunan 7 m disajikan dalam Gambar 5.82 berikut.



**Gambar 5. 82 Deformed Mesh Penimbunan 7 m Lereng Timbunan Sudut  $34^\circ$**

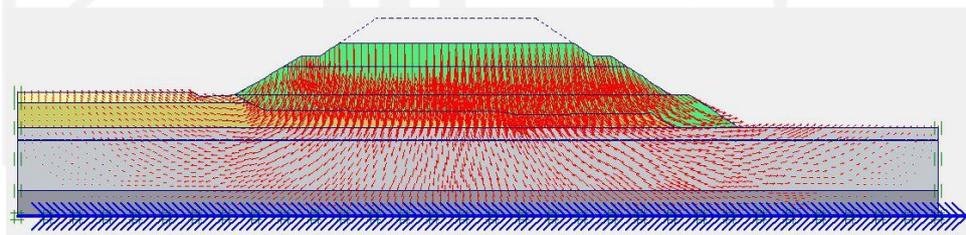
Pada timbunan sudut  $34^\circ$  saat penimbunan hingga 7 m terjadi *displacement* yang lebih terkonsentrasi di daerah tengah timbunan. Kondisi *displacement* terbesar terjadi pada bagian kanan timbunan. Besar nilai *total displacement* yang terjadi pada penimbunan 7 m adalah sebesar

$40,01 \times 10^{-3}$  m. *Total displacement* yang terjadi pada timbunan sudut  $34^\circ$  saat penimbunan hingga 7 m disajikan dalam Gambar 5.83 berikut.



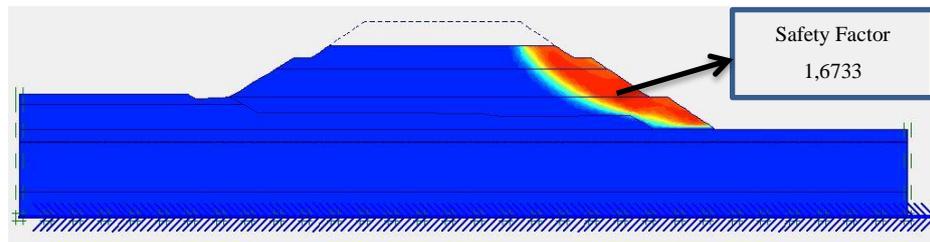
**Gambar 5. 83 Total Displacement Penimbunan 7 m Lereng Timbunan Sudut  $34^\circ$**

Arah pergerakan tanah akibat beban penimbunan di dominasi oleh arah vertikal kearah tengah timbunan. Arah pergerakan tanah pada timbunan sudut  $34^\circ$  hingga penimbunan 7 m dapat disajikan dalam Gambar 5.84 berikut.



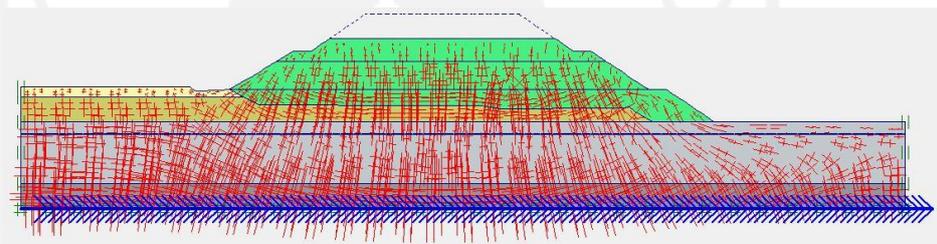
**Gambar 5. 84 Arah Pergerakan Tanah Penimbunan 7 m Lereng Timbunan Sudut  $34^\circ$**

Untuk bidang potensi kelongsoran pada timbunan sudut  $34^\circ$  saat penimbunan hingga 7 m disajikan dalam Gambar 5.85.



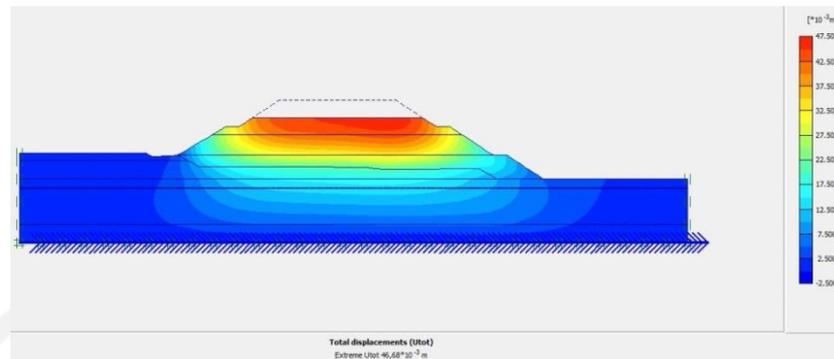
**Gambar 5. 85 Potensi Kelongsoran Penimbunan 7 m Lereng Timbunan Sudut 34°**

Besar nilai *effective stresses* pada timbunan saat penimbunan hingga 7 m sebesar  $-201,77 \text{ kN/m}^2$ . *Effective stresses* pada timbunan sudut 34° saat penimbunan hingga 7 m disajikan dalam Gambar 5.86 berikut.



**Gambar 5. 86 Effective Stresses Penimbunan 7 m Lereng Timbunan Sudut 34°**

Nilai angka aman (*SF*) lereng timbunan sudut 34 saat penimbunan hingga 7 m yang didapatkan hasil analisis adalah sebesar 1,6733. Sehingga kondisi timbunan sudut 34 saat penimbunan hingga 7 m masih aman dan bisa dilakukan penimbunan fase selanjutnya. Selanjutnya hasil penurunan konsolidasi pada lereng timbunan sudut 34° saat penimbunan 5 m selama 365 hari disajikan dalam Gambar 5.87.

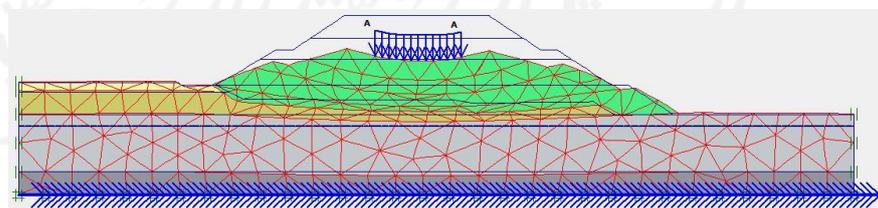


**Gambar 5. 87 Penurunan Konsolidasi Penimbunan 7 m Lereng Timbunan Sudut 34°**

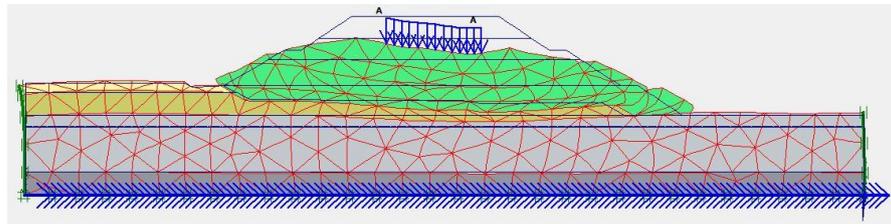
Penurunan konsolidasi lereng timbunan sudut 34° saat penimbunan hingga 7 m yang didapatkan dari hasil analisis adalah sebesar  $46,68 \times 10^{-3}$  m.

d. Penimbunan Fase 4

Penimbunan fase 4 dilakukan hingga tinggi timbunan sudut 34° mencapai 9 m. Pada fase ini proses penimbunan telah selesai dan pekerjaan struktur jalan sudah selesai, maka pada analisis dimasukkan beban struktur jalan sebesar  $10 \text{ kN/m}^2$  dan beban gempa. Berikut merupakan analisis stabilitas lereng timbunan sudut 34° saat penimbunan hingga 9 m. Hasil *deformed mesh* pada timbunan sudut 34° saat penimbunan 9 m akibat beban struktur jalan, serta akibat beban struktur jalan dan beban gempa disajikan dalam Gambar 5.88 dan Gambar 5.89 berikut.

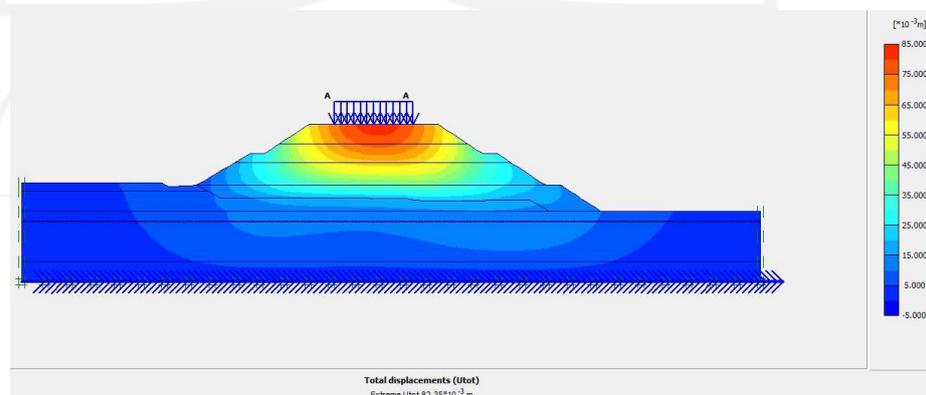


**Gambar 5. 88 Deformed Mesh Penimbunan 9 m Akibat Beban Struktur Jalan Lereng Timbunan Sudut 34°**

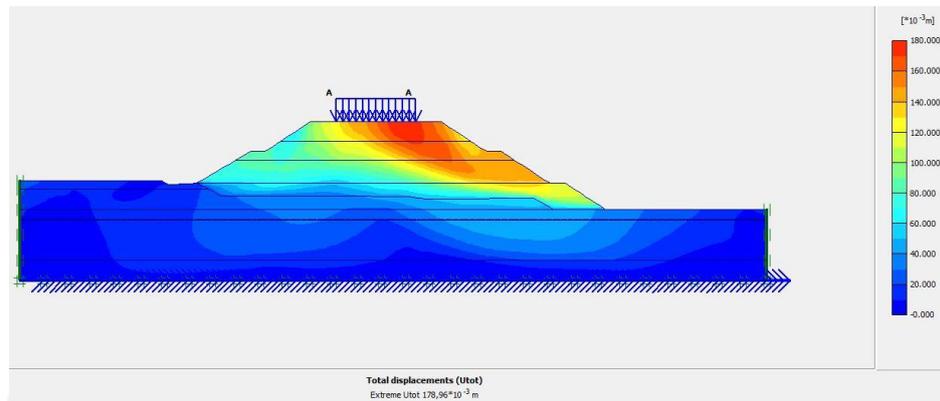


**Gambar 5. 89 Deformed Mesh Penimbunan 9 m Akibat Beban Struktur Jalan & Beban Gempa Lereng Timbunan Sudut 34°**

Pada timbunan sudut 34° saat penimbunan hingga 9 m yang diberi beban struktur jalan mengalami *displacement* yang lebih terkonsentrasi pada daerah tengah timbunan, dan setelah diberi beban gempa *displacement* terkonsentrasi pada daerah kanan timbunan. Akibat beban struktur jalan kondisi *displacement* terbesar terjadi pada bagian tengah timbunan sedangkan akibat beban struktur jalan dan beban gempa terjadi pada bagian tengah kanan timbunan. Besar nilai *total displacement* yang dialami timbunan saat penimbunan 9 m akibat beban struktur jalan adalah sebesar  $82,35 \times 10^{-3}$  m, akibat beban struktur jalan dan beban gempa adalah  $178,96 \times 10^{-3}$ . *Total displacement* akibat beban struktur jalan, serta beban struktur jalan dan beban gempa pada timbunan sudut 34° saat penimbunan 9 m disajikan dalam Gambar 5.90 dan Gambar 5.91 berikut.

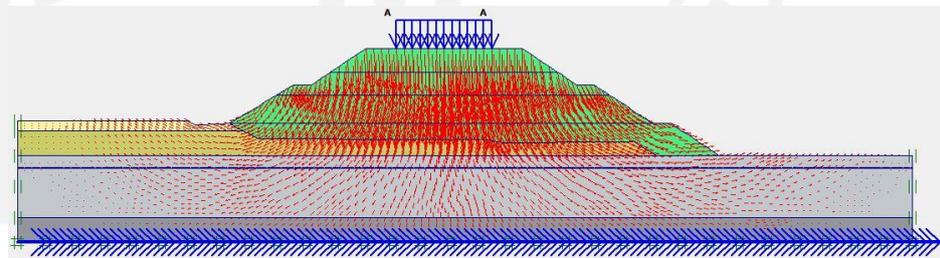


**Gambar 5. 90 Total Displacement Penimbunan 9 m Akibat Beban Struktur Jalan Lereng Timbunan Sudut 34°**

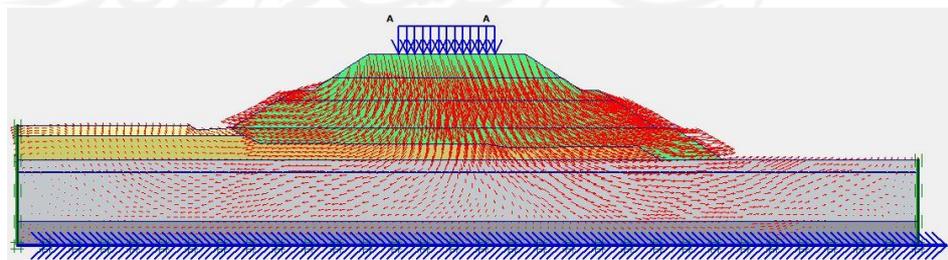


**Gambar 5. 91 Total Displacement Penimbunan 9 m Akibat Beban Struktur Jalan & Beban Gempa Lereng Timbunan Sudut 34°**

Arah pergerakan tanah pada timbunan saat penimbunan hingga 9 m akibat beban struktur jalan di dominasi oleh arah vertikal ke arah tengah timbunan, sedangkan arah pergerakan tanah akibat beban gempa terjadi pergerakan memutar dikarenakan gaya gempa. Arah pergerakan tanah pada timbunan sudut 34° saat penimbunan 9 m disajikan dalam Gambar 5.92 dan 5.93 berikut.

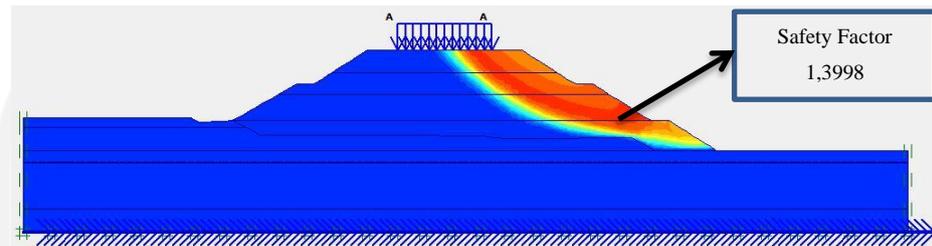


**Gambar 5. 92 Arah Pergerakan Tanah Penimbunan 9 m Beban Struktur Jalan Lereng Timbunan Sudut 34°**

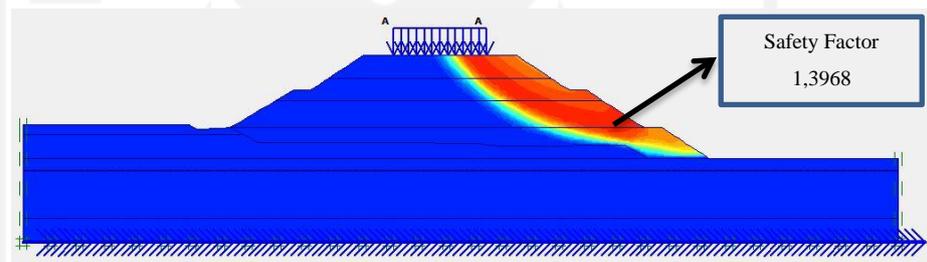


**Gambar 5. 93 Arah Pergerakan Tanah Penimbunan 9 m Beban Struktur Jalan & Beban Gempa Lereng Timbunan Sudut 34°**

Untuk bidang potensi kelongsoran pada lereng timbunan sudut  $34^\circ$  saat penimbunan hingga 9 m akibat beban struktur jalan, serta beban struktur jalan dan beban gempa disajikan dalam Gambar 5.94 dan 5.95.

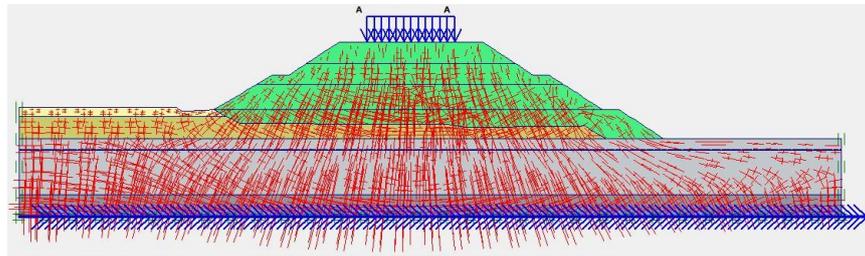


**Gambar 5. 94 Potensi Kelongsoran Penimbunan 9 m Akibat Beban Struktur Jalan Lereng Timbunan Sudut  $34^\circ$**

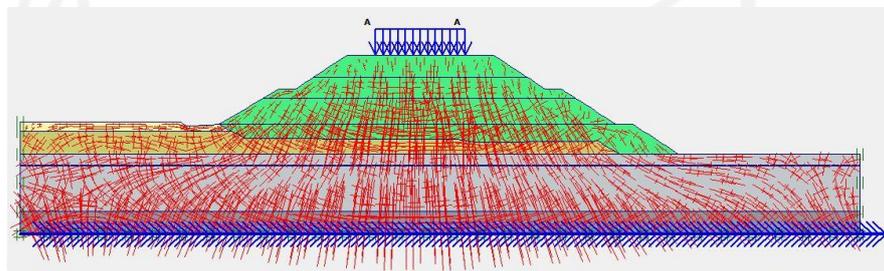


**Gambar 5. 95 Potensi Kelongsoran Penimbunan 9 m Akibat Beban Struktur Jalan & Beban Gempa Lereng Timbunan Sudut  $34^\circ$**

Besarnya nilai *effective stresses* pada timbunan saat penimbunan hingga 9 m akibat beban struktur jalan adalah sebesar  $-234,21 \text{ kN/m}^2$ , sedangkan akibat beban struktur jalan dan beban gempa sebesar  $-253,55 \text{ kN/m}^2$ . Ilustrasi *effective stresses* pada timbunan sudut  $34^\circ$  penimbunan hingga 9 m disajikan dalam Gambar 5.96 dan 5.97 berikut.

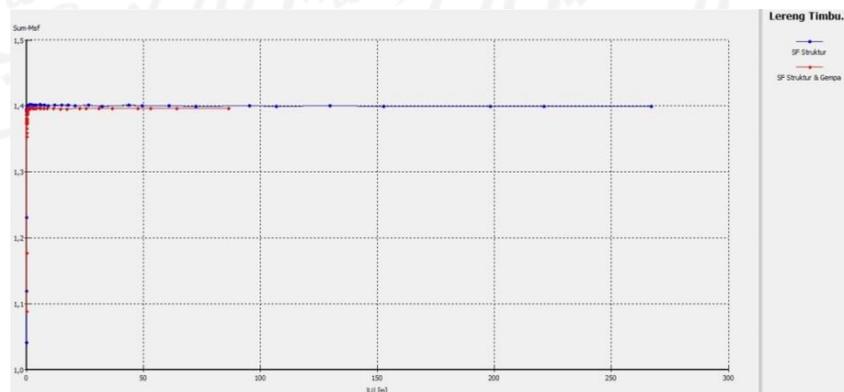


**Gambar 5. 96 *Effective Stresses* Penimbunan 9 m Akibat Beban Struktur Jalan Lereng Timbunan Sudut 34°**



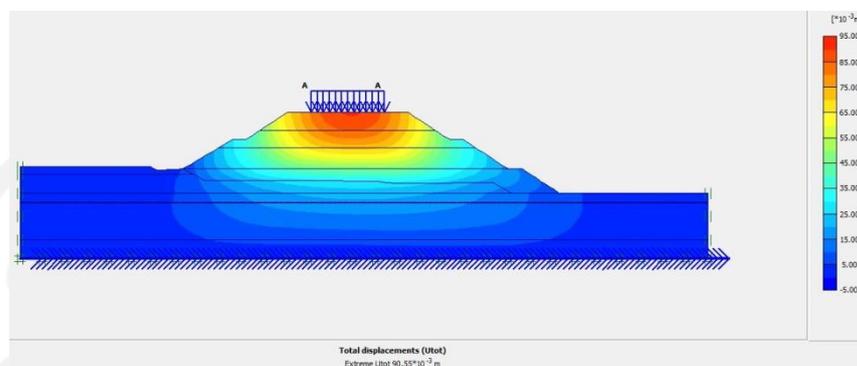
**Gambar 5. 97 *Effective Stresses* Penimbunan 9 m Akibat Beban Struktur Jalan & Beban Gempa Lereng Timbunan Sudut 34°**

Nilai angka aman ( $SF$ ) akhir lereng timbunan sudut 34° masa konstruksi didapatkan hasil analisis stabilitas pada lereng timbunan sudut 34° akibat beban struktur jalan adalah sebesar 1,3998. Sedangkan nilai angka aman ( $SF$ ) pada lereng timbunan sudut 34° masa konstruksi akibat beban struktur dan beban gempa adalah sebesar 1,3968. Hasil nilai angka aman ( $SF$ ) dapat dilihat pada kurva Gambar 5.98.



**Gambar 5. 98 Kurva  $SF$  Lereng Timbunan Sudut 34° Masa Konstruksi**

Selanjutnya hasil penurunan konsolidasi pada lereng timbunan sudut  $34^\circ$  masa konstruksi selama 365 hari disajikan dalam Gambar 5.99.

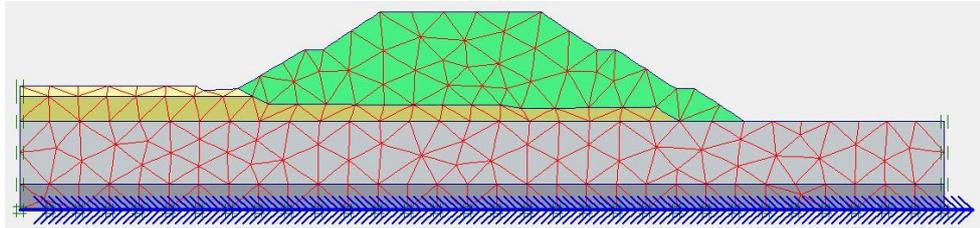


**Gambar 5. 99 Penurunan Konsolidasi Lereng Timbunan Sudut  $34^\circ$  Masa Konstruksi**

Penurunan konsolidasi lereng timbunan sudut  $34^\circ$  masa konstruksi yang didapatkan dari hasil analisis adalah sebesar  $90,55 \times 10^{-3}$  m.

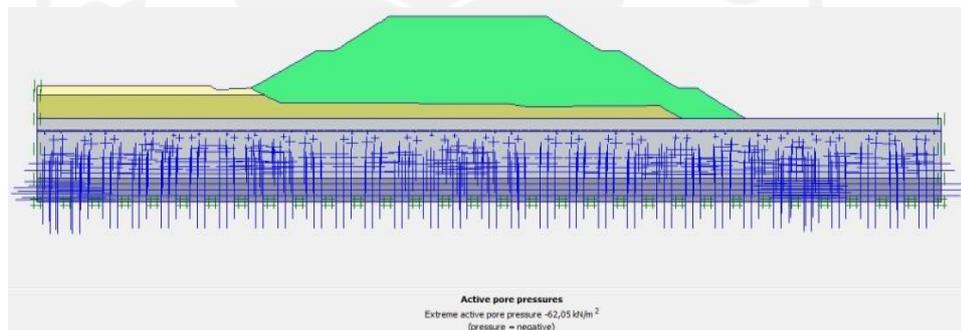
### 3. Kondisi Pasca Kontruksi

Kondisi pasca konstruksi adalah saat timbunan sudah siap digunakan atau difungsikan sebagai ruas jalan. Sifat tanah timbunan pada pasca konstruksi bersifat *undrained* karena air sudah tidak dapat terdrainase lagi akibat adanya struktur jalan di atasnya. Analisis pada kondisi pasca konstruksi selain input beban struktur jalan dan beban gempa, beban lalu lintas juga diinput menjadi parameter beban tambahan. Setelah pemodelan geometri lereng timbunan sdudut  $34^\circ$  selesai dilakukan, tahapan-tahapan selanjutnya adalah input parameter tanah pada pemodelan lereng timbunan kemudian bisa dilakukan penyusunan jaringan elemen (*meshing*). Hasil dari jaringan elemen hingga (*meshing*) pada lereng timbunan sudut  $34^\circ$  pasca konstruksi disajikan dalam Gambar 5.100 berikut.

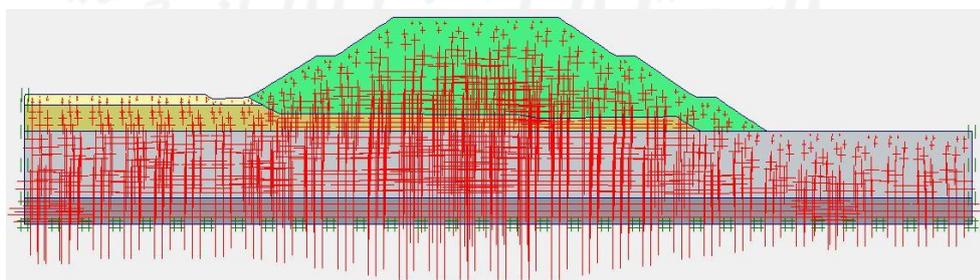


**Gambar 5. 100 Meshing pada Lereng Timbunan Sudut 34° Pasca Konstruksi**

Selanjutnya pengaturan pengondisian awal (*initial condition*). Dalam pengaturan pengondisian awal dilakukan proses tekanan air (*generate water pressures*), dilanjutkan dengan konfigurasi geometri awal dengan perhitungan *general intial stresses*. Hasil dari *generate water pressures* dan *intial soil stresses* pada timbunan sudut 34° pasca konstruksi disajikan dalam Gambar 5.101 dan Gambar 5.102 berikut.

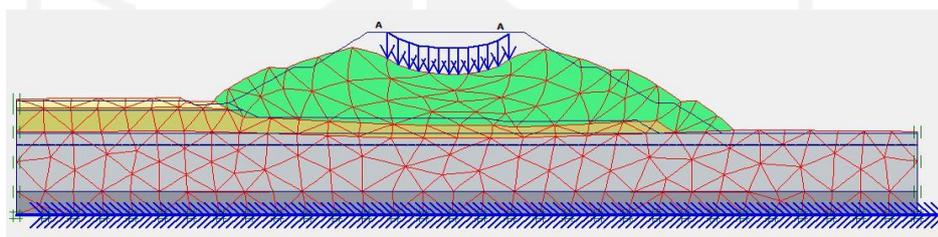


**Gambar 5. 101 Generate Water Pressures pada Lereng Timbunan Sudut 34° Pasca Konstruksi**

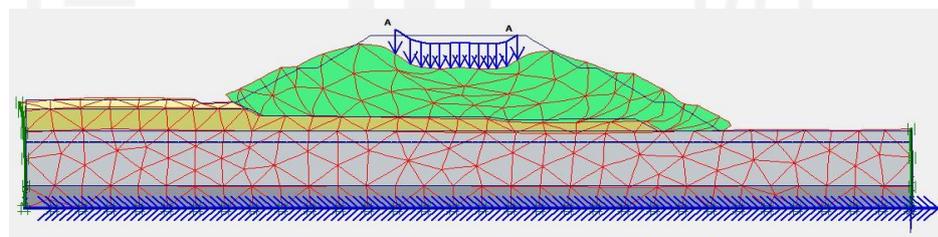


**Gambar 5. 102 Intial Soil Stresses pada Lereng Timbunan Sudut 34° Pasca Konstruksi**

Pada tahap selanjutnya adalah masuk ke tahapan analisis perhitungan (*calculation*) lereng timbunan sudut  $34^\circ$  pasca konstruksi. Tahapan analisis meliputi analisis berat timbunan, analisis akibat beban struktur jalan, analisis akibat beban struktur jalan dan beban gempa, kemudian analisis angka aman (*SF*) dan penurunan konsolidasi yang terjadi pada lereng timbunan sudut  $34^\circ$  pasca konstruksi. Hasil *deformed mesh* pada timbunan sudut  $34^\circ$  pasca konstruksi akibat beban struktur jalan, serta akibat beban struktur jalan dan beban gempa disajikan dalam Gambar 5.103 dan Gambar 5.104 sebagai berikut.



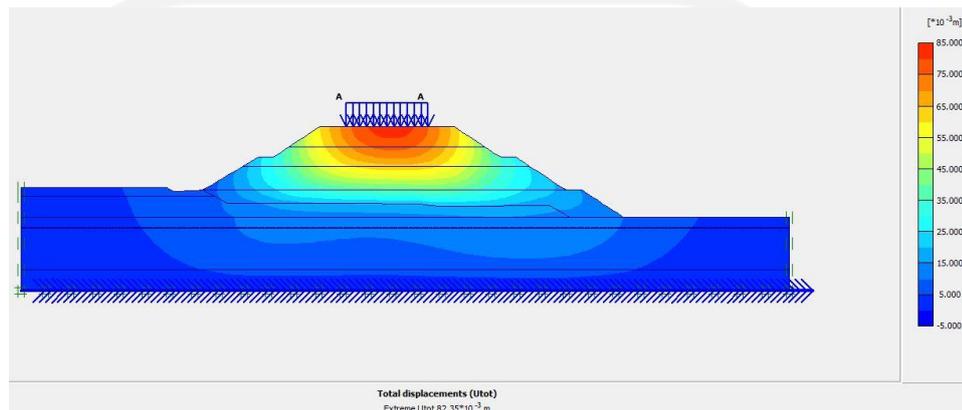
**Gambar 5. 103 Deformed Mesh Lereng Timbunan Sudut  $34^\circ$  Akibat Beban Struktur Jalan Pasca Konstruksi**



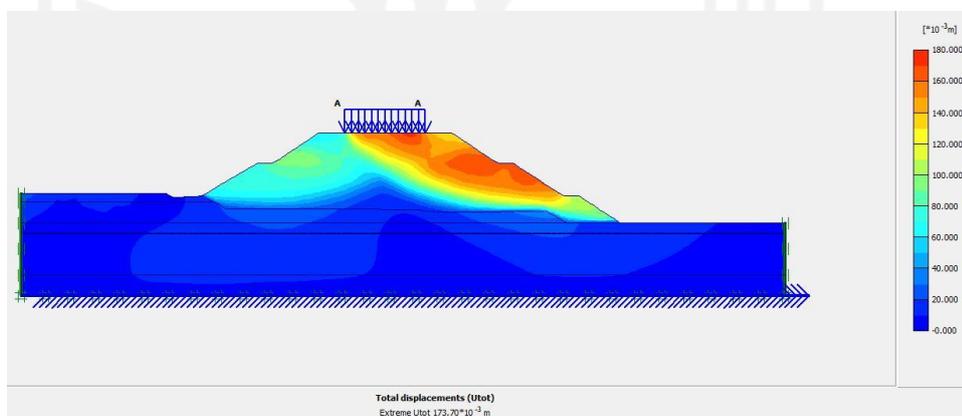
**Gambar 5. 104 Deformed Mesh Lereng Timbunan Sudut  $34^\circ$  Akibat Beban Struktur Jalan & Beban Gempa Pasca Konstruksi**

Timbunan sudut  $34^\circ$  pasca konstruksi yang diberi beban struktur jalan mengalami *displacement* yang lebih terkonsentrasi pada bagian tengah timbunan, dan setelah diberi beban gempa *displacement* terkonsentrasi pada daerah kanan timbunan. Akibat beban struktur jalan kondisi *displacement* terbesar terjadi pada bagian tengah timbunan sedangkan akibat beban struktur jalan dan beban gempa terjadi pada bagian kanan timbunan. Besarnya nilai total *displacement* yang dialami timbunan akibat beban struktur jalan sebesar

$37,51 \times 10^{-3}$  m, sedangkan akibat beban struktur jalan dan beban gempa sebesar  $173,70 \times 10^{-3}$  m. *Total displacement* akibat beban struktur jalan, serta beban struktur jalan dan beban gempa pada timbunan sudut  $34^\circ$  pasca konstruksi disajikan dalam Gambar 5.105 dan Gambar 5.106 berikut.



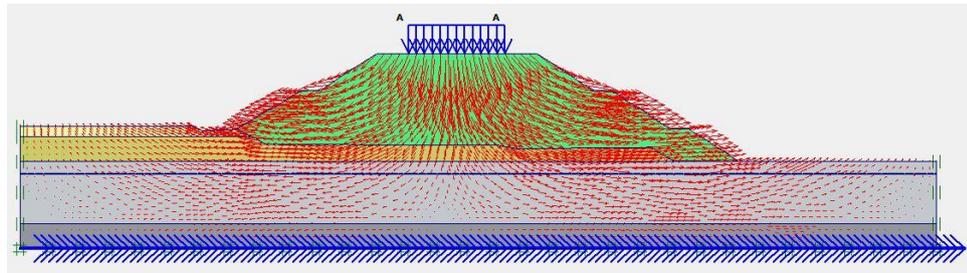
**Gambar 5. 105 *Total Displacement* Lereng Timbunan Sudut  $34^\circ$  Akibat Beban Struktur Jalan Pasca Konstruksi**



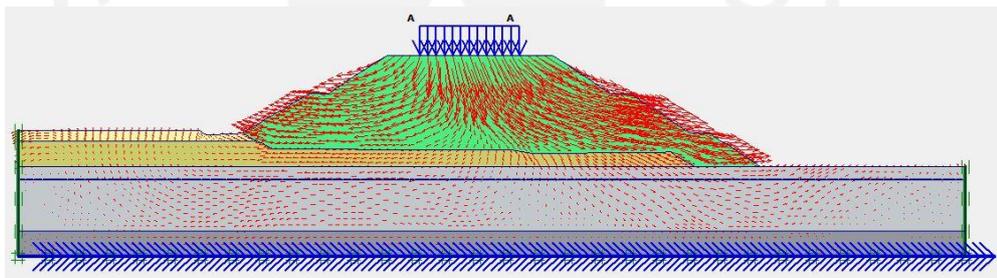
**Gambar 5. 106 *Total Displacement* Lereng Timbunan Sudut  $34^\circ$  Akibat Beban Struktur Jalan & Beban Gempa Pasca Konstruksi**

Arah pergerakan tanah pada timbunan pasca konstruksi akibat beban struktur jalan didominasi oleh pergerakan arah vertikal, sedangkan pergerakan tanah akibat beban struktur jalan dan beban gempa pergerakannya menjadi memutar yang disebabkan adanya gaya gempa. Arah pergerakan tanah pada timbunan sudut  $34^\circ$  pasca konstruksi akibat beban struktur jalan, serta beban struktur

jalan dan beban gempa disajikan dalam Gambar 5.107 dan Gambar 5.108 berikut.

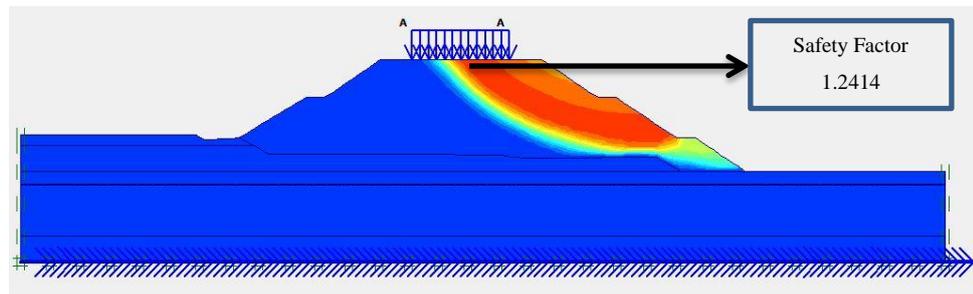


**Gambar 5. 107 Arah Pergerakan Tanah Lereng Timbunan Sudut 34° Masa Akibat Beban Struktur Jalan Pasca Konstruksi**

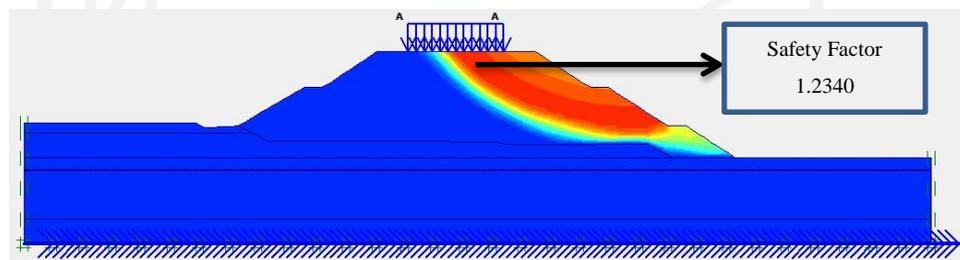


**Gambar 5. 108 Arah Pergerakan Tanah Lereng Timbunan Sudut 34° Masa Akibat Beban Struktur Jalan & Beban Gempa Pasca Konstruksi**

Untuk bidang potensi kelongsoran pada timbunan sudut 34° pasca konstruksi akibat beban struktur jalan, dan potensi kelongsoran pada timbunan sudut 34° pasca konstruksi akibat beban struktur jalan, serta akibat beban struktur jalan dan beban dengan gempa disajikan dalam Gambar 5.109 dan Gambar 5.110 berikut.

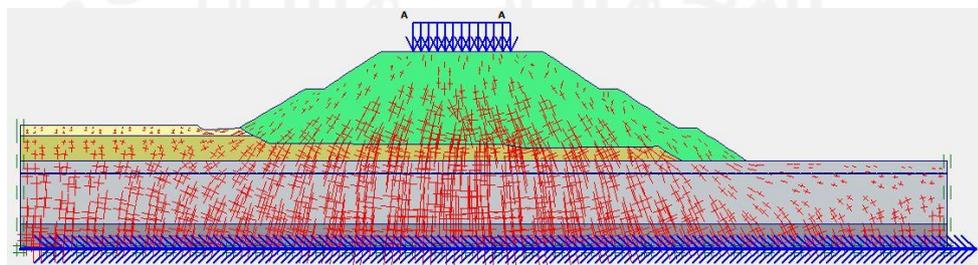


**Gambar 5. 109 Potensi Kelongsoran Lereng Timbunan Sudut 34° Akibat Beban Struktur Jalan Pasca Konstruksi**

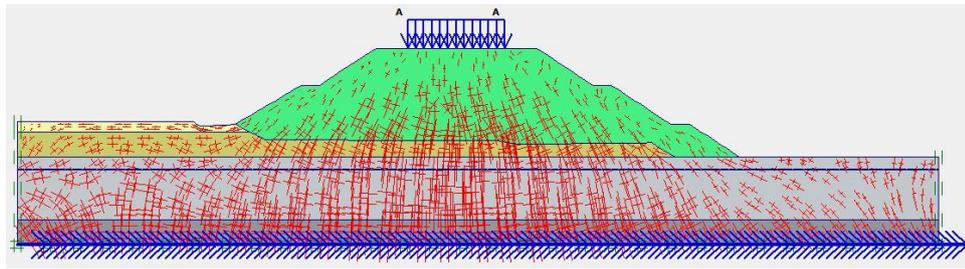


**Gambar 5. 110 Potensi Kelongsoran Lereng Timbunan Sudut 34° Akibat Beban Struktur Jalan & Beban Gempa Pasca Konstruksi**

Besar nilai *effective stresses* pada lereng timbunan sudut 34° pasca konstruksi akibat beban struktur jalan sebesar  $-326,25 \text{ kN/m}^2$ , sedangkan akibat beban struktur jalan dan gempa sebesar  $-347,03 \text{ kN/m}^2$ . Hasil *effective stress* timbunan sudut 34 pasca konstruksi akibat beban struktur jalan, serta akibat beban struktur jalan dan beban gempa disajikan dalam Gambar 5.111 dan Gambar 5.112 berikut.

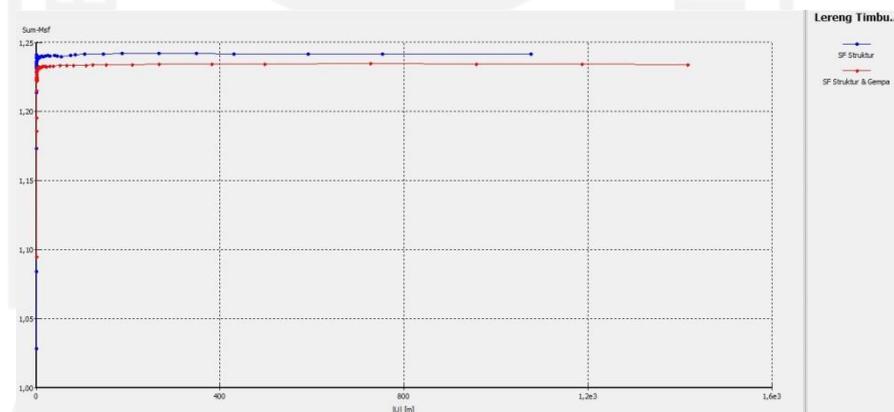


**Gambar 5. 111 *Effective Stresses* Lereng Timbunan Sudut 34° Akibat Beban Struktur Jalan Pasca Konstruksi**



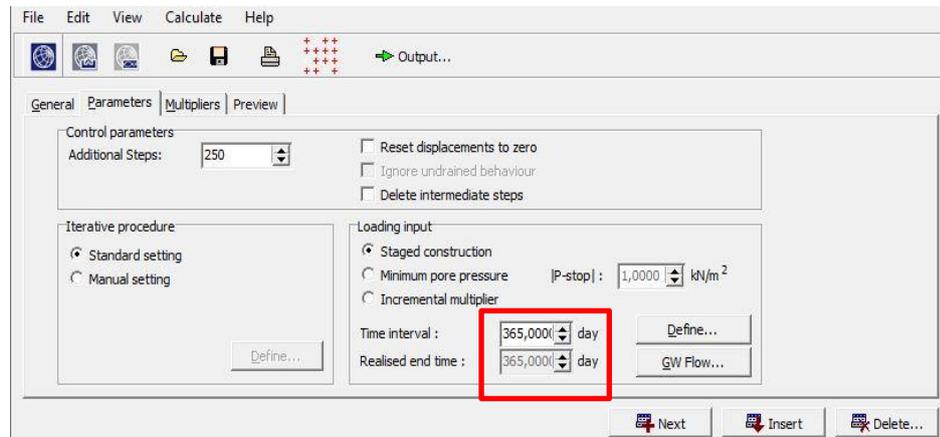
**Gambar 5. 112 Effective Stresses Lereng Timbunan Sudut 34° Akibat Beban Struktur Jalan & Beban Gempa Pasca Konstruksi**

Setelah dilakukan beberapa tahapan-tahapan analisis maka didapatkan nilai angka aman ( $SF$ ). Nilai angka aman ( $SF$ ) lereng timbunan sudut 34° pasca konstruksi yang didapatkan dari hasil analisis akibat beban struktur jalan adalah sebesar 1,2414 Sedangkan nilai angka aman ( $SF$ ) lereng timbunan sudut 34° pasca konstruksi akibat beban merata dan beban gempa adalah sebesar 1,2340. Hasil nilai angka aman ( $SF$ ) lereng timbunan sudut 34° dapat dilihat pada kurva Gambar 5.113 dibawah ini.

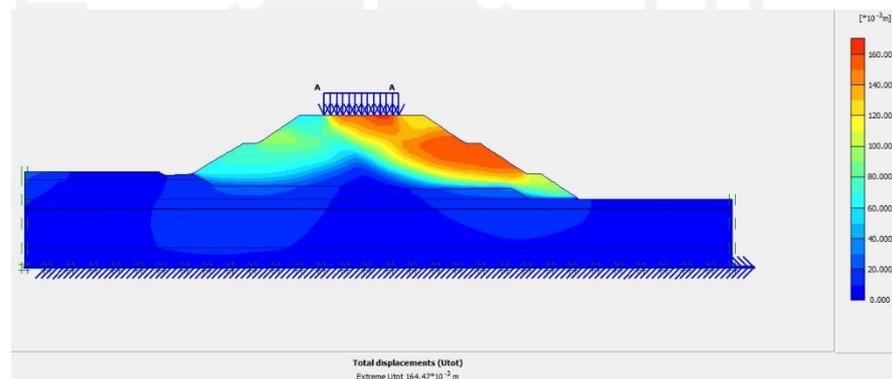


**Gambar 5. 113 Kurva  $SF$  Lereng Timbunan Sudut 34° Pasca Konstruksi**

Selanjutnya hasil penurunan konsolidasi pada lereng timbunan sudut 34° pasca konstruksi selama 365 hari disajikan dalam Gambar 5.114 dan Gambar 5.115 berikut.



**Gambar 5. 114 Pengaturan Durasi Konsolidasi Lereng Timbunan Sudut 34° Pasca Konstruksi**



**Gambar 5. 115 Penurunan Konsolidasi Lereng Timbunan Sudut 34° Pasca Konstruksi**

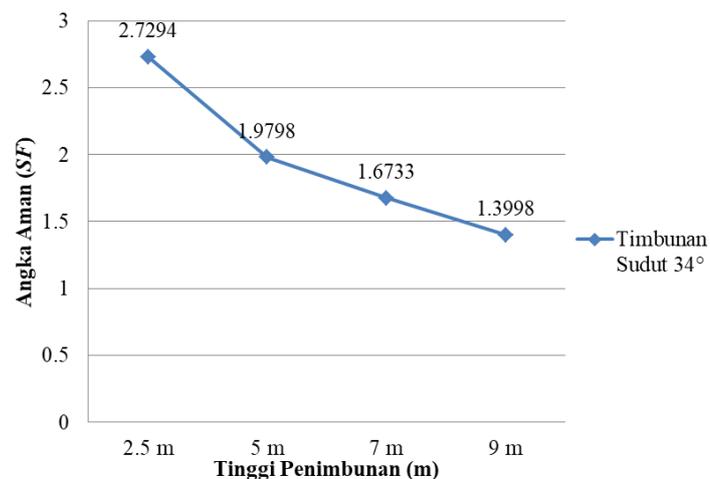
Penurunan konsolidasi lereng timbunan sudut 34° pasca konstruksi yang didapatkan dari hasil analisis adalah sebesar  $164,47 \times 10^{-3}$  m.

4. Rekapitulasi Nilai Angka Aman ( $SF$ ) dan Penurunan Konsolidasi  
Kemudian dari hasil analisis dilakukan rekapitulasi nilai angka aman ( $SF$ ) dan konsolidasi pada lereng timbunan sudut 34°. Rekapitulasi analisis perhitungan angka aman ( $SF$ ) dan konsolidasi pada lereng timbunan sudut 34° untuk masa konstruksi disajikan pada Tabel 5.12 berikut.

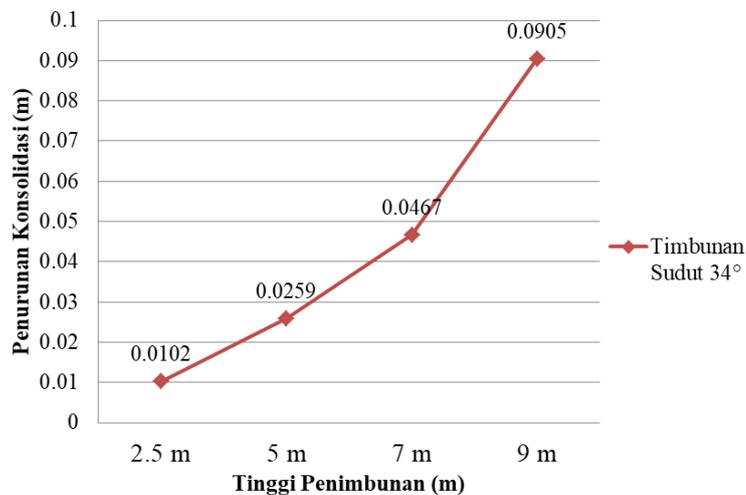
**Tabel 5. 12 Rekapitulasi Hasil Angka Aman ( $SF$ ) dan Penurunan Konsolidasi Lereng Timbunan Sudut  $34^\circ$  Masa Konstruksi**

| Keterangan       | Angka Aman ( $SF$ ) | Penurunan Konsolidasi (m) |
|------------------|---------------------|---------------------------|
| Penimbunan 2,5 m | 2,7294              | 0,0102                    |
| Penimbunan 5 m   | 1,9798              | 0,0259                    |
| Penimbunan 7 m   | 1.6733              | 0,0467                    |
| Penimbunan 9 m   | 1,3998              | 0,0905                    |

Berdasarkan Tabel 5.9 angka aman ( $SF$ ) lereng timbunan sudut  $34^\circ$  masa konstruksi pada fase penimbunan 2,5 m; 5 m; 7 m; 9 m memiliki nilai angka aman ( $SF$ ) yang aman. Grafik rekapitulasi hasil angka aman ( $SF$ ) dan penurunan konsolidasi selama 365 hari pada lereng timbunan sudut  $34^\circ$  masa konstruksi dapat dilihat pada Gambar 5.116 dan Gambar 5.117 berikut.



**Gambar 5. 116 Grafik Angka Aman ( $SF$ ) Lereng Timbunan Sudut  $34^\circ$  Masa Konstruksi**



**Gambar 5. 117 Grafik Penurunan Konsolidasi Lereng Timbunan Sudut 34° Masa Konstruksi**

Untuk perbandingan angka aman ( $SF$ ) lereng timbunan sudut 34° masa konstruksi dan pasca konstruksi dapat dilihat pada Tabel 5.13 berikut.

**Tabel 5. 13 Perbandingan Nilai Angka Aman ( $SF$ ) Masa Konstruksi dan Pasca Konstruksi Lereng Timbunan Sudut 34°**

| Keterangan         | Angka Aman ( $SF$ ) |               |                  |               |
|--------------------|---------------------|---------------|------------------|---------------|
|                    | Masa Konstruksi     |               | Pasca Konstruksi |               |
|                    | Beban Struktur      | Beban & Gempa | Beban Struktur   | Beban & Gempa |
| Timbunan Sudut 34° | 1,3998              | 1,3968        | 1,2414           | 1,2340        |

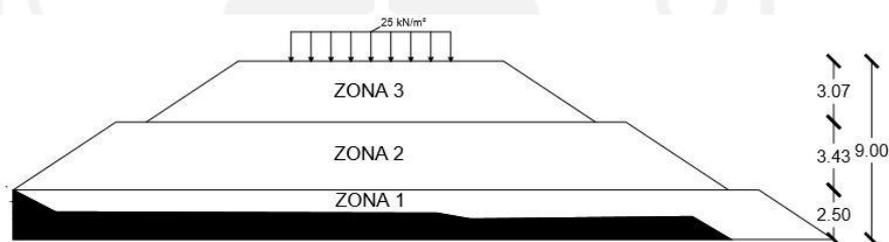
Berdasarkan Tabel 5.13 angka aman ( $SF$ ) pada lereng timbunan sudut 34° pasca konstruksi memiliki nilai angka aman ( $SF$ ) yang masih kurang dari yang syarat yang ditentukan sebesar 1,3. Maka perlu dilakukan analisis kembali dengan alternatif solusi yang baru yaitu memberi perkuatan tambahan pada lereng timbunan sudut 34°. Untuk hasil konsolidasi pada lereng timbunan sudut 34° dapat dilihat pada Tabel 5.14 sebagai berikut.

**Tabel 5. 14 Penurunan Konsolidasi Pada Lereng Timbunan Sudut 34° Pasca Konstruksi**

| Konsolidasi        |           |        |
|--------------------|-----------|--------|
| Timbunan           | Penurunan | Satuan |
| Timbunan Sudut 34° | 0,1645    | m      |

#### 5.4 Perhitungan Kebutuhan Geotekstil

Berdasarkan analisis sebelumnya maka akan dilakukan penambahan perkuatan geotekstil pada lereng timbunan sudut 34°. Dalam perhitungan kebutuhan geotekstil yang digunakan adalah timbunan 9 meter. Untuk pemodelan zona yang digunakan dapat dilihat pada Gambar 5.118 di bawah ini.



**Gambar 5. 118 Zona Pada Timbunan 9 meter**

Dalam perhitungan zona yang digunakan adalah zona 2, hal ini dikarenakan geotekstil akan dipasang pada zona 2.

##### 5.4.1 Data Perhitungan Geotekstil

###### 1. Parameter Tanah Timbunan

Parameter tanah yang digunakan dan akan diperkuat oleh geotekstil adalah pada bagian tanah timbunan karena bidang longsor paling besar terdapat pada bagian timbunan tanah. Untuk jenis tanah timbunan yang digunakan sebagai parameter tanah dalam perhitungan kebutuhan geotekstil adalah sebagai berikut.

- Berat volume tanah ( $\gamma_b$ ) = 16 kN/m<sup>3</sup>
- Sudut geser dalam ( $\phi$ ) = 13,6°
- Kohesi (c) = 10,6 kN/m<sup>2</sup>

###### 2. Data Geotekstil

Pada analisis perhitungan ini menggunakan jenis geotekstil *woven* yang digunakan sebagai perkuatan tambahan untuk timbunan tanah. Data geotekstil yang digunakan berasal dari produksi PT. Teknindo Geosistem Unggul dengan jenis geotekstil yang digunakan adalah *woven* UW-250. Nilai kuat tarik pada geotekstil yang digunakan sebesar 52 kN/m dan nilai regangannya yang digunakan adalah sebesar 20%. Data geotekstil yang akan diinput kedalam aplikasi *Plaxis* yaitu berupa nilai *normal stiffness* ( $EA$ ) yang dihitung sebagai berikut.

$$\begin{aligned} EA &= \frac{Fg}{\Delta l/l} \\ &= \frac{52}{0,2} \\ &= 260 \text{ kN/m} \end{aligned}$$

Perhitungan kebutuhan geotekstil yang akan digunakan menggunakan nilai  $SF$  sebagai pembagi nilai kuat tarik ijin dari geotekstil. Nilai  $SF$  yang digunakan sebesar 2 karena sudah dianggap aman dengan melebihi lebih nilai angka aman ( $SF$ ) yang disyaratkan.

$$\begin{aligned} T_{all} &= \frac{T_{ult}}{SF_{geo}} \\ &= \frac{52}{2} \\ &= 26 \text{ kN/m}^2 \end{aligned}$$

Parameter geotekstil yang digunakan sebagai perhitungan dan *input* kedalam *software* *Plaxis* 8.6 dapat dilihat pada Tabel 5.12 berikut.

**Tabel 5. 15 Data Geotekstil Woven UW-250**

| Parameter                   | Notasi     | Nilai | Satuan |
|-----------------------------|------------|-------|--------|
| Kuat tarik Ultimit          | $T_{ult}$  | 52    | kN/m   |
| Regangan                    | $\epsilon$ | 20    | %      |
| Kekakuan normal             | $EA$       | 260   | kN/m   |
| Kuat tarik <i>allowable</i> | $T_{all}$  | 26    | kN/m   |

### 3. Koefisien Daya Dukung Tanah

Pada analisis perhitungan kebutuhan geotekstil dibutuhkan data koefisien daya dukung tanah. Data koefisien daya dukung tanah yang digunakan pada penelitian ini berdasarkan data dari Departemen Pekerjaan Umum (2009). Untuk nilai koefisien daya dukung tanah disajikan dalam Tabel 5.16 berikut ini.

**Tabel 5. 16 Koefisien Daya Dukung Tanah**

| $\varphi$ | $N_c$ | $N_q$ | $N_\gamma$ |
|-----------|-------|-------|------------|
| 10        | 8,85  | 2,47  | 1,22       |
| 11        | 8,80  | 2,71  | 1,44       |
| 12        | 9,28  | 2,97  | 1,69       |
| 13,6      | 9,81  | 3,26  | 1,97       |

(Sumber: Departemen Pekerjaan Umum, 2009)

#### 5.4.2 Stabilitas Eksternal

##### 1. Menentukan Jarak Arah Vertikal Antar Lapis Geotekstil ( $S_v$ )

Perhitungan koefisien aktif tanah adalah sebagai berikut

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

$$K_a = \tan \left( 45 - \frac{13,6}{2} \right)$$

$$= 0,619247$$

##### a. Jarak arah vertikal minimum lapis geotekstil ( $S_v$ ) timbunan 9 m

$$\sigma_{hc} = (q \times K_a) + (K_a \times H \times \gamma_b) - (2 \times c \times \sqrt{K_a})$$

$$= (25 \times 0,619247) + (0,619247 \times 3,43 \times 14,2) - (2 \times 10,6 \times$$

$$\sqrt{0,619247})$$

$$= 28,9594 \text{ kN/m}^2$$

$$S_v = \frac{T_{all}}{\sigma_{hc} \times SF}$$

$$= \frac{26}{53,413794 \times 1,5}$$

$$= 0,7251 \text{ m}$$

Maka dilapangan akan dipasang  $S_v = 0,5$  m (minimal)

Banyak lapis geotekstil teoritis =  $3,43$  m /  $0,5$  m = 7 lapis

Pada penelitian ini untuk lereng timbunan sudut  $34^\circ$  untuk perkuatan akan dicoba menggunakan perkuatan geotekstil sebanyak 1 lapis.

## 2. Menentukan Panjang Geotekstil

### a. Stabilitas terhadap guling

$$SF = \frac{\sum MR}{\sum MD} = \frac{\text{Momen Menahan}}{\text{Momen Menggulingkan}} \geq 1,5$$

$$\sum MD = \left( q \times Ka \times \frac{1}{2} \times H^2 \right) + \left( \frac{1}{2} \times Ka \times \gamma b \times H^2 \times \frac{1}{3} \times H \right) - \left( 2 \times c \times \sqrt{Ka} \times \frac{1}{2} \times H^2 \right)$$

$$\sum MR = \left( \frac{1}{2} \times q \times L^2 \right) + \left( \frac{1}{2} \times \gamma b \times H \times L^2 \right)$$

$$SF = \frac{\left( \frac{1}{2} \times 25 \times L^2 \right) + \left( \frac{1}{2} \times 14,2 \times 12,5 \times L^2 \right)}{\left( 25 \times 0,665171 \times 3,4^2 \right) + \left( \frac{1}{2} \times 0,665171 \times 14,2 \times 8,9^2 \times \frac{1}{3} \times 3,4 \right) - \left( 2 \times 10,6 \times \sqrt{0,665171} \times \frac{1}{2} \times 3,4^2 \right)}$$

$$SF = \left( \frac{378,685523 \times L^2}{57,159} \right)$$

$$L^2 = \frac{52,072013 \times 1,5}{52,072} = 2,119448$$

$$L = 1,455832 \text{ m}$$

Maka panjang geotekstil yang digunakan untuk menahan guling pada timbunan tanah adalah sepanjang 2 m.

### b. Stabilitas terhadap geser

$$SF = \frac{(q \times \tan \delta \times L) + (H \times \gamma b \times \tan \delta \times L)}{(q \times Ka \times H) + (0,5 \times Ka \times \gamma b \times H^2) - (2 \times c \times \sqrt{Ka} \times H)}$$

Tahanan geser pada dasar perkuatan ( $\delta = \frac{2}{3} \times 13,6 = 9,066667$ )

$$SF = \frac{(25 \times \tan(7,73333) \times L) + (8,9 \times 14,2 \times \tan(7,73333) \times L)}{(25 \times 0,665171 \times 3,4) + (0,5 \times 0,665171 \times 14,2 \times 3,4^2) - (2 \times 10,6 \times \sqrt{0,665171} \times 3,4)}$$

$$SF = \frac{11,761812 \times L}{47,60475}$$

$$L = \frac{47,60475 \times 1,5}{11,761812} = 6,071099 \text{ m}$$

Maka panjang geotekstil yang digunakan untuk menahan geser pada timbunan tanah adalah sepanjang 6 m.

### c. Stabilitas terhadap eksentrisitas

$$\frac{1}{6} \times L \geq e$$

$$e = \frac{\sum MD}{Rv} = \frac{(q \times Ka \times \frac{1}{2} \times H^2) + (\frac{1}{2} \times Ka \times \gamma b \times H^2 \times \frac{1}{3} \times H) - (2 \times c \times \sqrt{Ka} \times \frac{1}{2} \times H^2)}{(H \times \gamma b \times L) + (q \times L)}$$

$$\frac{L}{6} \geq \frac{378,685523}{(3,4 \times 14,2 \times L) + (25 \times L)}$$

$$\frac{L}{6} \geq \frac{52,072013}{73,706 \times L}$$

$$L^2 = 4,238896 \text{ m}$$

$$L = 2,058858 \text{ m}$$

Maka panjang geotekstil yang digunakan untuk menahan eksentrisitas pada timbunan tanah adalah sepanjang 2 m.

- d. Stabilitas terhadap kapasitas dukung tanah

$$Nc = 9,31$$

$$N\gamma = 1,97$$

$$L \leq \frac{\sigma_{ult}}{(H \times \gamma b) + q}$$

$$\sigma_{ult} = [(c \times Nc) + (0,5 \times L \times \gamma b \times N\gamma)] \times SF$$

$$\sigma_{ult} = [(10,6 \times 3,4) + (0,5 \times L \times 14,2 \times 10,2 \times 1,44)] \times 1,5$$

$$\sigma_{ult} = 161,994 + (20,9805 \times L)$$

$$L \leq \frac{161,994 + (20,9805 \times L)}{(3,4 \times 14,2) + 25}$$

$$115,738 \leq 161,994 + (20,9805 \times L)$$

$$L = \frac{161,994}{115,738 - 20,9805}$$

$$L = 1,70956 \text{ m}$$

Maka panjang geotekstil yang digunakan untuk menahan daya dukung tanah pada timbunan tanah adalah sepanjang 2 m.

Dari empat jenis parameter stabilitas lereng tanah diatas, panjang geotekstil yang akan digunakan adalah sepanjang 36,17 m menyesuaikan dengan panjang bentang dasar timbunan. Selanjutnya untuk rekapitulasi panjang kebutuhan geotekstil disajikan dalam Tabel 5.17.

Tabel 5. 17 Rekapitulasi Kebutuhan Panjang Geotekstil

| Tinggi Timbunan (H) | Stabilitas Guling | Stabilitas Geser | Stabalitas Eksentrisitas | Stabilitas Daya Dukung Tanah | Panjang Pakai (L) |
|---------------------|-------------------|------------------|--------------------------|------------------------------|-------------------|
|                     | (m)               | (m)              | (m)                      | (m)                          | (m)               |
| 9 m                 | 1,455832          | 6,071099         | 2,058858                 | 1,709564                     | 36,17             |

### 5.4.3 Stabilitas Internal

#### 1. Menentukan Panjang *Overlapping* Geotekstil ( $L_o$ )

- a. Timbunan sudut  $34^\circ$

$$L_o = \frac{\sigma_{hc} \times S_v \times SF}{2 \times \gamma_b \times H \times \tan \varphi}$$

$$L_o = \frac{28,959455 \times 0,5 \times 1,5}{2 \times 14,2 \times 3,4 \times \tan 13,6} = 0,929764 \text{ m}$$

Maka panjang *overlapping* geotekstil yang akan digunakan adalah sepanjang 1 m.

#### 2. Menentukan Panjang Efektif Geotekstil ( $L_{ef}$ )

- a. Timbunan sudut  $34^\circ$

$$L_{ef} = \frac{SF \times S_v \times K_a \times \gamma_b \times H}{2 \times \gamma_b \times H \times \tan \varphi}$$

$$L_{ef} = \frac{1,5 \times 0,5 \times 0,619247 \times 14,2 \times 2}{2 \times 16 \times 3,4 \times \tan 13,6} = 0,929764 \text{ m}$$

Makan panjang efektif geotekstil yang akan digunakan adalah 1 m

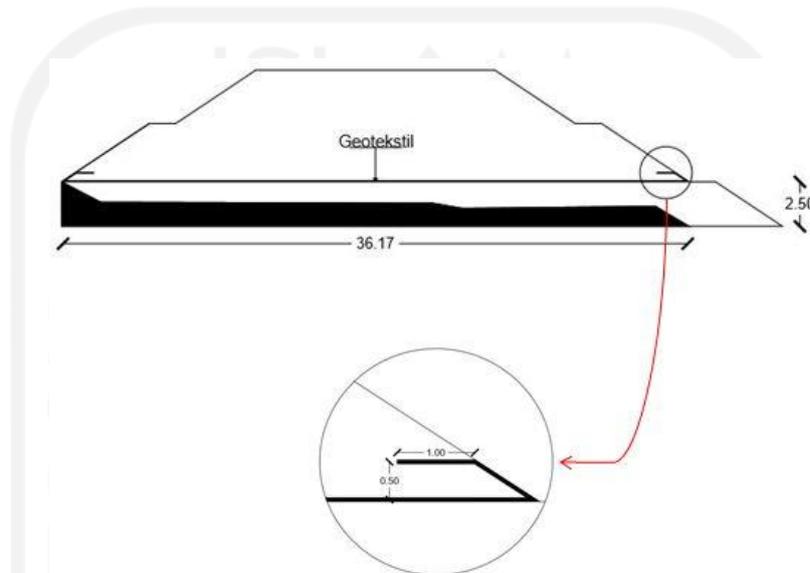
Berdasarkan stabilitas internal panjang *overlapping* geotekstil yang digunakan adalah 1 m dan panjang efektif geotekstil adalah 1 m. Selanjutnya untuk rekapitulasi hasil perhitungan terdapat pada Tabel 5.18 berikut.

Tabel 5. 18 Rekapitulasi Hasil Perhitungan Stabilitas Internal

| Tinggi Timbunan (H) | Panjang <i>Overlapping</i> | Panjang Efektif | Panjang Pakai (L) |
|---------------------|----------------------------|-----------------|-------------------|
| 9 m                 | 0,929764                   | 0,959872        | 1                 |

#### 5.4.4 Cek Gaya Tarik Tanah - Geotekstil

Untuk mengetahui apakah geotekstil yang akan digunakan mampu menahan gaya tarik yang terjadi dengan nilai  $S_v$  0,5 m, maka perlu dilakukan pengecekan dengan cara perhitungan tegangan geser yang bekerja. Untuk gambar pemasangan geotekstil pada timbunan 9 meter dapat dilihat pada Gambar 5.119 berikut.



**Gambar 5. 119 Gambar Pemasangan Geotekstil**

Ketika geotekstil menerima beban dari atas (tanah timbuan) maka geotekstil akan menegang dan mentransfer tegangan tersebut ke daerah pasif. Sehingga geotekstil harus mampu menahan gaya tarik yang bekerja padanya. Oleh karena itu keperluan perencanaan jenis geotekstil yang mampu menahan gaya tarik tersebut, maka diperlukan pengecekan terhadap gaya tarik. Gaya tarik yang bekerja pada geotekstil dapat dicari dengan menggunakan persamaan berikut.

$$\begin{aligned}
 T &= \tan \alpha \times \sigma_n \times b \times L \\
 &= \tan(34) \times \left( \frac{1}{2} \times 0,5 \times 14,2 \times \tan(13,6) \right) \times 1 \times 36,17 \\
 &= 41,9060 \text{ kN/m}
 \end{aligned}$$

Berdasarkan perhitungan gaya tarik yang bekerja pada geotekstil adalah sebesar 41,9060 kN/m, sedangkan pada jenis geotekstil yang akan digunakan memiliki kuat tarik sebesar 52 kN/m. Maka berdasarkan perhitungan pengecekan

yang dilakukan kekuatan geotekstil menunjukkan bahwa mampu menahan gaya tarik yang akan bekerja  $52 \text{ kN/m} > 41,9060 \text{ kN/m}$  (aman).

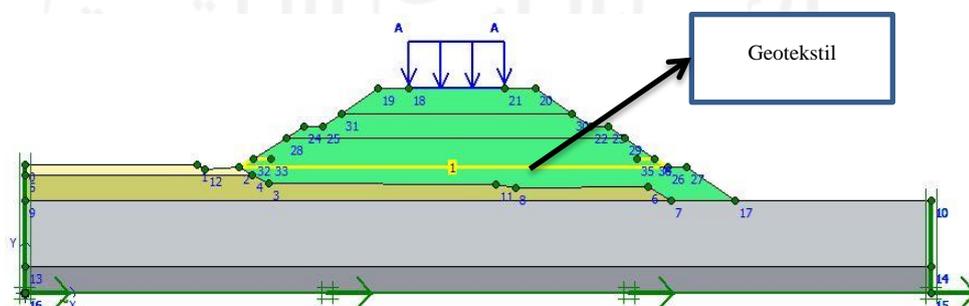
## 5.5 Lereng Timbunan Sudut $34^\circ$ Dengan Perkuatan

### 5.5.1 Analisis Menggunakan Program Plaxis Lereng Timbunan Sudut $34^\circ$ Dengan Perkuatan

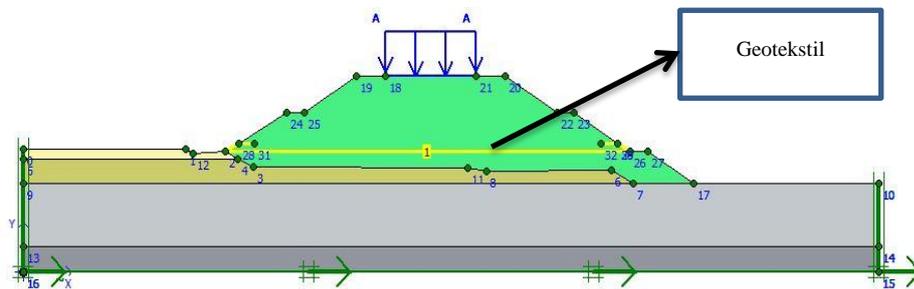
Berdasarkan hasil analisis stabilitas lereng timbunan sudut  $34^\circ$  nilai angka aman ( $SF$ ) sudah mengalami peningkatan dibandingkan lereng timbunan asli sudut  $39^\circ$ , namun nilai angka amannya ( $SF$ ) masih dibawah syarat yg ditentukan yaitu 1,3. Maka pada timbunan sudut  $34^\circ$  diberi perkuatan geotekstil. Hasil analisis dari program Plaxis 8.6 yang akan ditampilkan pada analisis ini adalah lereng timbunan dengan sudut kemiringan  $34^\circ$  yang diberi perkuatan geotekstil. Desain ini bertujuan untuk meningkatkan angka aman ( $SF$ ) dengan menggunakan perkuatan jenis geotekstil. Penjabaran analisis meliputi pemodelan awal lereng timbunan dan kondisi lereng timbunan hasil analisis adalah sebagai berikut.

#### 1. Pemodelan Lereng Timbunan

Pemodelan lereng timbunan menggunakan tanah timbunan asli sudut  $39^\circ$  yang sudah diubah sudut kemiringan lerengnya menjadi  $34^\circ$  kemudian diberi perkuatan jenis geotekstil. Geotekstil dipasang secara horizontal dengan  $S_v$  0,5 m dengan panjang *overlapping* 1 m. Gambar pemodelan lereng timbunan sudut  $34^\circ$  dengan perkuatan masa konstruksi dan pasca konstruksi disajikan dalam Gambar 5.120 dan Gambar 5.121.



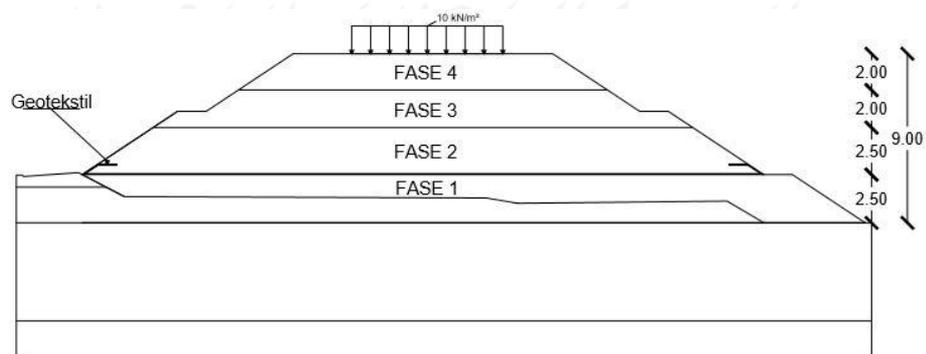
**Gambar 5. 120 Pemodelan Lereng Timbunan Sudut  $34^\circ$  Dengan Perkuatan Masa Konstruksi**



**Gambar 5. 121 Pemodelan Lereng Timbunan Sudut 34° Dengan Perkuatan Pasca Konstruksi**

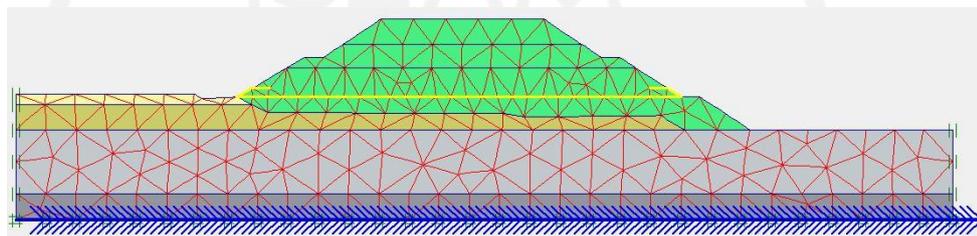
## 2. Kondisi Masa Konstruksi

Kondisi masa konstruksi terjadi pada saat awal pembuatan timbunan, tanah pada timbunan pada masa konstruksi masih bersifat *drained* karena timbunan masih dapat mendrainase air dengan baik. Beban merata yang diinput pada masa konstruksi sebesar  $10 \text{ kN/m}^2$  yaitu akibat beban dari struktur jalan yang berada di atas timbunan. Analisis stabilitas dilakukan 4 tahapan dengan asumsi dilakukan ketika setiap fase penimbunan selesai, penimbunan fase pertama diasumsikan selesai ketika timbunan mencapai tinggi 2,5 m dan kemudian dianalisis kondisi timbunan tersebut, selanjutnya pada ketinggian 5 m, 7 m, hingga 9 m. Pada analisis penimbunan hingga 9 m dengan beban struktur jalan diinput. Gambar asumsi fase penimbunan pada lereng timbunan sudut 34° dengan perkuatan disajikan dalam Gambar 5.122 berikut.



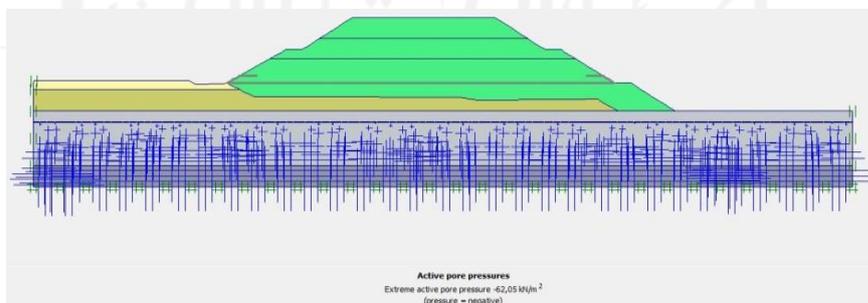
**Gambar 5. 122 Asumsi Fase Penimbunan Lereng Timbunan Sudut 34° Dengan Perkuatan**

Tahapan-tahapan selanjutnya setelah pemodelan geometri lereng timbunan sudut  $34^\circ$  dengan perkuatan selesai adalah melakukan input parameter tanah pada pemodelan lereng timbunan tersebut. kemudian penyusunan jaringan elemen (*meshing*) dilakukan. Hasil dari jaringan elemen hingga (*meshing*) pada lereng timbunan sudut  $34^\circ$  dengan perkuatan disajikan dalam Gambar 5.123 berikut.

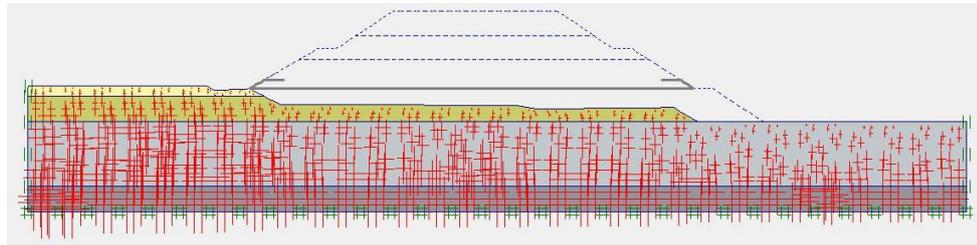


**Gambar 5. 123 Meshing Lereng Timbunan Sudut  $34^\circ$  Dengan Perkuatan Masa Konstruksi**

Setelah *meshing* selesai dilakukan, maka dilanjutkan dengan pengondisian awal (*initial condition*). Karena posisi muka air tanah berada di kedalaman 3,8 m dari permukaan tanah asli, maka dalam proses tekanan air (*generate water pressures*) garis muka air tanah diletakkan sesuai dengan kondisi di lapangan. Kemudian dilanjutkan dengan konfigurasi geometri awal langsung dengan perhitungan *general intial stresses*. Hasil dari *generate water pressures* dengan *intial soil stresses* pada lereng timbunan sudut  $34^\circ$  dengan perkuatan masa konstruksi disajikan dalam Gambar 5.124 dan Gambar 5.125 berikut.



**Gambar 5. 124 Generate Water Pressures pada Lereng Timbunan Sudut  $34^\circ$  Dengan Perkuatan Masa Konstruksi**

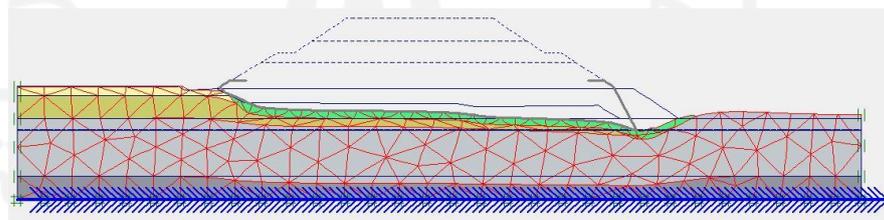


**Gambar 5. 125 Initial Soil Stresses pada Lereng Timbunan Sudut 34° Dengan Perkuatan Masa Konstruksi**

Tahapan selanjutnya yaitu masuk ke tahapan analisis perhitungan (*calculation*) lereng timbunan sudut 34° dengan perkuatan, tahapan analisis pada lereng timbunan dilakukan empat fase sesuai dengan asumsi fase penimbunan.

a. Penimbunan fase 1

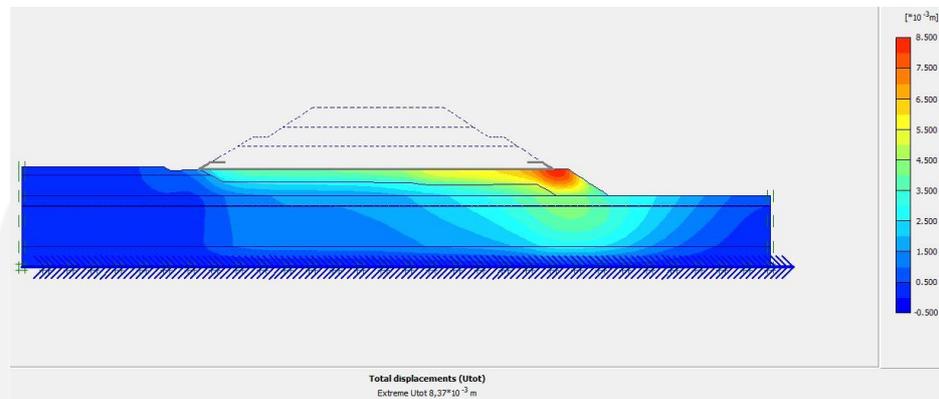
Penimbunan fase 1 dilakukan hingga tinggi timbunan sudut 34° dengan perkuatan mencapai 2,5 m, berikut merupakan analisis stabilitas penimbunan hingga 2,5 m. Hasil *deformed mesh* timbunan sudut 34° dengan perkuatan saat penimbunan hingga 2,5 m disajikan dalam Gambar 5.126 berikut.



**Gambar 5. 126 Deformed Mesh Penimbunan 2,5 m Lereng Timbunan Sudut 34° Dengan Perkuatan**

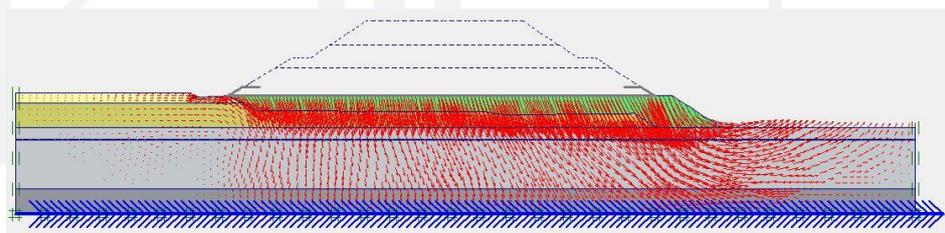
Pada timbunan sudut 34° dengan perkuatan saat penimbunan hingga 2,5 m mengalami *displacement* yang lebih terkonsentrasi pada daerah kanan penimbunan. Kondisi *displacement* terbesar terjadi pada bagian kanan timbunan tersebut. Untuk nilai *total displacement* yang terjadi pada timbunan sudut 34° dengan perkuatan saat penimbunan 2,5 m adalah

sebesar  $8,37 \times 10^{-3}$  m. *Total displacement* yang terjadi pada timbunan tersebut disajikan dalam Gambar 5.127 berikut.



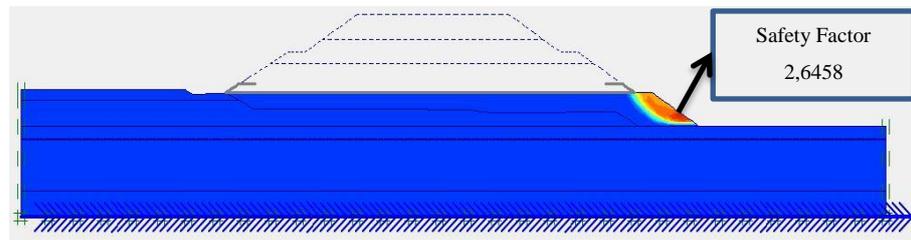
**Gambar 5. 127 Total Displacement Penimbunan 2,5 Lereng Timbunan Sudut 34° Dengan Perkuatan**

Arah pergerakan tanah akibat beban penimbunan di dominasi oleh arah vertikal kearah kanan timbunan. Arah pergerakan tanah pada timbunan sudut 34° dengan perkuatan saat penimbunan hingga 2,5 m disajikan dalam Gambar 5.128 berikut.



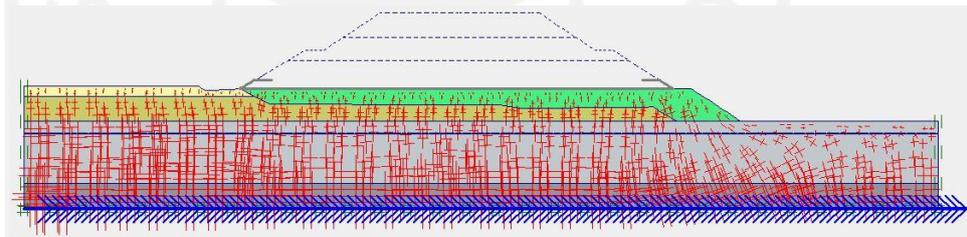
**Gambar 5. 128 Arah Pergerakan Tanah Penimbunan 2,5 m Lereng Timbunan Sudut 34° Dengan Perkuatan**

Untuk bidang potensi kelongsoran pada lereng timbunan sudut 34 ketika penimbunan hingga 2,5 m disajikan dalam Gambar 5.129 berikut.



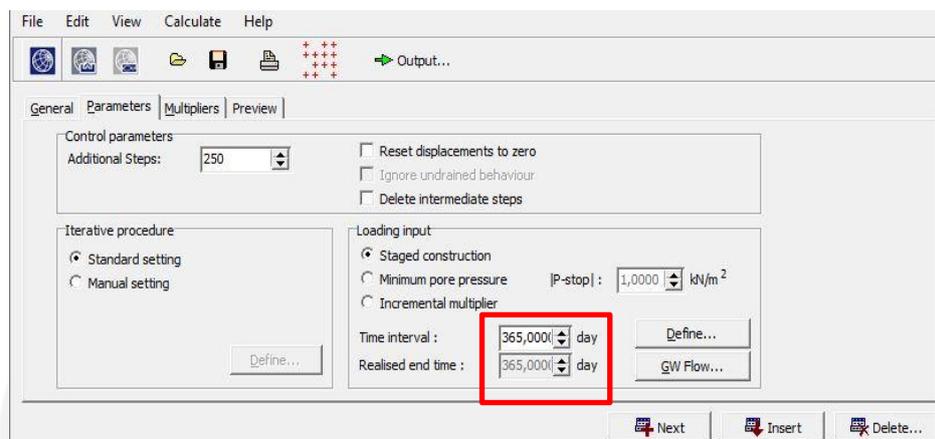
**Gambar 5. 129 Potensi Kelongsoran Penimbunan 2,5 m Lereng Timbunan Sudut 34° Dengan Perkuatan**

Besar nilai *effective stresses* ketika penimbunan hingga 2,5 m sebesar - 121,39 kN/m<sup>2</sup>. Ilustrasi *effective stresses* timbunan sudut 34° dengan perkuatan saat penimbunan hingga 2,5 m disajikan dalam Gambar 5.130 berikut.

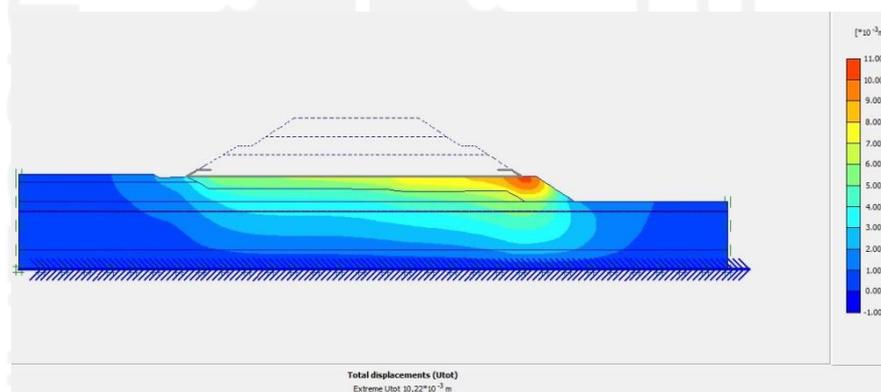


**Gambar 5. 130 Effective Stresses Penimbunan 2,5 m Lereng Timbunan Sudut 34° Dengan Perkuatan**

Nilai angka aman (*SF*) lereng timbunan sudut 34° dengan perkuatan saat penimbunan hingga 2,5 m yang didapatkan dari hasil analisis adalah sebesar 2,6458. Sehingga kondisi lereng timbunan tersebut saat penimbunan hingga 2,5 m masih aman dan bisa dilakukan penimbunan fase selanjutnya. Selanjutnya hasil penurunan konsolidasi pada lereng timbunan sudut 34° dengan perkuatan saat penimbunan 2,5 m selama 365 hari disajikan dalam Gambar 5.131 dan Gambar 5.132.



**Gambar 5. 131 Pengaturan Durasi Konsolidasi Lereng Timbunan Sudut 34° Dengan Perkuatan Masa Konstruksi**

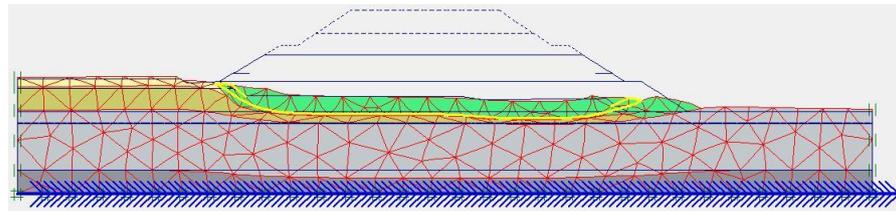


**Gambar 5. 132 Penurunan Konsolidasi Penimbunan 2,5 m Timbunan Sudut 34° Dengan Perkuatan**

Penurunan konsolidasi lereng timbunan sudut 34° dengan perkuatan saat penimbunan hingga 2,5 m yang didapatkan dari hasil analisis adalah sebesar  $10,22 \times 10^{-3}$  m.

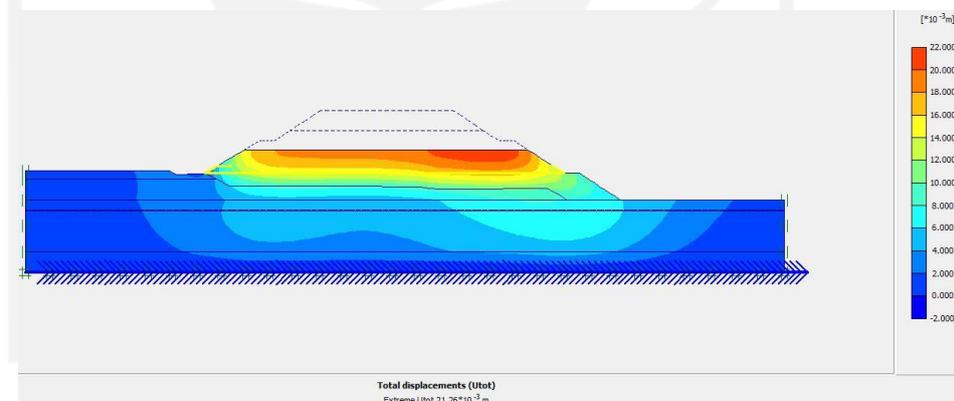
b. Penimbunan fase 2

Penimbunan fase 2 dilakukan hingga tinggi lereng timbunan sudut 34° dengan perkuatan mencapai tinggi 5 m, pada fase ini bahan geotekstil diaktifkan karena sudah terpasang saat penimbunan selesai, berikut merupakan analisis stabilitas untuk penimbunan hingga 5 m. Hasil *deformed mesh* timbunan sudut 34° dengan perkuatan saat penimbunan 5 m disajikan dalam Gambar 5.133 berikut.



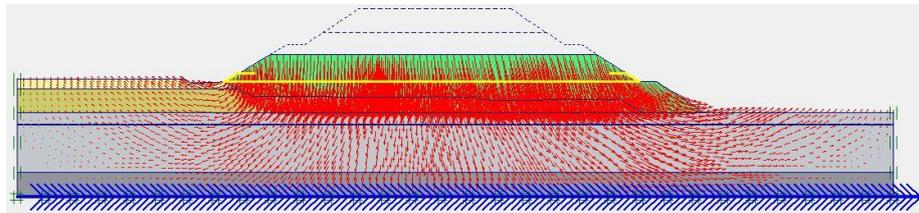
**Gambar 5. 133 Deformed Mesh Penimbunan 5 m Lereng Timbunan Sudut 34° Dengan Perkuatan**

Pada timbunan sudut 34° dengan perkuatan saat penimbunan hingga 5 m, timbunan mengalami *displacement* yang lebih terkonsentrasi pada daerah kanan penimbunan. *Displacement* terbesar terjadi pada bagian kanan timbunan. Besar nilai *total displacement* yang terjadi pada timbunan sudut 34° dengan perkuatan saat penimbunan 5 m adalah sebesar  $21,26 \times 10^{-3}$  m. *Total displacement* yang terjadi disajikan dalam Gambar 5.134 berikut.



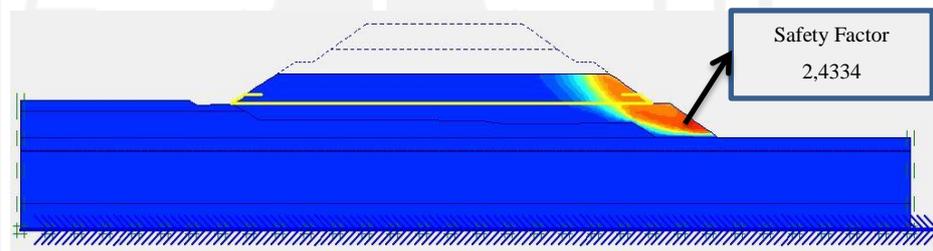
**Gambar 5. 134 Total Displacement Penimbunan 5 Lereng Timbunan Sudut 34° Dengan Perkuatan**

Arah pergerakan tanah akibat beban penimbunan di dominasi oleh arah vertikal kearah tengah timbunan. Arah pergerakan pada lereng timbunan sudut 34° dengan perkuatan saat penimbunan 5 m disajikan dalam Gambar 5.135 berikut.



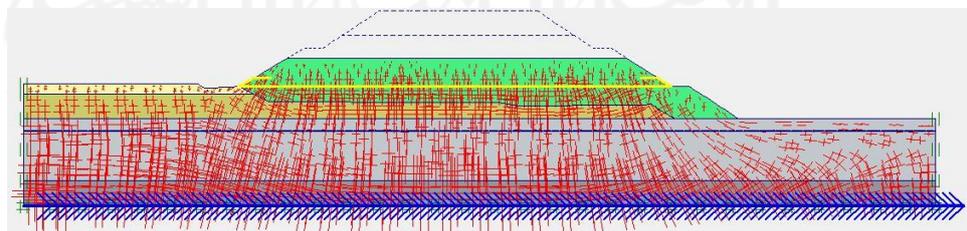
**Gambar 5. 135 Arah Pergerakan Tanah Penimbunan 5 m Lereng Timbunan Sudut 34° Dengan Perkuatan**

Untuk bidang potensi kelongsoran pada lereng timbunan sudut 34 dengan perkuatan ketika penimbunan mencapai 5 m disajikan dalam Gambar 5.136 berikut.



**Gambar 5. 136 Potensi Kelongsoran Penimbunan 5 m Lereng Timbunan Sudut 34° Dengan Perkuatan**

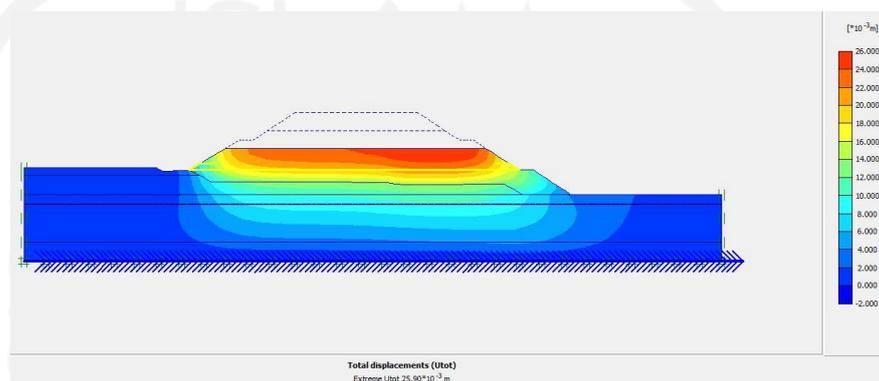
Besar nilai *effective stresses* pada timbunan sudut 34° dengan perkuatan ketika penimbunan hingga 5 m sebesar  $-147,85 \text{ kN/m}^2$ . Ilustrasi *effective stresses* pada timbunan tersebut saat penimbunan mencapai 5 m disajikan dalam Gambar 5.137 berikut.



**Gambar 5. 137 Effective Stresses Penimbunan 5 m Lereng Timbunan Sudut 34° Dengan Perkuatan**

Nilai angka aman (*SF*) lereng timbunan sudut 34° dengan perkuatan saat penimbunan mencapai 5 m yang didapatkan dari hasil analisis adalah

sebesar 2,4434. Sehingga kondisi lereng timbunan tersebut saat penimbunan hingga 5 m masih aman dan bisa dilakukan penimbunan fase selanjutnya. Selanjutnya hasil penurunan konsolidasi pada lereng timbunan sudut  $34^\circ$  dengan perkuatan saat penimbunan 2,5 m selama 365 hari disajikan dalam Gambar 5.138.

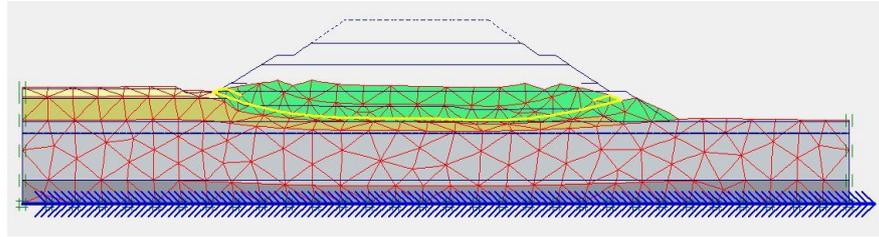


**Gambar 5. 138 Penurunan Konsolidasi Penimbunan 5 m Timbunan Sudut  $34^\circ$  Dengan Perkuatan**

Penurunan konsolidasi lereng timbunan sudut  $34^\circ$  dengan perkuatan saat penimbunan hingga 5 m yang didapatkan dari hasil analisis adalah sebesar  $25,90 \times 10^{-3}$  m.

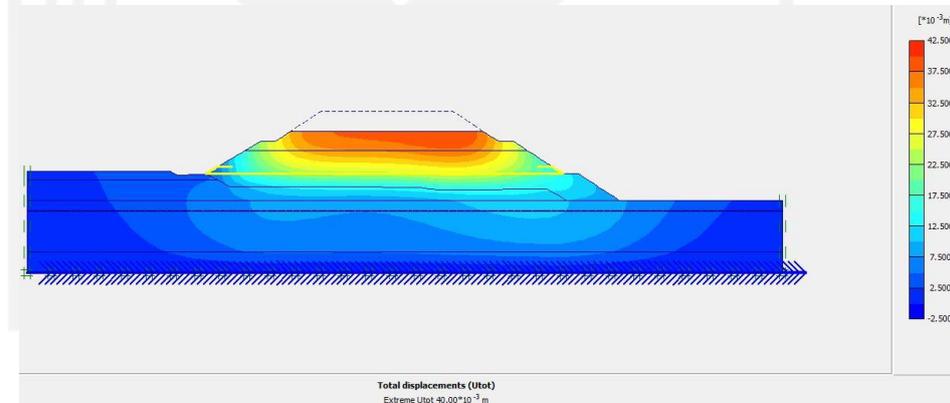
c. Penimbunan fase 3

Penimbunan fase 3 dilakukan hingga tinggi timbunan sudut  $34^\circ$  dengan perkuatan mencapai 7 m, berikut merupakan analisis stabilitas lereng timbunan tersebut untuk penimbunan hingga 7 m. Hasil *deformed mesh* pada timbunan sudut  $34^\circ$  dengan perkuatan saat penimbunan 7 m disajikan dalam Gambar 5.139 berikut.



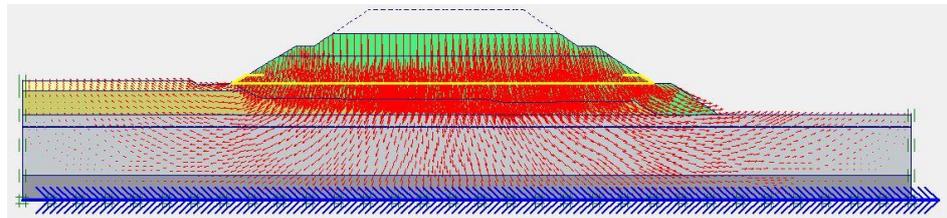
**Gambar 5. 139 Deformed Mesh Penimbunan 7 m Lereng Timbunan Sudut 34° Dengan Perkuatan**

Pada timbunan sudut 34° dengan perkuatan saat penimbunan hingga 7 , timbunan mengalami *displacement* yang lebih terkonsentrasi pada daerah kanan penimbunan. *Displacement* terbesar terjadi pada bagian kanan timbunan. Besar nilai total displacement yang terjadi pada timbunan sudut 34° dengan perkuatan saat penimbunan 7 m adalah sebesar  $40,00 \times 10^{-3}$  m. *Total displacement* yang terjadi pada timbunan tersebut disajikan dalam Gambar 5.140 berikut.



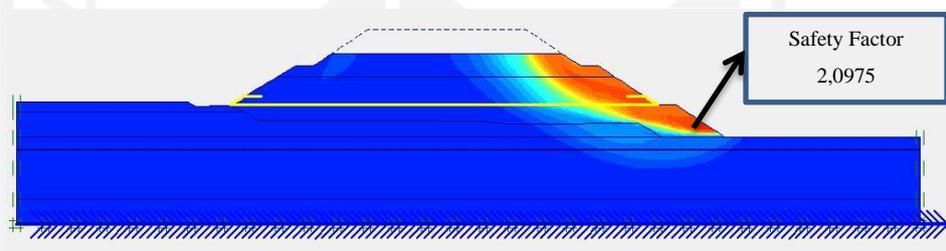
**Gambar 5. 140 Total Displacement Penimbunan 7 m Lereng Timbunan Sudut 34° Dengan Perkuatan**

Arah pergerakan tanah akibat beban penimbunan di dominasi oleh arah vertikal kearah tengah timbunan. Arah pergerakan tanah pada timbunan sudut 34° dengan perkuatan ketika penimbunan 7 m disajikan dalam Gambar 5.141 berikut.



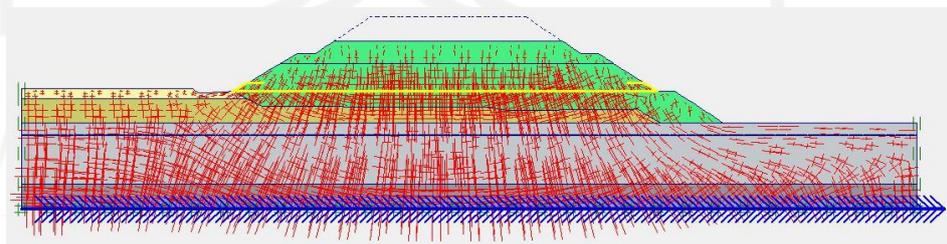
**Gambar 5. 141 Arah Pergerakan Tanah Penimbunan 7 m Lereng Timbunan Sudut 34°**

Untuk bidang potensi kelongsoran pada lereng timbunan sudut 34° dengan perkuatan ketika penimbunan mencapai 7 m disajikan dalam Gambar 5.142 berikut.



**Gambar 5. 142 Potensi Kelongsoran Penimbunan 7 m Lereng Timbunan Sudut 34° Dengan Perkuatan**

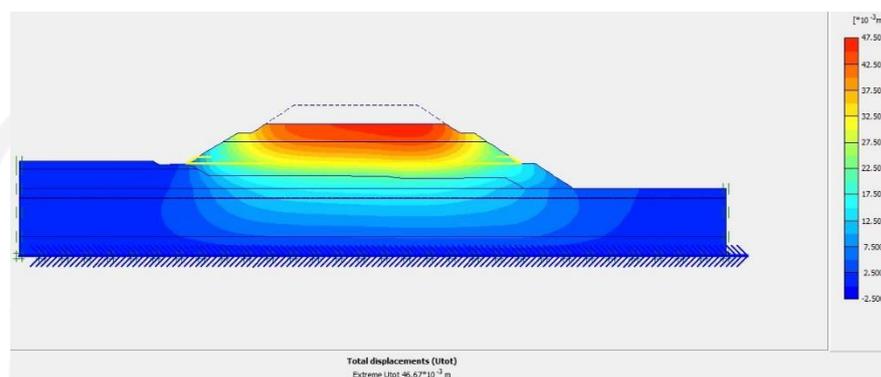
Besar nilai *effective stresses* pada timbunan sudut 34° dengan perkuatan ketika penimbunan hingga 7 m sebesar  $-168,10 \text{ kN/m}^2$ . *Effective stresses* pada timbunan tersebut disajikan dalam Gambar 5.143 berikut.



**Gambar 5. 143 *Effective Stresses* Penimbunan 7 m Lereng Timbunan Sudut 34° Dengan Perkuatan**

Nilai angka aman (*SF*) lereng timbunan sudut 34° dengan perkuatan saat penimbunan hingga 7 m yang didapatkan dari hasil analisis adalah sebesar 2,0975. Sehingga kondisi lereng timbunan tersebut saat dilakukan penimbunan hingga 7 m masih aman dan bisa dilakukan

penimbunan fase selanjutnya. Selanjutnya hasil penurunan konsolidasi pada lereng timbunan sudut  $34^\circ$  dengan perkuatan saat penimbunan 7 m selama 365 hari disajikan dalam Gambar 5.144.

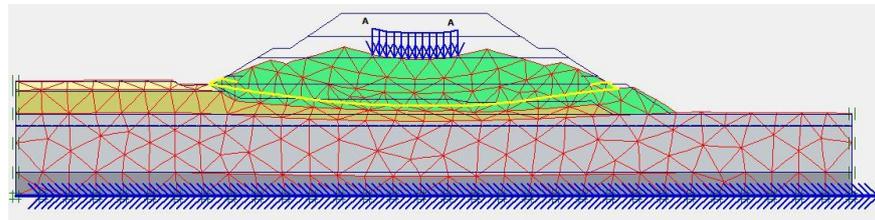


**Gambar 5. 144 Penurunan Konsolidasi Penimbunan 7 m Timbunan Sudut  $34^\circ$  Dengan Perkuatan**

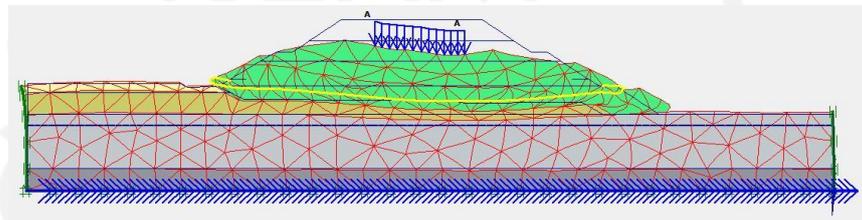
Penurunan konsolidasi lereng timbunan sudut  $34^\circ$  dengan perkuatan saat penimbunan hingga 7 m yang didapatkan dari hasil analisis adalah sebesar  $46,67 \times 10^{-3}$  m.

d. Penimbunan fase 4

Penimbunan fase 4 dilakukan hingga tinggi timbunan sudut  $34^\circ$  mencapai 9 m. Pada fase ini proses penimbunan telah selesai dan pekerjaan struktur jalan sudah selesai, maka pada analisis diinput beban struktur jalan sebesar  $10 \text{ kN/m}^2$  dan diinput juga beban gempa. Berikut merupakan analisis stabilitas lereng timbunan sudut  $34^\circ$  dengan perkuatan saat penimbunan hingga 9 m. Hasil *deformed mesh* pada timbunan sudut  $34^\circ$  dengan perkuatan saat penimbunan 9 m akibat beban struktur jalan, serta akibat beban struktur jalan dan beban gempa disajikan dalam Gambar 5.145 dan Gambar 5.146 berikut.

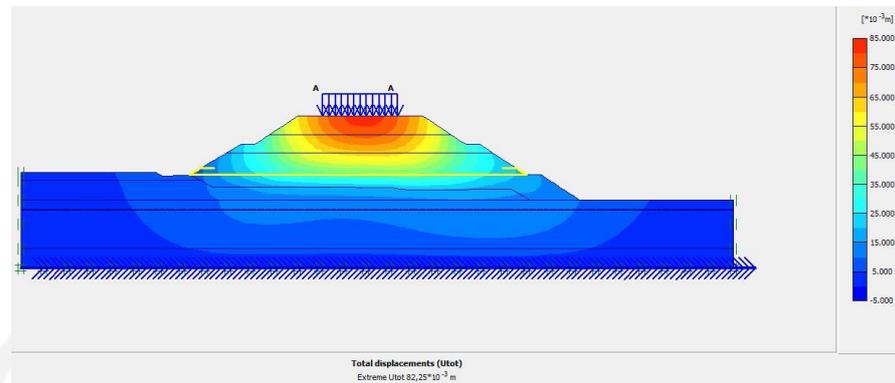


**Gambar 5. 145 Deformed Mesh Penimbunan 9 m Akibat Beban Struktur Jalan Lereng Timbunan Sudut 34° Dengan Perkuatan**

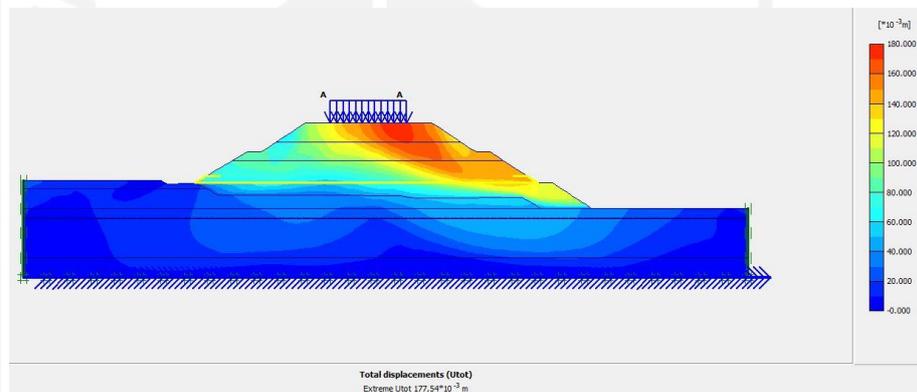


**Gambar 5. 146 Deformed Mesh Penimbunan 9 m Akibat Beban Struktur Jalan & Beban Gempa Lereng Timbunan Sudut 34° Dengan Perkuatan**

Pada timbunan sudut 34° dengan perkuatan saat penimbunan hingga 9 m akibat beban struktur jalan terjadi *displacement* yang terkonsentrasi pada daerah tengah timbunan, dan setelah diberikan beban gempa *displacement* terkonsentrasi pada daerah kanan timbunan. Akibat beban struktur jalan *displacement* terbesar terjadi pada bagian tengah timbunan sedangkan akibat beban struktur jalan dan beban gempa terjadi pada bagian kanan timbunan. Besar nilai *total displacement* yang terjadi pada timbunan saat penimbunan 9 m akibat beban struktur jalan adalah sebesar  $82,25 \times 10^{-3}$  m, sedangkan akibat beban struktur jalan dan beban gempa adalah  $177,54 \times 10^{-3}$ . *Total displacement* akibat beban struktur jalan, serta akibat beban struktur jalan dan beban gempa pada timbunan sudut 34° dengan perkuatan disajikan dalam Gambar 5.147 dan Gambar 5.148 berikut.

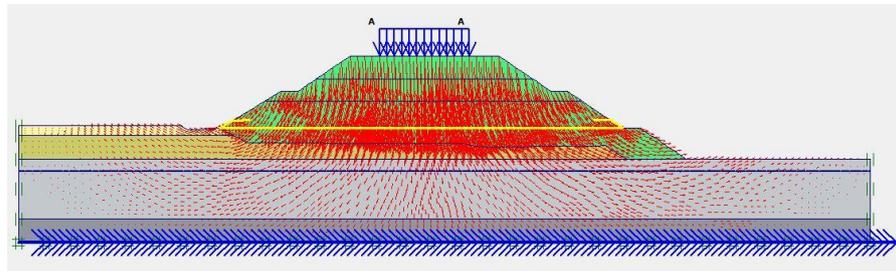


**Gambar 5. 147 Total Displacement Penimbunan 9 m Akibat Beban Struktur Jalan Lereng Timbunan Sudut 34° Dengan Perkuatan**

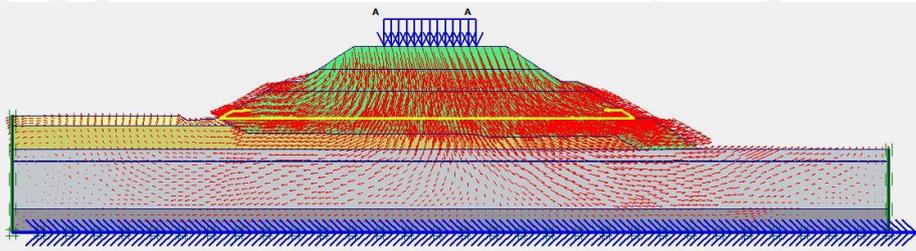


**Gambar 5. 148 Total Displacement Penimbunan 9 m Akibat Beban Struktur Jalan & Beban Gempa Lereng Timbunan Sudut 34° Dengan Perkuatan**

Arah pergerakan tanah akibat beban struktur jalan di dominasi oleh arah vertikal kearah tengah timbunan, sedangkan pergerakan tanah setelah ditambahkan beban gempa terjadi pergerakan memutar dikarenakan gaya gempa. Arah pergerakan tanah timbunan sudut 34° pada penimbunan 9 m disajikan dalam Gambar 5.149 dan 5.150 berikut.

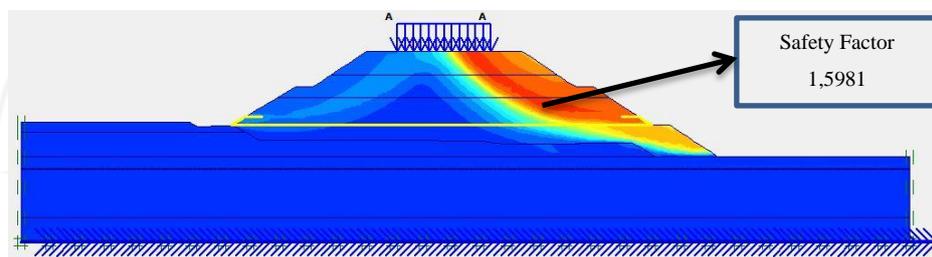


**Gambar 5. 149 Arah Pergerakan Tanah Penimbunan 9 m Akibat Beban Struktur Jalan Lereng Timbunan Sudut 34° Dengan Perkuatan**

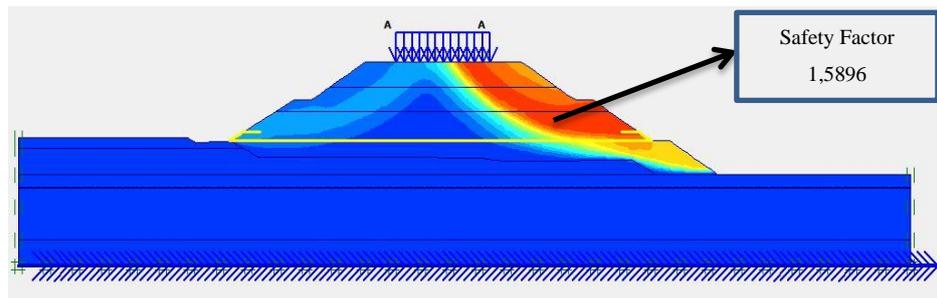


**Gambar 5. 150 Arah Pergerakan Tanah Penimbunan 9 m Akibat Beban Struktur & Beban Gempa Lereng Timbunan Sudut 34° Dengan Perkuatan**

Bidang potensi kelongsoran pada lereng timbunan sudut 34° dengan perkuatan ketika penimbunan mencapai 9 m akibat beban struktur jalan, serta akibat struktur jalan dan beban gempa disajikan dalam Gambar 5.151 dan 5.152.

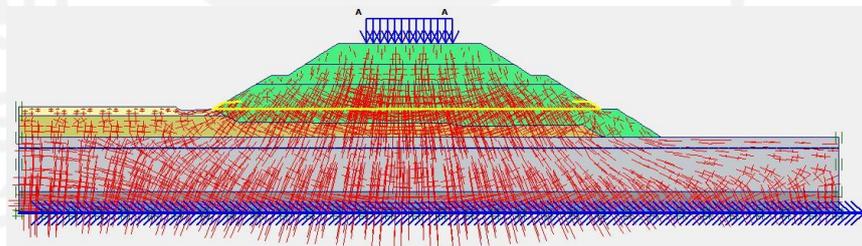


**Gambar 5. 151 Potensi Kelongsoran Penimbunan 9 m Akibat Beban Struktur Jalan Lereng Timbunan Sudut 34° Dengan Perkuatan**

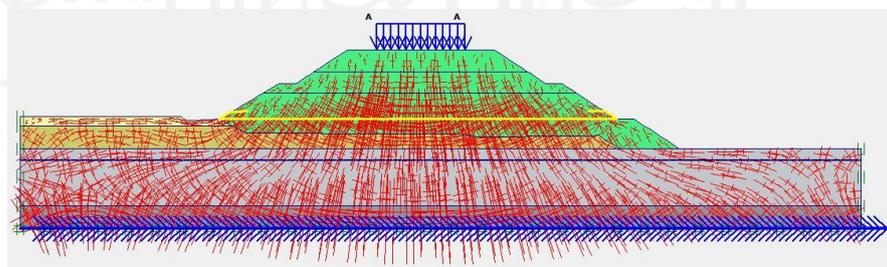


**Gambar 5. 152 Potensi Kelongsoran Penimbunan 9 m Akibat Beban Struktur Jalan & Beban Gempa Lereng Timbunan Sudut 34° Dengan Perkuatan**

Besar nilai *effective stresses* timbunan sudut 34° dengan perkuatan ketika penimbunan hingga 9 m akibat beban beban struktur jalan adalah sebesar -186,41 kN/m<sup>2</sup>, sedangkan akibat beban struktur jalan dan beban gempa sebesar -190,30 kN/m<sup>2</sup>. Ilustrasi *effective stresses* penimbunan hingga 9 m disajikan dalam Gambar 5.153 dan 5.154 berikut.

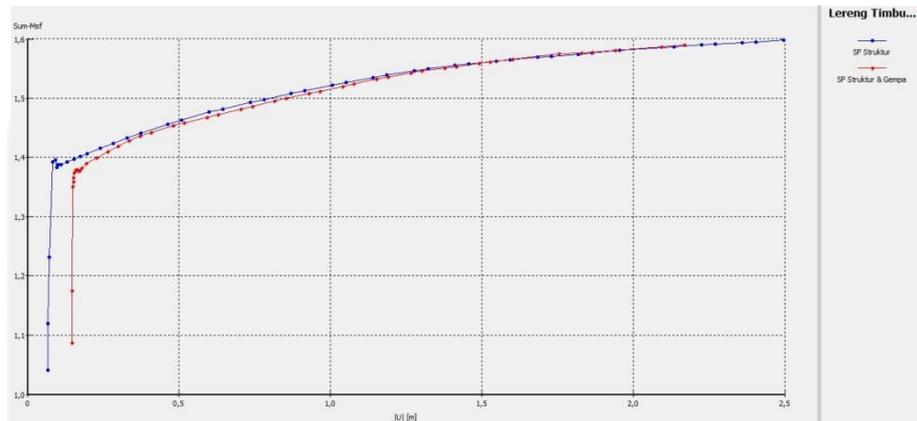


**Gambar 5. 153 *Effective Stresses* Penimbunan 9 m Akibat Beban Struktur Jalan Lereng Timbunan Sudut 34° Dengan Perkuatan**



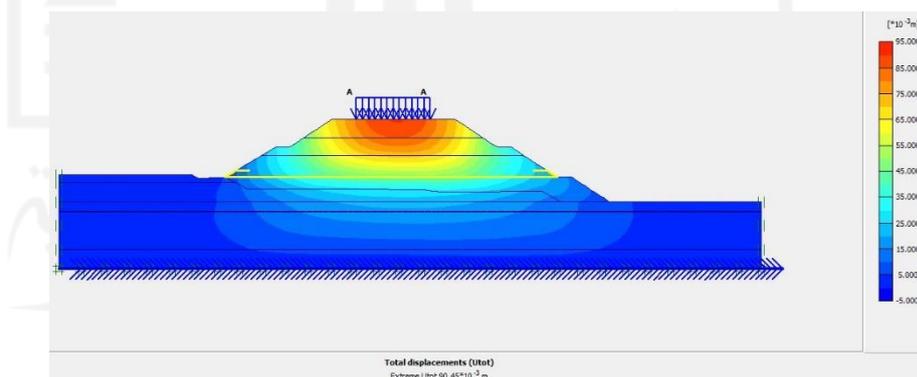
**Gambar 5. 154 *Effective Stresses* Penimbunan 9 m Akibat Beban Struktur & Beban Gempa Lereng Timbunan Sudut 34° Dengan Perkuatan**

Nilai angka aman ( $SF$ ) akhir masa konstruksi yang didapatkan dari hasil analisis akibat beban struktur jalan sebesar 1,5981 sedangkan nilai angka aman ( $SF$ ) akibat beban struktur jalan dan beban gempa sebesar 1,5896. Hasil nilai angka aman dapat dilihat pada kurva Gambar 5.155.



**Gambar 5. 155 Kurva SF Lereng Timbunan Sudut 34° Dengan Perkuatan Masa Konstruksi**

Selanjutnya hasil penurunan konsolidasi pada lereng timbunan sudut 34° dengan perkuatan masa konstruksi selama 365 hari disajikan dalam Gambar 5.156.

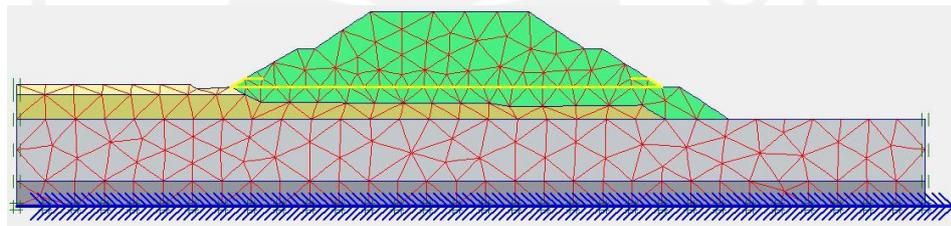


**Gambar 5. 156 Penurunan Konsolidasi Lereng Timbunan Sudut 34° Dengan Perkuatan Masa Konstruksi**

Penurunan konsolidasi lereng timbunan sudut 34° dengan perkuatan masa konstruksi yang didapatkan dari hasil analisis adalah sebesar  $90,45 \times 10^{-3}$  m.

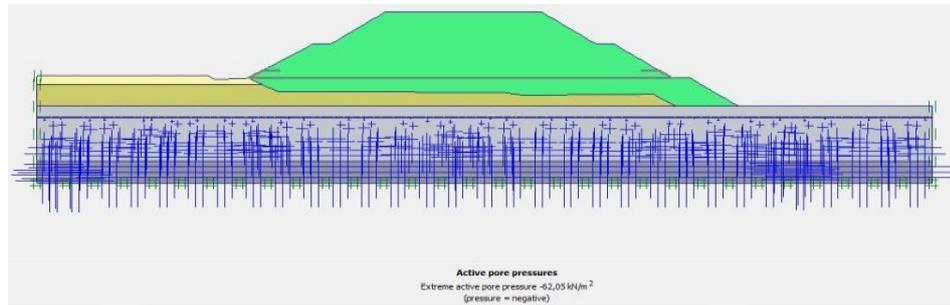
### 3. Kondisi Pasca Kontruksi

Kondisi pasca konstruksi yaitu saat timbunan sudah siap digunakan atau difungsikan sebagai ruas jalan. Pada kondisi pasca konstruksi tanah pada timbunan bersifat *undrainded* karena timbunan sudah tidak dapat mendrainase air dengan baik karena adanya struktur jalan di atasnya. Pada kondisi ini juga beban lalu lintas sebesar  $15 \text{ kN/m}^2$  menjadi parameter beban tambahan untuk analisis sehingga total beban yang diinput sebesar  $25 \text{ kN/m}^2$ . Setelah pemodelan geometri lereng timbunan selesai, kemudian dilakukan penyusunan jaringan elemen (*meshing*), namun sebelum itu perlu dilakukan input parameter tanah dan bahan perkuatan pada pemodelan lereng timbunan. Hasil dari jaringan elemen (*meshing*) pada lereng timbunan sudut  $34^\circ$  dengan perkuatan pasca konstruksi disajikan dalam Gambar 5.157 berikut.

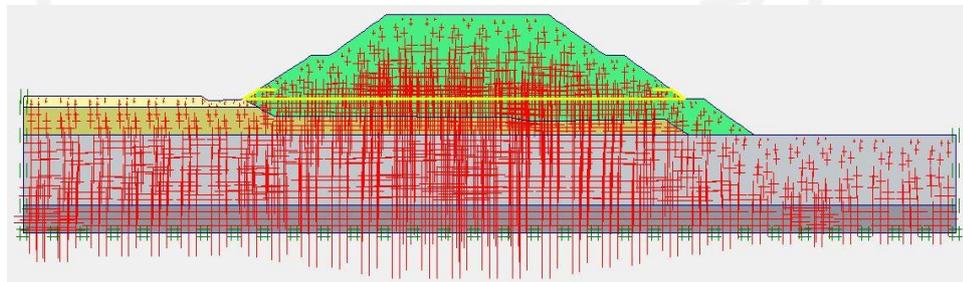


**Gambar 5. 157 Meshing pada Lereng Timbunan Sudut  $34^\circ$  Dengan Perkuatan Pasca Konstruksi**

Setelah *meshing* selesai dilakukan maka dilanjutkan dengan pengondisian awal (*initial condition*), yaitu dilakukan proses tekanan air (*generate water pressures*), dilanjutkan dengan konfigurasi geometri awal dengan perhitungan *general intial stresses*. Hasil dari *generate water pressures* dan *intial soil stresses* pada timbunan sudut  $34^\circ$  dengan perkuatan disajikan dalam Gambar 5.158 dan Gambar 159 berikut.

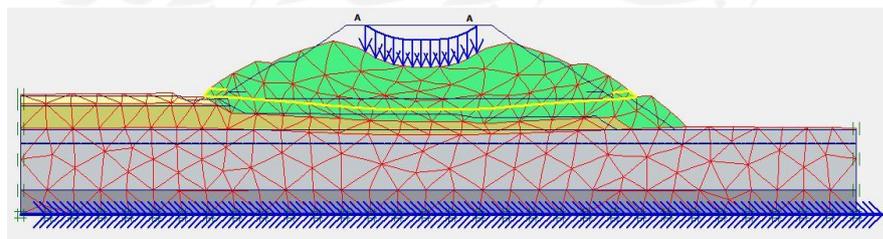


**Gambar 5. 158 *Generate Water Pressures* pada Lereng Timbunan Sudut 34° Dengan Perkuatan Pasca Konstruksi**

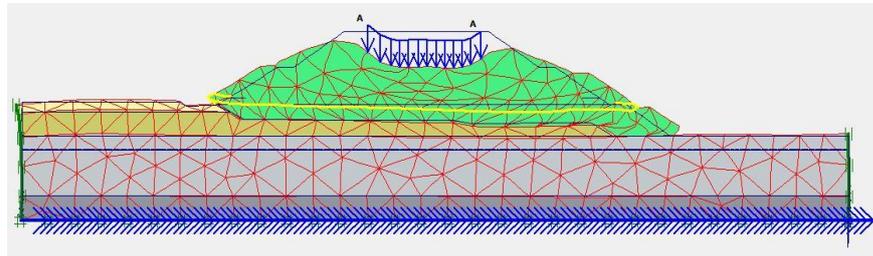


**Gambar 5. 159 *Intial Soil Stresses* pada Lereng Timbunan Sudut 34° Dengan Perkuatan Pasca Konstruksi**

Tahapan selanjutnya adalah tahapan analisis perhitungan (*calculation*) lereng timbunan sudut 34° dengan perkutan pasca konstruksi. Tahapan analisis meliputi analisis berat timbunan, analisis akibat beban struktur jalan, analisis akibat beban struktur jalan dan beban gempa, kemudia analisis nilai angka aman (*SF*) dan konsolidasi penurunan yang terjadi pada lereng timbunan sudut 34° dengan perkuatan pasca konstruksi. Adapun hasilnya disajikan dalam Gambar 5.160 dan Gambar 5.161 berikut.

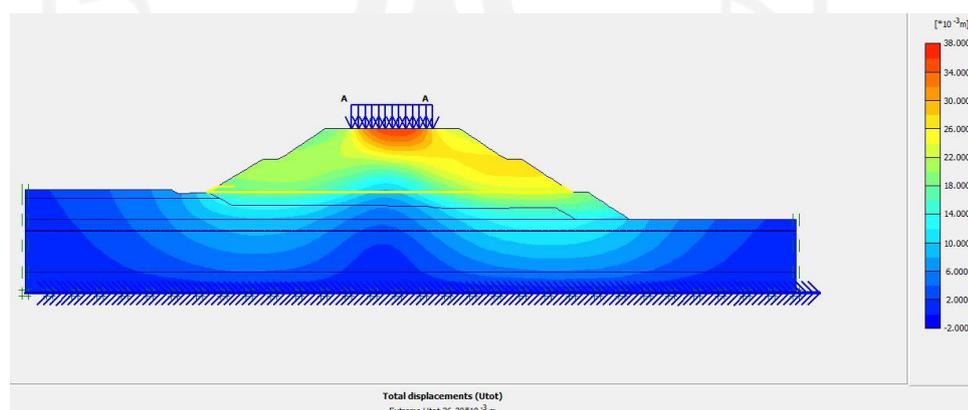


**Gambar 5. 160 *Deformed Mesh* Lereng Timbunan Sudut 34° Dengan Perkuatan Akibat Beban Struktur Jalan Pasca Konstruksi**

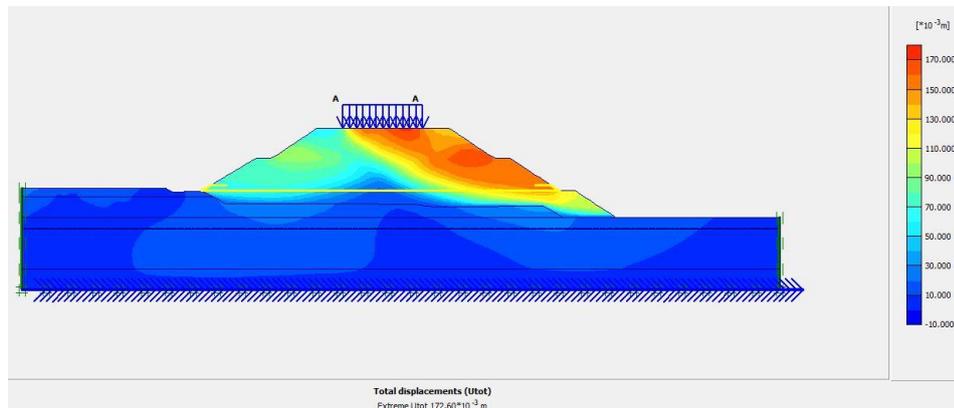


**Gambar 5. 161 Deformed Mesh Lereng Timbunan Sudut 34° Dengan Perkuatan Akibat Beban Struktur Perkerasan Jalan & Beban Gempa Pasca Konstruksi**

Pada timbunan sudut 34° dengan perkuatan yang diberi beban struktur jalan mengalami *displacement* yang terkonsentrasi pada timbunan bagian tengah, bagian ini ditandai dengan warna merah. Sedangkan yang diberi beban struktur jalan dan beban gempa terkonsentrasi pada bagian kanan timbunan. Besar nilai *total displacement* yang terjadi pada timbunan sudut 34° dengan perkuatan pasca konstruksi akibat beban struktur jalan sebesar  $36,30 \times 10^{-3}$  m, sedangkan akibat beban struktur jalan dan beban gempa sebesar  $172,60 \times 10^{-3}$  m. *Total displacement* yang terjadi pada timbunan tersebut saat pasca konstruksi dapat dilihat pada Gambar 5.162 dan Gambar 5.163 berikut.

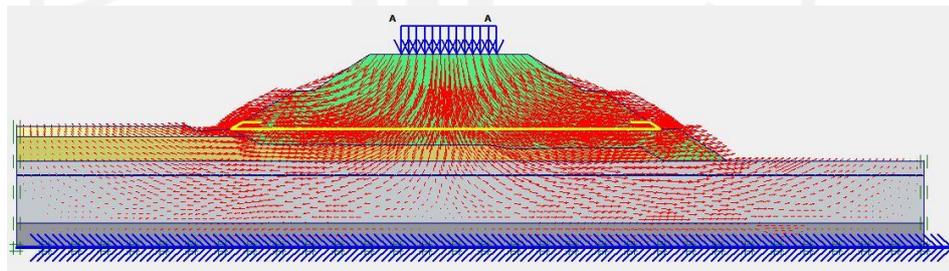


**Gambar 5. 162 Total Displacement Lereng Timbunan Sudut 34° Dengan Perkuatan Akibat Beban Struktur Jalan Pasca Konstruksi**

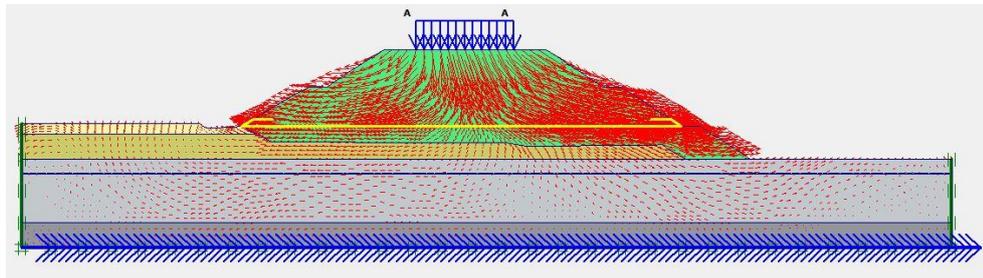


**Gambar 5. 163 Total Displacement Lereng Timbunan Sudut 34° Dengan Perkuatan Akibat Beban Struktur Jalan & Beban Gempa Pasca Konstruksi**

Arah pergerakan tanah akibat beban struktur jalan didominasi oleh pergerakan secara vertikal, sedangkan arah pergerakan tanah akibat beban struktur jalan dan gempa terjadi gerakan memutar dikarenakan adanya gaya gempa. Arah pergerakan pada timunan sudut 34° dengan perkuatan pasca konstruksi disajikan dalam Gambar 5.164 dan Gambar 5.165 berikut.

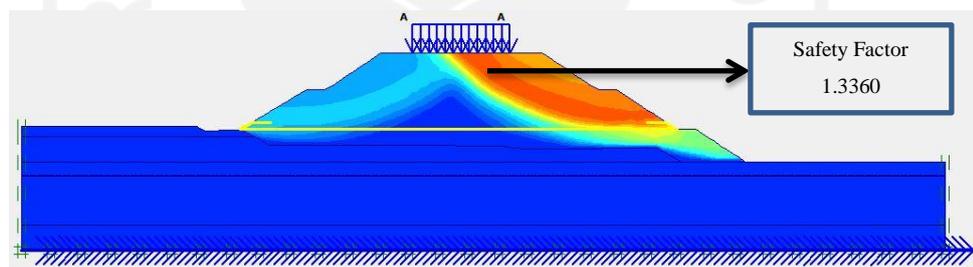


**Gambar 5. 164 Arah Pergerakan Tanah Lereng Timbunan Sudut 34° Dengan Perkuatan Akibat Beban Struktur Jalan Pasca Konstruksi**

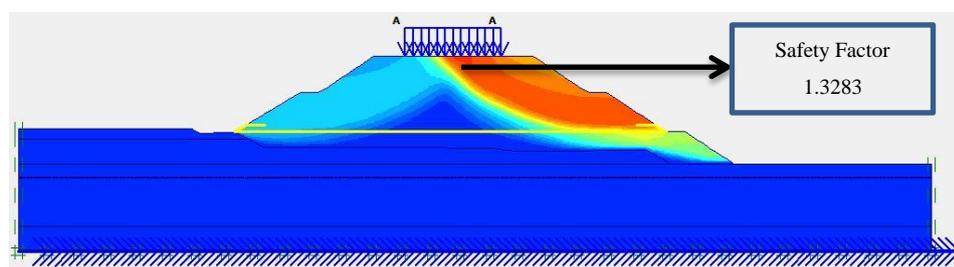


**Gambar 5. 165 Arah Pergerakan Tanah Lereng Timbunan Sudut 34° Dengan Perkuatan Akibat Beban Struktur Jalan & Beban Gempa Pasca Konstruksi**

Bidang potensi kelongsoran pada lereng timbunan sudut 34° dengan perkuatan pasca konstruksi akibat beban struktur jalan, serta bidang potensi kelongsoran akibat beban struktur jalan dan beban gempa disajikan dalam Gambar 5.166 dan Gambar 5.167 berikut.



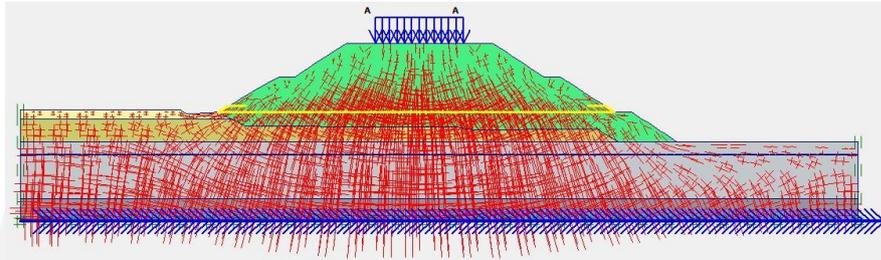
**Gambar 5. 166 Potensi Kelongsoran Lereng Timbunan Sudut 34° Dengan Perkuatan Akibat Beban Struktur Jalan Pasca Konstruksi**



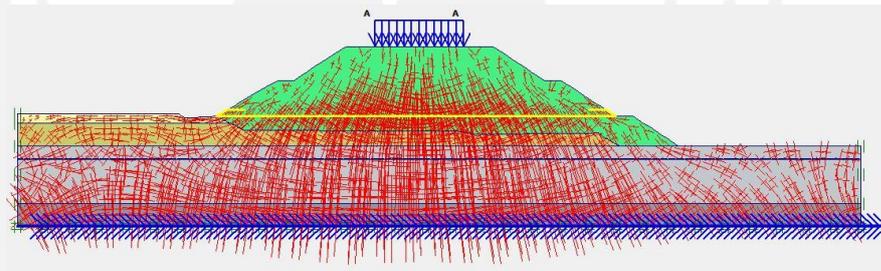
**Gambar 5. 167 Potensi Kelongsoran Lereng Timbunan Sudut 34° Dengan Perkuatan Akibat Beban Struktur Jalan & Beban Gempa Pasca Konstruksi**

Besar nilai *effective stresses* pada timbunan sudut 34° dengan perkuatan pasca konstruksi akibat beban merata sebesar  $-197,03 \text{ kN/m}^2$ , sedangkan akibat

beban merata dan beban gempa sebesar  $-207,16 \text{ kN/m}^2$ . Hasil tersebut disajikan dalam Gambar 5.168 dan Gambar 5.169 berikut.

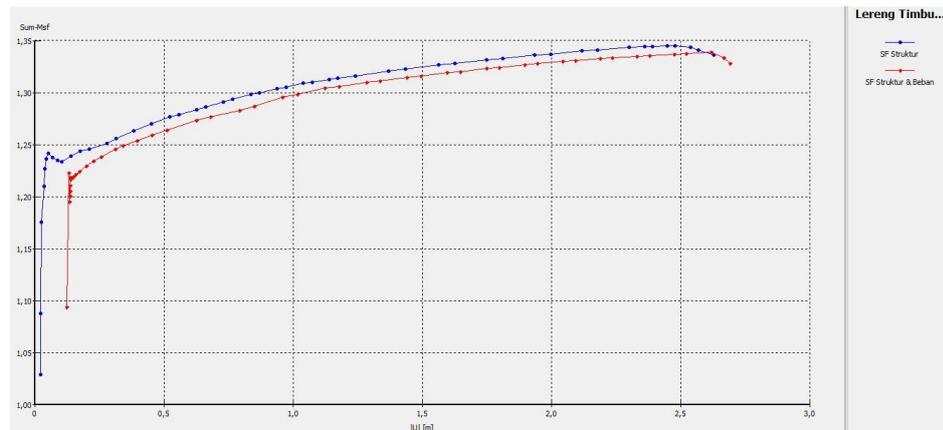


**Gambar 5. 168 *Effective Stresses* Lereng Timbunan Sudut  $34^\circ$  Dengan Perkuatan Akibat Beban Struktur Jalan Pasca Konstruksi**



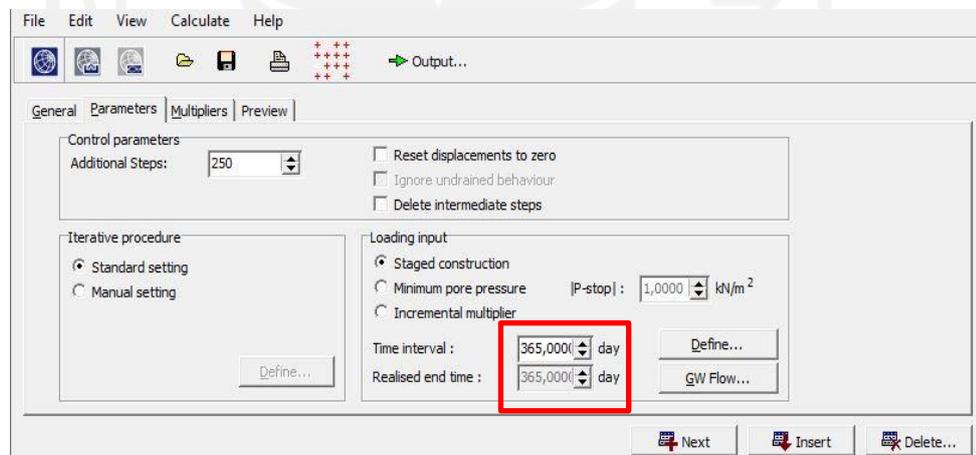
**Gambar 5. 169 *Effective Stresses* Lereng Timbunan Sudut  $34^\circ$  Dengan Perkuatan Akibat Beban Struktur Jalan dan Beban Gempa Pasca Konstruksi**

Nilai angka aman ( $SF$ ) untuk lereng timbunan sudut  $34^\circ$  dengan perkuatan pasca konstruksi yang didapatkan dari hasil analisis akibat beban struktur jalan adalah sebesar 1,3360 sedangkan nilai angka aman ( $SF$ ) akibat beban merata dan beban gempa sebesar 1,3283. Hasil nilai angka aman ( $SF$ ) lereng timbunan sudut  $34^\circ$  dengan perkuatan dapat dilihat pada kurva Gambar 5.170 dibawah ini.

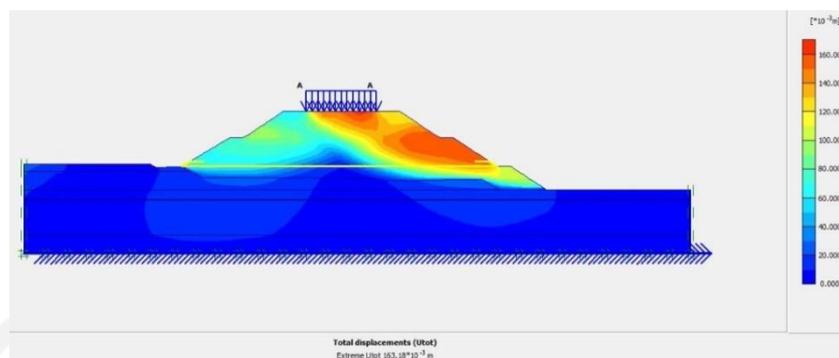


**Gambar 5. 170 Kurva *SF* Lereng Timbunan Sudut 34° Dengan Perkuatan Pasca Konstruksi**

Selanjutnya hasil penurunan konsolidasi pada lereng timbunan sudut 34° dengan perkuatan pasca konstruksi selama 365 hari disajikan dalam Gambar 5.171 dan Gambar 5.172 berikut.



**Gambar 5. 171 Pengaturan Durasi Konsolidasi Lereng Timbunan Sudut 34° Dengan Perkuatan Pasca Konstruksi**



**Gambar 5. 172 Penurunan Konsolidasi Lereng Timbunan Sudut 34° Dengan Perkuatan Pasca Konstruksi**

Penurunan konsolidasi lereng timbunan sudut 34° dengan perkuatan pasca konstruksi yang didapatkan dari hasil analisis adalah sebesar  $163,18 \times 10^{-3}$  m.

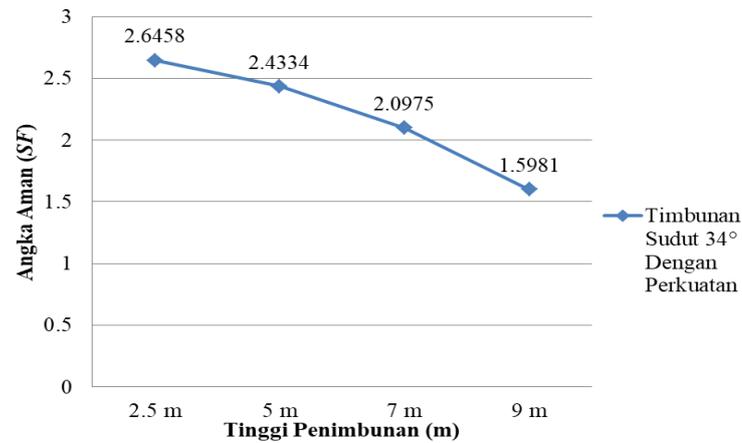
4. Rekapitulasi Nilai Angka Aman ( $SF$ ) dan Penurunan Konsolidasi

Kemudian dari hasil analisis dilakukan rekapitulasi nilai angka aman ( $SF$ ) dan konsolidasi pada lereng timbunan sudut 34° dengan perkuatan. Rekapitulasi analisis perhitungan angka aman ( $SF$ ) dan konsolidasi pada lereng timbunan sudut 34° dengan perkuatan masa konstruksi disajikan pada Tabel 5.19 berikut.

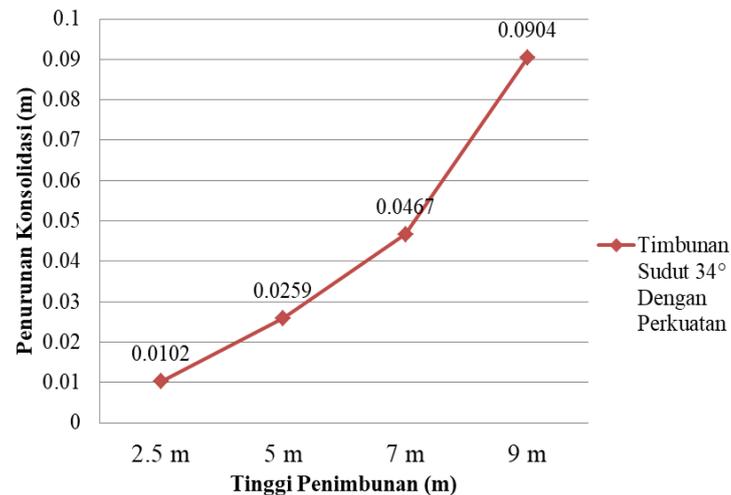
**Tabel 5. 19 Rekapitulasi Hasil Angka Aman ( $SF$ ) dan Penurunan Konsolidasi Lereng Timbunan Sudut 34° Dengan Perkuatan Masa Konstruksi**

| Keterangan       | Angka Aman ( $SF$ ) | Penurunan Konsolidasi (m) |
|------------------|---------------------|---------------------------|
| Penimbunan 2,5 m | 2,6458              | 0,0102                    |
| Penimbunan 5 m   | 2,4334              | 0,0259                    |
| Penimbunan 7 m   | 2,0975              | 0,0467                    |
| Penimbunan 9 m   | 1.5981              | 0,0904                    |

Dapat dilihat pada Tabel 5.16 angka aman ( $SF$ ) masa konstruksi berdasarkan fase penimbunan memiliki nilai angka aman ( $SF$ ) yang cukup aman. Grafik rekapitulasi hasil angka aman ( $SF$ ) dan penurunan konsolidasi lereng timbunan sudut 34° dengan perkuatan masa konstruksi dapat dilihat pada Gambar 5.173 dan Gambar 5.174.



**Gambar 5. 173 Grafik Angka Aman ( $SF$ ) Lereng Timbunan Sudut  $34^\circ$  Dengan Perkuatan Masa Konstruksi**



**Gambar 5. 174 Grafik Penurunan Konsolidasi Lereng Timbunan Sudut  $34^\circ$  Dengan Perkuatan Masa Konstruksi**

Perbandingan angka aman ( $SF$ ) lereng timbunan sudut  $34^\circ$  dengan perkuatan masa konstruksi dan pasca konstruksi dapat dilihat pada Tabel 5.20 berikut.

**Tabel 5. 20 Perbandingan Nilai Angka Aman ( $SF$ ) Masa Konstruksi dan Pasca Konstruksi Lereng Timbunan Sudut  $34^\circ$  Dengan Perkuatan**

| Keterangan                                 | Angka Aman ( $SF$ ) |               |                  |               |
|--|---------------------|---------------|------------------|---------------|
|  | Masa Konstruksi     |               | Pasca Konstruksi |               |
|  | Beban Struktur      | Beban & Gempa | Beban Struktur   | Beban & Gempa |
| Timbunan Sudut $34^\circ$ Dengan Perkuatan | 1,5981              | 1,5896        | 1,3360           | 1,3283        |

Berdasarkan Tabel 5.20 angka aman ( $SF$ ) akhir yaitu menggunakan kondisi lereng timbunan sudut  $34^\circ$  dengan perkuatan pasca konstruksi memiliki nilai angka aman ( $SF$ ) lebih dari batas aman yang ditentukan sebesar 1,3. Sehingga lereng timbunan sudut  $34^\circ$  dengan perkuatan stabil atau aman, kemudian untuk hasil penurunan konsolidasi selama 365 hari pada lereng timbunan sudut  $34^\circ$  dengan perkuatan pasca konstruksi dapat dilihat pada Tabel 5.21 sebagai berikut.

**Tabel 5. 21 Penurunan Konsolidasi Pada Lereng Timbunan Sudut  $34^\circ$  Dengan Perkuatan Pasca Konstruksi**

| Konsolidasi                                   |           |        |
|---|-----------|--------|
| Timbunan                                      | Penurunan | Satuan |
| Timbunan Sudut $34^\circ$<br>Dengan Perkuatan | 0,1632    | m      |

## 5.6 Pembahasan

Pada analisis stabilitas lereng timbunan jalan pada proyek Tawang - Ngalang Segmen IV ini dilakukan untuk mengetahui nilai angka aman ( $SF$ ) dan penurunan konsolidasi pada lereng timbunan jalan tersebut. Perhitungan analisis dilakukan dengan bantuan program Plaxis 8.6 dan dikalibrasi dengan perhitungan manual menggunakan metode Fellenius. Data beban yang digunakan pada analisis ini merupakan beban akibat beban struktur jalan dan beban lalu lintas kendaraan, serta beban gempa yang sesuai dengan zonasi gempa pada daerah Yogyakarta.

Hasil analisis lereng timbunan asli sudut  $39^\circ$  didapatkan nilai angka aman ( $SF$ ) pada masa konstruksi saat penimbunan 2,5 m nilai angka aman ( $SF$ ) 2,5265; penimbunan 5 m 1,8616; penimbunan 7 m 1,5425; penimbunan 1,2846. Setelah masa konstruksi selesai nilai angka aman ( $SF$ ) lereng timbunan asli sudut  $39^\circ$  setelah diberikan beban struktur jalan adalah 1,2846 dan setelah diberi beban struktur jalan serta beban gempa adalah 1,2816. Sedangkan pasca konstruksi yang telah ditambahkan beban lalu lintas nilai angka aman ( $SF$ ) akibat beban struktur jalan menjadi 1,1532; akibat beban struktur jalan dan beban gempa adalah 1,1517. Dalam perhitungan manual menggunakan metode Fellenius diperoleh angka aman ( $SF$ ) pada lereng timbunan asli sudut  $39^\circ$  dengan tidak memperhitungkan beban

gempa adalah sebesar 1,0689 sehingga selisih dari hasil analisis menggunakan program Plaxis 8.6 tidak signifikan. Angka aman ( $SF$ ) pasca konstruksi lereng timbunan asli sudut  $39^\circ$  masih kurang dari syarat aman lereng timbunan untuk spesifikasi jalan sebesar 1,3. Maka lereng timbunan asli sudut  $39^\circ$  dianggap labil dan tidak aman.

Dengan kondisi lereng timbunan asli sudut  $39^\circ$  yang tidak aman maka disolusikan untuk dilakukan pelandaian kemiringan lereng pada timbunan menjadi  $34^\circ$  hal ini dilakukan guna memperkecil gaya yang mendorong lereng timbunan dengan cara memanfaatkan lahan yang tersisa. Hasil analisis untuk lereng timbunan sudut  $34^\circ$  menggunakan program Plaxis 8.6 didapatkan nilai angka aman ( $SF$ ) pada masa konstruksi saat penimbunan hingga 2,5 sebesar 2,7294; penimbunan 5 m 1,9798; penimbunan 7 m 1,6733; penimbunan 9 m 1,3998. Setelah masa konstruksi selesai nilai angka aman ( $SF$ ) lereng timbunan sudut  $34^\circ$  setelah diberikan beban struktur jalan adalah 1,3998 dan setelah diberi beban struktur jalan serta beban gempa adalah 1,3968. Sedangkan pasca konstruksi setelah ditambahkan beban lalu lintas, nilai angka aman ( $SF$ ) lereng timbunan sudut  $34^\circ$  akibat beban struktur jalan menjadi 1,2414; akibat beban struktur jalan dan beban gempa sebesar 1,2340. Dimana angka aman ( $SF$ ) setelah sudut lereng timbunan asli sudut  $39^\circ$  dilandaikan lerengnya menjadi  $34^\circ$  naik sebesar 7%, namun masih kurang dari syarat aman lereng timbunan untuk spesifikasi jalan sebesar 1,3. Maka lereng timbunan sudut  $34^\circ$  masih dianggap labil atau tidak aman dan perlu diberi perkuatan. Selanjutnya alternatif solusi selanjutnya adalah dengan menambahkan perkuatan jenis geotekstil pada lereng timbunan sudut  $34^\circ$ .

Berdasarkan hasil analisis lereng timbunan sudut  $34^\circ$  dengan perkuatan diperoleh angka aman ( $SF$ ) pada masa konstruksi saat penimbunan hingga 2,5 sebesar 2,6458; penimbunan 5 m 2,4334; penimbunan 7 m 2,0975; penimbunan 9 m 1,5981. Setelah masa konstruksi selesai nilai angka aman ( $SF$ ) lereng timbunan sudut  $34^\circ$  dengan perkuatan setelah diberikan beban struktur jalan adalah 1,5981 dan setelah diberi beban struktur jalan serta beban gempa adalah 1,5896. Sedangkan pasca konstruksi yang ditambahkan beban lalu lintas nilai angka aman ( $SF$ ) akibat beban struktur jalan menjadi 1,3360; akibat beban struktur jalan dan

beban gempa sebesar 1,3283. Dimana angka aman ( $SF$ ) setelah lereng timbunan sudut  $34^\circ$  diberi perkuatan geotekstil naik sebesar 7% dan sudah melebihi syarat aman lereng timbunan untuk spesifikasi jalan sebesar 1,3. Maka lereng timbunan sudut  $34^\circ$  dengan perkuatan dianggap aman dan stabil.

Penurunan konsolidasi dengan estimasi waktu 365 hari yang terjadi pada lereng timbunan asli sudut  $39^\circ$  pasca konstruksi akibat beban struktur jalan dan beban gempa adalah sebesar 0,1865 m, pada lereng timbunan sudut  $34^\circ$  pasca konstruksi akibat beban struktur jalan dan beban gempa sebesar 0,1645, sedangkan setelah lereng timbunan sudut  $34^\circ$  yang diberi perkuatan geotekstil pasca konstruksi akibat beban struktur jalan dan beban gempa menjadi sebesar 0,1632 m.

Rekapitulasi angka aman ( $SF$ ) dari hasil analisis stabilitas lereng timbunan dapat dilihat pada Tabel 5.22, serta disajikan pada Tabel 5.23 rekapitulasi besar penurunan konsolidasi yang terjadi pada lereng timbunan pasca konstruksi akibat beban struktur jalan dan beban gempa dengan asumsi waktu selama 365 hari sebagai berikut.

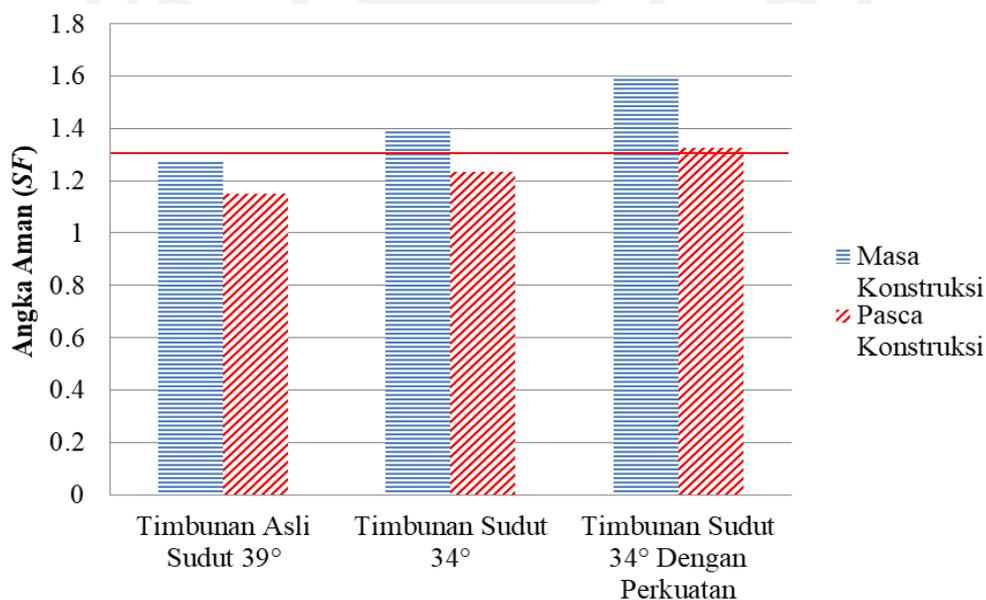
**Tabel 5. 22 Rekapitulasi Nilai Angka Aman ( $SF$ ) Lereng Timbunan**

| Keterangan                                 |                              | Angka Aman ( $SF$ ) |                  |
|--|------------------------------|---------------------|------------------|
|  |                              | Masa Konstruksi     | Pasca Konstruksi |
| Timbunan Asli Sudut $39^\circ$             | Beban Struktur Jalan         | 1,2846              | 1,1532           |
|  | Beban Struktur & Beban Gempa | 1,2816              | 1,1517           |
| Timbunan Sudut $34^\circ$                  | Beban Struktur Jalan         | 1,3998              | 1,2414           |
|  | Beban Struktur & Beban Gempa | 1,3968              | 1,2340           |
| Timbunan Sudut $34^\circ$ Dengan Perkuatan | Beban Struktur Jalan         | 1,5981              | 1,3360           |
|  | Beban Struktur & Beban Gempa | 1,5896              | 1,3283           |

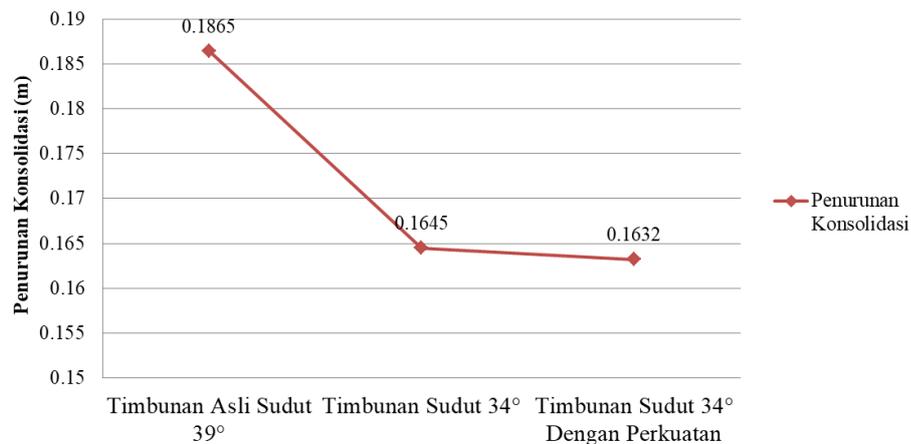
**Tabel 5. 23 Rekapitulasi Penurunan Konsolidasi Pada Lereng Timbunan Pasca Konstruksi Akibat Beban Struktur Jalan dan Beban Gempa**

| Keterangan                   | Timbunan Asli<br>Sudut 39° | Timbunan Sudut<br>34° | Timbunan Sudut 34°<br>Dengan Perkuatan |
|------------------------------|----------------------------|-----------------------|--|
|                              | (m)                        | (m)                   | (m)                                    |
| <b>Penurunan Konsolidasi</b> | 0.1865                     | 0.1645                | 0.1632                                 |

Untuk grafik perbandingan hasil rekapitulasi nilai angka aman ( $SF$ ) lereng timbunan akhir pasca konstruksi setelah diberikan beban lalu lintas, struktur jalan, serta beban gempa disajikan pada Gambar 5.175. Untuk perbandingan penurunan konsolidasi akhir pasca konstruksi setelah diberikan beban lalu lintas, struktur jalan, serta beban gempa dapat dilihat pada Gambar 5.176 berikut.



**Gambar 5. 175 Nilai Angka Aman ( $SF$ ) Akhir Lereng Timbunan Pasca Konstruksi Akibat Beban Struktur Jalan dan Beban Gempa**



**Gambar 5. 176 Perbandingan Penurunan Konsolidasi Akhir Lereng Timbunan Pasca Konstruksi Akibat Beban Struktur Jalan & Beban Gempa**

Berdasarkan grafik pada Gambar 5.175 dan Gambar 5.176 dapat dijelaskan hasil akhir analisis stabilitas lereng timbunan pasca konstruksi akibat beban struktur jalan dan beban gempa bahwa lereng timbunan asli sudut 39° dan lereng timbunan dengan sudut 34° belum memenuhi syarat angka aman ( $SF$ ) sehingga pada timbunan dengan sudut 34° diberi perkuatan geotekstil. Terjadi peningkatan nilai angka aman ( $SF$ ) setelah dilakukan perubahan sudut kemiringan lereng timbunan dan mencapai angka aman ( $SF$ ) yang disyaratkan setelah pemasangan perkuatan geotekstil. Angka penurunan konsolidasi juga mengalami penurunan setelah dilakukan perubahan sudut kemiringan lereng timbunan serta pemasangan perkuatan geotekstil.

## **BAB VI**

### **KESIMPULAN DAN SARAN**

#### **6.1 Kesimpulan**

Berdasarkan hasil analisis perhitungan dan pembahasan yang telah diuraikan pada bab sebelumnya, maka dapat ditarik kesimpulan sebagai berikut.

1. Hasil akhir analisis stabilitas lereng timbunan menggunakan program Plaxis 8.6 menunjukkan bahwa angka aman ( $SF$ ) untuk lereng timbunan asli sudut  $39^\circ$  pasca konstruksi setelah diberikan beban lalu lintas, beban struktur jalan, dan beban gempa didapatkan sebesar 1,1517.
2. Angka penurunan konsolidasi yang didapatkan melalui analisis menggunakan program Plaxis 8.6 dengan estimasi waktu 365 hari pada lereng timbunan asli  $39^\circ$  pasca konstruksi akibat pembebanan beban lalu lintas, beban struktur jalan, dan beban gempa adalah sebesar 0,1865 m.
3. Hasil akhir analisis stabilitas lereng timbunan menggunakan program Plaxis 8.6 menunjukkan bahwa angka aman ( $SF$ ) untuk lereng timbunan sudut  $34^\circ$  pasca konstruksi setelah diberikan beban lalu lintas, beban struktur jalan, dan beban gempa didapatkan sebesar 1,2340.
4. Angka penurunan konsolidasi yang didapatkan melalui analisis menggunakan program Plaxis 8.6 dengan estimasi waktu 365 hari pada lereng timbunan sudut  $34^\circ$  pasca konstruksi akibat pembebanan beban lalu lintas, beban struktur jalan, dan beban gempa adalah sebesar 0,1645 m.
5. Hasil akhir analisis stabilitas lereng timbunan menggunakan program Plaxis 8.6 menunjukkan bahwa angka aman ( $SF$ ) untuk lereng timbunan sudut  $34^\circ$  dengan perkuatan geotekstil pasca konstruksi akibat beban lalu lintas, beban struktur jalan, dan beban gempa didapatkan sebesar 1,3283.
6. Angka penurunan konsolidasi yang didapatkan melalui analisis menggunakan program Plaxis 8.6 dengan estimasi waktu 365 hari pada lereng timbunan

sudut  $34^\circ$  dengan perkuatan geotekstil pasca konstruksi akibat pembebanan beban lalu lintas, beban struktur jalan, dan beban gempa adalah sebesar 0,1632 m.

## 6.2 Saran

Berdasarkan penelitian yang telah dilakukan, berikut merupakan beberapa saran yang dapat penulis sampaikan.

1. Penelitian ini saat melakukan analisis hanya menggunakan satu parameter perkuatan menggunakan perkuatan jenis geotekstil, untuk penelitian lebih lanjut dapat dipertimbangkan dengan perbandingan apabila menggunakan parameter perkuatan tambahan atau pengganti seperti *sheet pile*, *bore pile*, dinding penahan tanah atau perkuatan dengan bahan lain seperti penambahan kapur, injeksi semen, dan sebagainya.
2. Penelitian ini saat melakukan analisis pemasangan geotekstil dilakukan pada satu zona, untuk penelitian lebih lanjut dapat dipertimbangkan analisis pemasangan geotekstil dengan variasi zona untuk dibandingkan dengan pemasangan geotekstil pada masing - masing zona.
3. Untuk penelitian lebih lanjut perlu dilakukan analisis menggunakan program analisis stabilitas lainnya seperti Geoslope, Rocscience, Plaxis edisi terbaru dan sebagainya untuk selanjutnya dibandingkan dengan hasil analisis menggunakan plaxis 8.6.

## DAFTAR PUSTAKA

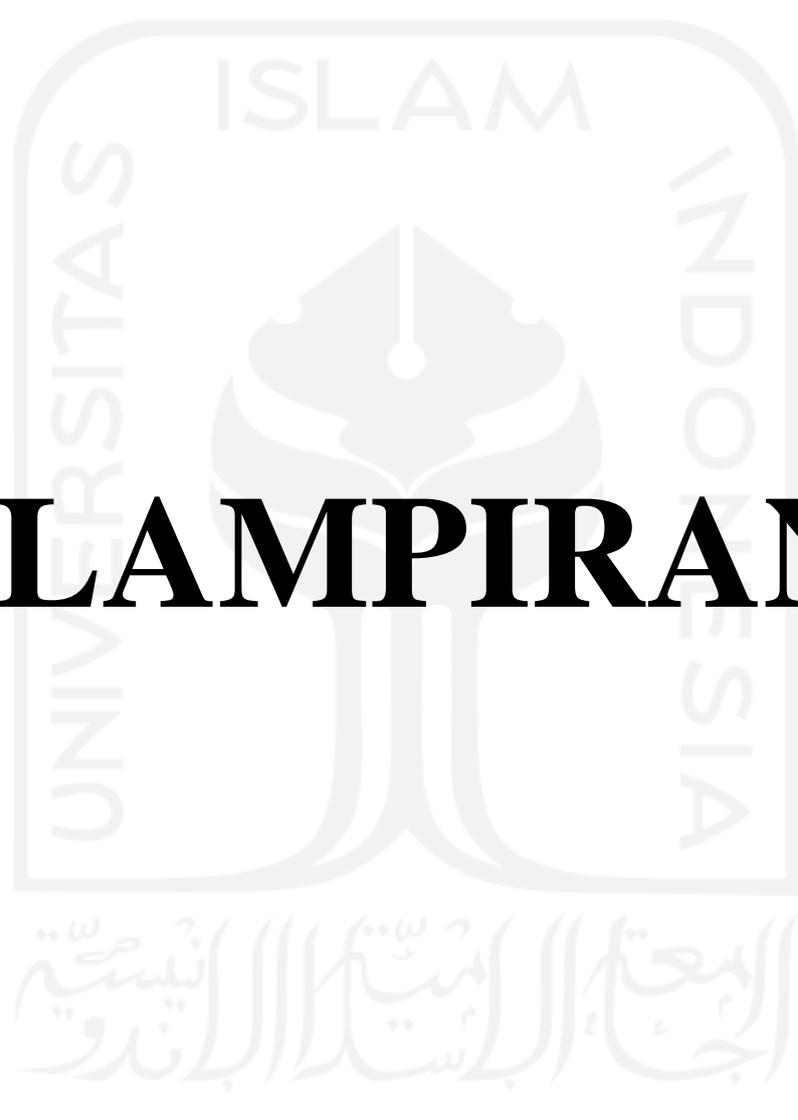
- Bowles, J. E. 1989. *Sifat-Sifat Fisis dan Geoteknis Tanah (Mekanika Tanah)*. Jilid II. Terjemahan. PT Penerbit Erlangga. Jakarta.
- Das, B. M. 1988. *Mekanika Tanah (Prinsip - Prinsip Rekayasa Geoteknis)*. Jilid I. PT Penerbit Erlangga. Jakarta.
- Terzaghi, K. dan Peck, R. B. 1967. *Mekanika Tanah Dalam Praktek Rekayasa*. Jilid II. PT Penerbit Erlangga. Jakarta.
- Hardiyatmo, H. C. 1994. *Mekanika Tanah 2*. Edisi I. PT Gramedia Pustaka Utama. Jakarta.
- Sosrodarsono, Sunyono, Ir. dan Nakazawa, K. 1994. *Mekanika Tanah dan Teknik Pondasi*. PT Pradnya Paramitha. Jakarta.
- Utomo, B. P. 2019. Analisis Stabilitas Lereng Dengan Perkuatan *Soil Nailing* Dengan Menggunakan Program Geoslope Pada Bantaran Sungai Code. *Tugas Akhir*. Universitas Islam Indonesia. Yogyakarta.
- Hardiyatmo, H. C. 2010. *Mekanika Tanah 1*. Edisi V. Gadjah Mada University Press, Yogyakarta.
- Hardiyatmo, H. C. 2003. *Mekanika Tanah II*. Edisi III. Gadjah Mada University Press. Yogyakarta.
- Hardiyatmo, H. C. 2011. *Analisis dan Perancangan Fondasi I*. Gadjah Mada University Press. Yogyakarta.
- Pradhana, Radhitya. 2018. Analisis Stabilitas Lereng dengan Perkuatan Geotekstil Pada Studi kasus di Bantaran Sungai Code. *Tugas Akhir*. Universitas Islam Indonesia. Yogyakarta.
- Kafilanda, D. W. 2019. Analisis Stabilitas Lereng Menggunakan Geotekstil dengan Software Geoslope. *Tugas Akhir*. Universitas Islam Indonesia. Yogyakarta.
- Arsy, A.A. 2018. Analisis Stabilitas Timbunan Pada Konstruksi Badan jalan dengan Perkuatan Geotekstil Menggunakan Metode Fellenius. *Tugas Akhir*. Universitas Islam Indonesia. Yogyakarta.

- Sekarti, D. N. A. 2018. Analisis Stabilitas Timbunan di Jalan Tol Semarang – Solo Ruas Salatiga Kartasura. *Tugas Akhir*. Universitas Islam Indonesia. Yogyakarta.
- Bowles, J. E. 1986. *Sifat-sifat Fisis dan Geoteknis Tanah (Mekanika Tanah)*. Jilid I. PT Penerbit Erlangga. Jakarta.
- PT. Teknindo Geosistem Unggul. 2013. *Technical Spesification Geotextile Woven*. PT Teknindo Geosistem Unggul. Surabaya.
- Departemen Pekerjaan Umum. 2009. *Modul Pelatihan Geosintetik Volume 3: Perencanaan Geosintetik Untuk Perkuatan Lereng*. Direktorat Bina Teknik Direktorat Jenderal Bina Marga Kementerian Pekerjaan Umum. Jakarta.
- Tim Penyusun SNI 4153:2008. 2008. *Cara Uji Lapangan dengan SPT*. Badan Standarisasi Nasional. Jakarta.
- Taylor, D. W. 1948. *Fundamental of Soil Mechanichs*. Jilid I. Jonh Wiley & Sons. New York.
- Brinkgreve, R. B. J. Et al. 2007. *PLAXIS 2D-Versi 8*. Delft University of Technology and Plaxis. Belanda.
- USGS. 2018. *Search Earthquake Catalog*. (<https://earthquake.usgs.gov/earthquakes/search/>. Diakses 28 Juni 2022).
- Purwanto, E. 2012. *Hand Out Mata Kuliah Perkuatan Tanah*. Universitas Islam Indonesia. Yogyakarta.
- Isparmo. 2010. *Geotextile Woven, Definisi dan Fungsi*. (<http://geotextile.web.id/geotextile-woven-definisi-dan-fungsi.html>. Diakses 31 Maret 2022).
- Craig, R. F. dan Yani Sianipar. 1987. *Mekanika Tanah*. PT Penerbit Erlangga. Jakarta.
- Bowles, J. E. 1991. *Analisis dan Desain Pondasi Edisi IV*. Jilid I. Terjemahan. PT Penerbit Erlangga. Jakarta.
- Dinas Pekerjaan Umum Perumahan dan Energi Sumber Daya Mineral Daerah Istimewa Yogyakarta. 2022. *Gambar Rencana Pembangunan Jalan dan Jembatan Ruas Tawang - Ngalang Segmen IV*. Dinas Pekerjaan Umum Perumahan dan Energi Sumber Daya Mineral Daerah Istimewa Yogyakarta. Yogyakarta.

PT Geomine Bara Studio. 2022. *Laporan Akhir Penyelidikan Tanah Pembangunan Ruas Jalan Tawang - Ngalang Segmen IV*. PT Geomine Bara Studio. Yogyakarta.

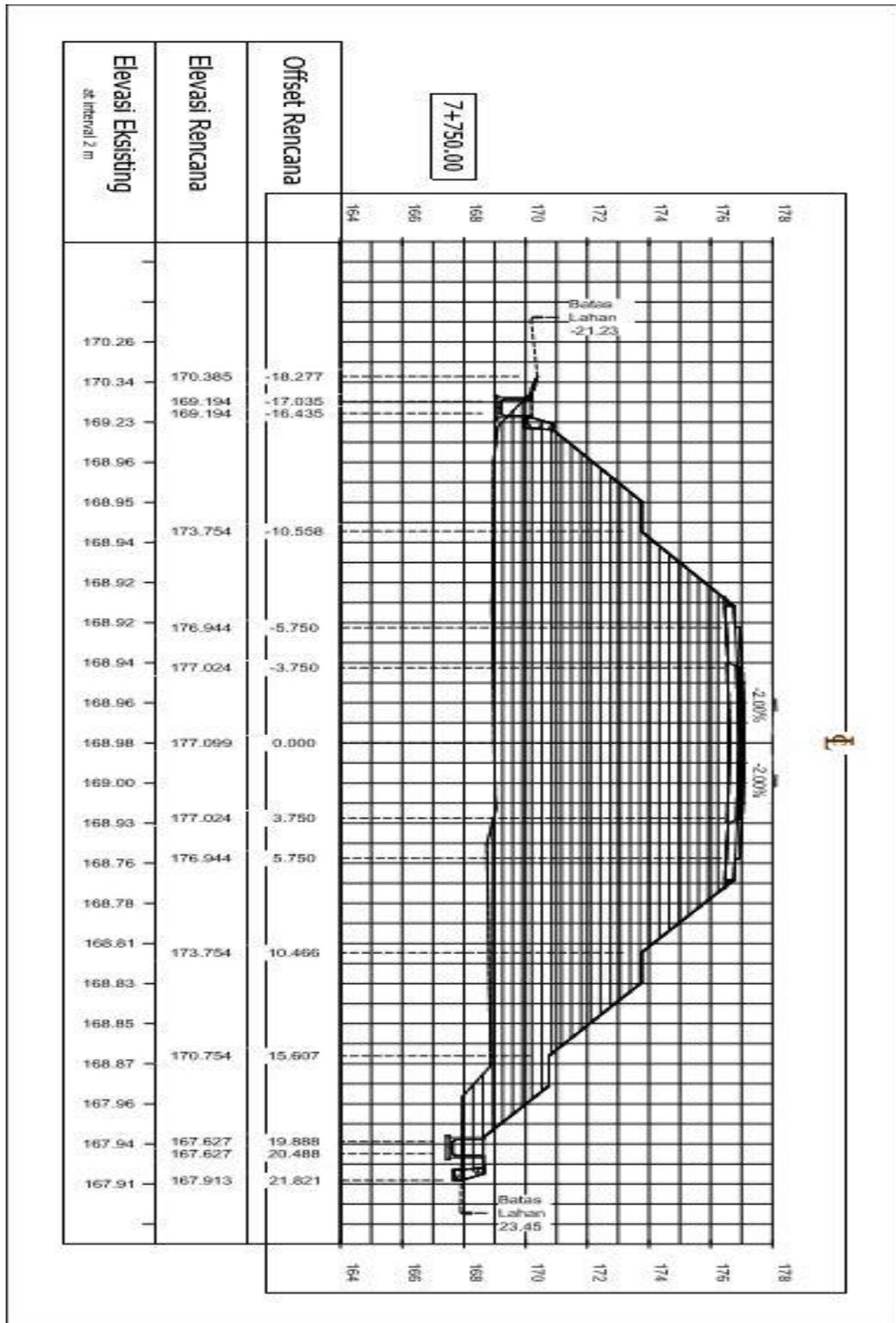
PUSKIM. 2018. *Peta Zonasi Gempa* (<http://puskim.pu.go.id/peta-zonasi-gempa/>. Diakses 28 Juni 2022).



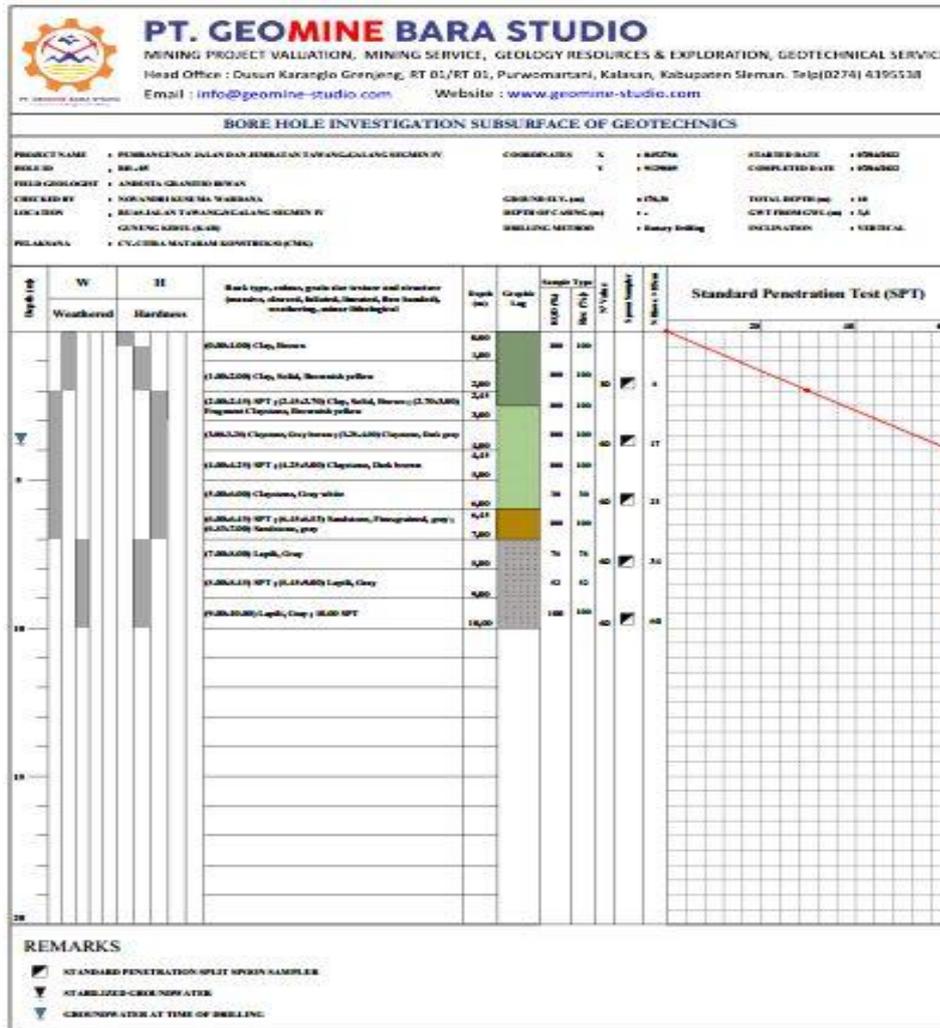


# LAMPIRAN

Lampiran 1 Data Ruas Jalan Tawang - Ngalang Segmen IV Sta. 7+750



Gambar L-1. 1 Potongan Melintang Sta. 7+750



Gambar L-1. 2 Data Bore Hole pada Sta. 7+750

| No | Kedalaman    | Jenis Litologi                       |
|----|--------------|--------------------------------------|
| 1  | 0 - 0.77     | Soft Clay, Brown light soft material |
| 2  | 0.77 - 2.67  | Hard Clay medium consistency         |
| 3  | 2.67 - 7.89  | Claystone with hard material         |
| 4  | 7.89 - 10.00 | Lapili with vulcanic material        |

Gambar L-1. 3 Data Jenis Tanah Berdasarkan Data Bore Hole pada Sta. 7+750



**PT. GEOMINE BARA STUDIO**  
Soil Investigation & Laboratory Test  
Jln. Raya Purwomatani, Karanglo Grenjeng RT  
01/01, Purwomatani, Kalasan, Sleman,  
Yogyakarta.

PT. GEOMINE BARA STUDIO  
Surface & Underground Mining

2022

| STA. 7+700 - 7+800 |      |                |                                     |                                   |                        |       |                        |               |                         |                         |
|--------------------|------|----------------|-------------------------------------|-----------------------------------|------------------------|-------|------------------------|---------------|-------------------------|-------------------------|
| Jenis Tanah        | NSPT | Material Model | $\gamma$ Unsat<br>kN/m <sup>3</sup> | $\gamma$ Sat<br>kN/m <sup>3</sup> | E<br>kN/m <sup>2</sup> | $\nu$ | c<br>kN/m <sup>2</sup> | $\phi$<br>(°) | K <sub>x</sub><br>m/day | K <sub>y</sub><br>m/day |
| OB                 | -    | Mohr-Coulomb   | 14.2                                | 16                                | 7512                   | 0.295 | 10.6                   | 13.598        | 2.70E-03                | 2.70E-03                |
| SOFT CLAY          | -    | Mohr-Coulomb   | 16.1                                | 18                                | 12160                  | 0.329 | 15.6                   | 25.150        | 3.00E-04                | 3.00E-04                |
| HARD CLAY          | -    | Mohr-Coulomb   | 16.3                                | 18                                | 14465                  | 0.323 | 16.6                   | 25.490        | 3.00E-04                | 3.00E-04                |
| CLAYSTONE          | -    | Mohr-Coulomb   | 17.2                                | 19                                | 27540                  | 0.338 | 22.5                   | 27.170        | 3.00E-05                | 3.00E-05                |
| LAPILI             | -    | Mohr-Coulomb   | 17.1                                | 19                                | 20670                  | 0.298 | 13.6                   | 23.170        | 1.00E-02                | 1.00E-02                |

**Gambar L-1. 4 Data Parameter Tanah pada Sta. 7+750**



## Lampiran 2 Data Spesifikasi Geotekstil Woven

# UnggulTex

POLYPROPYLENE WOVEN GEOTEXTILES

## TECHNICAL SPECIFICATIONS

| PROPERTIES                            | UNIT                  | TEST METHOD       | UW - 150   | UW - 200   | UW - 250   |
|---------------------------------------|-----------------------|-------------------|------------|------------|------------|
| <b>Physical Properties</b>            |                       |                   |            |            |            |
| Mass                                  | g/m <sup>2</sup>      | ASTM D 5261-92    | 150        | 200        | 250        |
| Thickness                             | mm                    | ASTM D 5199-91    | 0.5        | 0.6        | 0.7        |
| Colour                                | -                     | -                 | Black      | Black      | Black      |
| <b>Mechanical Properties</b>          |                       |                   |            |            |            |
| Strip Tensile Strength (Wrab/Weft)    | kN/m                  | ASTM D 4595-94    | 37/35      | 42/39      | 52/52      |
| Elongation at Max. Load (Wrab/Weft)   | %                     | ASTM D 4595-94    | 19/18      | 20/20      | 20/20      |
| Grap Tensile Strength (Wrab/Weft)     | N                     | ASTM D 4632-91    | 1210/1200  | 1600/1600  | 1750/1750  |
| Elongation at Max. Load (Wrab/Weft)   | %                     | ASTM D 4632-91    | 14/13      | 22/22      | 22/22      |
| Trapezoidal Tear Strength (Wrab/Weft) | N                     | ASTM D 4533-91    | 615/615    | 700/700    | 800/800    |
| <b>Hydraulic Properties</b>           |                       |                   |            |            |            |
| Pore Size O <sub>35</sub>             | µm                    | ASTM D 4751-95    | 320        | 275        | 250        |
| Water Permeability                    | l/m <sup>2</sup> /sec | 100 mm water head | 28         | 16         | 7.5        |
| <b>Environmental Properties</b>       |                       |                   |            |            |            |
| Effect of soil Alkalinity             | -                     | -                 | nil        | nil        | nil        |
| Effect of soil Acidity                | -                     | -                 | nil        | nil        | nil        |
| Effect of Bacteria                    | -                     | -                 | nil        | nil        | nil        |
| Effect of U.V. Light                  | -                     | -                 | Stabilized | Stabilized | Stabilized |
| <b>Packaging</b>                      |                       |                   |            |            |            |
| Roll Length                           | m                     | -                 | 150 - 200  | 150 - 200  | 150 - 200  |
| Roll Width                            | m                     | -                 | 3 - 4      | 3 - 4      | 3 - 4      |
| Roll Area                             | m <sup>2</sup>        | -                 | 640 - 760  | 640 - 760  | 640 - 760  |
| Roll Diameter (Approx)                | m                     | -                 | 0.4 - 0.5  | 0.4 - 0.5  | 0.4 - 0.5  |
| Roll Weight (Approx)                  | kg                    | -                 | 96 - 114   | 128 - 152  | 160 - 190  |

All information, illustration and specification are based on the latest product information available at the time of printing. The right is reserved to make changes at any time without notice.

