

BAB V

ANALISIS DAN PEMBAHASAN

1.1 Gambaran Umum Analisis

Kondisi lereng sebagai timbunan pada proyek jalan tol trans Sumatera di Sta. 9+100 adalah tempat studi kasus yang akan dilakukan penelitian ini. Lapisan tanah pada lokasi didominasi oleh tanah lempung, dan lapisan tanah yang digunakan sampai lapisan ketiga pada kedalaman 14 meter. Sedangkan untuk tanah timbunan digunakan tanah lempung berpasir yang dipadatkan. Analisis ini dilakukan untuk mengetahui pada ketinggian timbunan berapa sudah mulai terjadi kelongsoran pada lereng. Keruntuhan yang terjadi dapat disebabkan karena tanah timbunan sudah tidak mampu menahan gaya-gaya yang terjadi akibat beban pada saat pembuatan timbunan maupun saat timbunan sudah akan digunakan.

Analisis dilakukan menggunakan variasi tinggi timbunan mulai dari 2m, 4m, 6m, dan 8m. Tinggi timbunan bervariasi digunakan untuk mengetahui tinggi timbunan yang paling efektif dan yang aman terhadap beban-beban yang akan terjadi. Kondisi timbunan akan dianalisis dalam kondisi saat masa konstruksi dan pasca konstruksi dengan parameter beban yang berbeda. Jenis timbunan lereng yang akan dianalisis ada dua macam yaitu jenis tanah asli dan jenis tanah dengan diberi replacement.

Parameter beban yang digunakan adalah beban struktur pada saat kondisi masa konstruksi dan beban lalu lintas pada saat pasca konstruksi. Parameter gempa digunakan data SMC berupa grafik percepatan dan waktu yang sesuai dengan kondisi gempa pada daerah Lampung.

Adapun solusi untuk lereng timbunan dengan angka aman yang belum memenuhi syarat angka aman, maka akan dilakukan perkuatan menggunakan geotekstil. Oleh karena itu perlu dilakukan analisis dengan menggunakan perkuatan pada lereng timbunan yang tidak aman, sehingga dapat diketahui apakah geotekstil mampu menahan kelongsoran yang dapat terjadi dan meningkatkan nilai angka aman dari timbunan lereng.

1.1.1 Data Analisis Program *Plaxis 8.2*

Kondisi timbunan lereng sesuai dengan proyek tol trans Sumatera pada Sta. 9+100. Parameter tanah yang digunakan berdasarkan hasil laboratorium data tanah pada lokasi Sta. 9+100. Berikut adalah parameter tanah, beban-beban yang bekerja, perkuatan lereng yang digunakan, serta kondisi eksisting lereng.

1. Data parameter tanah

Tabel 5.1 Data Parameter Tanah Masa Konstruksi

NAMA		<i>SILTY FIRM</i>	<i>SANDY CLAY</i>	<i>CLAY STIFF</i>	<i>CLAYEY SAND (TIMBUNAN)</i>
Model	-	<i>MC</i>	<i>MC</i>	<i>MC</i>	<i>MC</i>
Jenis	-	<i>DRAINED</i>	<i>DRAINED</i>	<i>DRAINED</i>	<i>DRAINED</i>
γ_{unsat}	kN/m ³	17,09	16,32	16,62	20,61
γ_{sat}	kN/m ³	18,13	18,54	17,91	22,71
K_x	m/hari	$1 \cdot 10^{-3}$	$1 \cdot 10^{-4}$	$1 \cdot 10^{-4}$	$1 \cdot 10^{-3}$
K_y	m/hari	$1 \cdot 10^{-3}$	$1 \cdot 10^{-4}$	$1 \cdot 10^{-4}$	$1 \cdot 10^{-3}$
E_{ref}	kN/m ²	16372	12650	12650	10000
ν	-	0,33	0,25	0,25	0,35
Kohesi (C)	kN/m ²	15,32	17,64	20,13	12,43
Sudut geser (ϕ)	°	5,5	8,3	7,4	18,23
Sudut dilatasi (Ψ)	°	0	0	0	0

Sumber: PT. Egis International Indonesia (2017)

Tabel 5.2 Data Parameter Tanah Pasca Konstruksi

NAMA		<i>SILTY FIRM</i>	<i>SANDY CLAY</i>	<i>CLAY STIFF</i>	<i>CLAYEY SAND (TIMBUNAN)</i>
Model	-	<i>MC</i>	<i>MC</i>	<i>MC</i>	<i>MC</i>
Jenis	-	<i>DRAINED</i>	<i>DRAINED</i>	<i>DRAINED</i>	<i>UNDRAINED</i>
γ_{unsat}	kN/m ³	17,09	16,32	16,62	20,61
γ_{sat}	kN/m ³	18,13	18,54	17,91	22,71
K_x	m/hari	$1 \cdot 10^{-3}$	$1 \cdot 10^{-4}$	$1 \cdot 10^{-4}$	0
K_y	m/hari	$1 \cdot 10^{-3}$	$1 \cdot 10^{-4}$	$1 \cdot 10^{-4}$	0
E_{ref}	kN/m ²	16372	12650	12650	10000
ν	-	0,33	0,25	0,25	0,35
Kohesi (C)	kN/m ²	15,32	17,64	20,13	12,43
Sudut geser (ϕ)	°	5,5	8,3	7,4	18,23
Sudut dilatasi (Ψ)	°	0	0	0	0

Sumber: PT. Egis International Indonesia (2017)

2. Data beban struktur

Parameter beban pada perhitungan analisis selama masa konstruksi dianggap memiliki beban merata akibat adanya beban struktur dari perkerasan jalan. Berdasarkan data digunakan sebagai perhitungan analisis pada proyek Jalan Tol Trans Sumatera, beban dari struktur lapis perkerasan sebesar 10 kN/m^2 .

3. Data beban lalu lintas

Sebagai *input* kedalam program *Plaxis* besar beban lalu lintas untuk stabilitas digunakan sebesar 15 kN/m^2 , beban tersebut sesuai dengan data beban lalu lintas untuk stabilitas seperti disajikan pada Tabel 5.3. Sebagai *input* kedalam program *Plaxis* pada saat kondisi pasca konstruksi dipakai beban dari struktur dan beban lalu lintas, maka digunakan beban sebesar 25 kN/m^2 .

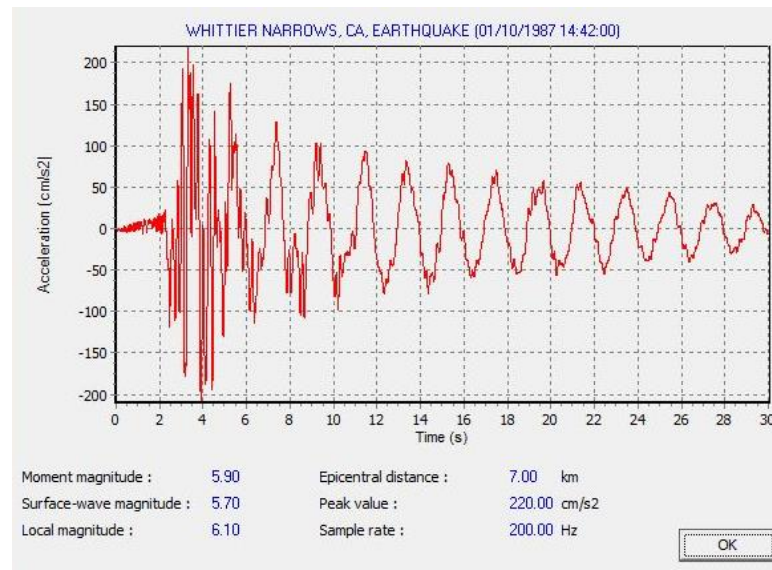
Tabel 5.3 Data Parameter Beban Lalu Lintas

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

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

4. Data beban gempa

Wilayah Lampung memiliki percepatan puncak gempa (PGA) sebesar 0,2-0,25g. Data gempa yang sesuai dengan nilai tersebut adalah data gempa di kawasan Whittier Narrows pada 1 Oktober 1987 yang memiliki percepatan puncak gempa sebesar 0,22 g (Gambar 5.1). Waktu interval gempa yang dimasukkan kedalam *Plaxis* diambil sebesar 3,2 detik dengan anggapan telah melewati puncak.



Gambar 5.1 Grafik Hubungan Percepatan dan Waktu Gempa Whittier Narrows, 1 Oktober 1987
 (Sumber: www.usgs.gov, 2017)

5. Data geotekstil

Geotekstil yang digunakan adalah produksi dari PT. Teknindo Geosistem Unggul jenis *woven* UW 250. Nilai kuat tarik ijin dan regangannya yang diperoleh dari brosur produksinya, yaitu masing-masing sebesar 52 kN/m² dan 20%. Maka nilai geotekstil yang dijadikan *input* ke dalam program *Plaxis 8.2* dapat dilihat pada Tabel 5.4.

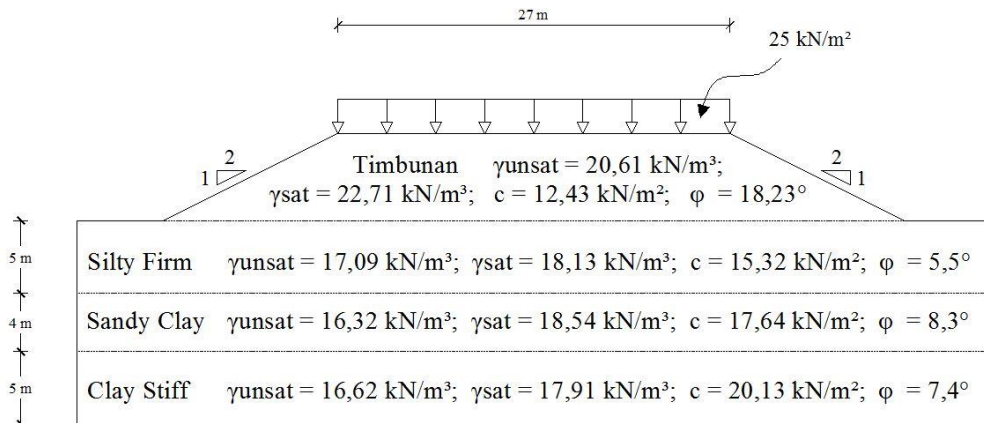
Tabel 5.4 Data Parameter Geotekstil *Woven* UW 250

Parameter	Notasi	Nilai	Satuan
Kuat Tarik	T	52	kN/m
Regangan	ε	20	%
Kekakuan normal	<i>EA</i>	260	kN/m

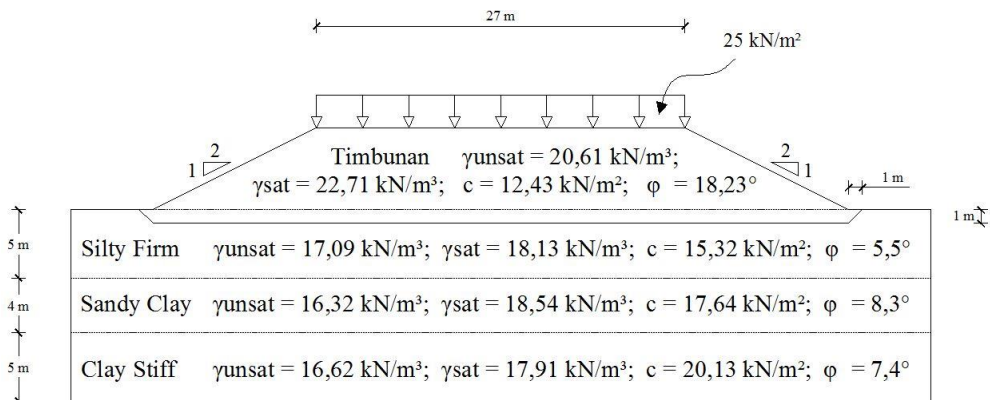
Sumber: PT. Teknindo Geosistem Unggul (2015)

6. Kondisi eksisting lereng

Kondisi eksisting timbunan dan jenis tanah setiap lapisan dapat dilihat pada Gambar 5.1 untuk jenis timbunan tanah asli dan Gambar 5.2 untuk jenis timbunan dengan diberi replacement.



Gambar 5.2 Geometri Kondisi Eksisting Lereng Tanah Asli



Gambar 5.3 Geometri Kondisi Eksisting Lereng Tanah Replacement

1.2 Lereng Timbunan Tanah Asli Tanpa Perkuatan

1.2.1 Analisis Menggunakan Program Plaxis

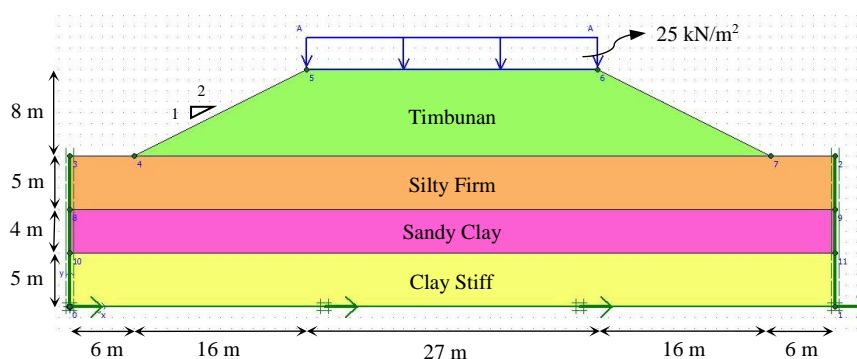
Hasil analisis menggunakan program Plaxis 8.2 yang akan ditampilkan pada analisis ini adalah lereng tanah timbunan dengan tinggi 8m. Penjabaran analisis meliputi pemodelan awal lereng, kondisi masa konstruksi, dan kondisi paska konstruksi. Untuk hasil analisis lereng tanah asli dengan tinggi timbunan 2m dapat dilihat pada Lampiran 7, lereng tanah tanah asli dengan tinggi timbunan 4m dapat dilihat pada Lampiran 8, dan lereng tanah asli dengan tinggi timbunan 6m dapat dilihat pada Lampiran 9.

1. Pemodelan awal lereng

Pemodelan lereng menggunakan tanah asli yang ada pada proyek, serta pemodelan beban gempa dinamik dan beban merata. Lebar lereng sepanjang 27 meter yang akan difungsikan sebagai jalan tol Trans Sumatera Sta. 9+100. Titik koordinat yang di *input* kedalam *Plaxis* 8.2 disajikan pada Tabel 5.5 dan untuk pemodelan lereng dapat dilihat pada Gambar 5.4.

Tabel 5.5 Koordinat Lereng Timbunan 8m Tanah Asli Tanpa Perkuatan

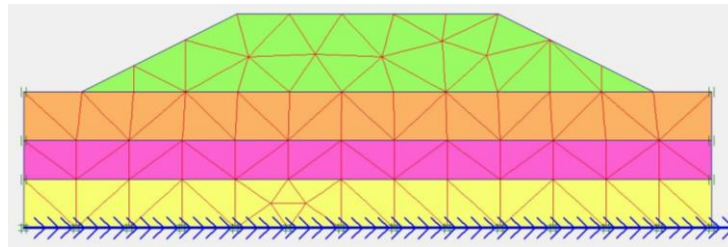
No.	X (m)	Y (m)	No.	X (m)	Y (m)
0	0	0	6	49	22
1	71	0	7	65	14
2	71	14	8	0	9
3	0	14	9	71	9
4	6	14	10	0	5
5	22	22	11	71	5



Gambar 5.4 Pemodelan Lereng Timbunan 8m Tanah Asli Tanpa Perkuatan

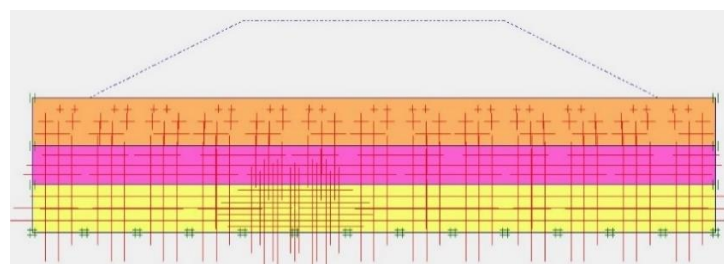
2. Kondisi masa konstruksi

Kondisi masa konstruksi terjadi saat pembuatan timbunan lereng, pada masa konstruksi tanah timbunan masih bersifat *drained* karna tanah masih dapat terdrainase dengan baik. Beban merata yang terjadi pada saat masa konstruksi sebesar 10 kN/m^2 akibat beban dari struktur perkerasan. Setelah dilakukan *input* parameter tanah dan bahan, kemudian dilakukan penyusunan jaringan elemen (*meshing*). Hasil dari jaringan elemen hingga (*meshing*) pada lereng timbunan dapat dilihat pada Gambar 5.5.



Gambar 5.5 Meshing pada Lereng Timbunan 8m Tanah Asli Tanpa Perkuatan

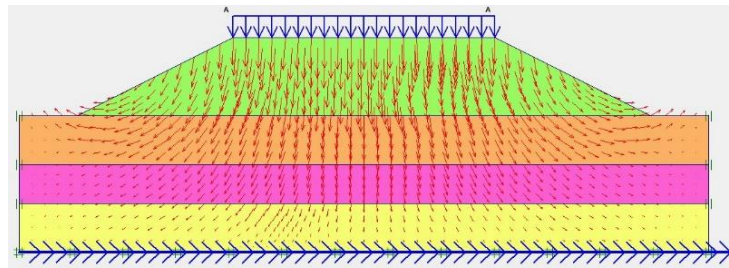
Setelah dilakukan *meshing* maka dilanjutkan dengan kondisi awal (*initial condition*). Pada analisis ini tidak mengikut sertakan tekanan air, maka konfigurasi geometri awal langsung dengan perhitungan *general initial stresses*. Hasil dari *initial soil stresses* dapat dilihat pada Gambar 5.6 berikut.



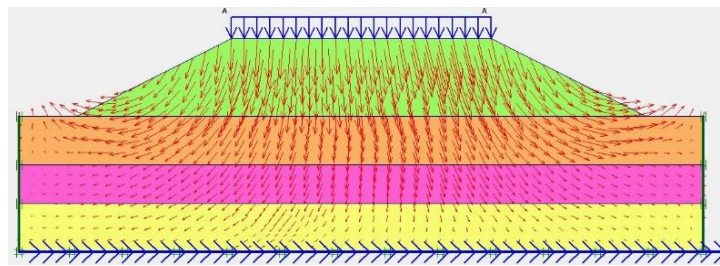
Gambar 5.6 Initial Soil Stresses pada Lereng Timbunan 8m Tanah Asli Tanpa Perkuatan Masa Konstruksi

Kemudian masuk ke tahap analisis perhitungan (*calculation*) lereng timbunan 8m tanah asli tanpa perkuatan dengan lima tahap. Tahap pertama yaitu analisis perhitungan akibat diberi timbunan 8m. Tahap kedua yaitu analisis perhitungan akibat diberi beban struktur pada permukaan lereng timbunan. Tahap ketiga

yaitu perhitungan akibat beban gempa. Selanjutnya tahap keempat yaitu perhitungan nilai angka aman akibat beban struktur, dan tahap kelima perhitungan nilai angka aman akibat beban dan gempa. Hasil *deformed mesh* pada timbunan lereng 8m dapat dilihat pada Gambar 5.7 dan Gambar 5.8 berikut ini.

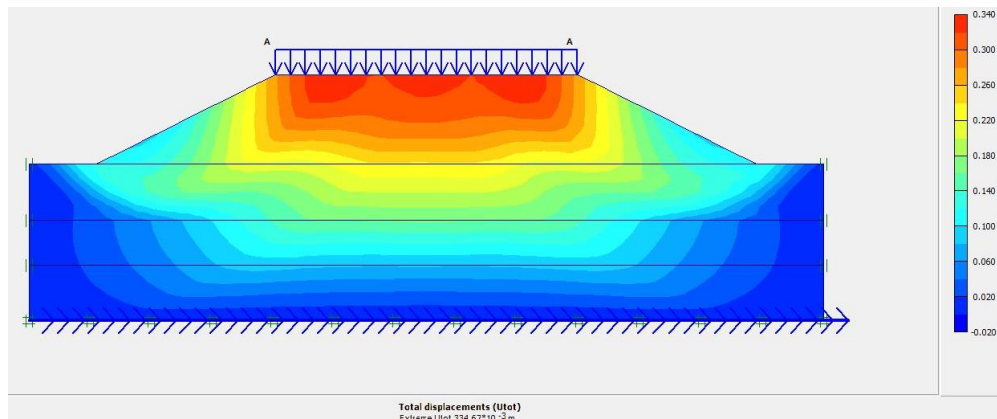


Gambar 5.7 Deformed Mesh Lereng Timbunan 8m Tanah Asli Masa Konstruksi Akibat Beban Struktur

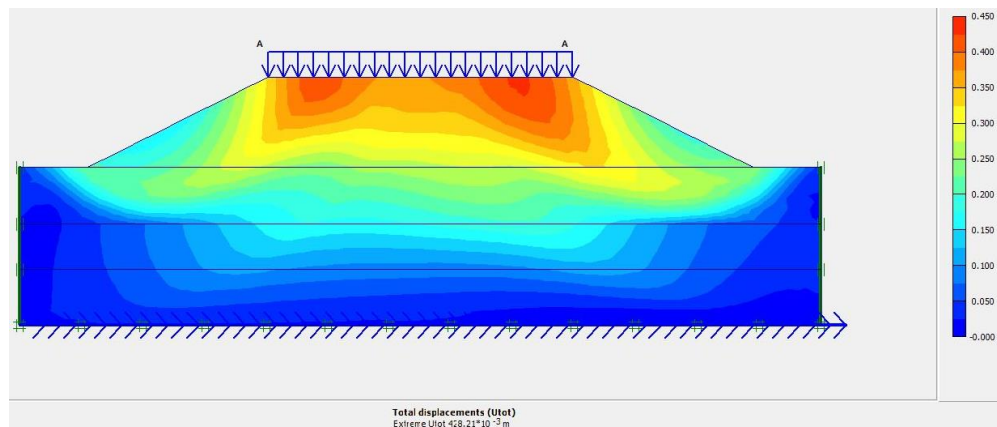


Gambar 5.8 Deformed Mesh Lereng Timbunan 8m Tanah Asli Masa Konstruksi Akibat Beban dan Gempa

Pada timbunan dengan diberi beban struktur terjadi *displacement* yang lebih terkonsentrasi pada tanah timbunan bagian tengah, bagian ini ditandai dengan warna merah. Sedangkan pada timbunan yang diberi beban struktur dan gempa, *displacement* terbesar terjadi pada bagian kanan lereng. Besarnya nilai total *displacement* yang terjadi pada timbunan lereng dengan beban struktur sebesar $334,67 \times 10^{-3}$ m, sedangkan pada timbunan lereng dengan beban struktur dan gempa sebesar $428,21 \times 10^{-3}$ m. Total *displacement* yang terjadi dapat dilihat pada Gambar 5.9 dan Gambar 5.10 berikut.

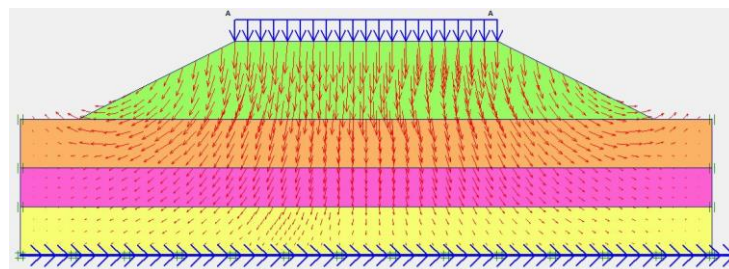


Gambar 5.9 Total Displacement Lereng Timbunan 8m Tanah Asli Masa Konstruksi Akibat Beban Struktur

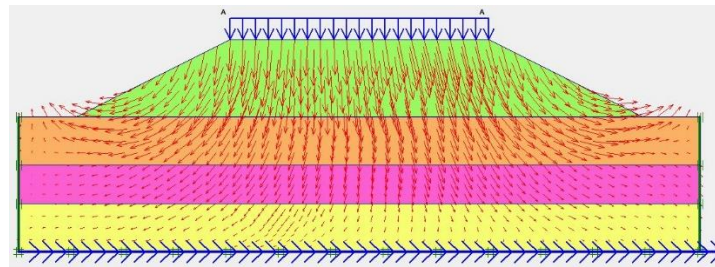


Gambar 5.10 Total Displacement Lereng Timbunan 8m Tanah Asli Masa Konstruksi Akibat Beban dan Gempa

Arah pergerakan tanah akibat beban struktur didominasi oleh pergerakan secara vertikal, sedangkan pergerakan akibat beban dan gempa terjadi gerakan memutar dikarenakan adanya gaya gempa. Arah pergerakan pada timbunan lereng 8m dapat dilihat pada Gambar 5.11 dan Gambar 5.12 berikut.

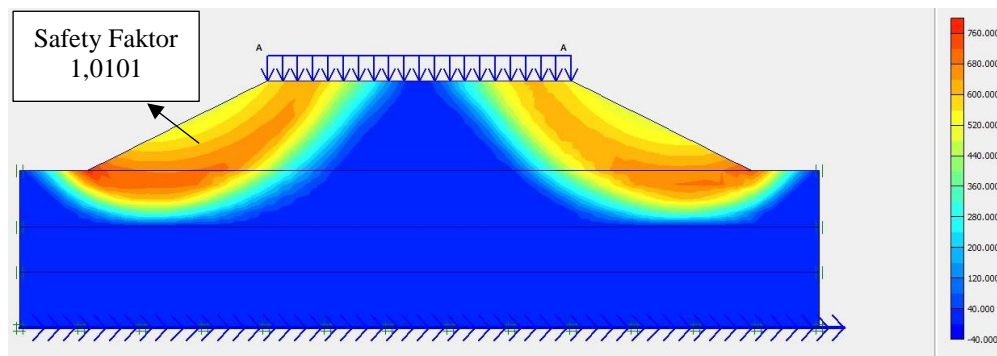


Gambar 5.11 Arah Pergerakan Tanah Lereng Timbunan 8m Tanah Asli Masa Konstruksi Akibat Beban Struktur

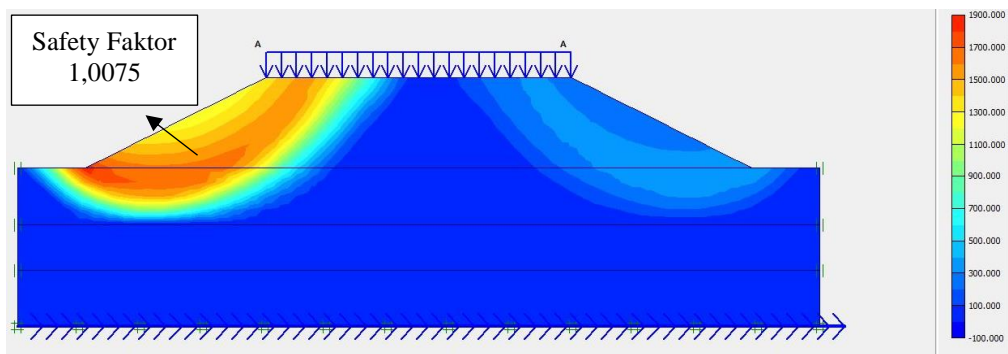


Gambar 5.12 Arah Pergerakan Tanah Lereng Timbunan 8m Tanah Asli Masa Konstruksi Akibat Beban dan Gempa

Potensi kelongsoran akibat beban struktur dan beban dengan gempa dapat dilihat pada Gambar 5.13 dan Gambar 5.14 berikut.

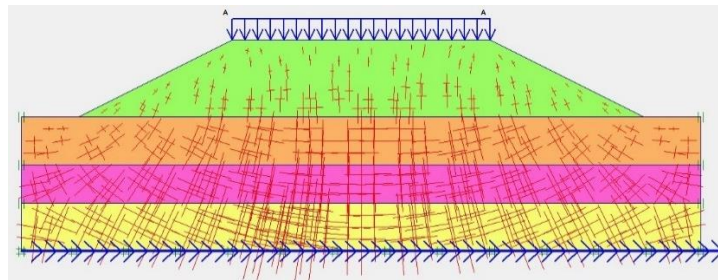


Gambar 5.13 Potensi Kelongsoran Lereng Timbunan 8m Tanah Asli Masa Konstruksi Akibat Beban Struktur

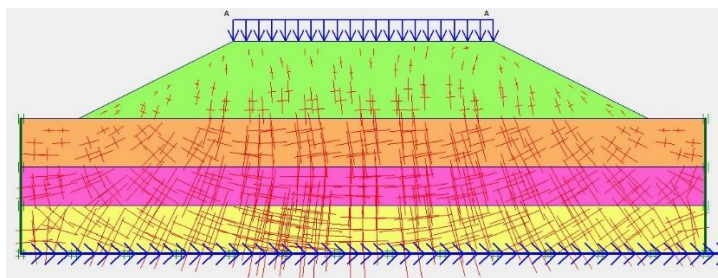


Gambar 5.14 Potensi Kelongsoran Lereng Timbunan 8m Tanah Asli Masa Konstruksi Akibat Beban dan Gempa

Besarnya nilai *effective stresses* pada lereng timbunan 8m akibat beban struktur sebesar $-388,41 \text{ kN/m}^2$, sedangkan akibat beban dan gempa sebesar $-395,34 \text{ kN/m}^2$. Hasil tersebut dapat dilihat pada Gambar 5.15 dan Gambar 5.16 berikut.

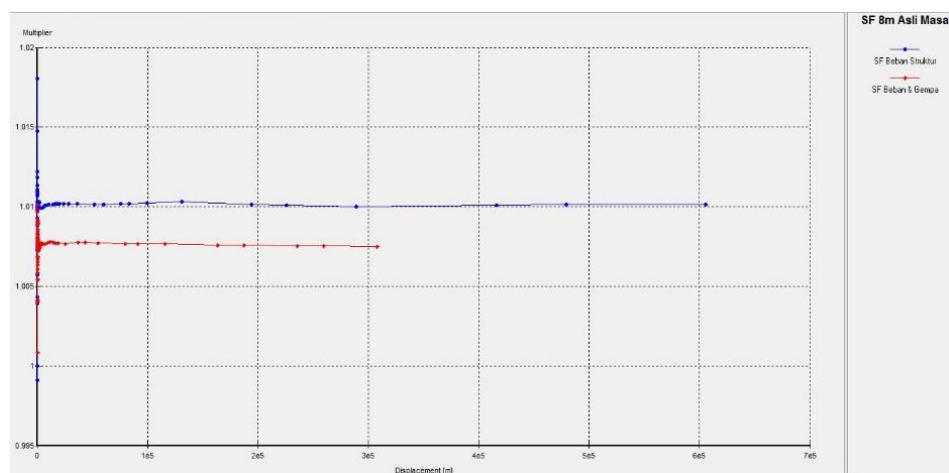


Gambar 5. 15 Effective Stresses Lereng Timbunan 8m Tanah Asli Masa Konstruksi Akibat Beban Struktur



Gambar 5. 16 Effective Stresses Lereng Timbunan 8m Tanah Asli Masa Konstruksi Akibat Beban dan Gempa

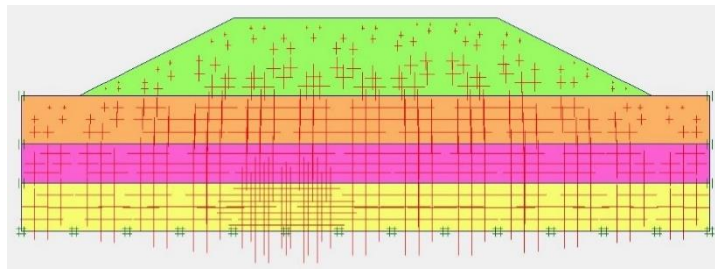
Nilai angka aman lereng timbunan 8m yang didapatkan dari hasil analisis akibat beban struktur sebesar 1,0101 sedangkan nilai angka aman akibat beban dan gempa sebesar 1,0075. Hasil nilai angka aman dapat dilihat pada kurva Gambar 5.17 berikut.



Gambar 5.17 Kurva SF Lereng Timbunan 8m Tanah Asli Masa Konstruksi

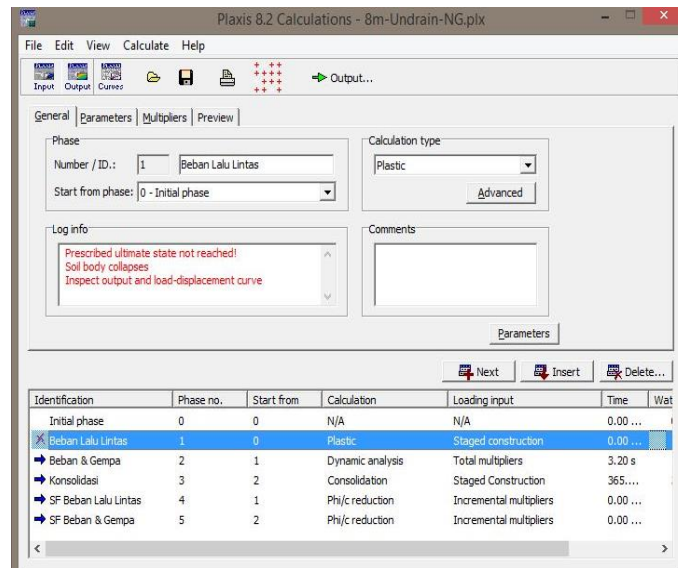
3. Kondisi pasca konstruksi

Kondisi pasca konstruksi yaitu saat timbunan lereng sudah dapat difungsikan. Pada kondisi pasca konstruksi tanah timbunan menjadi bersifat *undrained* karena tanah sudah tak terdrainasi lagi akibat adanya struktur jalan. Pada kondisi ini juga beban lalu lintas menjadi parameter beban tambahan untuk analisis. Jaringan elemen hingga (*meshing*) kondisi pasca konstruksi sama dengan saat masa konstruksi pada Gambar 5.5. *Initial soil stresses* dilakukan *generate* kembali karena kondisi tanah awal untuk pasca konstruksi telah selesai penimbunan setinggi 8m. Hasil *initial soil stresses* dapat dilihat pada Gambar 5.18 berikut.



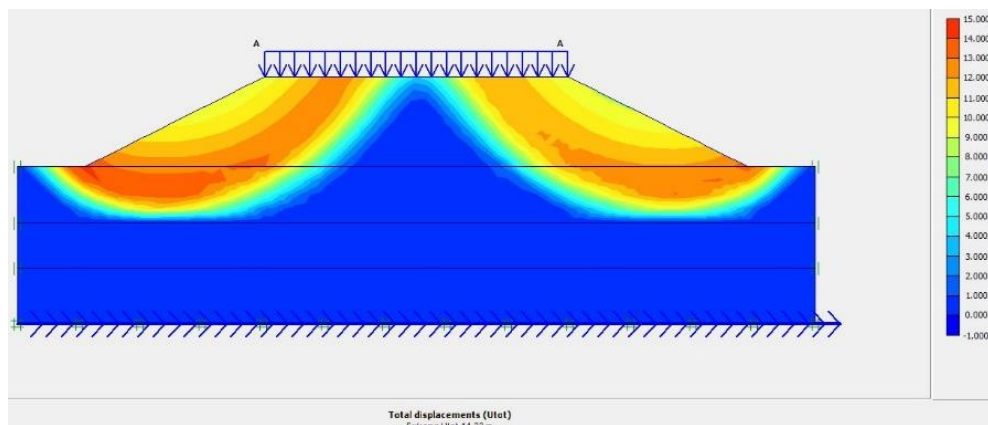
Gambar 5.18 *Initial Soil Stresses* pada Lereng Timbunan 8m Tanah Asli Tanpa Perkuatan Pasca Konstruksi

Analisis perhitungan (*calculation*) pasca konstruksi tanah asli ada lima tahap. Sama dengan dengan masa konstruksi, hanya saja tidak ada tahap memasukan kondisi timbunan 2m karena kondisi sudah ada tanah timbunan. Pada tahap pertama dengan memasukkan beban lalu lintas lereng timbunan 8m mengalami *soil body collapse*, maka untuk perhtiungan selanjutnya tidak dapat dilakukan. Kondisi ini terjadi apabila $SF < 1$, pada analisis menggunakan program *Plaxis* ditandai dengan tulisan merah *log info* dapat dilihat pada Gambar 5.19 berikut.



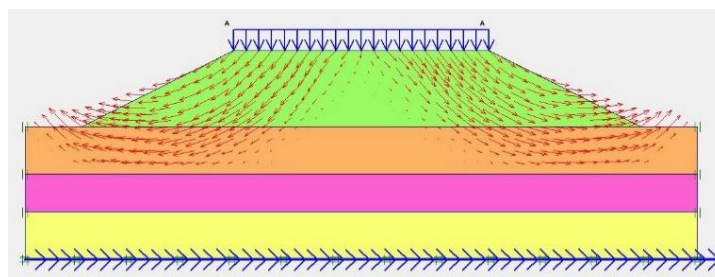
Gambar 5.19 Deformed Mesh Lereng Timbunan 8m Tanah Asli Pasca Konstruksi Akibat Beban Lalu Lintas

Pada tahap pertama memasukkan beban lalu lintas yang mengalami *collapse* terjadi *displacement* sebesar 1,43m. Total *displacement* yang terjadi dapat dilihat pada Gambar 5.20 berikut.



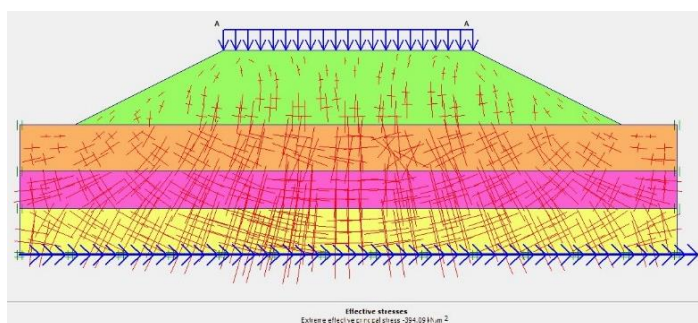
Gambar 5.20 Total Displacement Lereng Timbunan 8m Tanah Asli Pasca Konstruksi Akibat Beban Lalu Lintas

Arah pergerakan pada timbunan lereng 8m pada tahap pertama memasukkan beban lalu lintas dapat dilihat pada Gambar 5.21 berikut.



Gambar 5. 21 Arah Pergerakan Tanah Lereng Timbunan 8m Tanah Asli Pasca Konstruksi Akibat Beban Lalu Lintas

Nilai *effective stresses* pada lereng timbunan 4m akibat beban lalu lintas sebesar $-394,09 \text{ kN/m}^2$. Hasil tersebut dapat dilihat pada Gambar 5.22 berikut.



Gambar 5. 22 Effective Stresses Lereng Timbunan 8m Tanah Asli Pasca Konstruksi Akibat Beban Lalu Lintas

Pada lereng timbunan 8m tanah asli pasca konstruksi *Plaxis* tidak dapat menampilkan nilai aman lereng asli karena lereng telah mengalami keruntuhan (*collapse*) yang ditandai pada *log info* (lihat Gambar 5.19) dan bisa dipastikan nilai aman lereng sangat kecil yaitu < 1 .

Hasil dari analisis timbunan lereng badan jalan dengan tanah asli tanpa perkuatan geotekstil pada timbunan 2m nilai *safety factor* yang didapatkan sudah aman pada masa konstruksi maupun pasca konstruksi karena lebih besar dari 1,3. Pada timbunan 4m dengan kondisi saat masa konstruksi nilai $SF > 1,3$ yang artinya masih aman, akan tetapi pada kondisi pasca konstruksi nilai SF menurun menjadi kurang dari 1,3. Sedangkan pada timbunan 6m dan 8m pada kondisi masa konstruksi maupun pasca konstruksi timbunan lereng sudah tidak aman karena nilainya kurang dari 1,3. Untuk timbunan 8m pada kondisi pasca konstruksi sudah terjadi *collapse* yang artinya tanah timbunan tidak aman dan mengalami

kelongsoran. Untuk hasil rekapitulasi nilai angka aman lereng pada timbunan tanah asli dapat dilihat pada Tabel 5.6 dan rekapitulasi besar penurunan konsolidasi yang terjadi dapat dilihat pada Tabel 5.7 berikut.

Tabel 5.6 Rekapitulasi *Safety Factor* Lereng Timbunan Tanah Asli

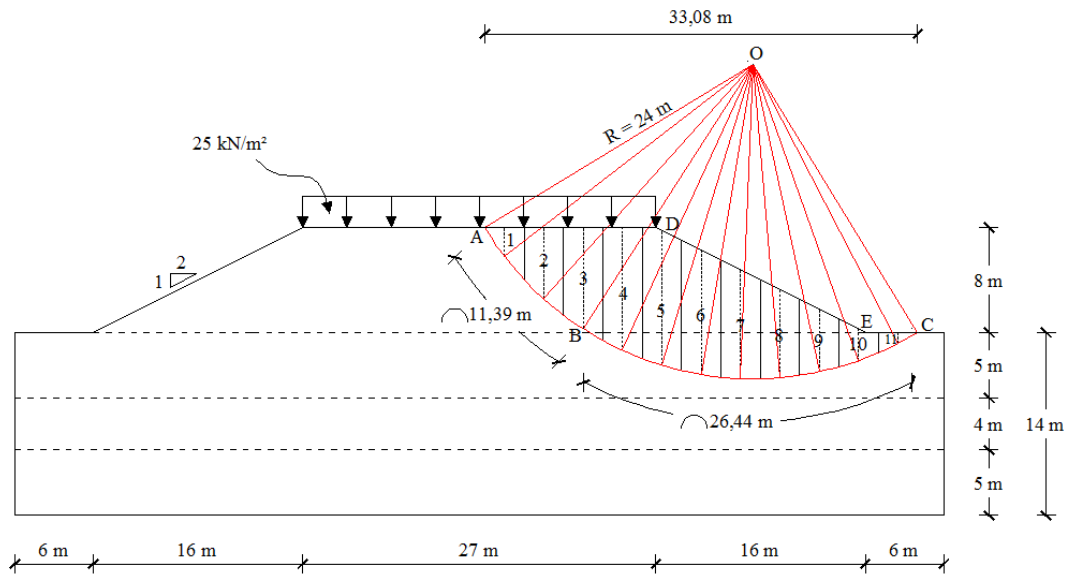
SAFETY FACTOR			Timbunan 2m	Timbunan 4m	Timbunan 6m	Timbunan 8m
Kondisi Tanah Asli	Masa Kons- truksi	Beban Struktur	2,2080 (aman)	1,4715 (aman)	1,1654 (tidak aman)	1,0101 (tidak aman)
		Beban & Gempa	2,2046 (aman)	1,4664 (aman)	1,1636 (tidak aman)	1,0075 (tidak aman)
	Pasca Kons- truksi	Beban Lalu Lintas	1,6563 (aman)	1,2606 (tidak aman)	1,0722 (tidak aman)	<i>Collapse</i>
		Beban & Gempa	1,6532 (aman)	1,2594 (tidak aman)	1,0711 (tidak aman)	<i>Collapse</i>

**Tabel 5.7 Rekapitulasi Besar Konsolidasi yang Terjadi Pada Lereng
Timbunan Tanah Asli**

Timbunan	Konsolidasi
	Kondisi Tanah Asli
2m	0,013 m
4m	0,031 m
6m	0,056 m
8m	<i>Collapse</i>

1.2.2 Perhitungan Manual Dengan Metode Irisan

Karena dalam program Plaxis 8.2 pada tanah asli dengan tinggi timbunan pada saat paska konstruksi tidak menunjukkan nilai angka aman pada lereng, maka digunakan perhitungan manual dengan metode irisan untuk mencari nilai angka aman lereng. Dari program Plaxis didapatkan garis potensi kelongsoran pada Gambar 5.20 dari gambar tersebut bisa dilihat bahwa garis potensi kelongsoran terbentuk hingga kaki lereng dengan R (jari-jari) 24m dan pada perhitungan ini akan dibagi menjadi 11 pias. Gambar gaya-gaya yang bekerja pada lereng bisa dilihat pada Gambar 5.23 berikut.



Gambar 5.23 Gaya-Gaya yang Bekerja Pada Irisan

Bidang longsor akan dibagi menjadi 11 irisan. Panjang total dari bidang longsor arah horizontal adalah 33,08 m, maka setiap irisan akan mempunyai panjang horizontal $33,08/11 = 3,0075$ m. Cara menghitung gaya berat setiap irisan dapat dilihat pada Tabel 5.8 berikut.

Tabel 5.8 Hitungan Gaya Berat Metode Irisan

Irisan no	b (m)	h_i (m)	Berat W_i (kN)	θ ($^\circ$)	$W_i \cdot \cos\theta_i \cdot \tan\phi$ (kN)	$W_i \cdot \sin\theta_i$ (kN)
1	3,0075	2,1941	136,0004	52,4	27,3306	107,7517
2	3,0075	5,4324	336,7250	41,8	82,6770	224,4381
3	3,0075	7,7247	478,8122	32,8	132,5601	259,3765
4	3,0075	9,3712	566,3538	24,6	154,6700	235,7622
5	3,0075	10,2857	610,9681	16,9	163,7539	177,6097
6	3,0075	9,4890	554,1004	9,5	141,9712	91,4529
7	3,0075	8,2974	476,9345	2,3	114,6972	19,1402
8	3,0075	6,7267	380,2846	-4,9	83,4532	-32,4827
9	3,0075	4,7733	263,9646	12	49,7241	-54,8813
10	3,0075	2,4145	126,8068	-19,6	14,9813	-42,5375
11	3,0075	0,8498	43,6781	27,4	3,7339	-20,1007
JUMLAH					969,5526	965,5292

Dari hasil pengukuran panjang garis kurva $AB = 11,39$ m, dan panjang kurva $BC = 26,44$ m. Maka dapat dihitung tahanan terhadap keongsoran yang dikerahkan oleh komponen kohesi sebesar :

$$\sum c_i a_i = (12,43 \times 11,39) + (15,32 \times 26,44) = 546,6385 \text{ kN}$$

Pada tanah timbunan terdapat beban merata yang memberikan gaya dorong pada lereng sebesar 25 kN/m^2 , luas dari bidang longsor sebesar $36,982 \text{ m}^2$. Gaya yang mendorong diberikan beban merata terhadap tanah timbunan dengan tinggi 8m dapat dicari menggunakan persamaan berikut.

$$Mq = (25 \times 36,982) = 924,541 \text{ kN}$$

Maka faktor aman menggunakan metode irisan dapat dicari menggunakan perbandingan gaya yang menahan dibagi dengan gaya yang mendorong. Nilai angka faktor aman yang dihasilkan pada lereng tanah timbunan dengan tinggi 8m adalah sebagai berikut.

$$\text{Faktor aman (SF)} = \frac{546,6385 + 969,5526}{965,5292 + 924,541} = 0,8022$$

Nilai angka aman yang didapat pada analisis menggunakan metode irisan didapat nilai angka aman lereng asli sebesar $0,8022 < 1,0$ sehingga lereng tanah asli timbunan dengan tinggi 8m terjadi keruntuhan.

1.3 Lereng Timbunan Tanah dengan Replacement Tanpa Perkuatan

1.3.1 Analisis Menggunakan Program Plaxis

Hasil analisis menggunakan program Plaxis 8.2 yang akan ditampilkan pada analisis ini adalah lereng tanah replacement timbunan dengan tinggi 8m. Penjabaran analisis meliputi pemodelan awal lereng, kondisi masa konstruksi, dan kondisi paska konstruksi. Untuk hasil analisis lereng tanah replacement dengan tinggi timbunan 2m dapat dilihat pada Lampiran 10, lereng tanah tanah replacement dengan tinggi timbunan 4m dapat dilihat pada Lampiran 11, dan lereng tanah replacement dengan tinggi timbunan 6m dapat dilihat pada Lampiran 12.

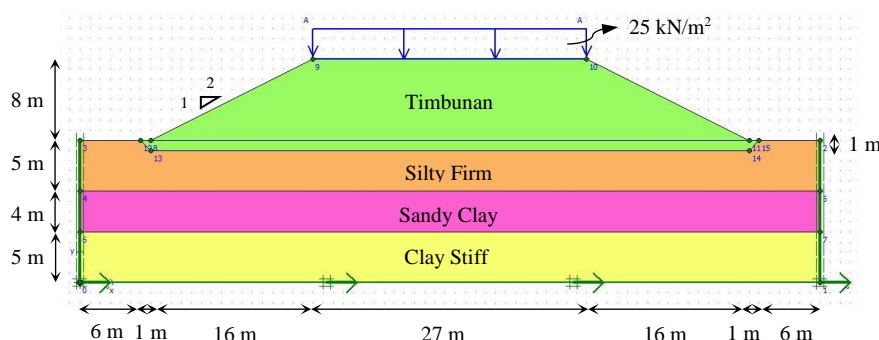
1. Pemodelan awal lereng

Pemodelan lereng dengan replacement pada tanah dasar menggunakan jenis tanah yang sesuai dengan data parameter tanah proyek jalan tol trans sumatera. Replacement dibuat dengan melakukan galian sedalam satu meter, kemudian ditimbun menggunakan tanah timbunan. Parameter beban sebagai *input* ke dalam program *Plaxis* adalah beban struktur pada kondisi masa konstruksi dan beban lalu lintas untuk kondisi pasca konstruksi. Beban gempa digunakan data

SMC berupa grafik percepatan dan waktu gempa yang sesuai dengan gempa pada daerah Lampung. Lebar lereng adalah sepanjang 27 meter, yang akan difungsikan sebagai jalan tol Trans Sumatera Sta. 9+100. Titik koordinat yang di *input* kedalam *Plaxis* 8.2 disajikan pada Tabel 5.9 dan untuk pemodelan lereng dapat dilihat pada Gambar 5.24.

Tabel 5.9 Koordinat Lereng

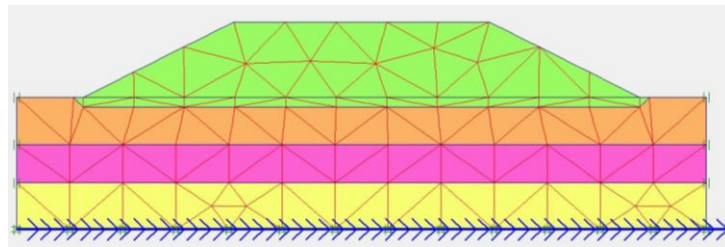
No.	X (m)	Y (m)	No.	X (m)	Y (m)
0	0	0	8	7	14
1	73	0	9	23	22
2	73	14	10	50	22
3	0	14	11	66	14
4	0	9	12	6	14
5	73	9	13	7	13
6	0	5	14	66	13
7	73	5	15	67	14



Gambar 5.24 Pemodelan Lereng Timbunan 8m Replacement Tanpa Perkuatan

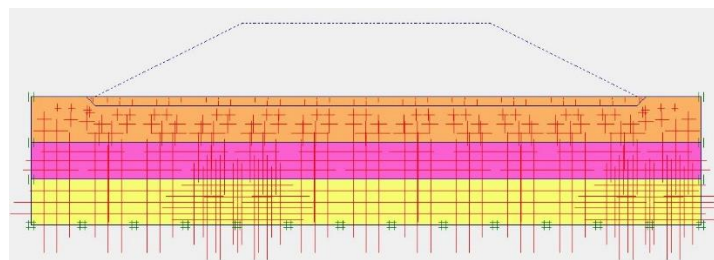
2. Kondisi masa konstruksi

Kondisi masa konstruksi terjadi saat pembuatan timbunan lereng, pada masa konstruksi tanah timbunan masih bersifat *drained* karna tanah masih dapat terdrainase dengan baik. Beban merata yang terjadi pada saat masa konstruksi sebesar 10 kN/m^2 akibat beban dari struktur perkerasan. Setelah dilakukan *input* parameter tanah dan bahan, kemudian dilakukan penyusunan jaringan elemen (*meshing*). Hasil dari jaringan elemen hingga (*meshing*) pada lereng timbunan dapat dilihat pada Gambar 5.25.



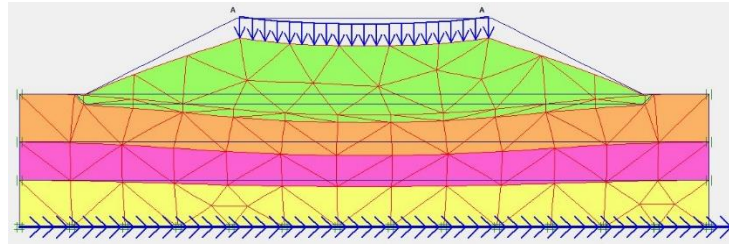
Gambar 5.25 Meshing pada Lereng Timbunan 8m Replacement Tanpa Perkuatan

Setelah dilakukan *meshing* maka dilanjutkan dengan kondisi awal (*initial condition*). Pada analisis ini tidak mengikut sertakan tekanan air, maka konfigurasi geometri awal langsung dengan perhitungan *general initial stresses*. Hasil dari *initial soil stresses* dapat dilihat pada Gambar 5.26 berikut.

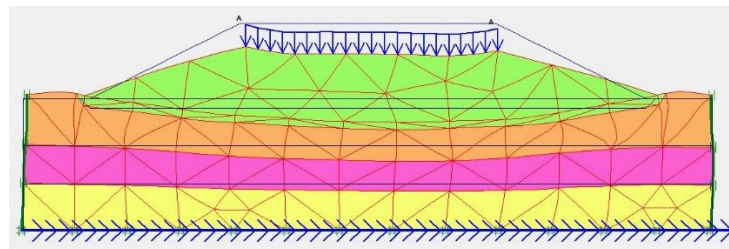


Gambar 5.26 Initial Soil Stresses pada Lereng Timbunan 8m Replacement Tanpa Perkuatan Masa Konstruksi

Kemudian masuk ke tahap analisis perhitungan (*calculation*) lereng timbunan 8m tanah replacement tanpa perkuatan dengan tujuh tahap. Tahap pertama yaitu analisis perhitungan galian *base* sedalam satu meter. Tahap kedua yaitu analisis kondisi diberi timbunan *base* menggunakan tanah timbunan. Tahap ketiga analisis perhitungan akibat adanya timbunan setinggi 8m. Tahap keempat yaitu analisis perhitungan akibat diberi beban struktur pada permukaan lereng timbunan. Tahap kelima yaitu perhitungan akibat beban gempa. Selanjutnya tahap keenam yaitu perhitungan nilai angka aman akibat beban struktur, dan tahap ketujuh perhitungan nilai angka aman akibat beban dan gempa. Hasil *deformed mesh* pada timbunan lereng 8m dapat dilihat pada Gambar 5.27 dan Gambar 5.28 berikut ini.

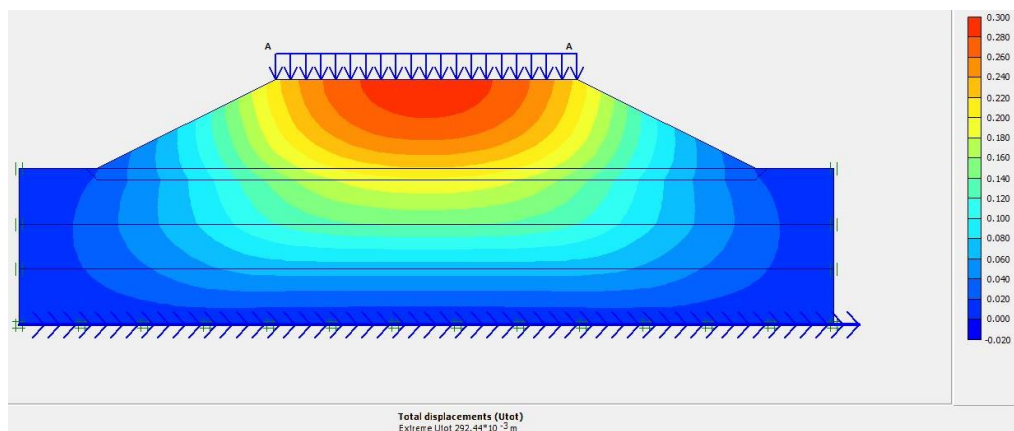


Gambar 5.27 *Deformed Mesh* Lereng Timbunan 8m Replacement Masa Konstruksi Akibat Beban Struktur

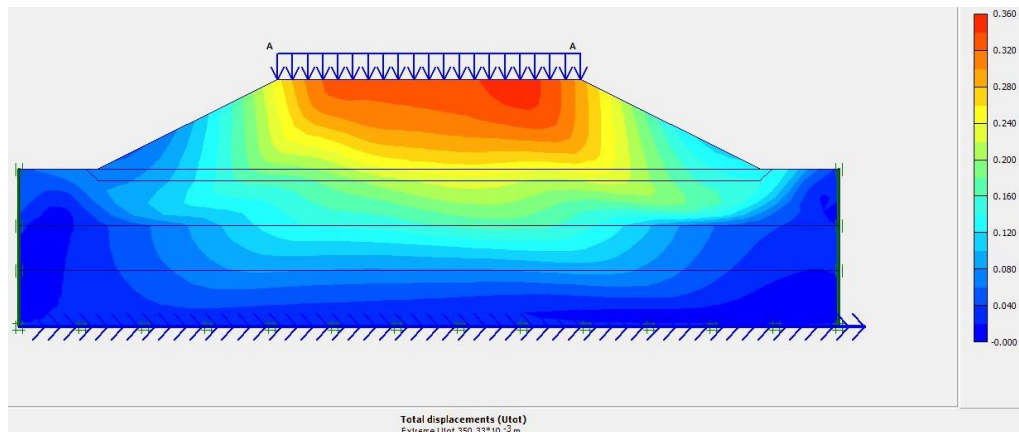


Gambar 5.28 *Deformed Mesh* Lereng Timbunan 8m Replacement Masa Konstruksi Akibat Beban dan Gempa

Pada timbunan dengan diberi beban struktur terjadi *displacement* yang lebih terkonsentrasi pada tanah timbunan bagian tengah, bagian ini ditandai dengan warna merah. Sedangkan pada timbunan yang diberi beban struktur dan gempa, *displacement* terbesar terjadi pada bagian kanan lereng. Besarnya nilai total *displacement* yang terjadi pada timbunan lereng dengan beban struktur sebesar $292,44 \times 10^{-3}$ m, sedangkan pada timbunan lereng dengan beban struktur dan gempa sebesar $350,33 \times 10^{-3}$ m. Total *displacement* yang terjadi dapat dilihat pada Gambar 5.29 dan Gambar 5.30 berikut.

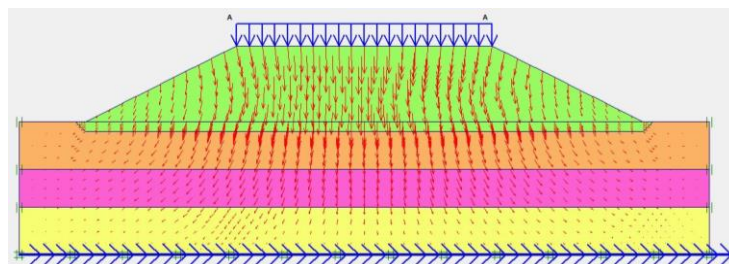


Gambar 5.29 *Total Displacement* Lereng Timbunan 8m Replacement Masa Konstruksi Akibat Beban Struktur

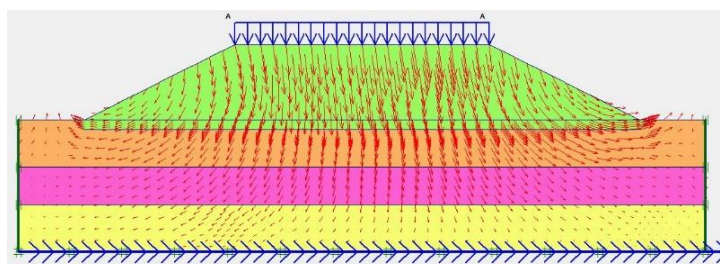


Gambar 5.30 Total Displacement Lereng Timbunan 8m Replacement Masa Konstruksi Akibat Beban dan Gempa

Arah pergerakan tanah akibat beban struktur didominasi oleh pergerakan secara vertikal, sedangkan pergerakan akibat beban dan gempa terjadi gerakan memutar dikarenakan adanya gaya gempa. Arah pergerakan pada timbunan lereng 8m dapat dilihat pada Gambar 5.31 dan Gambar 5.32 berikut.

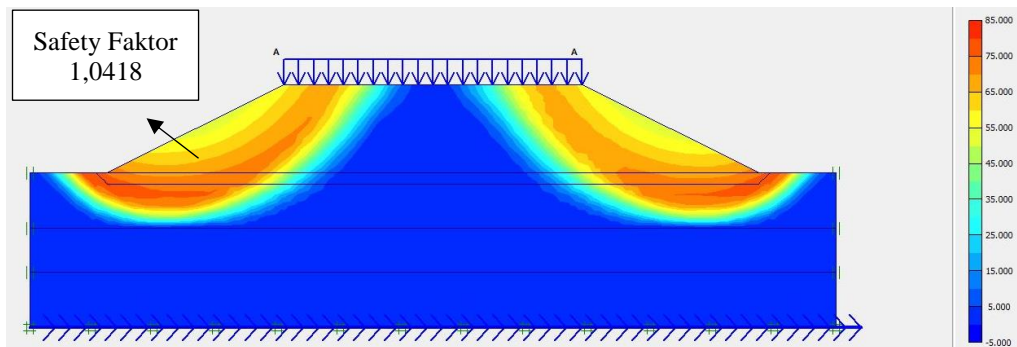


Gambar 5.31 Arah Pergerakan Tanah Lereng Timbunan 8m Replacement Masa Konstruksi Akibat Beban Struktur

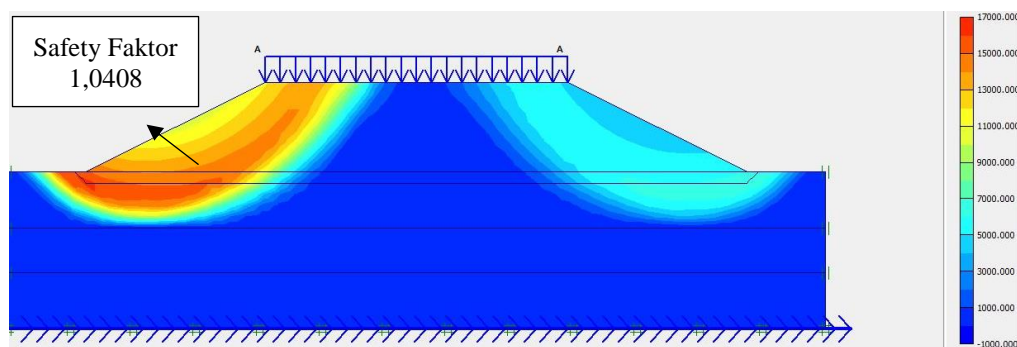


Gambar 5.32 Arah Pergerakan Tanah Lereng Timbunan 8m Replacement Masa Konstruksi Akibat Beban dan Gempa

Potensi kelongsoran akibat beban struktur dan beban dengan gempa dapat dilihat pada Gambar 5.33 dan Gambar 5.34 berikut.

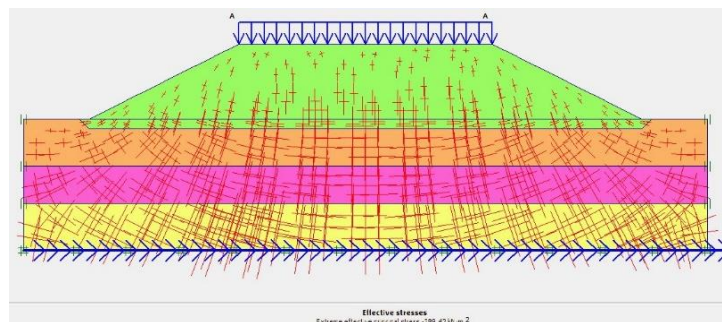


Gambar 5.33 Potensi Kelongsoran Lereng Timbunan Replacement Masa Konstruksi Akibat Beban Struktur

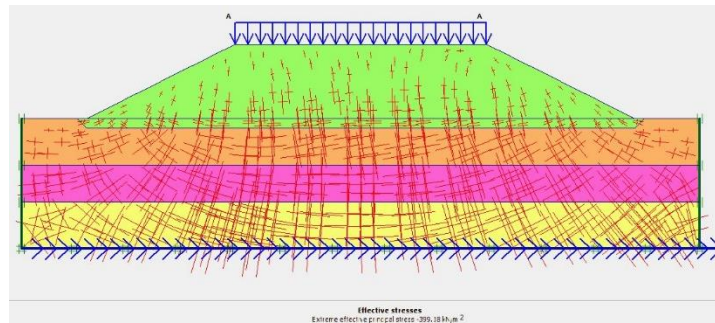


Gambar 5.34 Potensi Kelongsoran Lereng Timbunan 8m Replacement Masa Konstruksi Akibat Beban dan Gempa

Hasil analisis program Plaxis menunjukkan bahwa garis-garis yang mengindikasikan arah dan besarnya tegangan efektif semakin ke bawah garis-garis itu semakin terlihat banyak. Besarnya nilai *effective stresses* pada lereng timbunan 4m akibat beban struktur sebesar $-389,42 \text{ kN/m}^2$, sedangkan akibat beban dan gempa sebesar $-399,18 \text{ kN/m}^2$. Hasil tersebut dapat dilihat pada Gambar 5.35 dan Gambar 5.36 berikut.

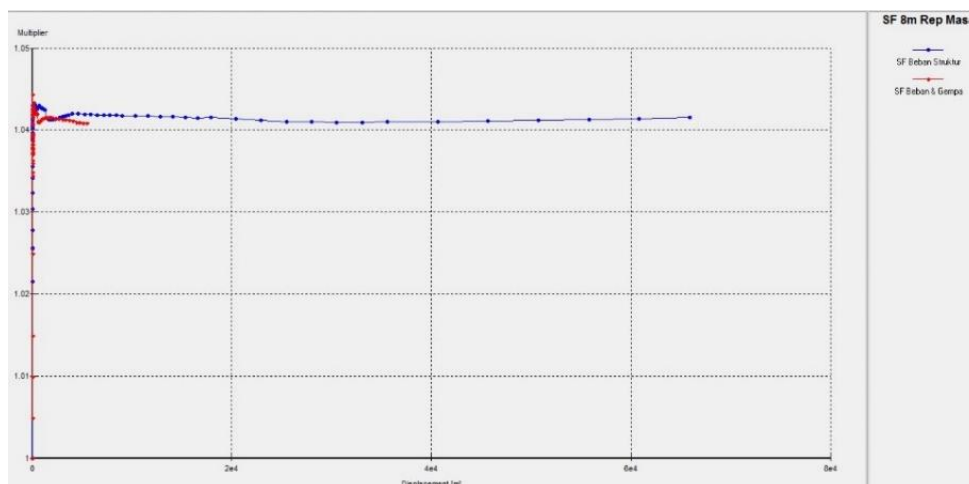


Gambar 5.35 Effective Stresses Lereng Timbunan 8m Replacement Masa Konstruksi Akibat Beban Struktur



Gambar 5.36 Effective Stresses Lereng Timbunan 8m Replacement Masa Konstruksi Akibat Beban dan Gempa

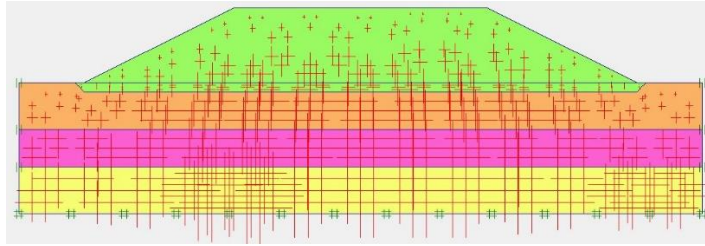
Nilai angka aman lereng timbunan 8m yang didapatkan dari hasil analisis akibat beban struktur sebesar 1,0418 sedangkan nilai angka aman akibat beban dan gempa sebesar 1,0408. Hasil nilai angka aman dapat dilihat pada kurva Gambar 5.37 berikut.



Gambar 5.37 Kurva SF Lereng Timbunan 8m Replacement Masa Konstruksi

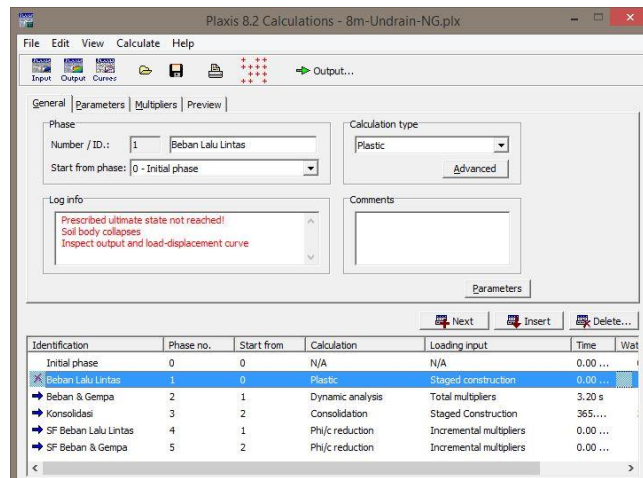
3. Kondisi pasca konstruksi

Kondisi pasca konstruksi yaitu saat timbunan lereng sudah dapat difungsikan. Pada kondisi pasca konstruksi tanah timbunan menjadi bersifat *undrained* karena tanah sudah tak terdrainasi lagi akibat adanya struktur jalan. Pada kondisi ini juga beban lalu lintas menjadi parameter beban tambahan untuk analisis. *Initial soil stresses* dilakukan *generate* kembali karena kondisi tanah awal untuk pasca konstruksi telah selesai penimbunan setinggi 8m. Hasil *initial soil stresses* dapat dilihat pada Gambar 5.38 berikut.



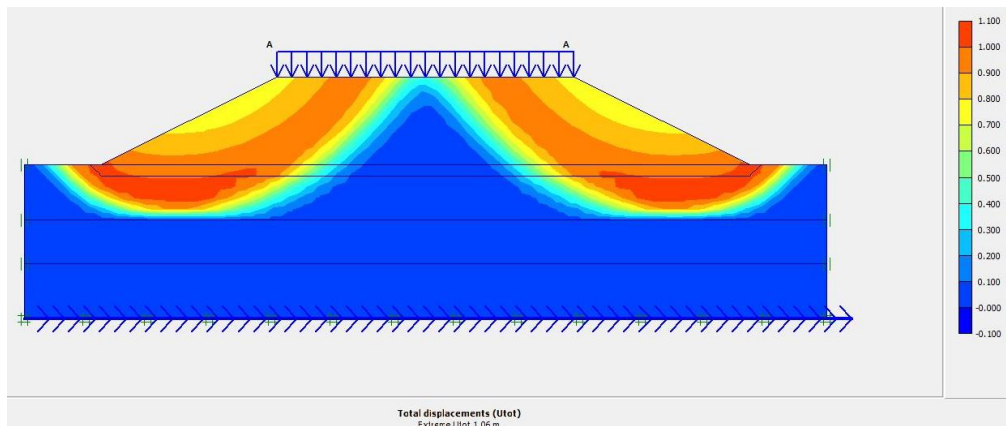
Gambar 5.38 Initial Soil Stresses pada Lereng Timbunan 8m Replacement Tanpa Perkuatan Pasca Konstruksi

Analisis perhitungan (*calculation*) pasca konstruksi tanah dengan replacement ada lima tahap. Pada tahap pertama dengan memasukkan beban lalu lintas lereng timbunan 8m mengalami *soil body collapse*, maka untuk perhitungan selanjutnya tidak dapat dilakukan. Kondisi ini terjadi karena nilai SF sangat kecil yaitu < 1 , pada analisis menggunakan program *Plaxis* ditandai dengan tulisan merah *log info* dapat dilihat pada Gambar 5.39 berikut.



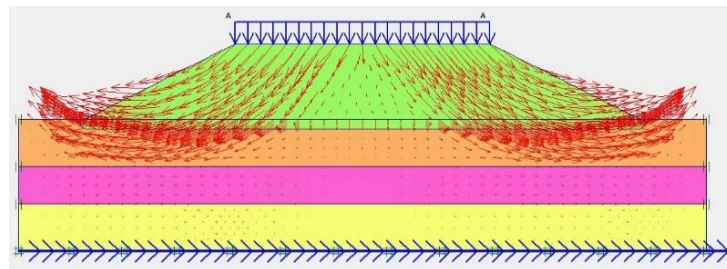
Gambar 5.39 Deformed Mesh Lereng Timbunan 8m Replacement Pasca Konstruksi Akibat Beban Lalu Lintas

Pada tahap pertama memasukkan beban lalu lintas yang mengalami *collapse* terjadi *displacement* sebesar 1,06m. Total *displacement* yang terjadi dapat dilihat pada Gambar 5.40 berikut.



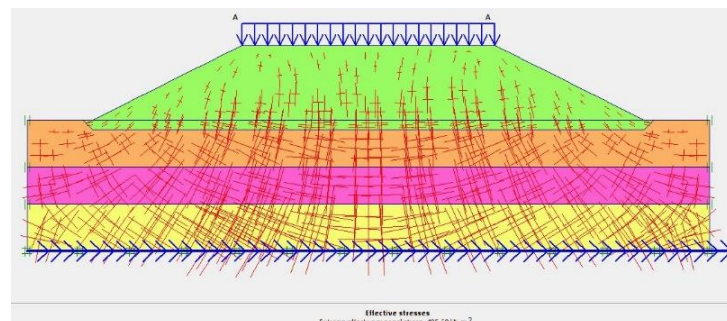
Gambar 5.40 Total Displacement Lereng Timbunan 8m Replacement Pasca Konstruksi Akibat Beban Lalu Lintas

Arah pergerakan pada timbunan lereng 8m pada tahap pertama memasukkan beban lalu lintas dapat dilihat pada Gambar 5.41 berikut.



Gambar 5. 41 Arah Pergerakan Tanah Lereng Timbunan 8m Replacement Pasca Konstruksi Akibat Beban Lalu Lintas

Nilai *effective stresses* pada lereng timbunan 4m akibat beban lalu lintas sebesar $-405,28 \text{ kN/m}^2$. Hasil tersebut dapat dilihat pada Gambar 5.42 berikut.



Gambar 5. 42 Effective Stresses Lereng Timbunan 8m Replacement Pasca Konstruksi Akibat Beban Lalu Lintas

Untuk tanah replacement dengan tanah timbunan hasilnya tidak berbeda jauh dengan menggunakan tanah asli. Dari hasil analisis menunjukkan angka *safety factor* yang dihasilkan oleh tanah dengan replacement lebih aman. Sedangkan besarnya konsolidasi yang terjadi pada tanah displacement lebih besar dibandingkan dengan tanah asli. Hasil rekapitulasi analisis dengan program *Plaxis* untuk lereng pada tanah asli dan tanah dengan replacement dapat dilihat pada Tabel 5.10 dan rekapitulasi konsolidasi yang terjadi pada Tabel 5.11.

Tabel 5. 10 Rekapitulasi *Safety Factor* Lereng Timbunan Tanah Replacement

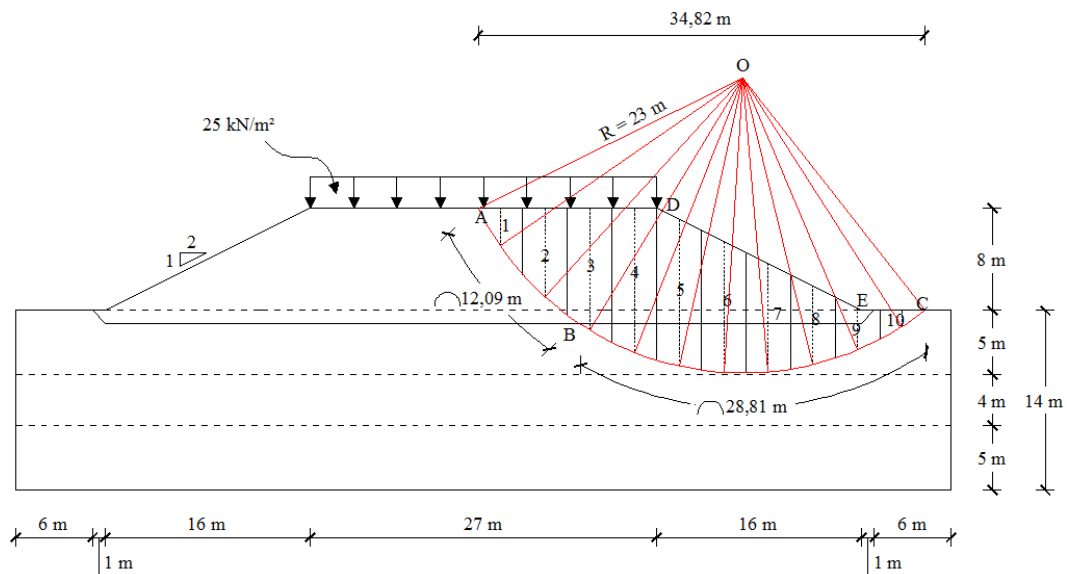
<i>SAFETY FACTOR</i>			Timbunan 2m	Timbunan 4m	Timbunan 6m	Timbunan 8m
Kondisi Tanah Dengan Repla- cement	Masa Kons- truksi	Beban Struktur	2,2613 (aman)	1,5122 (aman)	1,2043 (tidak aman)	1,0418 (tidak aman)
		Beban & Gempa	2,2603 (aman)	1,5115 (aman)	1,2024 (tidak aman)	1,0408 (tidak aman)
	Pasca Kons- truksi	Beban Lalu Lintas	1,8151 (aman)	1,2866 (tidak aman)	1,0950 (tidak aman)	<i>Collapse</i>
		Beban & Gempa	1,8145 (aman)	1,2856 (tidak aman)	1,0931 (tidak aman)	<i>Collapse</i>

Tabel 5.11 Rekapitulasi Konsolidasi yang Terjadi Pada Timbunan Lereng Tanpa Perkuatan

Timbunan	Konsolidasi
	Kondisi Tanah dengan Replacement
2m	0,019 m
4m	0,033 m
6m	0,059 m
8m	<i>Collapse</i>

1.3.2 Perhitungan Manual Dengan Metode Irisan

Karena dalam program *Plaxis* 8.2 pada tanah replacement dengan tinggi timbunan 8m pada saat paska konstruksi tidak menunjukkan nilai angka aman pada lereng, maka digunakan perhitungan manual dengan metode irisan untuk mencari nilai angka aman lereng. Dari program *Plaxis* didapatkan garis potensi kelongsoran pada Gambar 5.40 dari gambar tersebut bisa dilihat bahwa garis potensi kelongsoran terbentuk hingga kaki lereng dengan R (jari-jari) 23m dan pada perhitungan ini akan dibagi menjadi 10 pias. Gambar gaya-gaya yang bekerja pada lereng bisa dilihat pada Gambar 5.43 berikut.



Gambar 5.43 Gaya-Gaya yang Bekerja Pada Irisan

Bidang longsor akan dibagi menjadi 10 irisan. Panjang total dari bidang longsor arah horizontal adalah 34,82 m, maka setiap irisan akan mempunyai panjang horizontal $34,82/10 = 3,482$ m. Cara menghitung gaya berat setiap irisan dapat dilihat pada Tabel 5.12 berikut.

Tabel 5.12 Hitungan Gaya Berat Metode Irisan

Irisan no	b (m)	h_i (m)	Berat W_i (kN)	θ (°)	$W_i \cdot \cos\theta_i \cdot \tan\phi$ (kN)	$W_i \cdot \sin\theta_i$ (kN)
1	3,482	3,9679	284,7443	55,3	53,3895	234,1008
2	3,482	7,9349	569,424	42,1	139,1557	381,7570
3	3,482	9,5320	677,5146	31,3	184,3668	351,9818
4	3,482	11,2643	780,5963	21,6	209,8467	287,3567
5	3,482	11,4522	780,9858	12,5	206,0045	169,0363
6	3,482	10,2088	685,6582	3,7	172,3474	44,2471
7	3,482	8,4319	558,5856	-4,9	130,8736	-47,7127
8	3,482	6,1187	399,6001	-13,7	84,4538	-94,6406
9	3,482	3,2257	206,1120	-22,9	36,0888	-80,2031
10	3,482	1,2352	73,5014	-32,7	5,9557	-39,7084
JUMLAH					1222,4825	1206,2149

Dari hasil pengukuran panjang garis kurva $AB = 12,09$ m, dan panjang kurva $BC = 28,81$ m. Maka dapat dihitung tahanan terhadap keongsoran yang dikerahkan oleh komponen kohesi sebesar :

$$\sum c_i a_i = (12,43 \times 12,09) + (15,32 \times 28,81) = 591,6479 \text{ kN}$$

Pada tanah timbunan terdapat beban merata yang memberikan gaya dorong pada lereng sebesar 25 kN/m^2 , luas dari bidang longsor sebesar $34,696 \text{ m}^2$. Gaya yang mendorong diberikan beban merata terhadap tanah timbunan dengan tinggi 8m dapat dicari menggunakan persamaan berikut.

$$Mq = (25 \times 34,696) = 867,388 \text{ kN}$$

Maka faktor aman menggunakan metode irisan dapat dicari menggunakan perbandingan gaya yang menahan dibagi dengan gaya yang mendorong. Nilai angka faktor aman yang dihasilkan pada lereng tanah timbunan dengan tinggi 8m adalah sebagai berikut.

$$\text{Faktor aman (SF)} = \frac{591,6479 + 1222,4825}{1206,2149 + 867,388} = 0,8749$$

Nilai angka aman yang didapat pada analisis menggunakan metode irisan didapat nilai angka aman lereng asli sebesar $0,8749 < 1,0$ sehingga lereng tanah asli timbunan dengan tinggi 8m terjadi keruntuhan.

Hasil rekapitulasi analisis dengan program *Plaxis* dan perhitungan manual menggunakan metode irisan untuk lereng pada tanah asli dan tanah dengan replacement dapat dilihat pada Tabel 5.13 dan rekapitulasi konsolidasi yang terjadi pada Tabel 5.14 berikut.

Tabel 5. 13 Rekapitulasi Safety Factor Lereng Timbunan Tanpa Perkuatan

SAFETY FACTOR			Timbunan 2m	Timbunan 4m	Timbunan 6m	Timbunan 8m
Kondisi Tanah Asli	Masa Kons- truksi	Beban Struktur	2,2080 (aman)	1,4715 (aman)	1,1654 (tidak aman)	1,0101 (tidak aman)
		Beban & Gempa	2,2046 (aman)	1,4664 (aman)	1,1636 (tidak aman)	1,0075 (tidak aman)
	Pasca Kons- truksi	Beban Lalu Lintas	1,6563 (aman)	1,2606 (tidak aman)	1,0722 (tidak aman)	0,8022 (tidak aman)
		Beban & Gempa	1,6532 (aman)	1,2594 (tidak aman)	1,0711 (tidak aman)	
Kondisi Tanah Dengan Repla- cement	Masa Kons- truksi	Beban Struktur	2,2613 (aman)	1,5122 (aman)	1,2043 (tidak aman)	1,0418 (tidak aman)
		Beban & Gempa	2,2603 (aman)	1,5115 (aman)	1,2024 (tidak aman)	1,0408 (tidak aman)
	Pasca Kons- truksi	Beban Lalu Lintas	1,8151 (aman)	1,2866 (tidak aman)	1,0950 (tidak aman)	0,8749 (tidak aman)
		Beban & Gempa	1,8145 (aman)	1,2856 (tidak aman)	1,0931 (tidak aman)	

Tabel 5.14 Rekapitulasi Konsolidasi yang Terjadi Pada Timbunan Lereng Tanpa Perkuatan

Timbunan	Konsolidasi	
	Kondisi Tanah Asli	Kondisi Tanah dengan Replacement
2m	0,013 m	0,019 m
4m	0,031 m	0,033 m
6m	0,056 m	0,059 m
8m	<i>Collapse</i>	<i>Collapse</i>

Dari hasil analisis tersebut, maka pada timbunan 4m sampai 8m perlu diberi perkuatan untuk meningkatkan nilai *safety factor* agar menjadi aman. Pada timbunan 2m tidak perlu diberi perkuatan lagi karena sudah aman baik saat kondisi masa konstruksi maupun kondisi pasca konstruksi. Untuk timbunan 4m tetap akan dilakukan analisis dengan perkuatan, karena pada kondisi pasca konstruksi nilai *safety factor* masih belum aman. Pada peneliatian ini akan dilakukan analisis dengan perkuatan geotekstil jenis *woven*.

Analisis dengan diberi perkuatan geotekstil tetap akan dilakukan analisis dengan tanah asli dan tanah yang diberi replacement, untuk mengetahui perbedaan pada saat telah diberi perkuatan. Dapat dilihat pada hasil analisis lereng timbunan tanpa perkuatan bidang longsor yang dihasilkan lebih didominasi pada bagian tanah timbunan. Oleh karenanya, pemasangan geotekstil akan dilakukan pada bagian tanah timbunan secara mendatar.

1.4 Perhitungan Kebutuhan Geotekstil

1.4.1 Data Perhitungan Geotekstil

1. Parameter tanah timbunan

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

- Berat volume tanah (γ_b) = 20,61 kN/m³
- Kohesi (c) = 12,43 kN/m²
- Sudut gesek dalam (ϕ) = 18,23°

2. Data geotekstil

Geotekstil yang digunakan sebagai perkuatan pada penelitian ini adalah jenis geotekstil *woven*. Data geotekstil diperoleh dari produksi PT. Teknindo Geosistem Unggul dengan jenis geotekstil yang digunakan adalah *woven* UW-250. Masing-masing nilai kuat tarik geotekstil dan regangannya yang digunakan adalah sebesar 52 kN/m dan 20%. Data yang akan diinput kedalam *Plaxis* yaitu berupa nilai *normal stiffness* (EA) yang dihitung sebagai berikut.

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

Untuk perhitungan kebutuhan geotekstil digunakan SF sebagai pembagi nilai kuat tarik ijin dari geotekstil sebesar 2. Angka ini sudah dianggap aman karena lebih besar atau sama dengan 1,5. Perhitungan kuat tarik *allowable* getekstil sebagai berikut.

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

Data parameter geotekstil yang digunakan sebagai perhitungan dan *input* kedalam program *Plaxis* dapat dilihat pada Tabel 5.15 berikut

Tabel 5.15 Data Geotekstil Woven UW-250

Parameter	Notasi	Nilai	Satuan
Kuat tarik ultimit	T_{ult}	52	kN/m
Regangan	ϵ	20	%
Kekakuan normal	EA	260	kN/m
Kuat tarik <i>allowable</i>	T_{all}	26	kN/m

3. Koefisien daya dukung tanah

Pada perhitungan kebutuhan geotekstil dibutuhkan data koefisien daya dukung tanah. Penelitian ini menggunakan data koefisien daya dukung tanah yang didapatkan dari departemen pekerjaan umum (2009). Untuk nilai koefisien daya dukung tanah dapat dilihat pada Tabel 5.16 berikut.

Tabel 5.16 Koefisien Daya Dukung Tanah

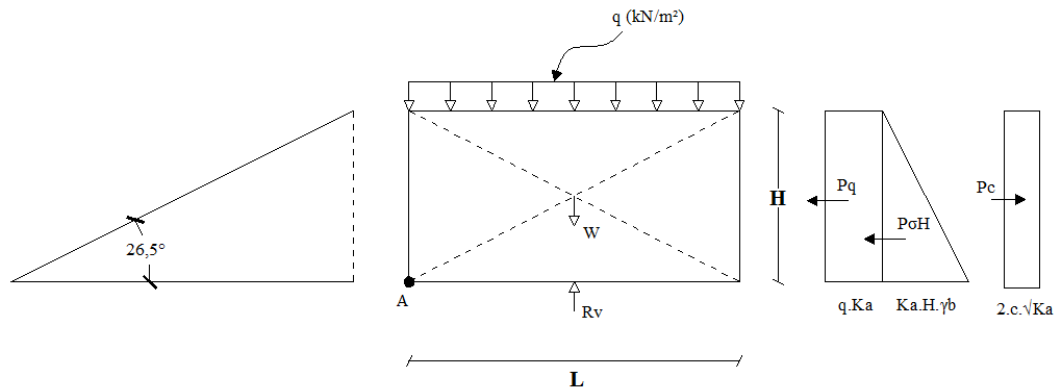
ϕ	N_c	N_q	N_γ	ϕ	N_c	N_q	N_γ
7	7,16	1,88	0,71	26	22,25	11,85	12,54
8	7,53	2,06	0,86	27	23,94	13,20	14,47
9	7,92	2,25	1,03	28	25,80	14,72	16,72
10	8,85	2,47	1,22	29	27,86	16,44	19,34
11	8,80	2,71	1,44	30	30,14	18,40	22,40
12	9,28	2,97	1,69	31	32,67	20,63	25,90
13	9,81	3,26	1,97	32	35,49	23,18	30,22
14	10,37	3,59	2,29	33	38,64	26,09	35,19
15	10,98	3,94	2,65	34	42,16	29,44	41,06
16	11,63	4,34	3,06	35	46,12	33,30	48,03
17	12,34	4,77	3,53	36	50,59	37,75	56,31
18	13,10	5,26	4,07	37	55,63	42,92	66,19
19	13,93	5,80	4,68	38	61,35	48,93	78,03
20	14,83	6,40	5,39	39	67,87	55,96	92,25
21	15,82	7,07	6,20	40	75,31	64,20	109,41
22	16,88	7,82	7,13	41	83,86	73,90	130,22
23	18,05	8,66	8,20	42	93,71	85,38	155,55
24	19,32	9,60	9,44	43	105,11	99,02	186,54
25	20,72	10,66	10,8	44	118,37	115,31	224,64

Sumber: Departemen Pekerjaan Umum (2009)

1.4.2 Stabilitas Eksternal

Dalam perencanaan lereng dengan perkuatan geotekstil, lereng harus stabil terhadap pengaruh gaya dalam dan gaya luar. Stabilitas yang akan ditinjau adalah stabilitas eksternal dan stabilitas internal. Pada perhitungan stabilitas eksternal akan digunakan untuk menentukan jarak arah vertikal minimal lapisan geotekstil (SV) dan panjang total minimum geotekstil (L).

Beban merata yang digunakan adalah beban maksimal pada kondisi pasca konstruksi sebesar 25 kN/m^2 . Nilai *safety factor* sebagai acuan dalam perhitungan kebutuhan geotekstil digunakan 1,5. Gaya-gaya yang akan bekerja pada tanah timbunan lereng dapat dilihat pada Gambar 5.44 berikut.



Gambar 5. 44 Gaya-Gaya yang Bekerja pada Timbunan Lereng

1. Menentukan jarak arah vertikal minimal antar lapis geotekstil (SV)

Perhitungan koefisien aktif tanah sebagai berikut.

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

$$Ka = \tan\left(45 - \frac{18,23}{2}\right)$$

$$= 0,523$$

- a. Jarak arah vertikal minimum lapis geotekstil (SV) timbunan 4m

$$\begin{aligned} \sigma_{hc} &= (q \times Ka) + (Ka \times H \times \gamma_b) - (2 \times c \times \sqrt{Ka}) \\ &= (25 \times 0,523) + (0,523 \times 4 \times 20,61) - (2 \times 12,43 \times \sqrt{0,523}) \\ &= 38,213 \text{ kN/m}^2 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} SV &= \frac{T_{all}}{\sigma_{hc} \times SF} \\ &= \frac{26}{38,213 \times 1,5} \\ &= 0,454 \text{ m} \end{aligned}$$

Dilapangan dipasang SV = 0,5 m (minimal)

Banyak lapis geotekstil teoritis = 4m / 0,5 m = 8 lapis

Pada penelitian untuk timbunan lereng 4m akan digunakan geotekstil sebanyak 1 lapis.

- b. Jarak arah vertikal minimum lapis geotekstil (SV) timbunan 6m

$$\begin{aligned}\sigma_{hc} &= (q \times Ka) + (Ka \times H \times \gamma_b) - (2 \times c \times \sqrt{Ka}) \\ &= (25 \times 0,523) + (0,523 \times 6 \times 20,61) - (2 \times 12,43 \times \sqrt{0,523}) \\ &= 59,771 \text{ kN/m}^2\end{aligned}$$

$$\begin{aligned}SV &= \frac{T_{all}}{\sigma_{hc} \times SF} \\ &= \frac{26}{59,771 \times 1,5} \\ &= 0,289 \text{ m}\end{aligned}$$

Dilapangan dipasang SV = 0,5 m (minimal)

Banyak lapis geotekstil teoritis = 6m / 0,5m = 12 lapis

Pada penelitian untuk timbunan lereng 6m akan digunakan geotekstil sebanyak 1 lapis.

- c. Jarak arah vertikal minimum lapis geotekstil (SV) timbunan 8m

$$\begin{aligned}\sigma_{hc} &= (q \times Ka) + (Ka \times H \times \gamma_b) - (2 \times c \times \sqrt{Ka}) \\ &= (25 \times 0,523) + (0,523 \times 8 \times 20,61) - (2 \times 12,43 \times \sqrt{0,523}) \\ &= 81,329 \text{ kN/m}^2\end{aligned}$$

$$\begin{aligned}SV &= \frac{T_{all}}{\sigma_{hc} \times SF} \\ &= \frac{26}{81,329 \times 1,5} \\ &= 0,213 \text{ m}\end{aligned}$$

Dilapangan dipasang SV = 0,5 m (minimal)

Banyak lapis geotekstil teoritis = 8m / 0,5m = 16 lapis

Pada penelitian untuk timbunan lereng 6m akan digunakan geotekstil sebanyak 2 lapis.

2. Menentukan panjang geotekstil

a. Stabilitas terhadap guling

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

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

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

$$SF = \frac{\left(\frac{1}{2} \times 25 \times L^2 \right) + \left(\frac{1}{2} \times 20,61 \times 8 \times L^2 \right)}{\left(25 \times 0,523 \times \frac{1}{2} \times 8^2 \right) + \left(\frac{1}{2} \times 0,523 \times 20,61 \times 8^2 \times \frac{1}{3} \times 8 \right) - \left(2 \times 12,43 \times \sqrt{0,523} \times \frac{1}{2} \times 8^2 \right)}$$

$$SF = \frac{94,94 \times L^2}{762,9}$$

$$L^2 = \frac{762,9 \times 1,5}{94,94} = 12,05 \text{ m}$$

$$L = 3,47 \text{ m}$$

Panjang geotekstil untuk menahan guling diambil sepanjang 4 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 ($\delta = 2/3 \times 18,23^\circ = 12,15$)

$$SF = \frac{(25 \times \tan(12,15) \times L) + (8 \times 20,61 \times \tan(12,15) \times L)}{(25 \times 0,523 \times 8) + (0,5 \times 0,523 \times 20,61 \times 8^2) - (2 \times 12,43 \times \sqrt{0,523} \times 8)}$$

$$SF = \frac{40,89 \times L}{304,38}$$

$$L = \frac{304,38 \times 1,5}{40,89} = 11,23 \text{ m}$$

Panjang geotekstil untuk menahan geser diambil sepanjang 12 m.

c. Stabilitas terhadap eksentrisitas

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

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

$$\frac{L}{6} \geq \frac{762,94}{(8 \times 20,61 \times L) + (25 \times L)}$$

$$\frac{L}{6} \geq \frac{762,94}{189,88 \times L}$$

$$189,88 L^2 = 4577,64$$

$$L^2 = 24,11$$

$$L = 4,91 \text{ m}$$

Panjang geotekstil untuk menahan eksentrisitas diambil sepanjang 5 m.

d. Stabilitas terhadap kapasitas dukung tanah

$$N_c = 13,1$$

$$N_\gamma = 4,07$$

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

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

$$\sigma_{ult} = [(12,43 \times 13,1) + (0,5 \times L \times 20,61 \times 4,07)] \times 1,5$$

$$\sigma_{ult} = 244,25 + (62,91 \times L)$$

$$L \leq \frac{244,25 + (62,91 \times L)}{(8 \times 20,61) + 25}$$

$$189,88 L \leq 244,25 + (62,91 L)$$

$$L = \frac{244,25}{189,88 - 62,91} = 1,92 \text{ m}$$

Panjang geotekstil untuk menahan daya dukung tanah diambil sepanjang 2m.

Dari keempat jenis parameter stabilitas lereng diatas, digunakan panjang geotekstil yang maksimum yaitu 12 m. Untuk panjang kebutuhan geotekstil lereng dengan tinggi timbunan yang lain dapat dilihat pada Tabel 5.17 berikut.

Tabel 5.17 Rekapitulasi Kebutuhan Panjang Geotekstil

Tinggi Timbunan (H)	Stabilitas guling	Stabilitas geser	Stabilitas eksentrisitas	Stabilitas daya dukung tanah	Panjang minimum (L)
4 m	1,46	4,33	2,06	5,49	6
6 m	2,46	7,72	3,48	2,85	8
8 m	3,47	11,23	4,91	1,92	12

1.4.3 Stabilitas Internal

1. Panjang *overlapping* geotekstil

a. Timbunan 4m

$$L_o = \frac{\sigma_{hc} \times SV \times SF}{2 \times \gamma b \times H \times \tan \varphi}$$

$$L_o = \frac{38,213 \times 0,5 \times 1,5}{2 \times 20,61 \times 4 \times \tan(18,23)} = 0,54 \text{ m}$$

Karena panjang *overlapping* minimum 1 meter, maka panjang diambil 1 m.

b. Timbunan 6m

$$L_o = \frac{\sigma_{hc} \times SV \times SF}{2 \times \gamma b \times H \times \tan \varphi}$$

$$L_o = \frac{59,771 \times 0,5 \times 1,5}{2 \times 20,61 \times 6 \times \tan(18,23)} = 0,56 \text{ m}$$

Karena panjang *overlapping* minimum 1 meter, maka panjang diambil 1 m.

c. Timbunan 8m

$$L_o = \frac{\sigma_{hc} \times SV \times SF}{2 \times \gamma b \times H \times \tan \varphi}$$

$$L_o = \frac{81,329 \times 0,5 \times 1,5}{2 \times 20,61 \times 8 \times \tan(18,23)} = 0,57 \text{ m}$$

Karena panjang *overlapping* minimum 1 meter, maka panjang diambil 1 m.

2. Panjang efektif geotekstil

a. Timbunan 4m

$$L_e = \frac{SF \times SV \times Ka \times \gamma b \times H}{2 \times \gamma b \times H \times \tan \varphi}$$

$$L_o = \frac{1,5 \times 0,5 \times 0,523 \times 20,61 \times 4}{2 \times 20,61 \times 4 \times \tan(18,23)} = 0,6 \text{ m}$$

Panjang efektif yang digunakan adalah 0,6 m.

b. Timbunan 6m

$$L_e = \frac{SF \times SV \times Ka \times \gamma b \times H}{2 \times \gamma b \times H \times \tan \varphi}$$

$$L_o = \frac{1,5 \times 0,5 \times 0,523 \times 20,61 \times 6}{2 \times 20,61 \times 6 \times \tan(18,23)} = 0,60 \text{ m}$$

Panjang efektif yang digunakan adalah 0,6 m.

c. Timbunan 8m

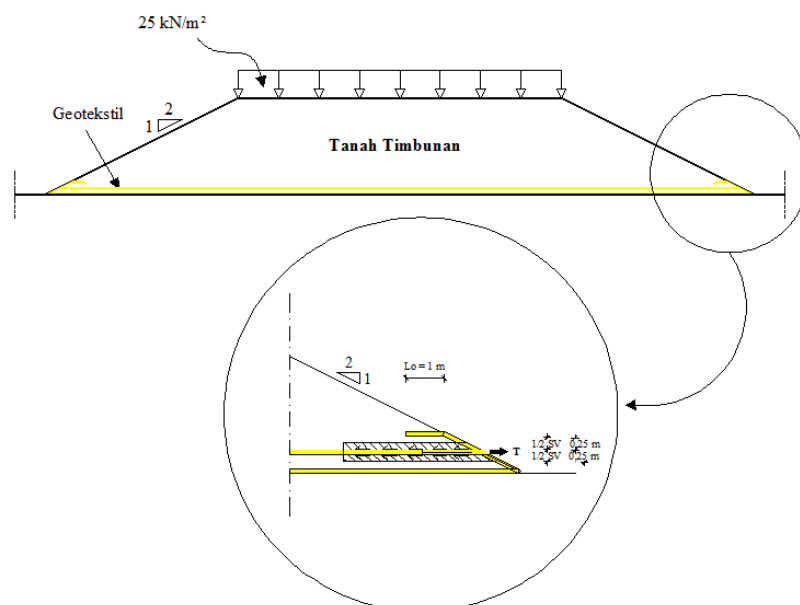
$$L_e = \frac{SF \times SV \times Ka \times \gamma b \times H}{2 \times \gamma b \times H \times \tan \varphi}$$

$$L_o = \frac{1,5 \times 0,5 \times 0,523 \times 20,61 \times 8}{2 \times 20,61 \times 8 \times \tan(18,23)} = 0,60 \text{ m}$$

Panjang efektif yang digunakan adalah 0,6 m.

1.4.4 Cek Gaya Tarik Tanah-Geotekstil

Untuk cek apakah geotekstil mampu menahan gaya tarik yang terjadi dengan nilai SV 0,5 m, maka dilakukan perhitungan tegangan geser yang bekerja. Untuk gambar transfer gesekan tanah-geotekstil dapat dilihat pada Gambar 5.45.



Gambar 5. 45 Transfer Gesekan Tanah-Geotekstil

Pada saat geotekstil menerima beban dari atas (tanah) maka geotekstil akan menegang dan mentransfer tegangan tersebut ke daerah/zona pasif. Sehingga geotekstil harus mampu menahan gaya tarik yang bekerja padanya. Untuk itu keperluan perencanaan/pemilihan jenis geotekstil yang mampu menahan gaya tarik tersebut, maka perlu dilakukan pengecekan terhadap gaya tarik. Gaya tarik yang bekerja pada geotekstil dapat dicari dengan menggunakan persamaan berikut.

$$\begin{aligned} T &= \tan \varphi \times 2 \times \sigma_n \times b \times L \\ &= \tan(18,23) \times 2 \times \left(\frac{1}{2} \times 0,5 \times 20,61 \right) \times 1 \times 12 \\ &= 40,73 \text{ kN} \end{aligned}$$

Dari hasil perhitungan diatas gaya tarik yang bekerja pada geotekstil 40,73 kN, sedangkan jenis geotekstil yang digunakan memiliki kuat tarik 52 kN/m. Maka kekuatan geotekstil kuat menahan gaya tarik yang akan bekerja karena 52 kN/m > 40,73 kN (aman).

1.5 Lereng Timbunan Tanah Asli Dengan Perkuatan

Dari hasil analisis lereng timbunan tanah asli tanpa perkuatan, lereng yang perlu diberi perkuatan geotekstil adalah pada timbunan 4m sampai 8m. Maka, pada analisis lereng timbunan tanah asli dengan perkuatan akan dilakukan analisis dengan kondisi geometri yang sama ditambah dengan perkuatan geotekstil sesuai dengan perhitungan kebutuhan geotekstil. Hasil analisis menggunakan program Plaxis 8.2 yang akan ditampilkan pada analisis ini adalah lereng tanah asli tinggi timbunan 8m dengan perkuatan geotekstil. Penjabaran analisis meliputi pemodelan awal lereng, kondisi masa konstruksi, dan kondisi paska konstruksi. Untuk hasil analisis lereng tanah asli tinggi timbunan 4m dapat dilihat pada Lampiran 13, dan lereng tanah asli tinggi timbunan 6m dapat dilihat pada Lampiran 14.

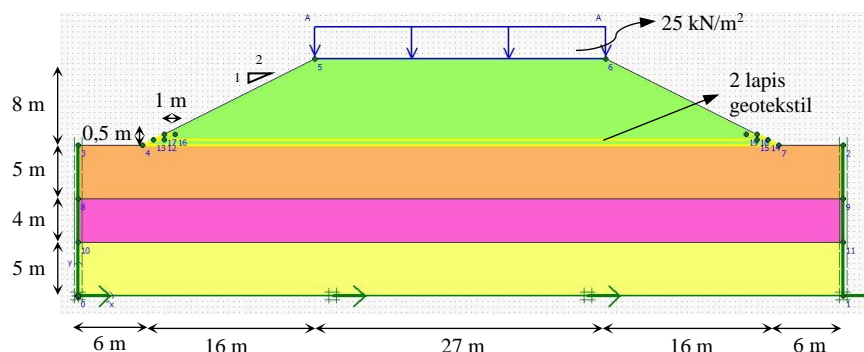
1. Pemodelan awal lereng

Pemodelan lereng menggunakan tanah asli dengan geometri yang sama pada timbunan 8m tanpa perkuatan. Pemasangan geotekstil secara mendatar dengan SV 0,5m dan panjang *overlapping* 1m. Untuk panjang total dari geotekstil digunakan sepanjang lereng pada bagian bawah, dengan asumsi panjang tersebut

telah mencapai panjang total minimum dari perhitungan kebutuhan geotekstil. Titik koordinat yang di *input* kedalam *Plaxis* 8.2 disajikan pada Tabel 5.18 dan untuk pemodelan lereng dapat dilihat pada Gambar 5.46 berikut.

Tabel 5.18 Koordinat Lereng

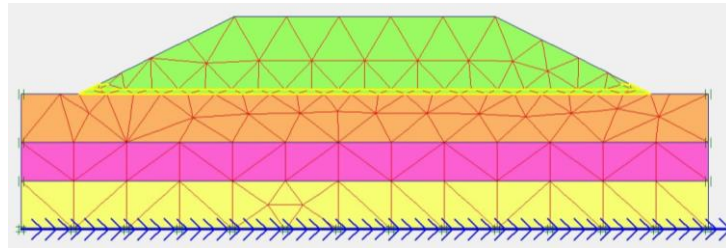
No.	X (m)	Y (m)	No.	X (m)	Y (m)
0	0	0	10	0	5
1	71	0	11	71	5
2	71	14	12	8	14,5
3	0	14	13	7	14,5
4	6	14	14	64	14,5
5	22	22	15	63	14,5
6	49	22	16	9	15
7	65	14	17	8	15
8	0	9	18	63	15
9	71	9	19	62	15



Gambar 5.46 Pemodelan Lereng Timbunan 8m Tanah Asli Dengan Perkuatan

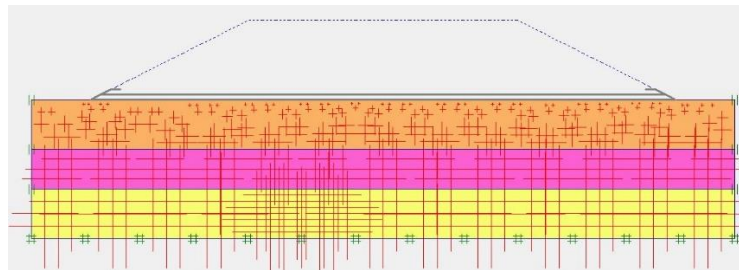
2. Kondisi masa konstruksi

Kondisi masa konstruksi pada lereng timbunan dengan geotekstil memiliki parameter beban dan gempa yang sama dengan pada lereng timbunan tanpa geotekstil. Beban merata yang terjadi pada saat masa konstruksi sebesar 10 kN/m^2 akibat beban dari struktur perkerasan. Setelah dilakukan *input* parameter tanah dan bahan, kemudian dilakukan penyusunan jaringan elemen (*meshing*). Untuk semua tahapan proses analisis selanjutnya sama seperti pada lereng timbunan tanpa perkuatan dijelaskan pada penjelasan sebelumnya. Hasil dari jaringan elemen hingga (*meshing*) pada lereng timbunan dapat dilihat pada Gambar 5.47.



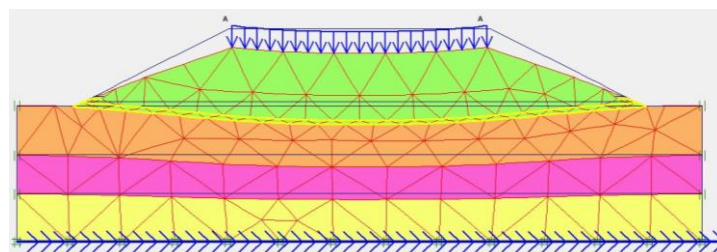
Gambar 5.47 Meshing pada Lereng Timbunan 8m Tanah Asli Dengan Perkuatan

Setelah dilakukan *meshing* maka dilanjutkan dengan kondisi awal (*initial condition*). Pada saat melakukan *generater soil stresses* geotekstil belum diaktifkan karena tanah timbunan belum dibuat. Hasil dari *initial soil stresses* dapat dilihat pada Gambar 5.48 berikut.

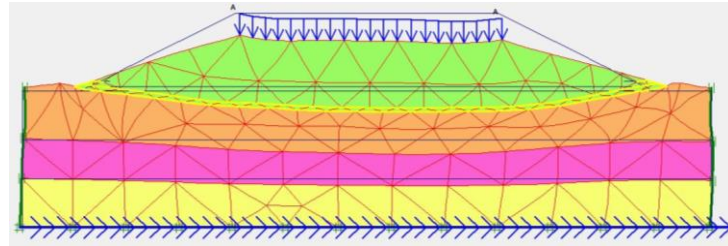


Gambar 5.48 Initial Soil Stresses pada Lereng Timbunan 8m Tanah Asli Tanpa Perkuatan Masa Konstruksi

Kemudian masuk ke tahap analisis perhitungan (*calculation*) lereng timbunan 8m tanah asli dengan perkuatan sama seperti *calculation* tanpa perkuatan ada lima tahap. Hasil *deformed mesh* pada timbunan lereng 8m dapat dilihat pada Gambar 5.49 dan Gambar 5.50 berikut.

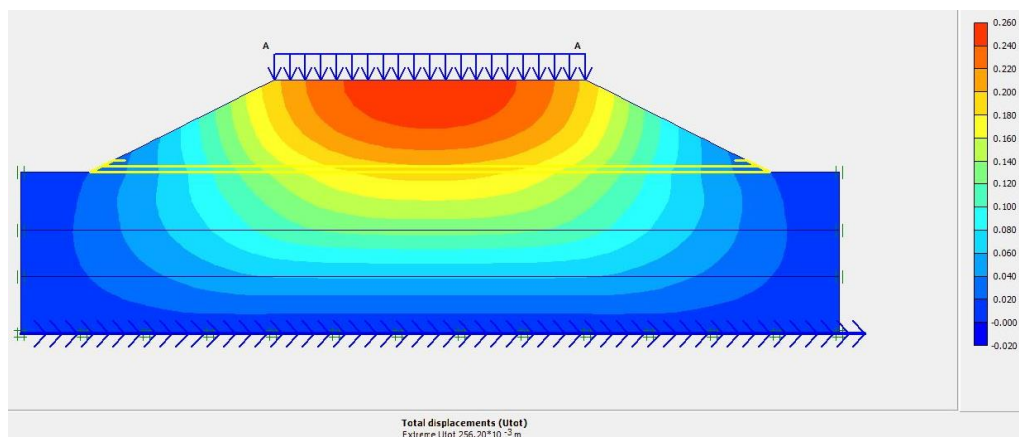


Gambar 5.49 Deformed Mesh Lereng Timbunan 8m Tanah Asli Masa Konstruksi Akibat Beban Struktur

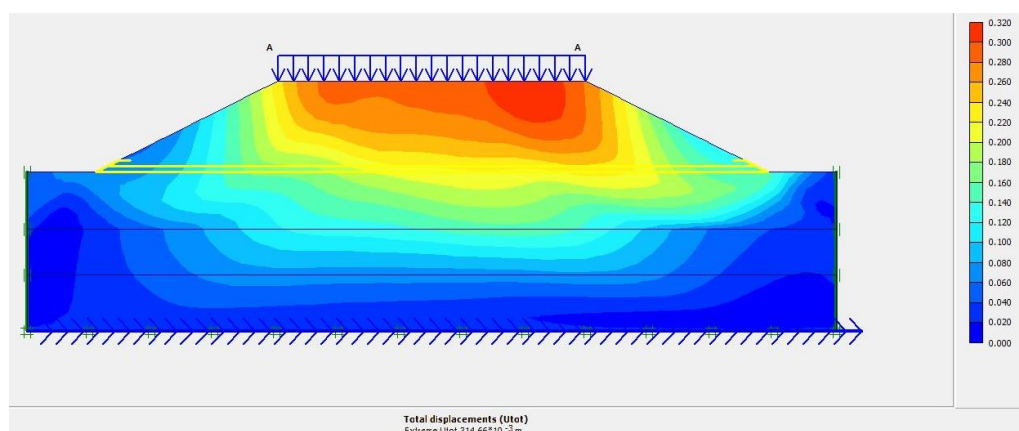


Gambar 5.50 Deformed Mesh Lereng Timbunan 8m Tanah Asli Masa Konstruksi Akibat Beban dan Gempa

Besarnya nilai total *displacement* yang terjadi pada timbunan lereng dengan beban struktur sebesar $256,20 \times 10^{-3}$ m, sedangkan pada timbunan lereng dengan beban struktur dan gempa sebesar $314,66 \times 10^{-3}$ m. Total *displacement* yang terjadi dapat dilihat pada Gambar 5.51 dan Gambar 5.52 berikut.

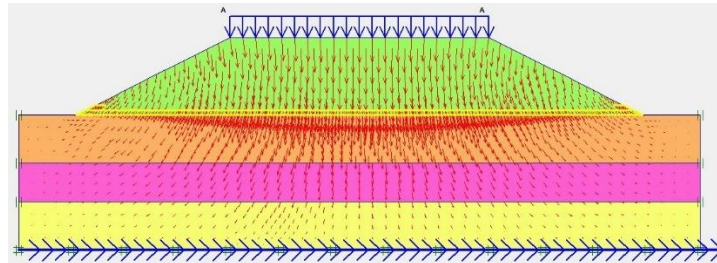


Gambar 5.51 Total Displacement Lereng Timbunan 8m Tanah Asli Masa Konstruksi Akibat Beban Struktur

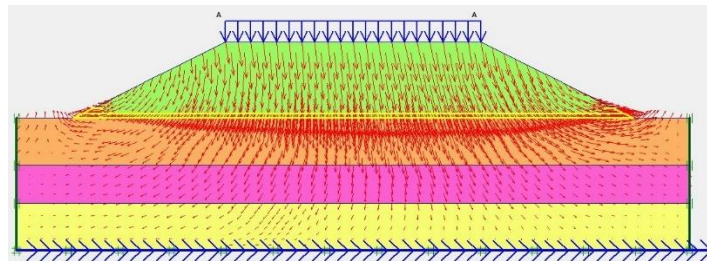


Gambar 5.52 Total Displacement Lereng Timbunan 8m Tanah Asli Masa Konstruksi Akibat Beban dan Gempa

Arah pergerakan pada timbunan lereng 8m dapat dilihat pada Gambar 5.53 dan Gambar 5.54 berikut.

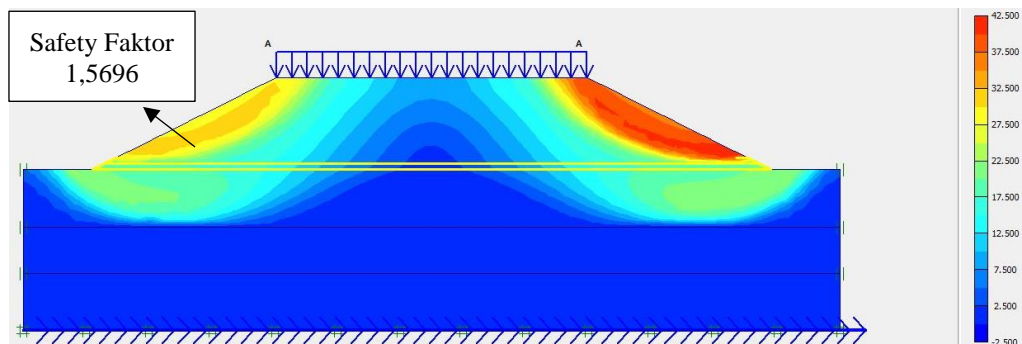


Gambar 5.53 Arah Pergerakan Tanah Lereng Timbunan 8m Tanah Asli Masa Konstruksi Akibat Beban Struktur

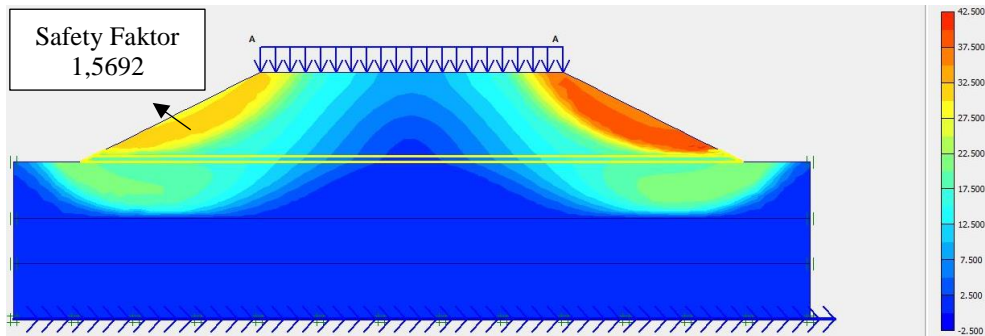


Gambar 5.54 Arah Pergerakan Tanah Lereng Timbunan 8m Tanah Asli Masa Konstruksi Akibat Beban dan Gempa

Potensi kelongsoran akibat beban struktur dan beban dengan gempa dapat dilihat pada Gambar 5.55 dan Gambar 5.56 berikut.

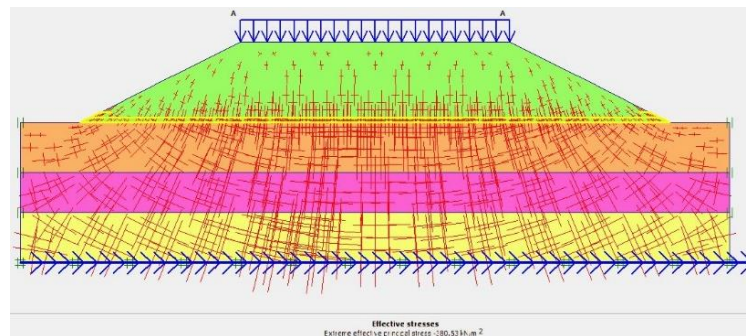


Gambar 5.55 Potensi Kelongsoran Lereng Timbunan 8m Tanah Asli Masa Konstruksi Akibat Beban Struktur

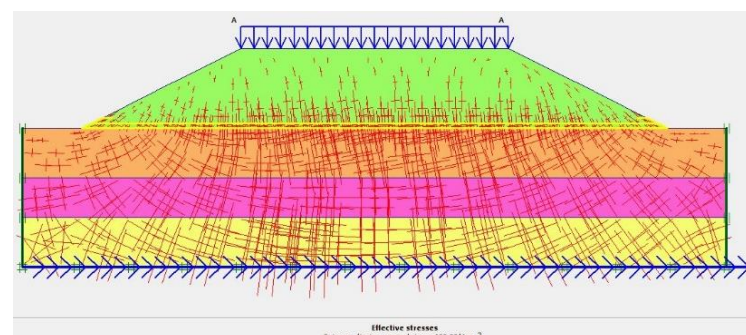


Gambar 5.56 Potensi Kelongsoran Lereng Timbunan 8m Tanah Asli Masa Konstruksi Akibat Beban dan Gempa

Nilai *effective stresses* pada lereng timbunan 8m akibat beban struktur sebesar -380,53 kN/m², sedangkan akibat beban dan gempa sebesar -389,03 kN/m². Hasil tersebut dapat dilihat pada Gambar 5.271 dan Gambar 5.272 berikut.

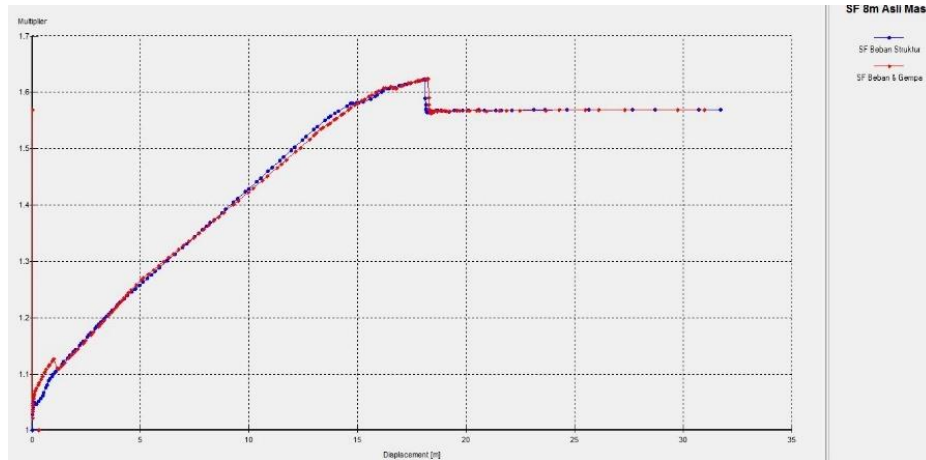


Gambar 5.57 Effective Stresses Lereng Timbunan 8m Tanah Asli Masa Konstruksi Akibat Beban Struktur



Gambar 5.58 Effective Stresses Lereng Timbunan 8m Tanah Asli Masa Konstruksi Akibat Beban dan Gempa

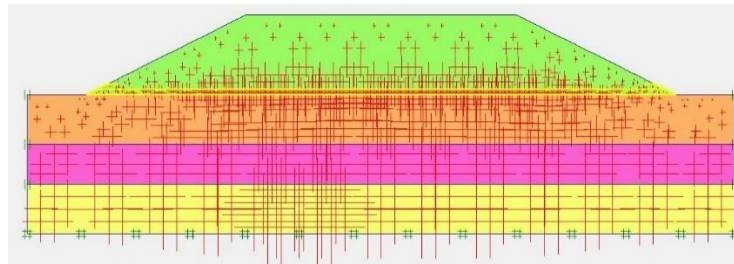
Nilai angka aman lereng timbunan 8m dengan perkuatan yang didapatkan dari hasil analisis akibat beban struktur sebesar 1,5696 sedangkan nilai angka aman akibat beban dan gempa sebesar 1,5692. Hasil nilai angka aman dapat dilihat pada kurva Gambar 5.59 berikut.



Gambar 5.59 Kurva SF Lereng Timbunan 8m Tanah Asli Masa Konstruksi

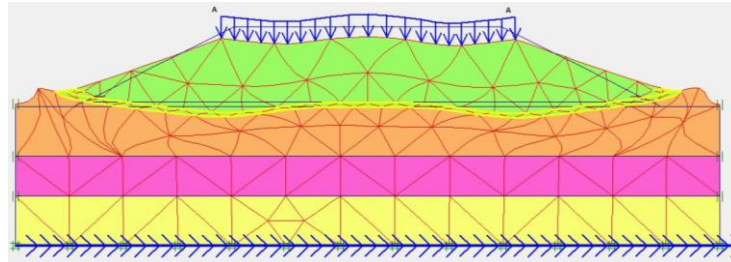
3. Kondisi pasca konstruksi

Pada kondisi ini beban lalu lintas menjadi parameter beban tambahan untuk analisis. Jaringan elemen hingga (*meshing*) kondisi pasca konstruksi sama dengan saat masa konstruksi pada Gambar 5.47. *Initial soil stresses* dilakukan *generate* kembali karena kondisi tanah awal untuk pasca konstruksi telah selesai penimbunan setinggi 4m dan geotekstil telah aktif dipasang. Hasil *initial soil stresses* dapat dilihat pada Gambar 5.60 berikut.

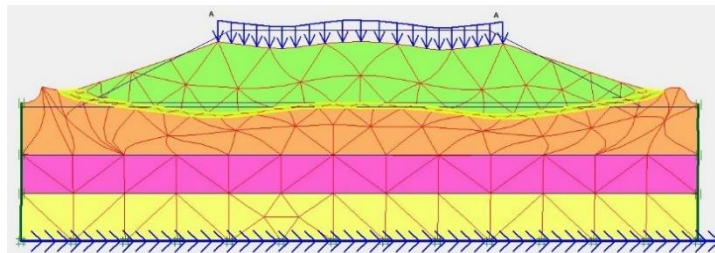


Gambar 5.60 Initial Soil Stresses pada Lereng Timbunan 8m Tanah Asli Dengan Perkuatan Pasca Konstruksi

Analisis perhitungan (*calculation*) pasca konstruksi tanah asli ada lima tahap. Sama dengan dengan masa konstruksi, hanya saja tidak ada tahap memasukan kondisi timbunan 8m karena kondisi sudah ada tanah timbunan. Hasil *deformed mesh* dapat dilihat pada Gambar 5.61 dan Gambar 5.62 berikut.

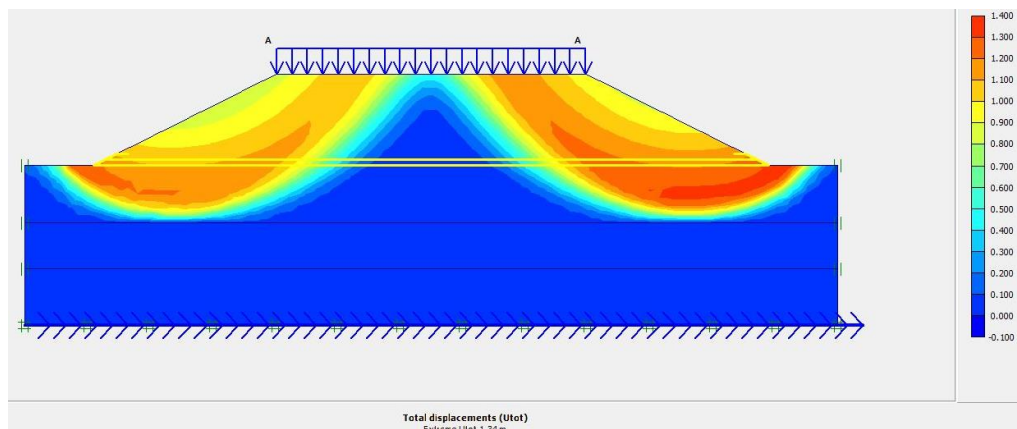


Gambar 5.61 *Deformed Mesh* Lereng Timbunan 8m Tanah Asli Pasca Konstruksi Akibat Beban Lalu Lintas

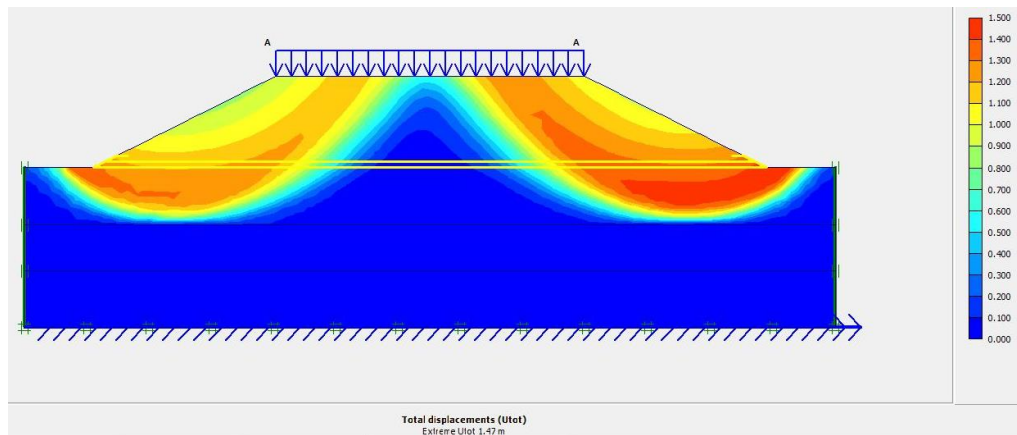


Gambar 5.62 *Deformed Mesh* Lereng Timbunan 8m Tanah Asli Pasca Konstruksi Akibat Beban dan Gempa

Besarnya nilai total *displacement* yang terjadi pada timbunan lereng dengan beban lalu lintas sebesar 1,34 m, sedangkan pada timbunan lereng dengan beban dan gempa sebesar 1,47 m. Total *displacement* yang terjadi dapat dilihat pada Gambar 5.63 dan Gambar 5.64 berikut.

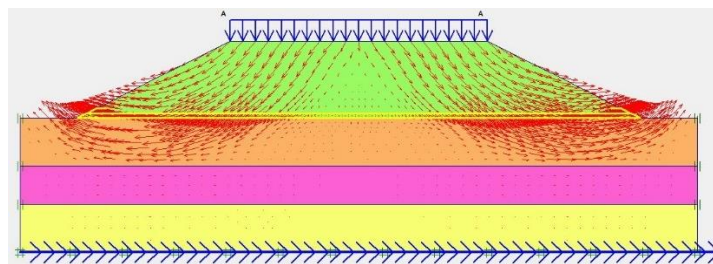


Gambar 5.63 *Total Displacement* Lereng Timbunan 8m Tanah Asli Pasca Konstruksi Akibat Beban Lalu Lintas

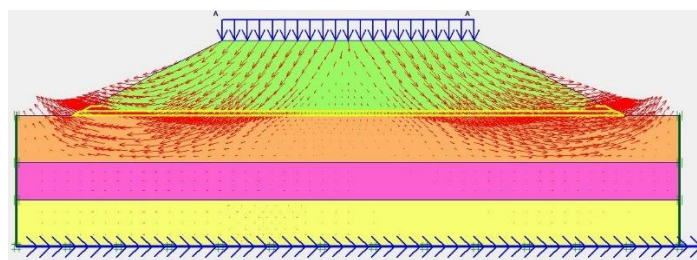


Gambar 5.64 Total Displacement Lereng Timbunan 8m Tanah Asli Pasca Konstruksi Akibat Beban dan Gempa

Arah pergerakan pada timbunan lereng 8m kondisi pasca konstruksi dapat dilihat pada Gambar 5.65 dan Gambar 5.66 berikut.

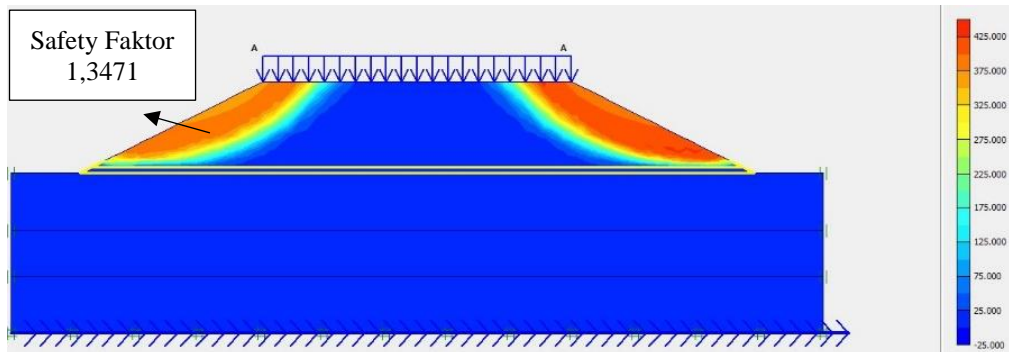


Gambar 5.65 Arah Pergerakan Tanah Lereng Timbunan 8m Tanah Asli Pasca Konstruksi Akibat Beban Lalu Lintas

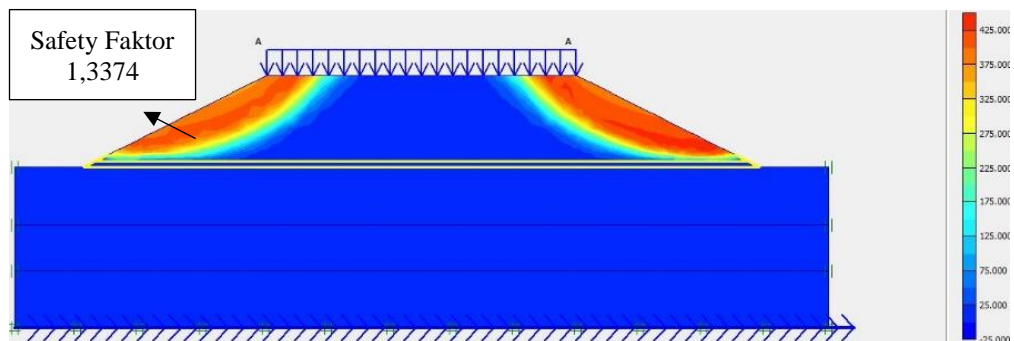


Gambar 5.66 Arah Pergerakan Tanah Lereng Timbunan 8m Tanah Asli Pasca Konstruksi Akibat Beban dan Gempa

Potensi kelongsoran akibat beban lalu lintas dan beban dengan gempa dapat dilihat pada Gambar 5.67 dan Gambar 5.68 berikut.

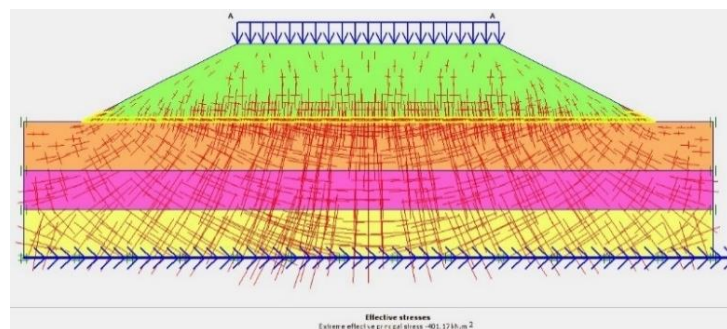


Gambar 5.67 Potensi Kelongsoran Lereng Timbunan 8m Tanah Asli Pasca Konstruksi Akibat Beban Lalu Lintas

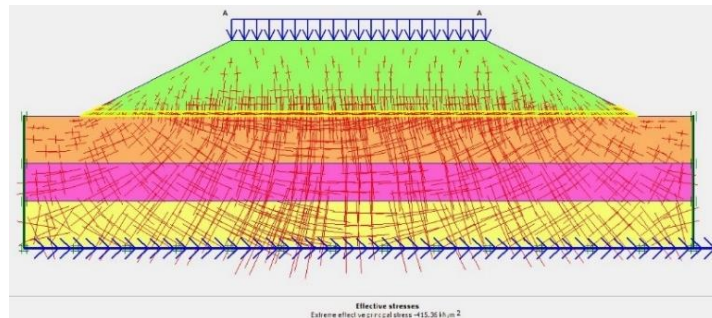


Gambar 5.68 Potensi Kelongsoran Lereng Timbunan 8m Tanah Asli Pasca Konstruksi Akibat Beban dan Gempa

Nilai *effective stresses* pada lereng timbunan 8m akibat beban lalu lintas sebesar $-401,17 \text{ kN/m}^2$, sedangkan akibat beban dan gempa sebesar $-415,36 \text{ kN/m}^2$. Hasil tersebut dapat dilihat pada Gambar 5.69 dan Gambar 5.70 berikut.

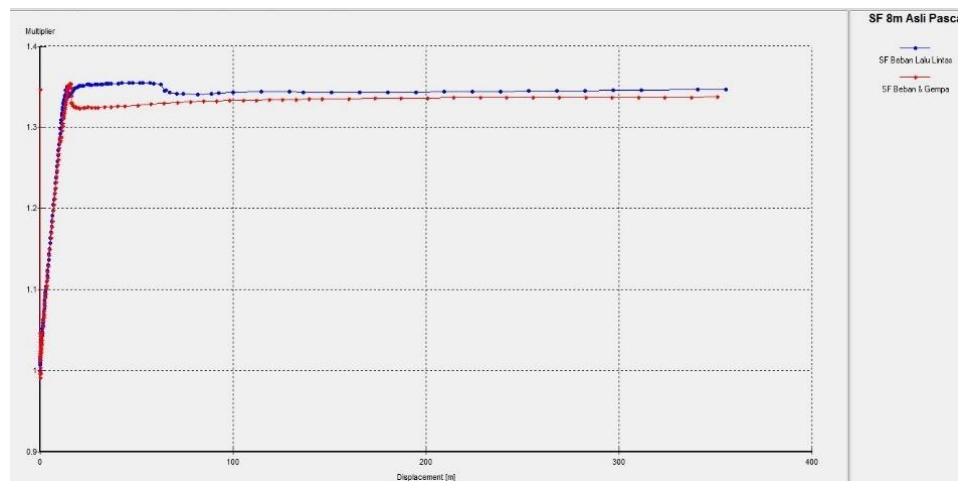


Gambar 5.69 Effective Stresses Lereng Timbunan 8m Tanah Asli Pasca Konstruksi Akibat Beban Lalu Lintas



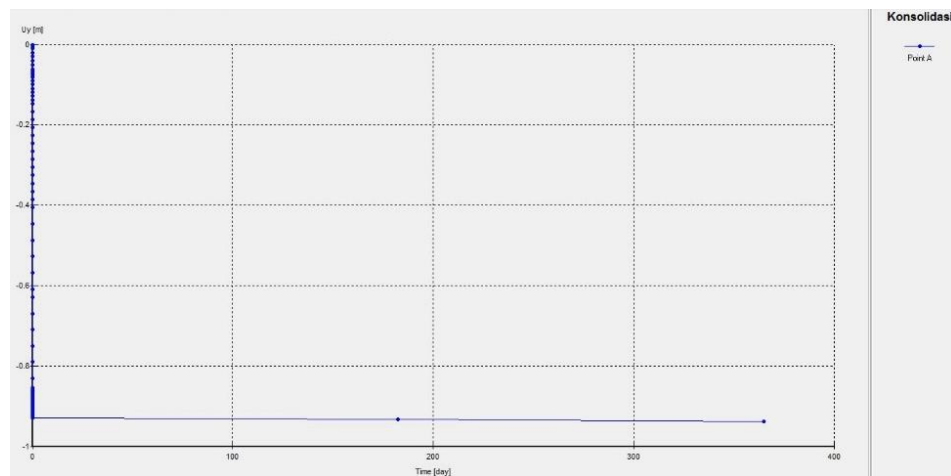
Gambar 5.70 Effective Stresses Lereng Timbunan 8m Tanah Asli Pasca Konstruksi Akibat Beban dan Gempa

Nilai angka aman lereng timbunan 8m pasca konstruksi didapatkan dari hasil analisis akibat beban lalu lintas sebesar 1,3471 sedangkan nilai angka aman akibat beban dan gempa sebesar 1,3374. Hasil nilai angka aman dapat dilihat pada kurva Gambar 5.71 berikut.



Gambar 5.71 Kurva SF Lereng Timbunan 8m Tanah Asli Pasca Konstruksi

Hasil konsolidasi yang terjadi dengan asumsi waktu selama satu tahun (365 hari) adalah sebesar 0,094 m. Grafik penurunan konsolidasi antara *Displacement* vs *Time* dapat dilihat pada Gambar 5.72 berikut.



Gambar 5.72 Konsolidasi Lereng Timbunan 8m Tanah Asli Selama Satu Tahun

1.6 Lereng Timbunan Tanah Replacement Dengan Perkuatan

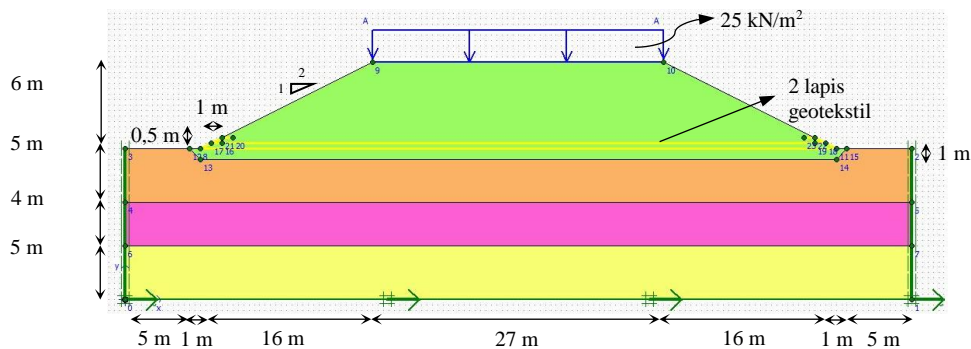
Dari hasil analisis lereng timbunan tanah replacement tanpa perkuatan, lereng yang perlu diberi perkuatan geotekstil adalah pada timbunan 4m sampai 8m. Maka, pada analisis lereng timbunan replacement dengan perkuatan akan dilakukan analisis dengan kondisi geometri yang sama ditambah dengan geotekstil sesuai dengan perhitungan kebutuhan geotekstil. Hasil analisis menggunakan program Plaxis 8.2 yang akan ditampilkan pada analisis ini adalah lereng tanah replacement tinggi timbunan 8m dengan perkuatan geotekstil. Penjabaran analisis meliputi pemodelan awal lereng, kondisi masa konstruksi, dan kondisi paska konstruksi. Untuk hasil analisis lereng tanah replacement tinggi timbunan 4m dapat dilihat pada Lampiran 15, dan lereng tanah replacement tinggi timbunan 6m dapat dilihat pada Lampiran 16.

1. Pemodelan awal lereng

Pemodelan lereng menggunakan replacement dengan geometri yang sama pada timbunan 8m tanpa perkuatan. Pemasangan geotekstil secara mendatar dengan SV 0,5m dan panjang *overlapping* 1m. Untuk panjang total dari geotekstil digunakan sepanjang lereng pada bagian bawah, dengan asumsi panjang tersebut telah mencapai panjang total minimum dari perhitungan kebutuhan geotekstil. Titik koordinat yang di *input* kedalam *Plaxis* 8.2 disajikan pada Tabel 5.19 dan untuk pemodelan lereng dapat dilihat pada Gambar 5.73 berikut.

Tabel 5.19 Koordinat Lereng

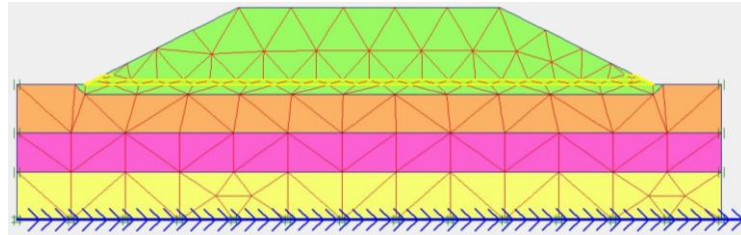
No.	X (m)	Y (m)	No.	X (m)	Y (m)
0	0	0	12	6	14
1	73	0	13	7	13
2	73	14	14	66	13
3	0	14	15	67	14
4	0	9	16	9	14,5
5	73	9	17	8	14,5
6	0	5	18	65	14,5
7	73	5	19	64	14,5
8	7	14	20	10	15
9	23	22	21	9	15
10	50	22	22	64	15
11	66	14	23	63	15



Gambar 5.73 Pemodelan Lereng Timbunan 8m Replacement Dengan Perkuatan

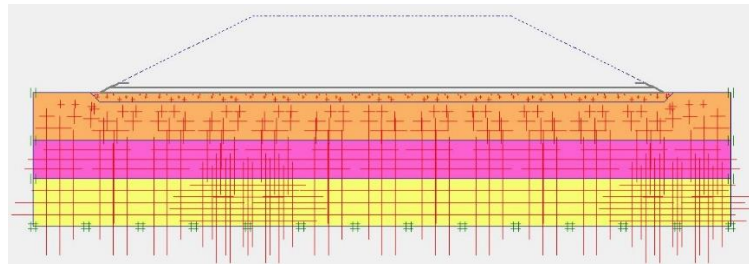
2. Kondisi masa konstruksi

Kondisi masa konstruksi pada lereng timbunan dengan geotekstil memiliki parameter beban dan gempa yang sama dengan pada lereng timbunan tanpa geotekstil. Beban merata yang terjadi pada saat masa konstruksi sebesar 10 kN/m^2 akibat beban dari struktur perkerasan. Setelah dilakukan *input* parameter tanah dan bahan, kemudian dilakukan penyusunan jaringan elemen (*meshing*). Untuk semua tahapan proses analisis selanjutnya sama seperti pada lereng timbunan tanpa perkuatan dijelaskan pada penjelasan sebelumnya. Hasil dari jaringan elemen hingga (*meshing*) pada lereng timbunan dapat dilihat pada Gambar 5.74.



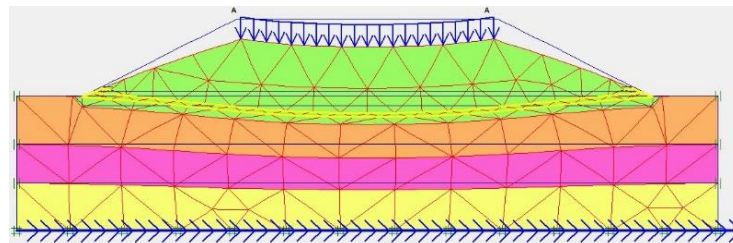
Gambar 5.74 Meshing pada Lereng Timbunan 8m Replacement Dengan Perkuatan

Setelah dilakukan *meshing* maka dilanjutkan dengan kondisi awal (*initial condition*). Pada saat melakukan *generated soil stresses* geotekstil belum diaktifkan karena tanah timbunan belum dibuat. Hasil dari *initial soil stresses* dapat dilihat pada Gambar 5.75 berikut.

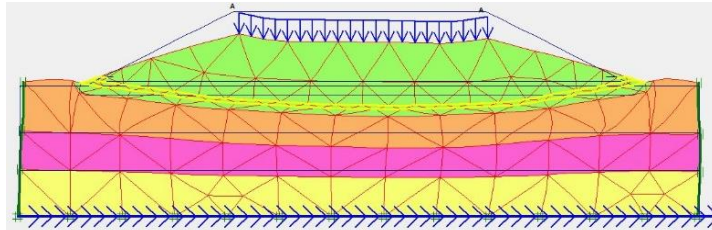


Gambar 5.75 Initial Soil Stresses pada Lereng Timbunan 8m Replacement Dengan Perkuatan Masa Konstruksi

Kemudian masuk ke tahap analisis perhitungan (*calculation*) lereng timbunan 4m tanah asli dengan perkuatan sama seperti *calculation* tanpa perkuatan ada tujuh tahap. Hasil *deformed mesh* pada timbunan lereng 4m dapat dilihat pada Gambar 5.76 dan Gambar 5.77 berikut.

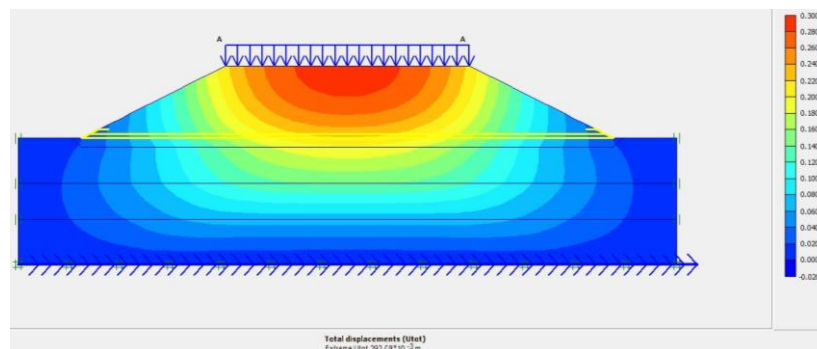


Gambar 5.76 Deformed Mesh Lereng Timbunan 8m Replacement Masa Konstruksi Akibat Beban Struktur

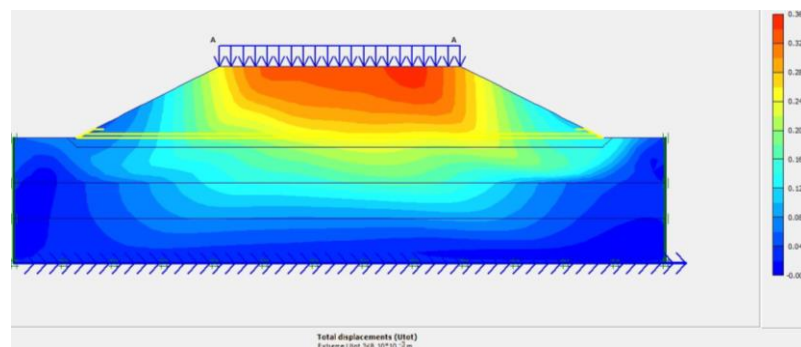


Gambar 5.77 Deformed Mesh Lereng Timbunan 8m Replacement Masa Konstruksi Akibat Beban dan Gempa

Besarnya nilai total *displacement* yang terjadi pada timbunan lereng dengan beban struktur sebesar $292,08 \times 10^{-3}$ m, sedangkan pada timbunan lereng dengan beban struktur dan gempa sebesar $348,10 \times 10^{-3}$ m. Total *displacement* yang terjadi dapat dilihat pada Gambar 5.78 dan Gambar 5.79 berikut.

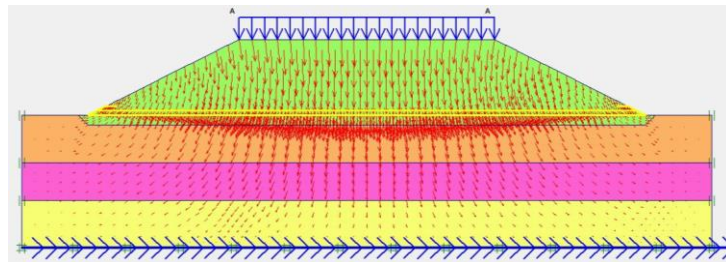


Gambar 5.78 Total Displacement Lereng Timbunan 8m Replacement Masa Konstruksi Akibat Beban Struktur

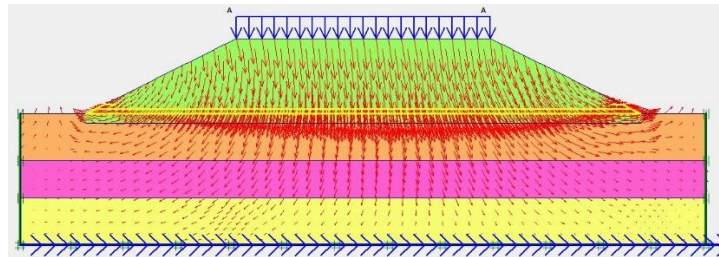


Gambar 5.79 Total Displacement Lereng Timbunan 8m Replacement Masa Konstruksi Akibat Beban dan Gempa

Arah pergerakan pada timbunan lereng 8m dapat dilihat pada Gambar 5.80 dan Gambar 5.81 berikut.

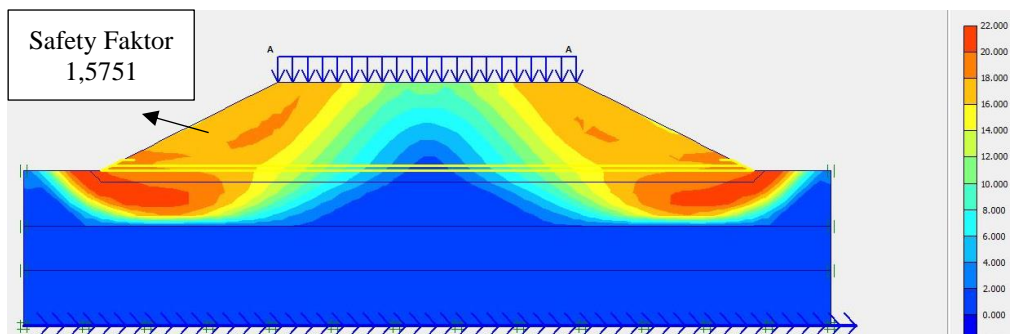


Gambar 5.80 Arah Pergerakan Tanah Lereng Timbunan 8m Replacement Masa Konstruksi Akibat Beban Struktur

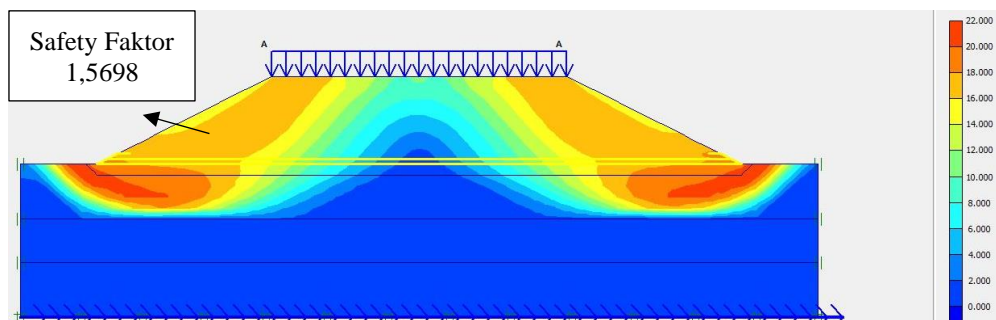


Gambar 5.81 Arah Pergerakan Tanah Lereng Timbunan 8m Replacement Masa Konstruksi Akibat Beban dan Gempa

Potensi kelongsoran akibat beban struktur dan beban dengan gempa dapat dilihat pada Gambar 5.82 dan Gambar 5.83 berikut.

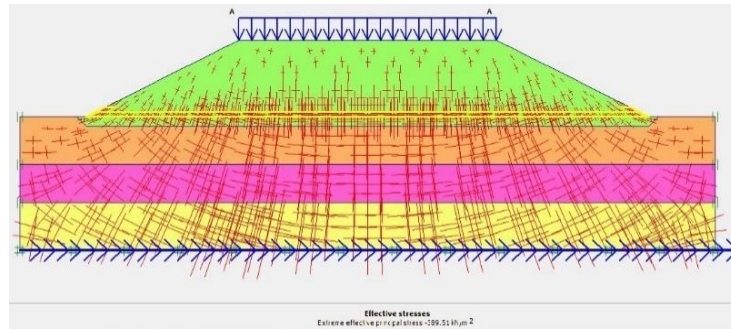


Gambar 5.82 Potensi Kelongsoran Lereng Timbunan 8m Replacement Masa Konstruksi Akibat Beban Struktur

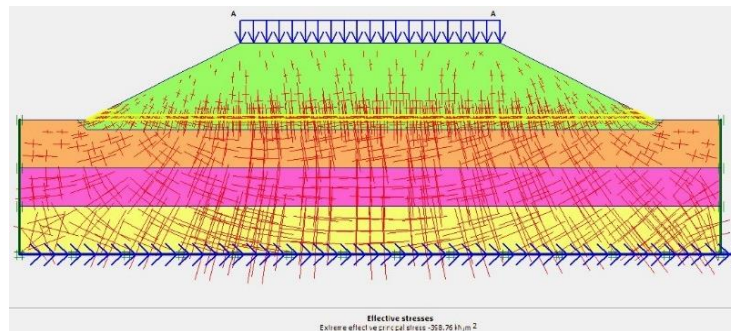


Gambar 5.83 Potensi Kelongsoran Lereng Timbunan 8m Replacement Masa Konstruksi Akibat Beban dan Gempa

Nilai *effective stresses* pada lereng timbunan 8m akibat beban struktur sebesar -389,51 kN/m², sedangkan akibat beban dan gempa sebesar -398,76 kN/m². Hasil tersebut dapat dilihat pada Gambar 5.84 dan Gambar 5.85 berikut.

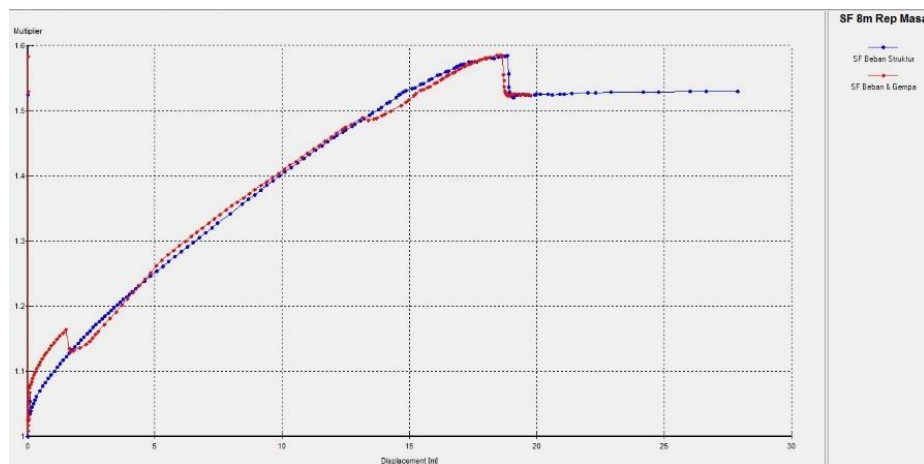


Gambar 5. 84 *Effective Stresses* Lereng Timbunan 8m Replacement Masa Konstruksi Akibat Beban Struktur



Gambar 5. 85 *Effective Stresses* Lereng Timbunan 8m Replacement Masa Konstruksi Akibat Beban dan Gempa

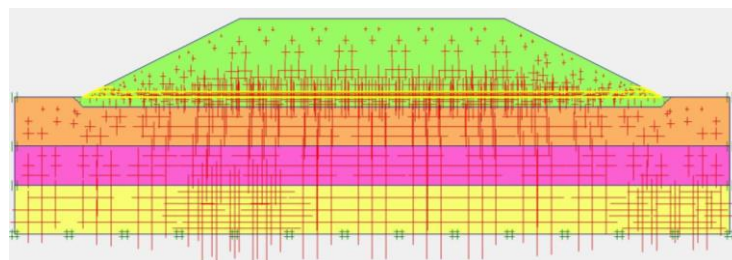
Nilai angka aman lereng timbunan 8m dengan perkuatan yang didapatkan dari hasil analisis akibat beban struktur sebesar 1,5696 sedangkan nilai angka aman akibat beban dan gempa sebesar 1,5692. Hasil nilai angka aman dapat dilihat pada kurva Gambar 5.354 berikut.



Gambar 5.86 Kurva SF Lereng Timbunan 8m Replacement Masa Konstruksi

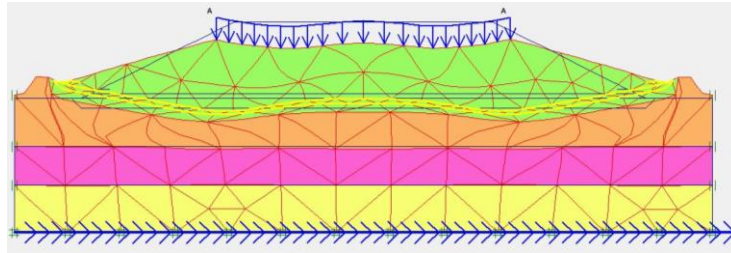
3. Kondisi pasca konstruksi

Pada kondisi ini beban lalu lintas menjadi parameter beban tambahan untuk analisis sebesar 15 kN/m^2 . Jaringan elemen hingga (*meshing*) kondisi pasca konstruksi sama dengan saat masa konstruksi pada Gambar 5.74. *Initial soil stresses* dilakukan *generate* kembali karena kondisi tanah awal untuk pasca konstruksi telah selesai penimbunan setinggi 8m dan geotekstil telah aktif dipasang. Hasil *initial soil stresses* dapat dilihat pada Gambar 5.87 berikut.

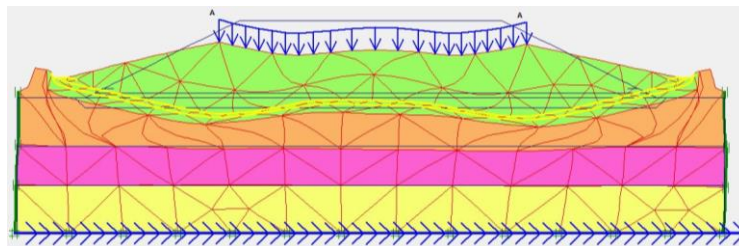


Gambar 5.87 Initial Soil Stresses pada Lereng Timbunan 8m Replacement Dengan Perkuatan Pasca Konstruksi

Analisis perhitungan (*calculation*) pasca konstruksi tanah asli ada lima tahap. Sama dengan dengan masa konstruksi, hanya saja tidak ada tahap memasukan kondisi galian *base*, timbunan *base*, dan timbunan 8m karena kondisi sudah ada tanah timbunan. Hasil *deformed mesh* dapat dilihat pada Gambar 5.88 dan Gambar 5.89 berikut.

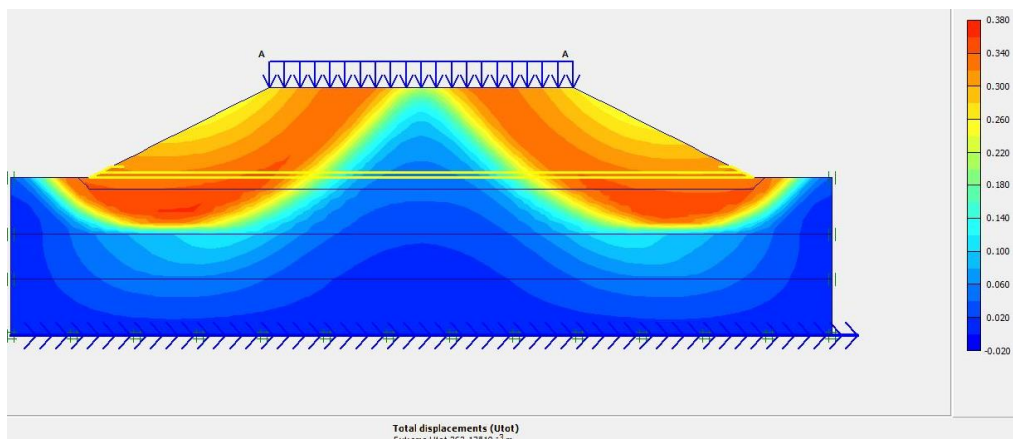


Gambar 5.88 Deformed Mesh Lereng Timbunan 8m Replacement Pasca Konstruksi Akibat Beban Lalu Lintas

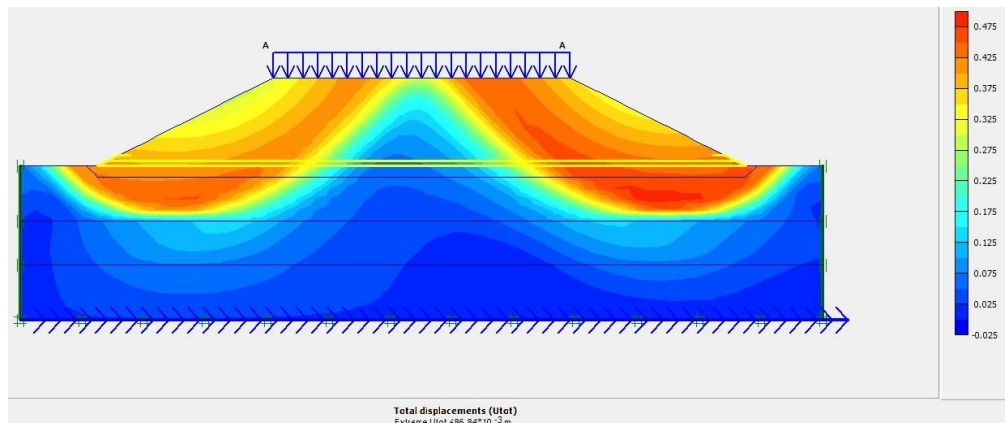


Gambar 5.89 Deformed Mesh Lereng Timbunan 8m Replacement Pasca Konstruksi Akibat Beban dan Gempa

Besarnya nilai total *displacement* yang terjadi pada timbunan lereng dengan beban lalu lintas sebesar $363,17 \times 10^{-3}$ m, sedangkan pada timbunan lereng dengan beban dan gempa sebesar $486,84 \times 10^{-3}$ m. Total *displacement* yang terjadi dapat dilihat pada Gambar 5.90 dan Gambar 5.91 berikut.

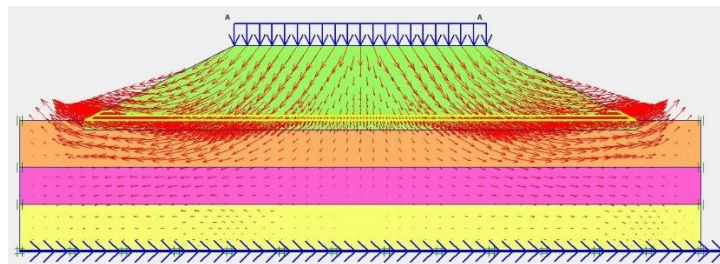


Gambar 5.90 Total Displacement Lereng Timbunan 8m Replacement Pasca Konstruksi Akibat Beban Lalu Lintas

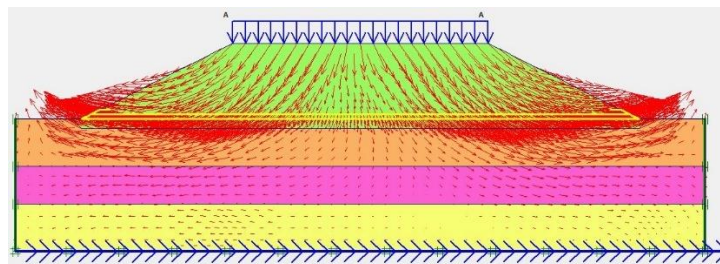


Gambar 5.91 Total Displacement Lereng Timbunan 8m Replacement Pasca Konstruksi Akibat Beban dan Gempa

Arah pergerakan pada timbunan lereng 8m kondisi pasca konstruksi dapat dilihat pada Gambar 5.92 dan Gambar 5.93 berikut.

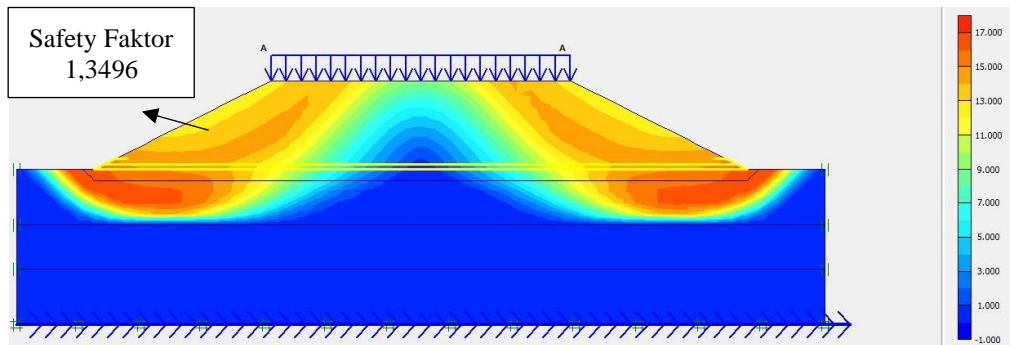


Gambar 5.92 Arah Pergerakan Tanah Lereng Timbunan 8m Replacement Pasca Konstruksi Akibat Beban Lalu Lintas

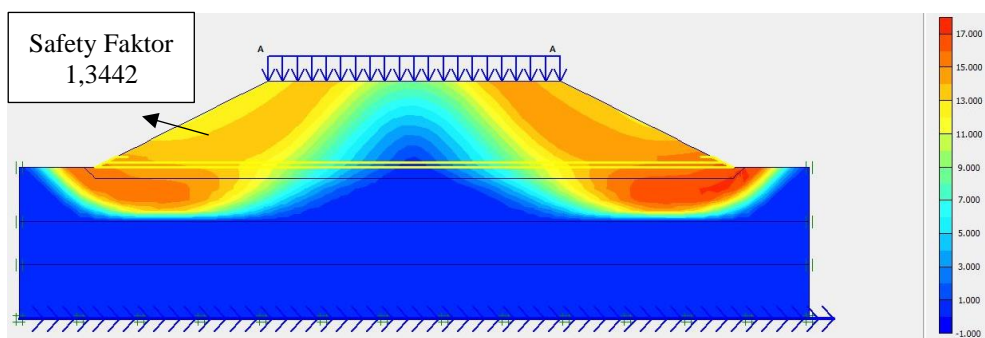


Gambar 5.93 Arah Pergerakan Lereng Timbunan 8m Replacement Pasca Konstruksi Akibat Beban dan Gempa

Potensi kelongsoran akibat beban lalu lintas dan beban dengan gempa dapat dilihat pada Gambar 5.94 dan Gambar 5.95 berikut.

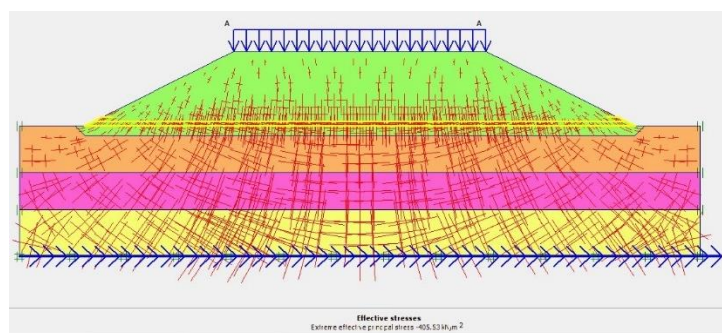


Gambar 5.94 Potensi Kelongsoran Lereng Timbunan 8m Replacement Pasca Konstruksi Akibat Beban Lalu Lintas

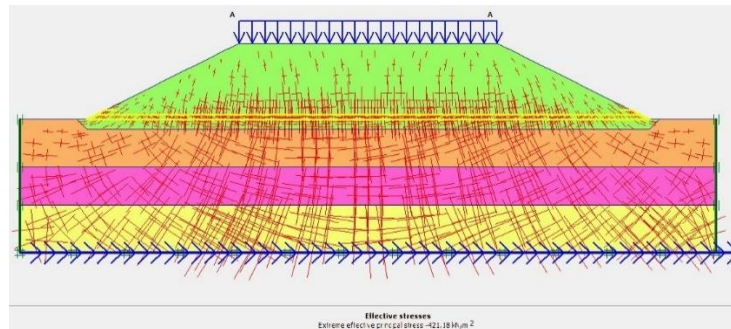


Gambar 5.95 Potensi Kelongsoran Lereng Timbunan 8m Replacement Pasca Konstruksi Akibat Beban dan Gempa

Nilai *effective stresses* pada lereng timbunan 8m akibat beban lalu lintas sebesar $-405,53 \text{ kN/m}^2$, sedangkan akibat beban dan gempa sebesar $-421,18 \text{ kN/m}^2$. Hasil tersebut dapat dilihat pada Gambar 5.96 dan Gambar 5.97 berikut.

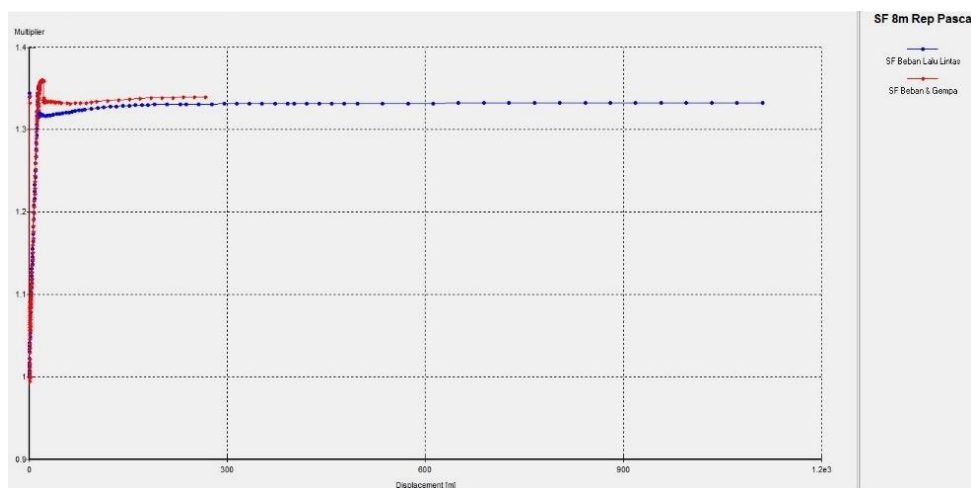


Gambar 5.96 Effective Stresses Lereng Timbunan 8m Replacement Pasca Konstruksi Akibat Beban Lalu Lintas



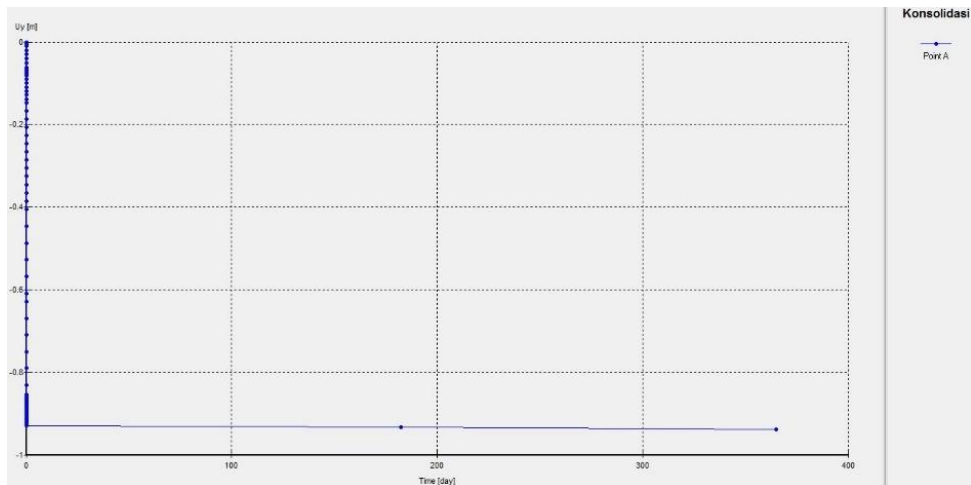
Gambar 5.97 Effective Stresses Lereng Timbunan 8m Replacement Pasca Konstruksi Akibat Beban dan Gempa

Nilai angka aman lereng timbunan 8m pasca konstruksi didapatkan dari hasil analisis akibat beban lalu lintas sebesar 1,3496 sedangkan nilai angka aman akibat beban dan gempa sebesar 1,3442. Hasil nilai angka aman dapat dilihat pada kurva Gambar 5.98 berikut.



Gambar 5.98 Kurva SF Lereng Timbunan 6m Replacement Pasca Konstruksi

Hasil konsolidasi yang terjadi dengan asumsi waktu selama satu tahun (365 hari) adalah sebesar 0,113 m. Grafik penurunan konsolidasi antara *Displacement* vs *Time* dapat dilihat pada Gambar 5.99 berikut.



Gambar 5.99 Konsolidasi Lereng Timbunan 6m Replacement Selama Satu Tahun

Hasil rekapitulasi analisis dengan program *Plaxis* untuk lereng pada tanah asli dan tanah dengan replacement dengan diperkuat oleh geotekstil dapat dilihat pada Tabel 5.20 dan rekapitulasi konsolidasi yang terjadi pada Tabel 5.21.

Tabel 5.20 Rekapitulasi *Safety Factor* Lereng Timbunan Dengan Perkuatan

SAFETY FACTOR			Timbunan 4m	Timbunan 6m	Timbunan 8m
Kondisi Tanah Asli	Masa Konstruksi	Beban Struktur	2,0996 (aman)	1,7170 (aman)	1,5696 (aman)
		Beban & Gempa	2,0796 (aman)	1,7094 (aman)	1,5692 (aman)
	Pasca Konstruksi	Beban Lalu Lintas	1,5982 (aman)	1,4174 (aman)	1,3471 (aman)
		Beban & Gempa	1,5948 (aman)	1,4147 (aman)	1,3374 (aman)
Kondisi Tanah Dengan Replacement	Masa Konstruksi	Beban Struktur	2,1013 (aman)	1,7475 (aman)	1,5751 (aman)
		Beban & Gempa	2,0997 (aman)	1,7466 (aman)	1,5698 (aman)
	Pasca Konstruksi	Beban Lalu Lintas	1,6066 (aman)	1,4409 (aman)	1,3496 (aman)
		Beban & Gempa	1,6055 (aman)	1,4325 (aman)	1,3442 (aman)

Tabel 5.21 Rekapitulasi Konsolidasi yang Terjadi Pada Timbunan Lereng Dengan Perkuatan

Timbunan	Konsolidasi	
	Kondisi Tanah Asli	Kondisi Tanah dengan Replacement
4 m	0,034 m	0,054 m
6 m	0,059 m	0,088 m
8 m	0,094 m	0,113 m

Dari hasil analisis tersebut, timbunan 4m sampai 8m yang diberi perkuatan sudah menjadi aman karna lebih besar dari angka aman yang disyaratkan yaitu 1,3. Selisih nilai *safety factor* antara tanah asli dan tanah dengan replacement setelah diberi perkuatan geotekstil semakin sedikit. Akan tetapi selisih konsolidasi tanah asli dengan tanah replacement semakin besar.

1.7 Pembahasan

1.7.1 Hasil Analisis Lereng Tanpa Perkuatan

Analisis stabilitas lereng timbunan jalan pada proyek tol trans Sumatera ini dilakukan untuk mengetahui nilai angka aman pada lereng. Analisis dilakukan menggunakan program *Plaxis 8.2* dengan variasi tinggi timbunan, yaitu tinggi timbunan 2m, tinggi timbunan 4m, tinggi timbunan 6m, dan tinggi timbunan 8m. Analisis stabilitas lereng ini juga memperhitungkan akibat kondisi pada saat dilakukan masa konstruksi, maupun kondisi saat timbunan sudah siap digunakan atau kondisi pasca konstruksi. Parameter yang digunakan pada analisis adalah beban merata akibat beban struktur jalan dan beban lalu lintas kendaraan, serta beban gempa yang sesuai dengan zonasi gempa pada daerah Lampung.

Berdasarkan hasil analisis pada Tabel 5.13, didapatkan nilai angka aman pada setiap timbunan. Pada timbunan 2m masih aman dengan kondisi saat masa konstruksi maupun kondisi pasca konstruksi, karena nilai angka aman masih lebih besar dari syarat angka aman lereng untuk jalan tol yaitu 1,3. Sedangkan pada timbunan 4m angka aman kondisi saat masa konstruksinya masih aman yaitu 1,4715 untuk beban struktur dan 1,4664 untuk beban gempa, tapi pada saat kondisi pasca konstruksi sudah dibawah dari syarat angka aman 1,3 yaitu 1,2606 untuk beban lalu lintas dan 1,2594 untuk beban gempa. Pada timbunan 6m baik pada saat

masa konstruksi maupun pasca konstruksi nilai angka aman sudah lebih kecil dari syarat angka aman. Sedangkan untuk timbunan 8m sudah terjadi *collapse* saat kondisi pasca konstruksi yang menandakan pada lereng dengan timbunan 8m tersebut mengalami keruntuhan apabila diberi beban lalu lintas. Pada timbunan 8m yang *collapse* dilakukan perhitungan manual yang menghasilkan nilai angka aman 0,8022 dan membuktikan bahwa hasil tersebut kurang dari 1,0 yang artinya sudah tidak aman dan berpotensi terjadi kelongsoran.

Selain angka aman, pada penelitian ini juga membandingkan konsolidasi yang terjadi pada lereng selama satu tahun (365 hari). Konsolidasi adalah penurunan yang terjadi akibat adanya beban pada lereng dan keluarnya air melalui pori tanah selama waktu tertentu. Konsolidasi yang dihasilkan pada penelitian ini dapat dilihat pada Tabel 5.14. Pada timbunan 2m konsolidasi yang terjadi sebesar 0,013 m untuk tanah asli dan 0,019 m pada tanah dengan replacement. Pada timbunan 4m konsolidasi yang terjadi sebesar 0,031 m untuk tanah asli dan 0,033 m untuk tanah dengan replacement. Untuk timbunan 6m konsolidasi yang terjadi sebesar 0,056 m untuk tanah asli dan 0,059 untuk tanah dengan replacement. Sedangkan untuk timbunan 8m tidak dapat diketahui karena lereng pada timbunan 8m sudah terjadi *collapse*.

Oleh karena adanya beberapa lereng timbunan yang belum memenuhi syarat angka aman untuk jalan tol, maka harus diberi perkuatan yang dapat menambah kekuatan pada tanah timbunan sehingga lereng timbunan dapat difungsikan sebagai jalan tol pada proyek trans Sumatera. Lereng yang perlu perkuatan adalah lereng dengan tanah timbunan 4m sampai 8m yang angka amannya masih dibawah dari angka aman yang disyaratkan.

1.7.2 Hasil Analisis Lereng Dengan Perkuatan

Untuk mengatasi permasalahan pada lereng timbunan yang memiliki angka aman lebih rendah dari angka aman yang disyaratkan, maka digunakan perkuatan menggunakan bahan geosintetik jenis geotekstil *woven* UW-250 yang diproduksi oleh PT. Teknindo Geosistem Unggul. Kekuatan tarik ultimit yang dimiliki geotekstil sebesar 52 kN/m² dengan regangan 20%. Sebelum dilakukan analisis lereng dengan perkuatan geotekstil, maka perlu dihitung berapa kebutuhan

geotekstil yang akan digunakan. Pemasangan geotekstil dipasang secara mendatar diatas tanah kemudian ditutup dengan tanah timbunan yang dipadatkan. Bagian luar geotekstil ditekuk kedalam (*overlapping*) berfungsi sebagai permukaan dinding penahan.

Hasil dari analisis lereng timbunan dengan perkuatan geotekstil menghasilkan angka aman yang sudah lebih besar dari syarat angka aman untuk jalan tol, rekapitulasi angka aman lereng dengan perkuatan geotekstil dapat dilihat pada Tabel 5.20. Untuk lereng dengan timbunan 4m pada saat pasca konstruksi kurang dari angka aman yang disyaratkan setelah diperkuat dengan geotekstil sudah lebih besar dari 1,3. Pada lereng tanah timbunan 6m baik saat kondisi masa konstruksi maupun pasca konstruksi sudah aman, hasil untuk tanah asli saat masa konstruksi dengan beban yaitu 1,7475 dan beban gempa sebesar 1,7466, saat pasca konstruksi dengan beban yaitu 1,4409 dan beban gempa sebesar 1,4325. Sedangkan pada lereng timbunan 8m sudah tidak mengalami *collapse* lagi setelah diperkuat dengan geotekstil. Angka aman lereng timbunan 8m dengan diperkuat geotekstil pada tanah asli saat kondisi masa konstruksi dengan beban sebesar 1,5696 dan beban gempa 1,5692. Untuk pasca konstruksi yang saat belum diperkuat dengan geotekstil lereng timbunan 8m mengalami *collapse*, setelah diperkuat angka amannya menjadi 1,3471 dengan beban lalu lintas dan 1,3374 dengan beban gempa, angka aman ini telah lebih besar dari angka aman yang disyaratkan untuk jalan tol. Dari hasil analisis tersebut semua lereng timbunan yang telah diperkuat dengan geotekstil telah dapat difungsikan sebagai jalan tol pada proyek jalan tol trans Sumatera.

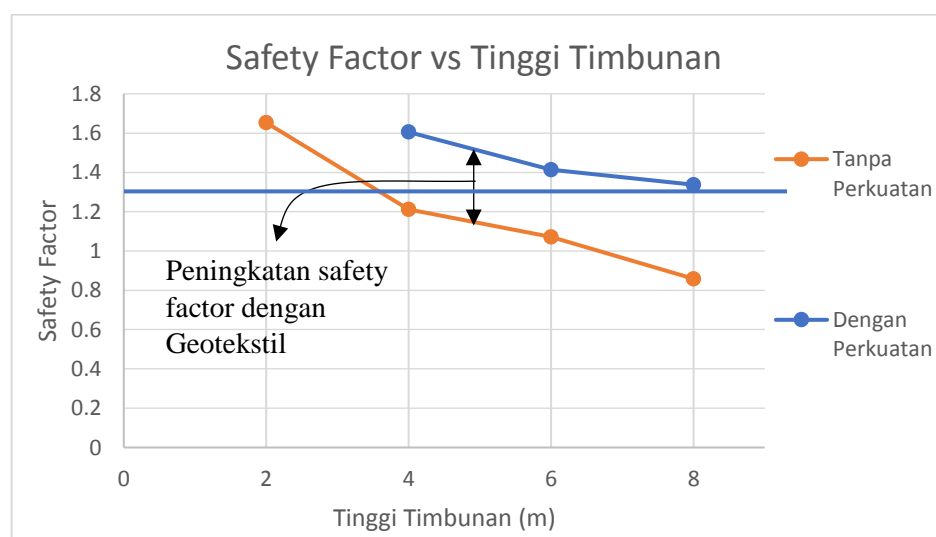
Hasil konsolidasi dari analisis lereng timbunan dengan perkuatan geotekstil lebih besar dibandingkan dengan lereng timbunan tanpa perkuatan. Konsolidasi pada timbunan 4m tanah asli sebesar 0,034 m dan tanah dengan replacement sebesar 0,054 m. Tanah timbunan 6m konsolidasi yang terjadi pada tanah asli sebesar 0,059 m dan tanah dengan replacement sebesar 0,088 m. Sedangkan konsolidasi pada tanah timbunan 8m tanah asli sebesar 0,0938 m dan tanah dengan replacement sebesar 0,113 m. Untuk hasil rekapitulasi konsolidasi yang terjadi pada lereng timbunan dengan perkuatan dapat dilihat pada Tabel 5.21.

1.7.3 Perbandingan Stabilitas Lereng dengan Variasi Tinggi Timbunan

Hasil analisis menggunakan program *Plaxis 8.2* menunjukkan bahwa perbandingan stabilitas lereng dengan variasi tinggi timbunan, semakin tinggi timbunan maka semakin besar potensi kelongsoran yang dapat terjadi. Oleh karenanya penelitian kali ini menggunakan geotekstil sebagai perkuatan untuk tinggi timbunan yang memiliki angka aman yang belum memenuhi syarat untuk jalan tol.

Pada studi kasus ini terdapat timbunan yang aman dengan ketinggian timbunan 2m sehingga tidak perlu diperkuat oleh geotekstil. Akan tetapi terdapat timbunan dengan nilai angka aman yang belum aman dan memenuhi syarat minimum 1,3. Pada timbunan dengan tinggi 8m mengalami keruntuhan dan menandakan batas dari tinggi timbunan yang dapat dibuat tanpa perkuatan.

Perkuatan geotekstil berfungsi untuk meningkatkan nilai angka aman lereng dengan tinggi timbunan yang belum aman. Pada lereng dengan perkuatan juga didapatkan hasil bahwa tinggi timbunan 8m sudah mencapai batas aman yang diperbolehkan untuk difungsikan sebagai jalan tol, karena nilai aman lereng timbunan 8m sudah hampir senilai dengan angka aman yang disyaratkan. Berikut adalah perbandingan angka aman dengan variasi tinggi timbunan pada saat tanpa perkuatan dan dengan perkuatan geotekstil yang disajikan dalam grafik pada Gambar 5.100.



Gambar 5.100 Perbandingan *Safety Factor* dengan Tinggi Timbunan

Dari grafik tersebut dapat dilihat bahwa pada lereng dengan timbunan 8m sudah mencapai batas angka aman pada saat diberi perkuatan geotekstil. Sedangkan pada timbunan 2m sudah tidak perlu diberi perkuatan karna sudah melewati batas aman dari syarat angkat keamanan untuk jalan tol. Peningkatan yang dihasilkan oleh geotekstil pada penelitian ini cukup besar yaitu sekitar 0,4 *safety factor*.

1.7.4 Perbandingan Stabilitas Lereng Tanah Asli dengan Tanah yang Diberi Replacement

Pada penelitian ini juga membandingkan pengaruh dari tanah yang diberi replacement oleh tanah timbunan. Dari hasil analisis lereng tanpa perkuatan didapatkan hasil yang tidak berbeda jauh antara tanah asli dan tanah yang diberi replacement. Untuk hasil angka aman dengan tanah yang diberi replacement lebih besar dibandingkan dengan lereng timbunan tanah asli, akan tetapi setelah diberi perkuatan geotekstil perbedaan angka aman antara tanah asli dan tanah yang diberi replacement semakin kecil selisihnya. Hal ini dikarenakan kekuatan dari tanah timbunan yang menggantikan tanah asli sudah tidak begitu berpengaruh setelah adanya perkuatan dari geotekstil.

Perbandingan stabilitas lereng tanah asli dengan tanah yang diberi replacement juga terdapat pada hasil konsolidasi yang terjadi. Dari hasil konsolidasi tersebut tanah dengan replacement memiliki konsolidasi yang lebih besar dibandingkan tanah asli. Hal ini terjadi dimungkinkan karena jenis pada tanah timbunan yang dijadikan sebagai tanah replacement memiliki nilai angka pori yang lebih besar dibandingkan tanah asli, menghasilkan konsolidasi yang lebih besar.

Dari penelitian ini dapat diketahui bahwa tanah timbunan yang digunakan sebagai replacement tanah asli memiliki dampak pada keamanan stabilitas lereng, meskipun tidak terlalu besar dampak yang dihasilkan oleh tanah replacement. Tanah yang diberi replacement dapat menjadi pertimbangan dalam perencanaan sebagai bahan tambah untuk perkuatan stabilitas lereng.

Untuk rekapitulasi keseluruhan dari hasil analisis pada penelitian ini dapat dilihat pada Tabel 5.22 rekapitulasi nilai *safety factor*, dan pada Tabel 5.23 rekapitulasi besar penurunan konsolidasi yang terjadi dengan asumsi waktu selama satu tahun berikut.

Tabel 5.22 Rekapitulasi Safety Factor Lereng Hasil Analisis

SAFETY FACTOR			Sebelum diberi Perkuatan				Setelah diberi Perkuatan		
			Timbunan 2m	Timbunan 4m	Timbunan 6m	Timbunan 8m	Timbunan 4m	Timbunan 6m	Timbunan 8m
Kondisi Tanah Asli	Masa Konstruksi	Beban Struktur	2,2080 (aman)	1,4715 (aman)	1,1654 (tidak aman)	1,0101 (tidak aman)	2,0996 (aman)	1,7170 (aman)	1,5696 (aman)
		Beban & Gempa	2,2046 (aman)	1,4664 (aman)	1,1636 (tidak aman)	1,0075 (tidak aman)	2,0796 (aman)	1,7094 (aman)	1,5692 (aman)
	Pasca Konstruksi	Beban Lalu Lintas	1,6563 (aman)	1,2606 (tidak aman)	1,0722 (tidak aman)	0,8022 (tidak aman)	1,5982 (aman)	1,4174 (aman)	1,3471 (aman)
		Beban & Gempa	1,6532 (aman)	1,2594 (tidak aman)	1,0711 (tidak aman)		1,5948 (aman)	1,4147 (aman)	1,3374 (aman)
Kondisi Tanah Dengan Replacement	Masa Konstruksi	Beban Struktur	2,2613 (aman)	1,5122 (aman)	1,2043 (tidak aman)	1,0418 (tidak aman)	2,1013 (aman)	1,7475 (aman)	1,5751 (aman)
		Beban & Gempa	2,2603 (aman)	1,5115 (aman)	1,2024 (tidak aman)	1,0408 (tidak aman)	2,0997 (aman)	1,7466 (aman)	1,5698 (aman)
	Pasca Konstruksi	Beban Lalu Lintas	1,8151 (aman)	1,2866 (tidak aman)	1,0950 (tidak aman)	0,8749 (tidak aman)	1,6066 (aman)	1,4409 (aman)	1,3496 (aman)
		Beban & Gempa	1,8145 (aman)	1,2856 (tidak aman)	1,0931 (tidak aman)		1,6055 (aman)	1,4325 (aman)	1,3442 (aman)

Tabel 5.23 Rekapitulasi Konsolidasi Lereng Hasil Analisis

Timbunan	Konsolidasi Sebelum diberi Perkuatan		Konsolidasi Setelah diberi Perkuatan	
	Tanah Asli	Tanah dengan Replacement	Tanah Asli	Tanah dengan Replacement
2 m	0,013 m	0,019 m	-	-
4 m	0,031 m	0,033 m	0,034 m	0,054 m
6 m	0,056 m	0,059 m	0,059 m	0,088 m