

BAB V

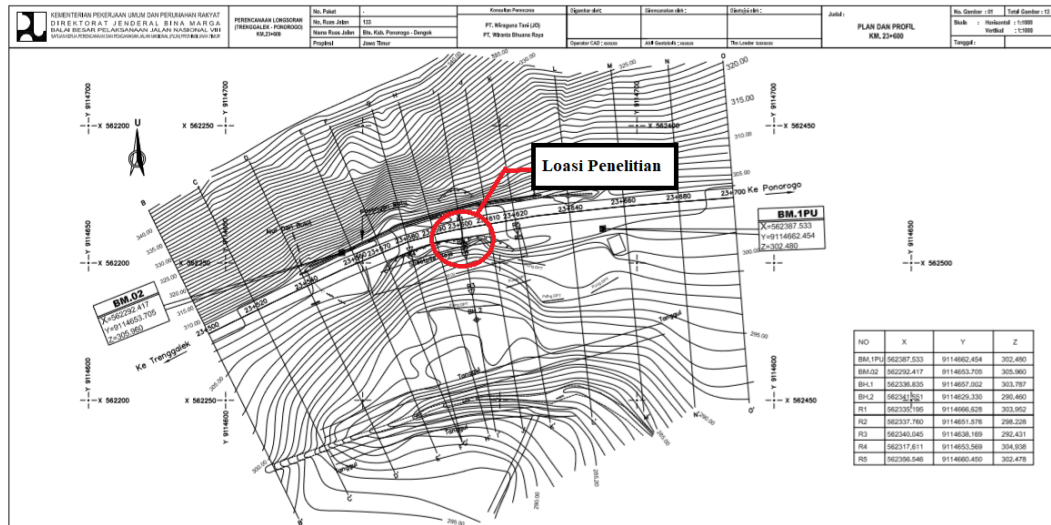
ANALISIS DAN PEMBAHASAN

5.1 Data Umum

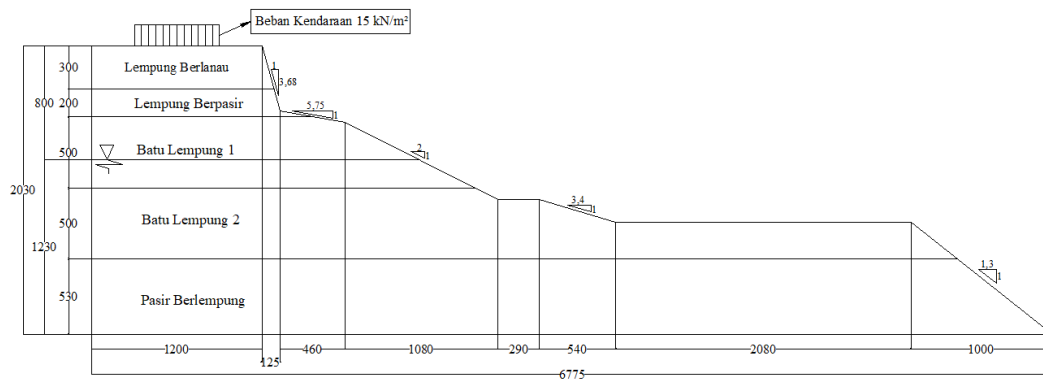
Pada analisis tugas akhir ini, lereng yang digunakan adalah lereng pada jalur jalan Trenggalek–Ponorogo km 23+600 yang terletak pada Desa Pangkal, Kecamatan Sawoo, Kabupaten Ponorogo, jalan ini merupakan jalan nasional yang menghubungkan antara Kabupaten Ponorogo dan Kabupaten Trenggalek. Lereng berada pada bagian selatan jalan dengan kedalaman 11 m, lapisan tanah pada lereng ini didominasi tanah berbutir halus yaitu lanau dan lempung, tanah pada lapisan paling atas terdiri dari lempung berlanau dan pada lapisan bawahnya berupa tanah batu lempung, tanah dengan tipe ini sangat peka terhadap air dan sangat labil.

Berdasarkan tipe tanah tersebut sangat peka terhadap air, menyebabkan tanah mudah mengalami keruntuhan dan penurunan hal tersebut dibuktikan dengan adanya longsor pada lereng tersebut, padahal lereng sudah diperkuat dengan menggunakan *sheet pile*, dengan beban dinamis berupa kendaraan pada bagian jalan serta kondisi tanah yang lemah menyebabkan tanah mengalami longsor.

Pada tugas akhir ini akan dilakukan analisis pada lereng yang telah mengalami kelongsoran, jika lereng memiliki *safety factor* yang kecil maka akan dilakukan penanganan berupa perkuatan tanah, perkuatan yang diberikan akan membandingkan antara perkuatan dengan turap dan geotekstil. Analisis menggunakan program Plaxis 8.6. Adapun lereng pada jalan Trenggalek-Ponorogo dapat dilihat pada Gambar 5.1, 5.2 dan 5.3 berikut.



Gambar 5. 1 Layout Penampang Jalan Stasiun 23+600
(Sumber: Data Penyelidikan Tanah Jalan Jawa Timur, 2017)



Gambar 5. 2 Penampang Melintang Jalan Stasiun 23+600



Gambar 5. 3 Foto Kondisi Lereng Setelah Terjadi Longsor

5.2 Data Penyelidikan Tanah dan Beban

Adapun data penyelidikan tanah yang digunakan dalam analisa stabilitas lereng berupa Bor-Log, sedangkan beban yang bekerja pada lereng berupa beban kendaraan dan beban gempa.

1. Data Parameter Tanah

Adapun data parameter tanah dapat dilihat pada Gambar 5.4 berikut.

BORLOG											
Project : Desain Longsoran Location : Km.23+600 Boring No. : BH.1 Date tested : 24 s/d 26 Oktober 2017 Koordinat : -					Depth of boring : 20.0 m Ground Surface Level : - Ground Water Level : 8.0 m Tested by : Adin Checked by : Hendra						
Depth (meter)	Drilling Method Casing (meter)	Ground Water Level (meter)	Core recovery (%)	GRAPH OF SPT - N					Sample type	Soil / Rock Description	Sampling Type : Platan (Pa), Spt, boring, Open Tube
				0	10	20	30	40			
0	0.00										Remarks
0.50											
1.00											
1.50											
2.00											
2.50						13				↕	SPT
3.00											
3.50											
4.00											
4.50						11				↕	UD5 SPT
5.00											
5.50											
6.00											
6.50						14				↕	SPT
7.00											
7.50											
8.00											
8.50						>60				↕	SPT
9.00											
9.50											
10.00											
10.50						54				↕	SPT
11.00											
11.50											
12.00						53				↕	SPT
12.50											
13.00											
13.50											
14.00						35				↕	SPT
14.50											
15.00											
15.50											
16.00						46				↕	SPT
16.50											
17.00											
17.50											
18.00						>60				↕	SPT
18.50											
19.00											
19.50											
20.00											

Gambar 5. 4 Data Bor-Log BH-1

(Sumber: Data Penyelidikan Tanah Jalan Jawa Timur, 2017)

Parameter tanah yang digunakan dalam analisa stabilitas lereng dapat dilihat pada Tabel 4.1

2. Beban Kendaraan

Pada bagian atas lereng terdapat jalan dengan lebar 6 meter. Lalu-lintas harian rata-rata pada jalan ini diasumsikan dengan nilai maksimum yaitu >10.000 kendaraan. Nilai beban kendaraan dapat dilihat pada table 4.2. Data beban yang digunakan dalam analisa stabilitas lereng pada jalan Ponorogo Trenggalek Sta 23+600 adalah 15 kN/m^2 .

3. Data Gempa

Beban gempa dinamik dengan percepatan puncak gempa sebesar 0,457g. Untuk waktu interval digunakan waktu 5 detik. Peta zonasi serta grafik hubungan antara percepatan gempa dan waktu gempa dapat dilihat pada Gambar 4.2 dan 4.3.

4. Data Geotekstil

Geotekstil yang digunakan dalam analisa stabilitas lereng ini adalah jenis geotekstil woven atau geotekstil teranyam, geotekstil yang digunakan berasal dari PT. Tekindo Geosistem Unggul. Nilai *input* parameter geotekstil dapat dilihat pada Tabel 4.4

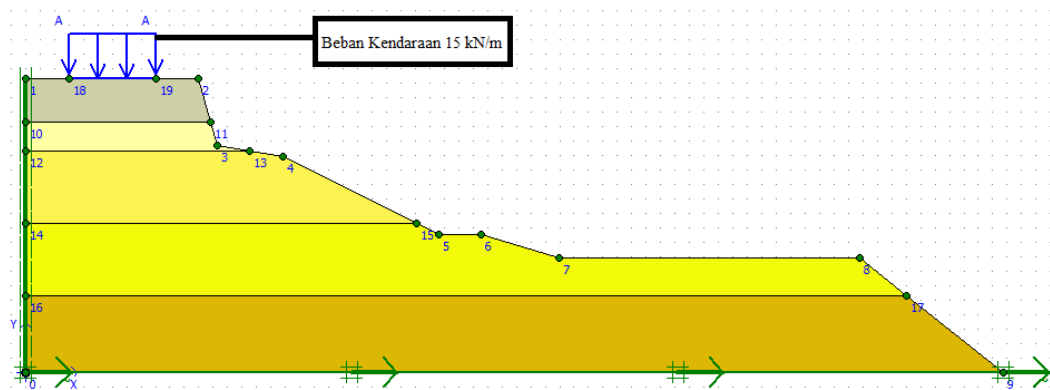
5. Data Turap

Turap yang digunakan dalam analisa stabilitas lereng ini adalah jenis turap beton, turap beton yang digunakan berasal dari PT. Adhi Persadha Beton.

5.2 Lereng Tanah Asli

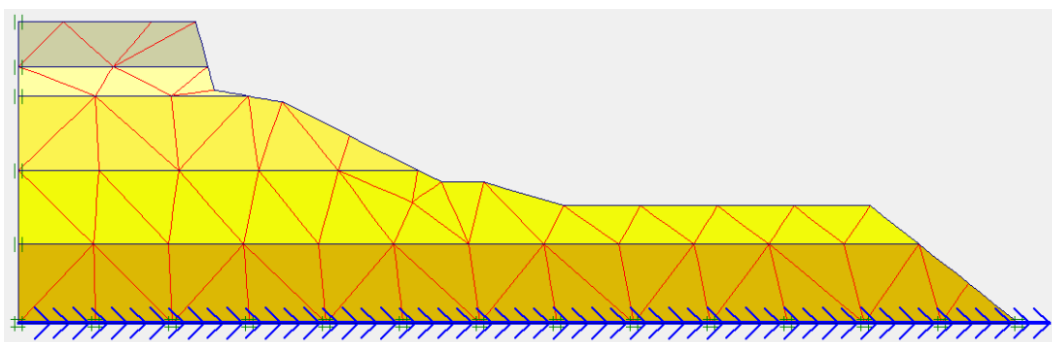
Dilakukan analisis pada lereng tanah asli untuk mengetahui safety factor apakah lereng sudah mampu menahan berat sendiri dan beban kendaraan. Adapun analisis dilakukan dengan dua cara yaitu dengan menggunakan program Plaxis 8.6.

Pemodelan lereng asli dilakukan menggunakan beban kendaraan dan beban gempa dan dianalisis menggunakan Program Plaxis 8.6. Lereng dimodelkan dengan panjang 67,75 m dan tinggi 20,3 m. Lereng pada Jalan Ponorogo-Trenggalek Sta 23+600 dimodelkan secara dua dimensi dalam plaxis. Gambar pemodelan lereng dapat dilihat pada Gambar 5.5



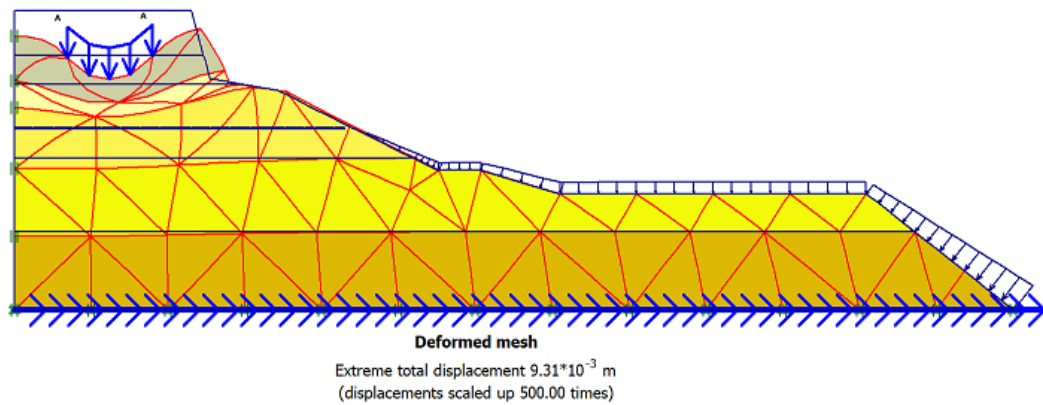
Gambar 5. 5 Pemodelan Lereng Asli 2 Dimensi

Setelah melakukan pemodelan lereng langkah selanjutnya adalah melakukan penyusunan jaringan elemen. Adapun hasil jaringan elemen hingga (*meshing*) pada lereng asli Sta. 23+600 dapat dilihat pada Gambar 5.6 berikut

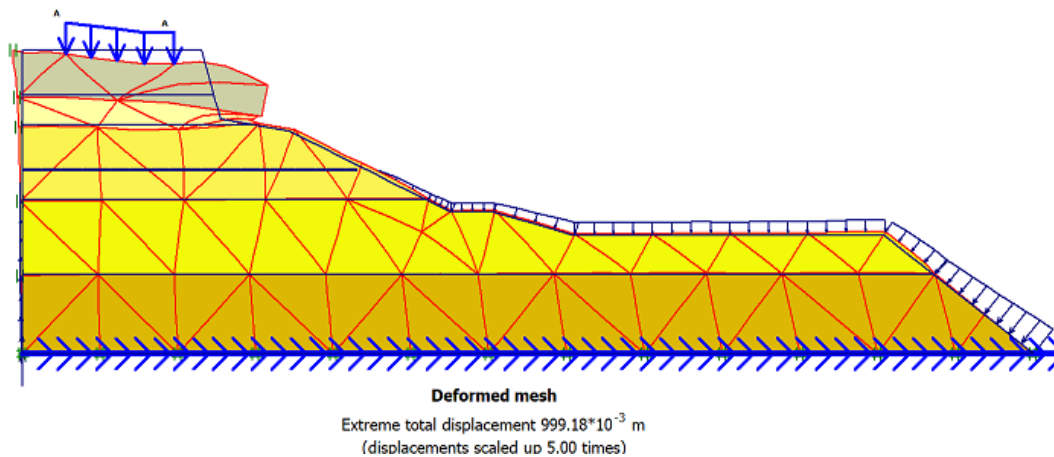


Gambar 5. 6 Meshing Pada Lereng Asli

Hasil dari *deformed mesh* diindikasikan dengan adanya perubahan bentuk jaring elemen menjadi lebih tidak beraturan, perubahan tersebut disebabkan oleh beban yang bekerja pada lereng, yaitu beban gempa, beban kendaraan, serta beban lereng sendiri (*Gravity Load*). Adapun hasil *deformed mesh* tanpa beban dan dengan beban gempa dapat dilihat pada Gambar 5.7 dan Gambar 5.8.

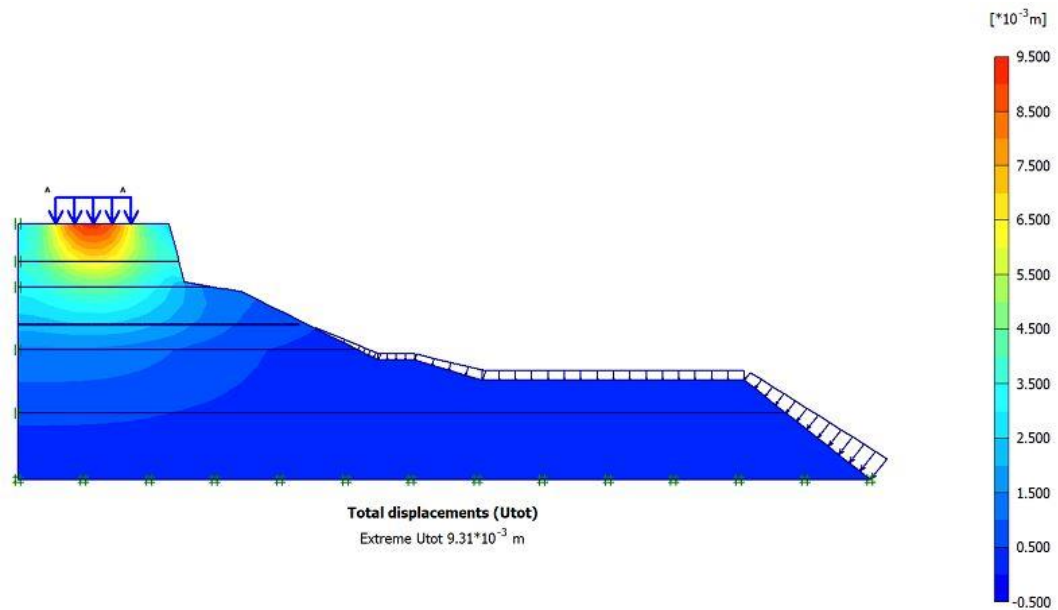


Gambar 5. 7 Deformed Mesh Lereng Asli Tanpa Beban Gempa

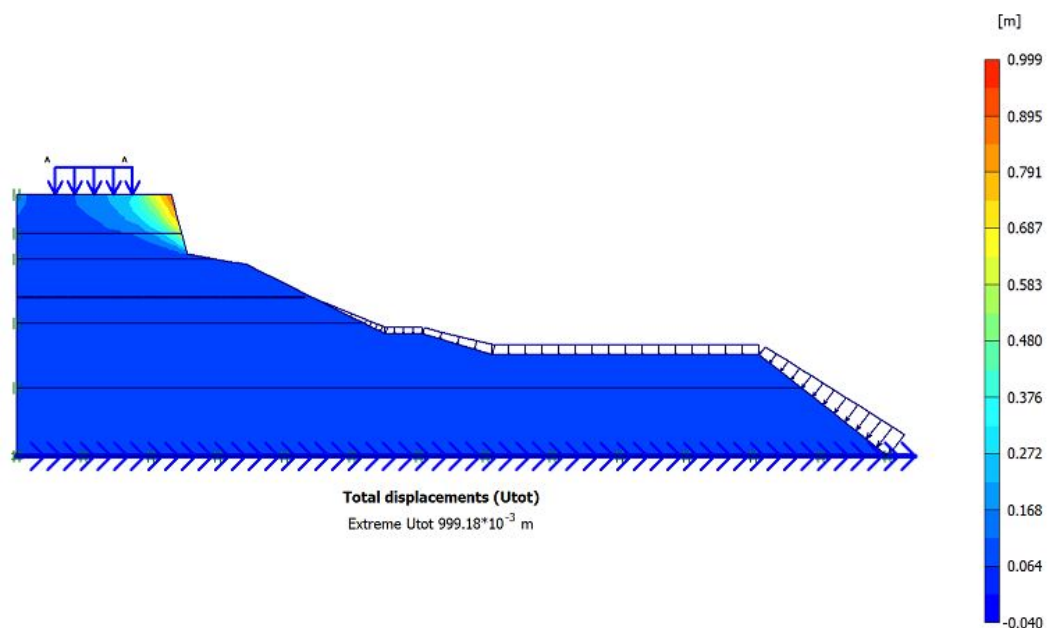


Gambar 5. 8 Deformed Mesh Lereng Asli Dengan Beban Gempa

Displacement pada lereng asli disebabkan oleh beban-beban yang bekerja pada lereng, yaitu beban kendaraan, beban gempa, dan beban dari lereng sendiri (*Gravity Load*). *Displacement* ditandai dengan gradasi warna pada lereng, *displacemet* paling tinggi ditandai dengan warna merah tua, lalu bergradasi menuju ke warna biru dengan nilai *displacement* paling kecil. Nilai *displacement* pada lereng asli tanpa beban gempa yaitu $9,31 \times 10^{-3}$ m dan nilai *displacement* pada lereng asli dengan beban gempa yaitu $999,18 \times 10^{-3}$ m. Berdasarkan dua nilai tersebut *displacement* pada lereng asli dengan beban gempa lebih besar, dikarenakan adanya tambahan beban gempa. Adapun gambar *displacement* lereng asli tanpa beban gempa dan dengan beban gempa dapat dilihat pada Gambarr 5.9 dan 5.10



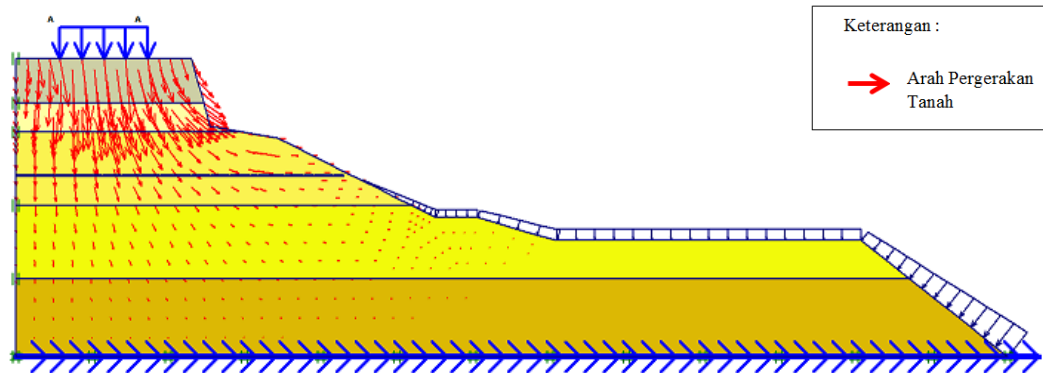
Gambar 5. 9 Total Displacement Pada Lereng Asli Tanpa Beban Gempa



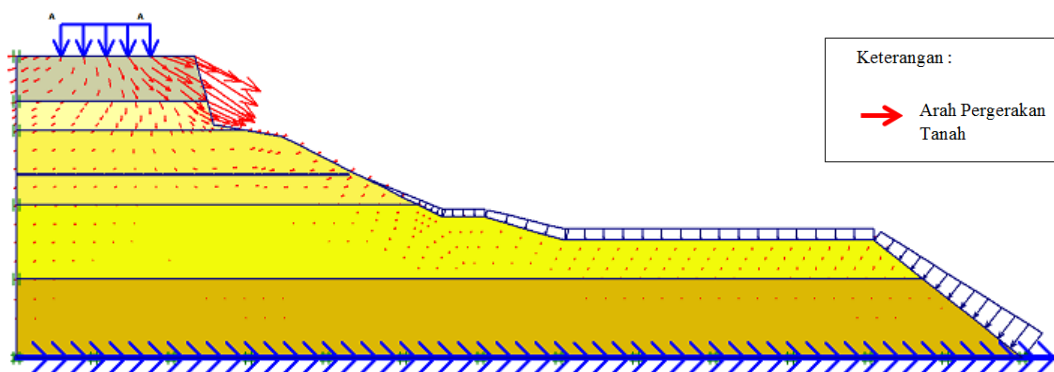
Gambar 5. 10 Total Displacement Pada Lereng Asli Dengan beban Gempa

Arah pergerakan tanah menunjukkan kemana arah tanah bergerak ketika telah diberikan beban, pergerakan tanah pada lereng asli tanpa beban gempa dan lereng asli dengan beban gempa menuju kearah kanan yaitu menuju kearah kemiringan lereng, berdasarkan arah pergerakan tersebut dapat digunakan untuk memperkirakan kemana tanah akan mengalami kelongsoran atau keruntuhan. Arah

pergerakan tanah pada lereng asli tanpa beban gempa dan dengan beban gempa dapat dilihat pada Gambar 5.11 dan Gambar 5.12

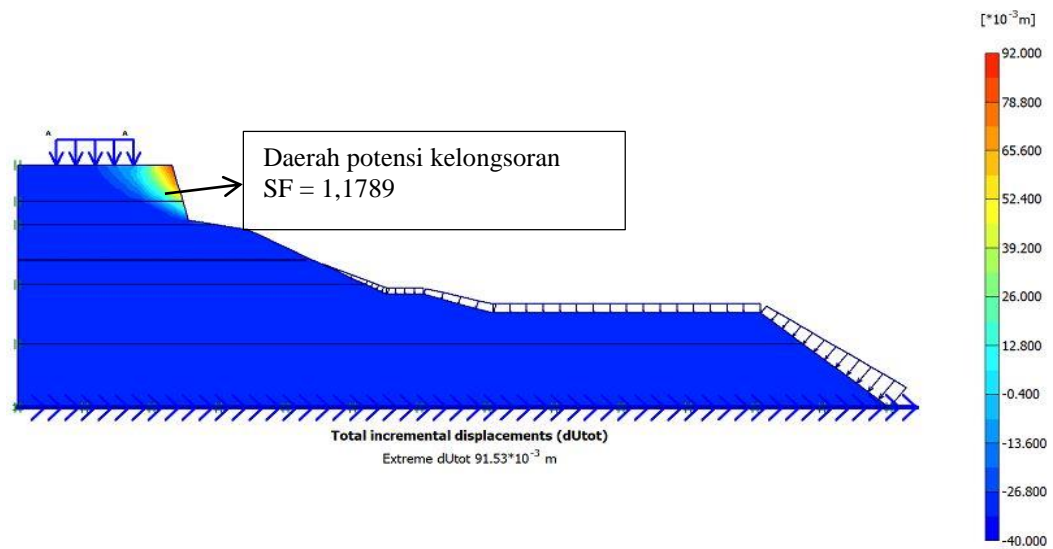


Gambar 5. 11 Arah Pergerakan Tanah Lereng Asli Tanpa Beban Gempa



Gambar 5. 12 Arah Pergerakan Tanah Lereng Asli Dengan Beban Gempa

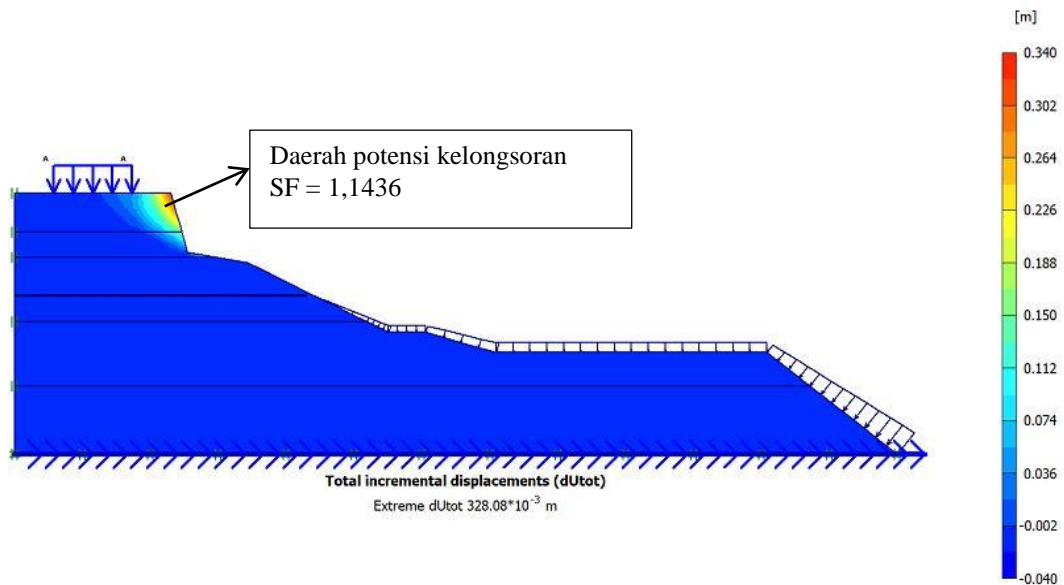
Potensi kelongsoran memperlihatkan daerah dimana kemungkinan lereng mengalami kelongsoran, berdasarkan hasil analisis plaxis potensi kelongsoran pada lereng asli tanpa beban gempa dan dengan beban gempa gempa berbentuk *rotational slides*. Dari hasil tersebut juga dapat dilihat zona aktif dan zona pasif pada lereng, warna merah menunjukkan zona aktif dan warna biru menunjukkan zona pasif. Adapun potensi kelongsoran pada lereng asli tanpa gempa dan dengan beban gempa dapat dilihat pada Gambar 5.13 dan Gambar 5.15. Untuk dan nilai SF (*safety factor*), dapat dilihat pada Gambar 5.14 dan Gambar 5.16.



Gambar 5. 13 Potensi Kelongsoran Lereng Asli Tanpa Beban Gempa

Incremental multipliers		Total multipliers	
Mdisp:	0.0000	Σ -Mdisp:	0.0000
MloadA:	0.0000	Σ -MloadA:	1.0000
MloadB:	0.0000	Σ -MloadB:	1.0000
Mweight:	0.0000	Σ -Mweight:	1.0000
Maccel:	0.0000	Σ -Maccel:	0.0000
Msf:	0.1000	Σ -Msf:	1.1789

Gambar 5. 14 Nilai Safety Factor Lereng Asli Tanpa Beban Gempa



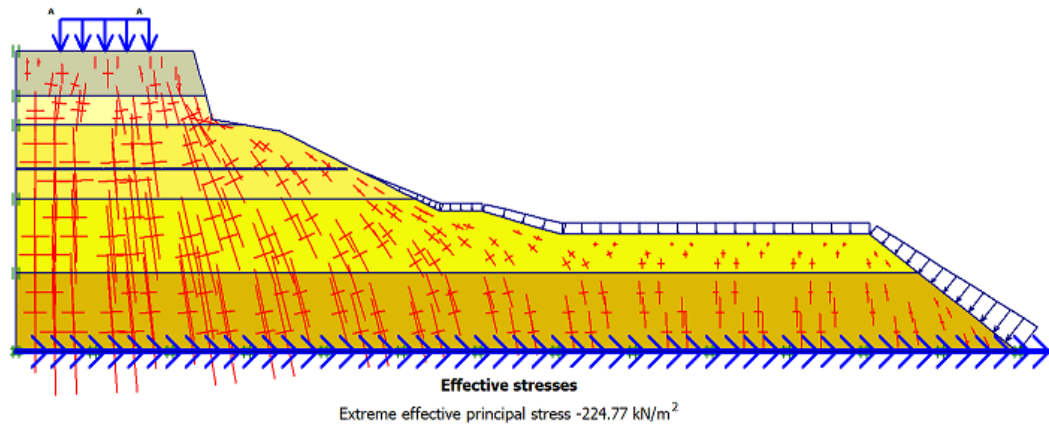
Gambar 5. 15 Potensi Kelongsoran Lereng Asli Dengan Beban Gempa

Incremental multipliers		Total multipliers	
Mdisp:	0.0000	Σ -Mdisp:	0.0000
MloadA:	0.0000	Σ -MloadA:	1.0000
MloadB:	0.0000	Σ -MloadB:	1.0000
Mweight:	0.0000	Σ -Mweight:	1.0000
Maccel:	0.0000	Σ -Maccel:	0.0000
Msf:	0.1000	Σ -Msf:	1.1436

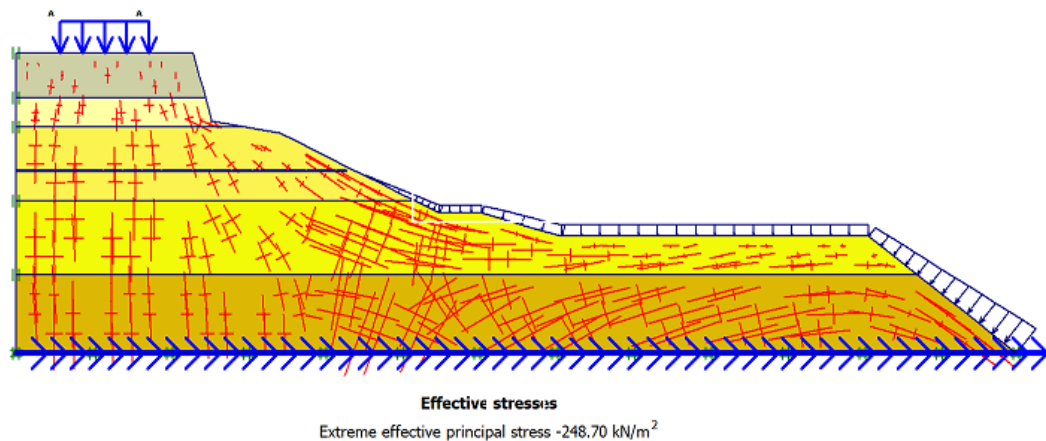
Gambar 5. 16 Nilai Safety Factor Lereng Asli Dengan Beban Gempa

Effective Stresses atau tegangan efektif pada tanah menunjukkan tegangan pada tanah yang dipengaruhi oleh berat volume tanah, makin kedalam maka makin besar nilai dari *effective stresses*. Pada hasil analisis ditunjukkan oleh garis-garis berwarna merah, yang makin kebawah makin banyak. Makin banyak garis-garis tersebut menunjukkan makin besarnya *effective stresses* tanah, yang pada bagian atas sedikit garis merah dan pada bagian bawah banyak garis merah. Besarnya nilai *effective stresses* pada lereng asli tanpa beban gempa $-224,77 \text{ kN/m}^2$ dan pada lereng asli dengan beban gempa $-248,70 \text{ kN/m}^2$. Adapun *effective stresses* pada

lereng asli tanpa dan dengan beban gempa dapat dilihat pada Gambar 5.17 dan Gambar 5.18



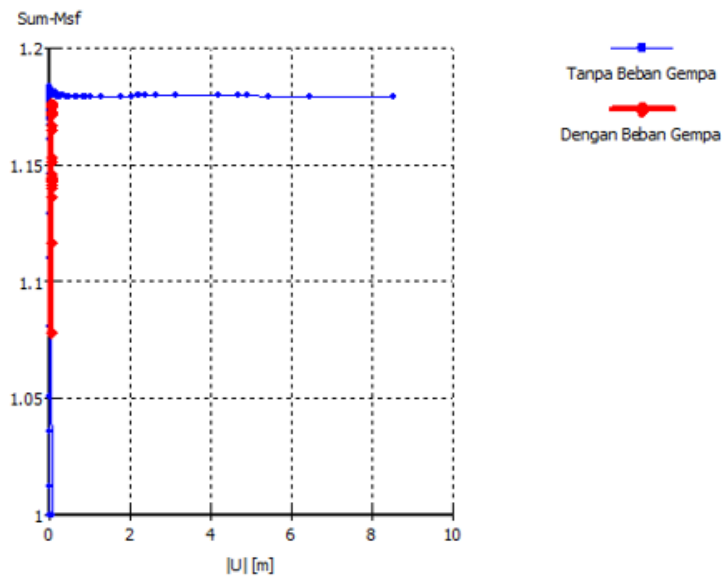
Gambar 5. 17 *Effective Stresses* Lereng Asli Tanpa Beban Gempa



Gambar 5. 18 *Effective Stresses* Lereng Asli Dengan Beban Gempa

Safety Factor atau nilai aman adalah nilai acuan yang digunakan untuk menentukan aman tidaknya suatu lereng. Bowless (1989) dalam bukunya menyebutkan bahwa lereng dianggap aman jika memiliki *Safety Factor* $> 1,25$. Berdasarkan hasil analisis menggunakan program Plaxis 8.6 lereng asli tanpa beban gempa memiliki *Safety Factor* 1,179 dan lereng asli dengan beban gempa memiliki *Safety Factor* 1,144. Nilai *Safety Factor* lereng asli tanpa beban gempa lebih besar dibanding lereng asli dengan beban gempa ($1,179 > 1,144$), hal itu disebabkan adanya tambahan beban gempa, akan tetapi nilai keduanya masih $< 1,25$, maka

lereng dianggap tidak aman dan mudah untuk mengalami kelongsoran. Nilai *Safety Factor* dapat dilihat pada Gambar 5.19.



Gambar 5. 19 Kurva *Safety Factor* Lereng Asli

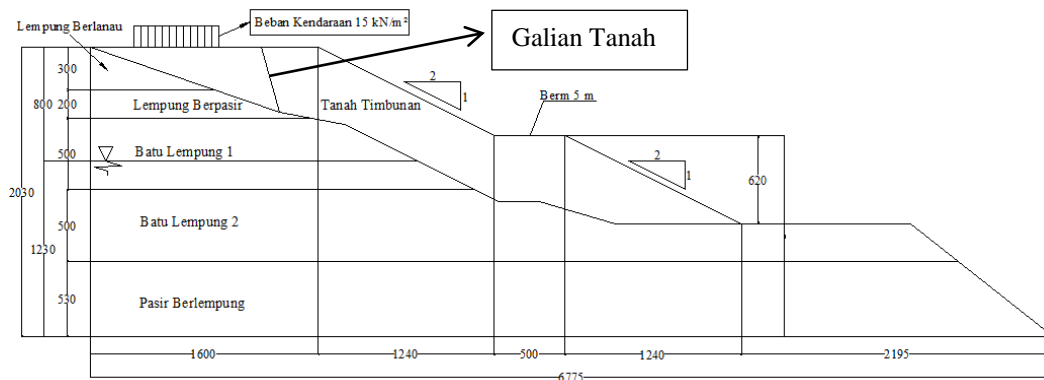
5.3 Lereng Dengan Geometri Baru (Sudut 27°)

Pada lereng jalan Ponorogo-Trenggalek Sta. 23 + 600 dibagian selatan didominasi tanah berbutir halus yaitu lanau dan lempung, tanah pada lapisan paling atas terdiri dari lempung berlanau dan pada lapisan bawahnya berupa tanah batu lempung, tanah dengan tipe ini sangat peka terhadap air dan sangat labil.

Dalam analisis ini, pada lereng jalan Ponorogo-Trenggalek Sta. 23 + 600 akan dibuat geometri lereng baru dengan menggali tanah lempung yang labil pada bagian atas, dan mengganti dengan tanah timbunan, selain mengganti tanah, lereng juga didesain dengan geometri baru yang lebih landai dan dibuat dengan 2 jenjang, selain untuk mempermudah pekerjaan, hal tersebut juga berfungsi mengurangi gaya yang menggerakkan lereng yang dapat menyebabkan kelongsoran. Dalam tugas akhir ini, data tanah timbunan yang digunakan adalah data tanah timbunan yang dari Tugas Akhir Wicaksono (2016).

Pekerjaan *berm* pada jalan Ponorogo-Trenggalek Sta. 23 + 600 dilakukan untuk meningkatkan kemampuan lereng dan mengurangi gaya-gaya yang menggerakkan lereng. Pekerjaan *berm* dilakukan dengan jenjang selebar 5 meter, hal

tersebut bertujuan memberikan ruang pergerakan pada perlatan dan memudahkan melakukan pekerjaan timbunan tanah. Adapun geometri baru untuk tanah timbunan dapat dilihat pada Gambar 5.20



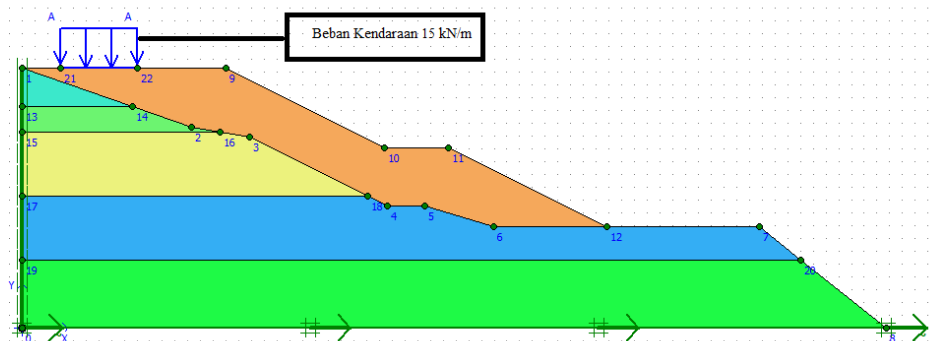
Gambar 5. 20 Lereng Dengan Geometri Baru (Sudut 27 °)

Analisis lereng dengan geometri baru dihitung menggunakan program Plaxis 8.6. Adapun parameter input untuk lereng dengan geometri baru dapat dilihat pada Tabel 5.1.

Tabel 5. 1 Data Parameter Tanah Lereng Dengan Geometri Baru

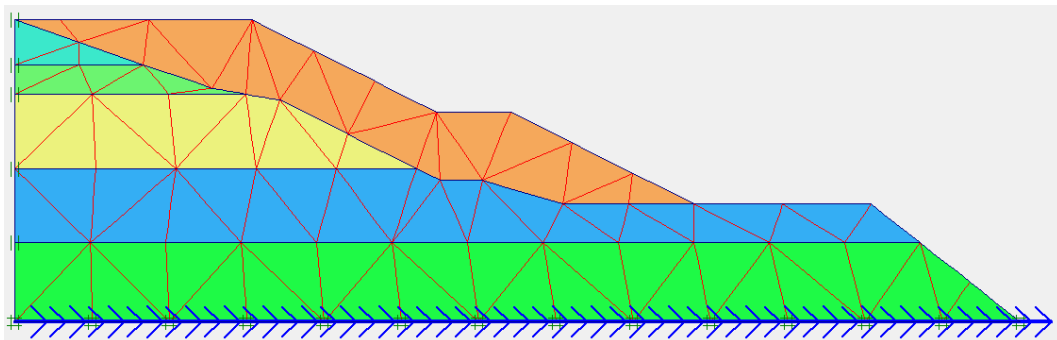
Parameter	Satuan	Lempung Berlanau	Lempung Berlanau 2	Batu Lempung 1	Batu Lempung 2	Pasir Berlempung	Tanah Timbunan
γ <i>Unsaturated</i>	kN/m ³	15,3	15,1	15,5	17,2	18,7	15,3
γ <i>Saturated</i>	kN/m ³	17,1	17,1	17,5	19,0	20,3	17,1
E_{ref}	kN/m ²	9958	8426	10724	35236	45960	10000
V	-	0,4	0,35	0,35	0,3	0,2	0,3
$Kohesi$	kN/m ²	10	10	28	31	50	10
$Sudut Geser Dalam$	°	15	30	20	30	35	30
Permeabilitas K_x	m/hari	0,00004	0,00048	0,00004	0,00048	0,00043	0,0004
Permeabilitas K_y	m/hari	0,00004	0,00048	0,00004	0,00048	0,00043	0,0004

Pemodelan lereng dengan geometri baru dilakukan menggunakan beban kendaraan dan beban gempa dan dianalisis menggunakan Program Plaxis 8.6. Lereng pada Jalan Ponorogo-Trenggalek Sta 23+600 dimodelkan secara dua dimensi dalam plaxis. Gambar pemodelan lereng dapat dilihat pada Gambar 5.21.



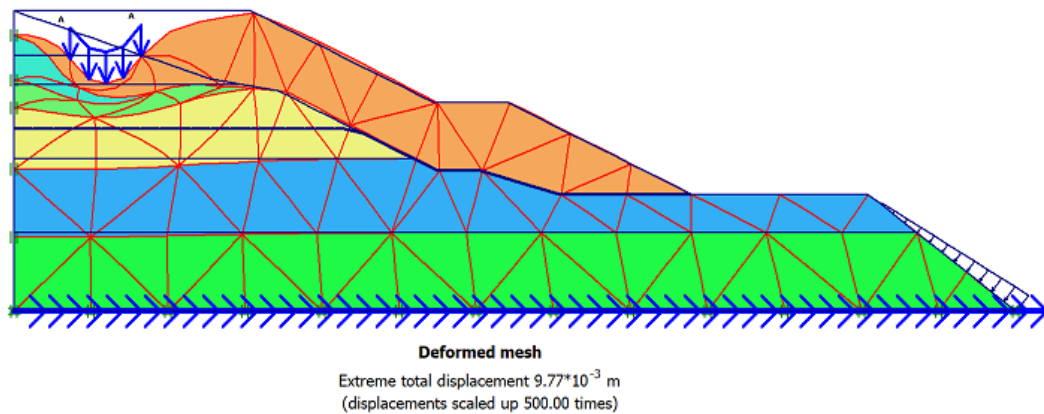
Gambar 5. 21 Pemodelan Lereng Geometri Baru

Setelah melakukan pemodelan lereng langkah selanjutnya adalah melakukan penyusunan jaringan elemen. Adapun hasil jaringan elemen hingga (*meshing*) pada lereng asli Sta. 23+600 dapat dilihat pada Gambar 5.22 berikut

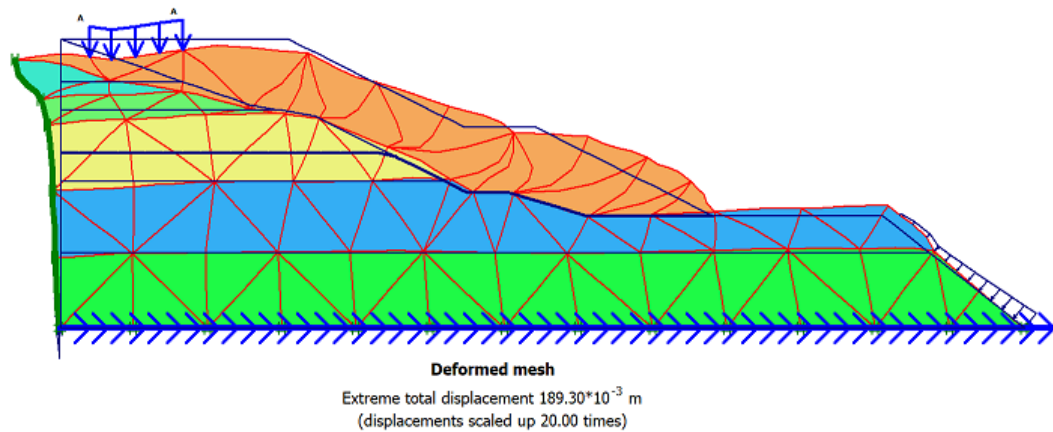


Gambar 5. 22 Meshing Pada Lereng Geometri Baru

Deformed mesh pada lereng geometri baru tanpa beban gempa menunjukkan adanya penurunan akibat adanya beban kendaraan dan beban sendiri lereng (*Gravity Load*), sedangkan pada *deformed mesh* lereng geometri baru dengan beban gempa memiliki bentuk yang lebih tidak beraturan dikarenakan adanya beban gempa yang dinamik. Adapun hasil *deformed mesh* lereng geometri baru tanpa dan dengan beban gempa dapat dilihat pada Gambar 5.23 dan Gambar 5.24



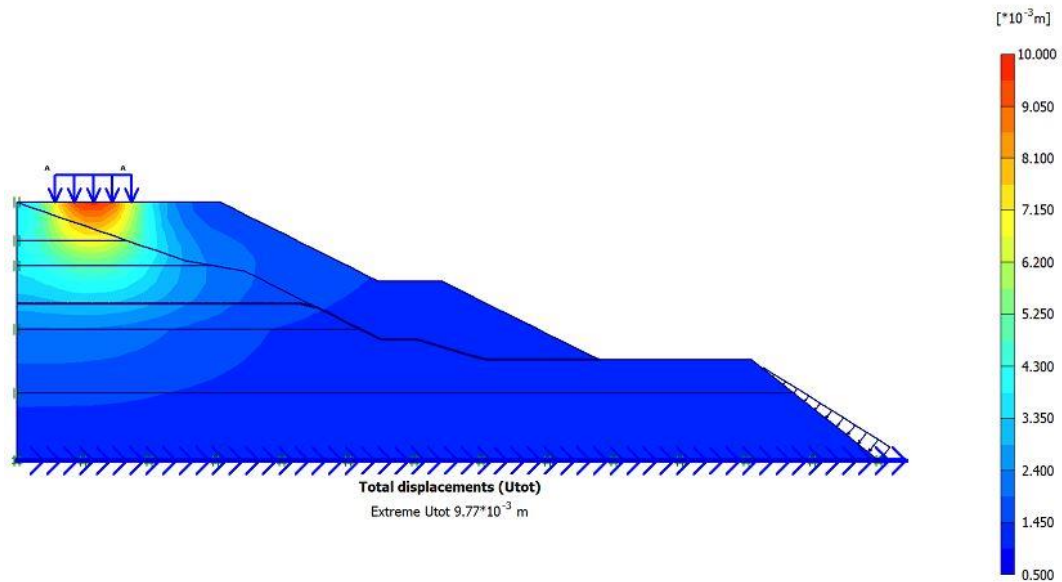
Gambar 5. 23 Deformed Mesh Lereng Geometri Baru Tanpa Beban Gempa



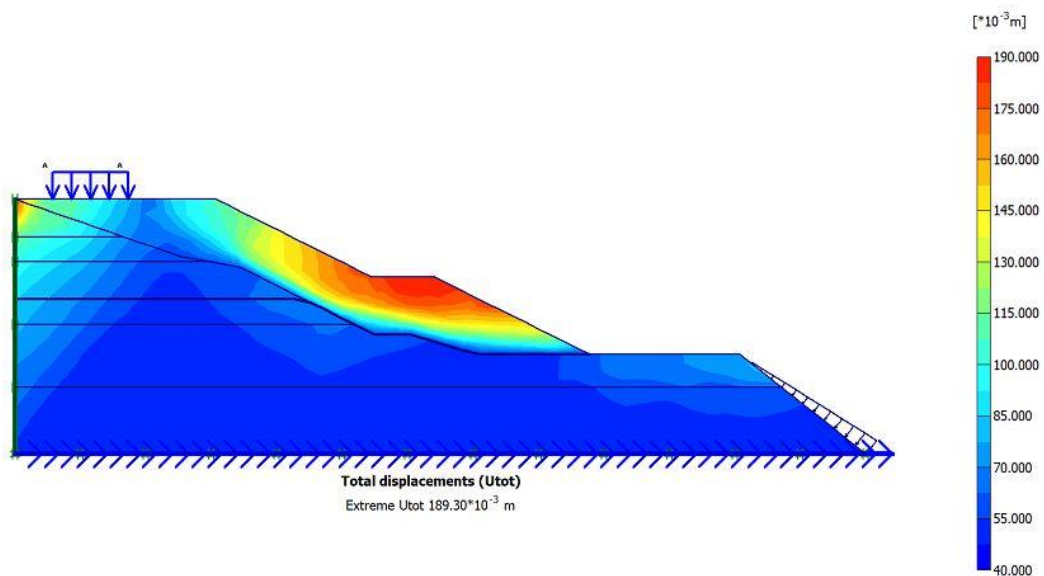
Gambar 5. 24 Deformed Mesh Lereng Geometri Baru Dengan Beban Gempa

Displacement pada lereng geometri baru tanpa beban gempa terjadi secara vertikal akibat adanya beban kendaraan, *displacement* terdapat pada lapisan timbunan yang ditunjukkan dengan warna orange, kemudian bergradasi menjadi warna biru, warna orange menunjukkan besarnya nilai *displacement* dan warna biru menunjukkan rendahnya nilai *displacement*. Sedangkan pada lereng geometri baru dengan beban gempa *displacement* terdapat pada sisi kanan lereng dengan warna orange dan kuning lebih banyak hal ini disebabkan adanya beban gempa yang dinamik, sehingga *displacement* menjadi lebih luas dan lebih besar. Nilai *displacement* pada lereng geometri baru tanpa beban gempa sebesar $9,77 \times 10^{-3}$ meter dan pada lereng geometri baru dengan beban gempa sebesar $189,3 \times 10^{-3}$ meter, lebih besar geometri baru dengan beban gempa. Adapun *displacement* pada

lereng geometri baru tanpa dan dengan beban gempa dapat dilihat pada Gambar 2.25 dan Gambar 2.26.



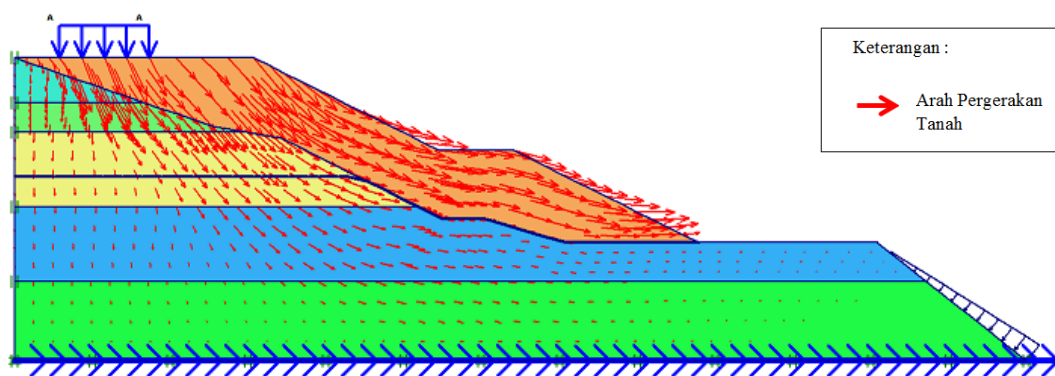
Gambar 5. 25 Total Displacement Pada Lereng Geometri Baru Tanpa Beban Gempa



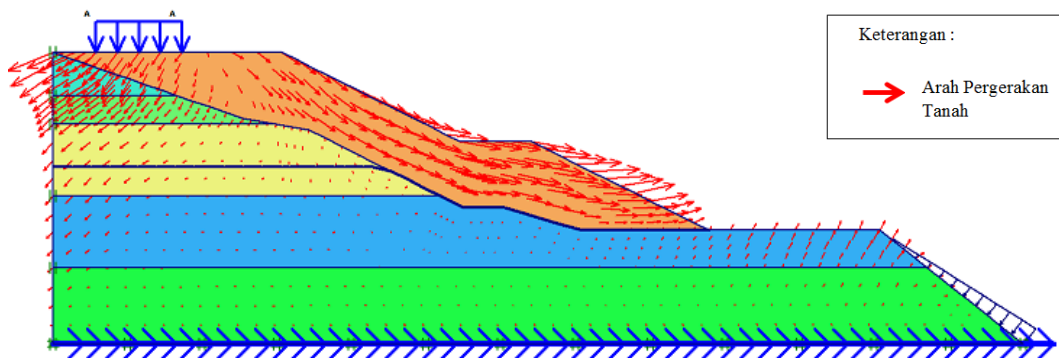
Gambar 5. 26 Total Displacement Pada Lereng Geometri Baru Dengan Beban Gempa

Arah pergerakan tanah pada lereng geometri baru tanpa beban gempa ditunjukkan dengan panah warna merah, panah merah tersebut lebih dominan

bergerak kearah bawah dan sedikit bergerak kearah kanan lereng, hal tersebut disebabkan beban dari kendaraan dan dari berat lereng (*Gravity Load*). Sedangkan pada lereng geometri baru dengan beban gempa panah merah tersebut bergerak lebih dominan kearah kanan lereng dan sedikit yang bergerak kearah kiri lereng, pergerakan tanah yang tidak beraturan ini disebabkan oleh beban gempa yang dinamik. Adapun arah pergerakan tanah pada lereng geometri baru tanpa dan dengan beban gempa dapat dilihat pada Gambar 5.27 dan Gambar 5.28.



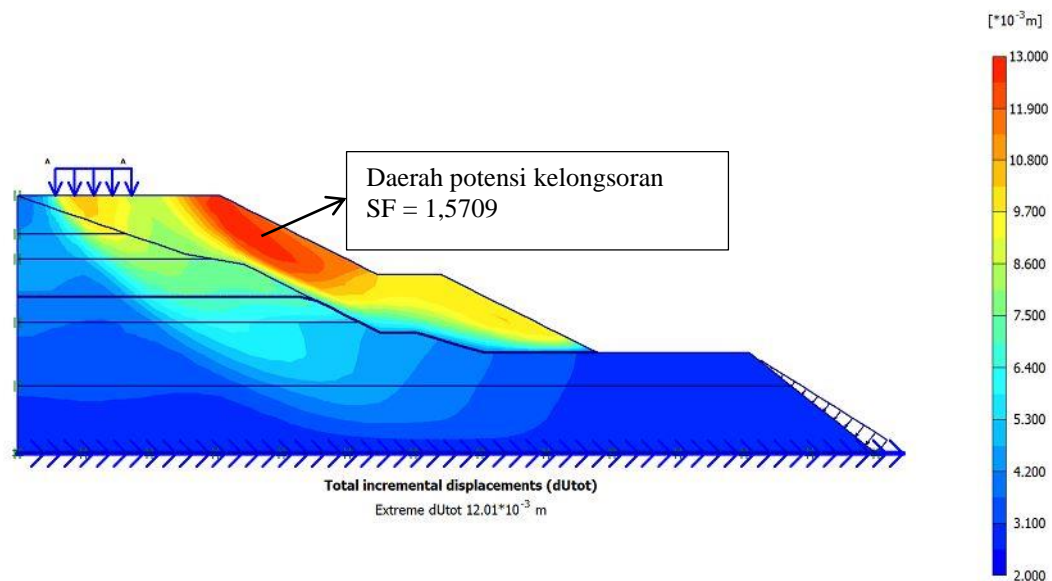
Gambar 5. 27 Arah Pergerakan Tanah Lereng Geometri Baru Tanpa Beban Gempa



Gambar 5. 28 Arah Pergerakan Tanah Lereng Geometri Baru Dengan Beban Gempa

Potensi kelongsoran pada lereng geometri baru tanpa beban gempa terdapat pada timbunan pertama, hal tersebut ditunjukkan dengan adanya warna orange dan merah, warna merah dan orange merupakan zona aktif dimana lereng memiliki potensi untuk mengalami kelongsoran. Sedangkan pada lereng geometri baru dengan beban gempa terdapat pada timbunan pertama dan kedua, potensi

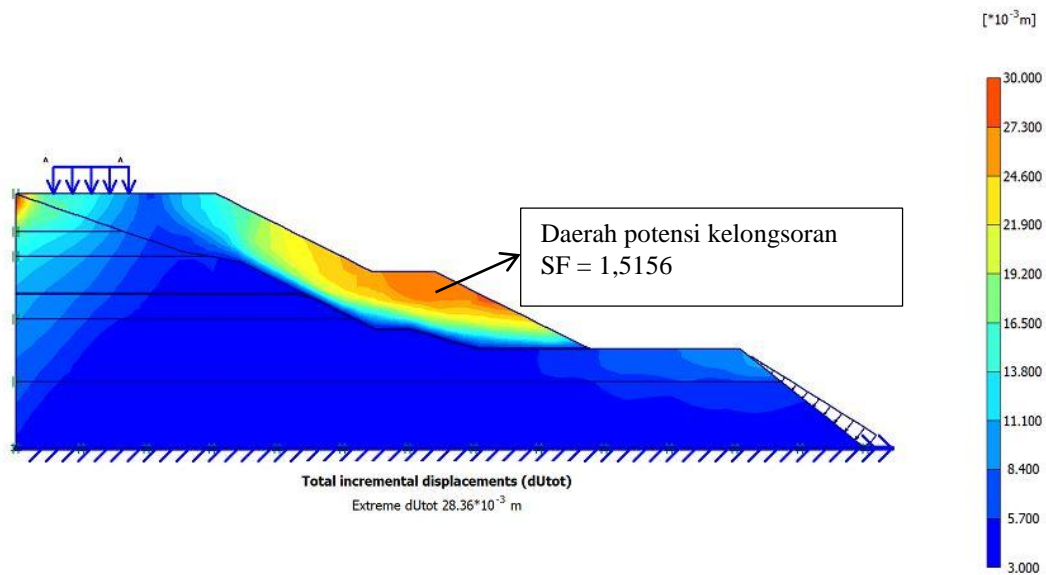
kelongsoran menjadi lebih luas dikarenakan adanya beban gempa yang dinamik pada lereng. Adapun potensi kelongsoran pada lereng geometri baru dengan dan tanpa beban gempa dapat dilihat pada Gambar 5.29 dan Gambar 5.31. Dan untuk nilai *Safety Factor* dapat dilihat pada Gambar 5.30 dan Gambar 5.32.



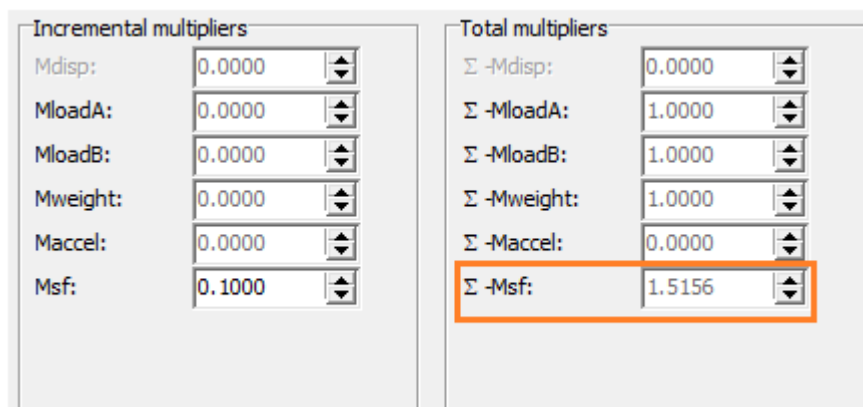
Gambar 5. 29 Potensi Kelongsoran Lereng Geometri Baru Tanpa Beban Gempa

Incremental multipliers		Total multipliers	
Mdisp:	0.0000	Σ -Mdisp:	0.0000
MloadA:	0.0000	Σ -MloadA:	1.0000
MloadB:	0.0000	Σ -MloadB:	1.0000
Mweight:	0.0000	Σ -Mweight:	1.0000
Maccel:	0.0000	Σ -Maccel:	0.0000
Msf:	0.1000	Σ -Msf:	1.5709

Gambar 5. 30 Nilai *Safety Factor* Lereng Geometri Baru Tanpa Beban Gempa



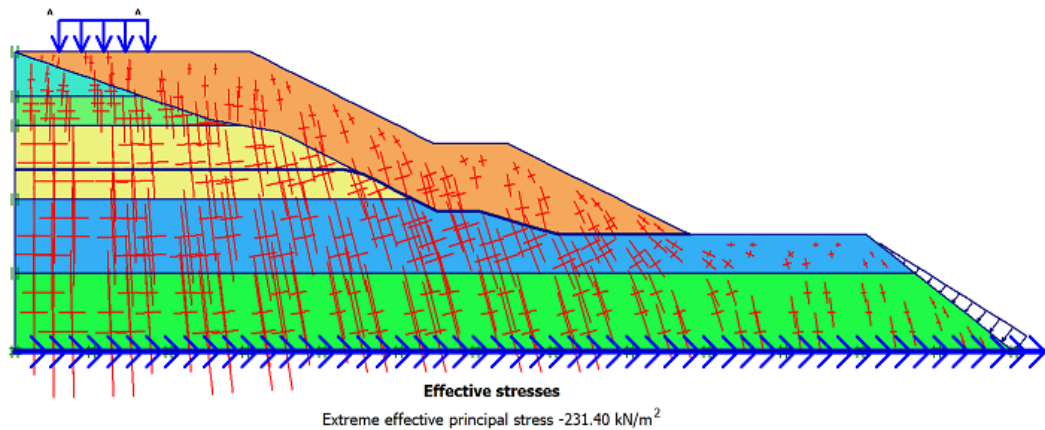
Gambar 5. 31 Potensi Kelongsoran Lereng Geometri Baru Dengan Beban Gempa



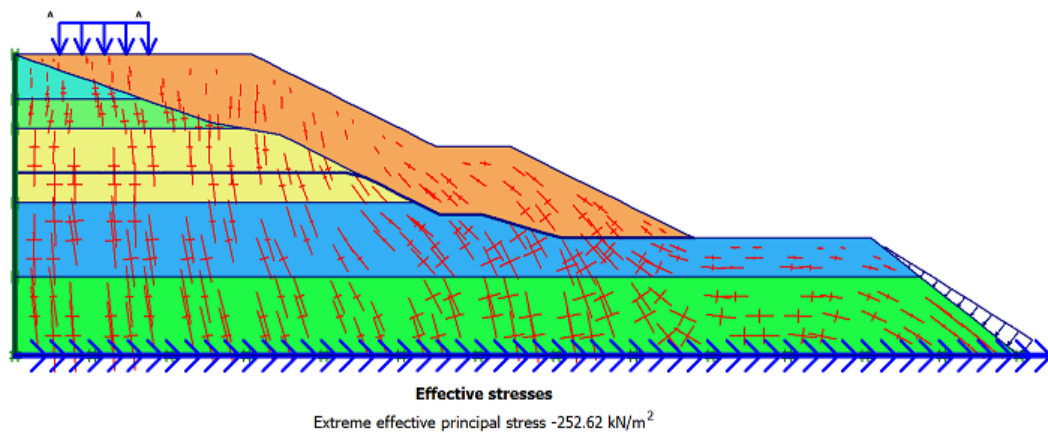
Gambar 5. 32 Nilai Safety Factor Lereng Geometri Baru Dengan Beban Gempa

Effective Stresses pada lereng geometri baru ditunjukkan oleh garis-garis merah, yang semakin kebawah semakin banyak, hal tersebut menunjukkan makin kebawah maka makin besar nilai *effective stresses*. Pengaruh beban gempa terlihat pada gambar hasil analisis, dengan bentuk garis merah yang tidak beraturan. Beban gempa memiliki pengaruh pada nilai tegangan efektifnya, nilai *effective stresses* pada lereng geometri baru tanpa beban gempa adalah $-231,40 \text{ kN/m}^2$, dan nilai *effective stresses* pada lereng geometri baru dengan beban gempa adalah $-252,62$

kN/m^2 . Adapun *effective stresses* pada lereng geometri baru tanpa dan dengan beban gempa dapat dilihat pada Gambar 5.33 dan Gambar 5.34.

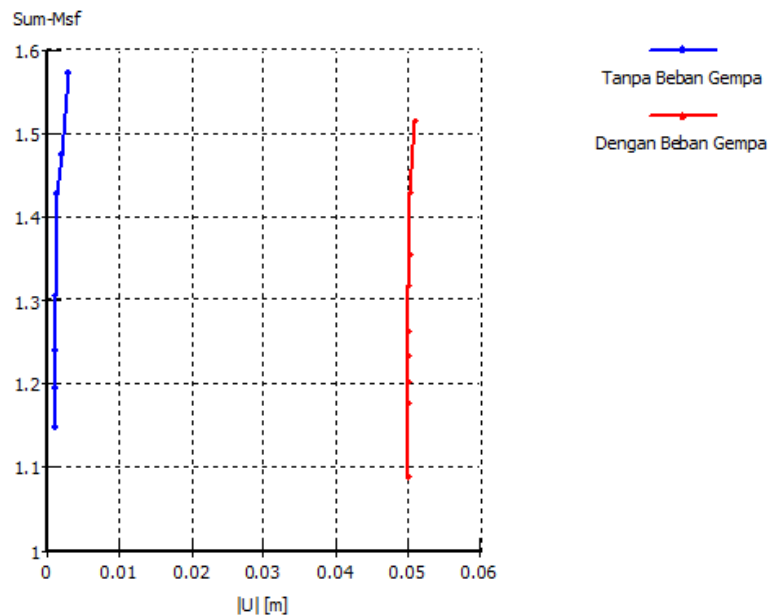


Gambar 5. 33 *Effective Stresses* Lereng Geometri Baru Tanpa Beban Gempa



Gambar 5. 34 *Effective Stresses* Lereng Geometri Baru Dengan Beban Gempa

Berdasarkan analisis menggunakan program Plaxis 8.6 nilai *safety factor* pada lereng geometri baru tanpa beban gempa diperoleh sebesar 1,5709, dan pada lereng geometri baru dengan beban gempa diperoleh sebesar 1,5156. Berdasarkan kedua nilai *safety factor* tersebut lereng sudah dikatakan aman dan mampu menahan kelongsoran dikarenakan memiliki *safety factor* lebih dari 1,25. Adapun Nilai *safety factor* lereng geometri baru dengan dan tanpa beban gempa dapat dilihat pada Gambar 5.35.



Gambar 5. 35 Nilai *Safety Factor* Lereng Geometri Baru

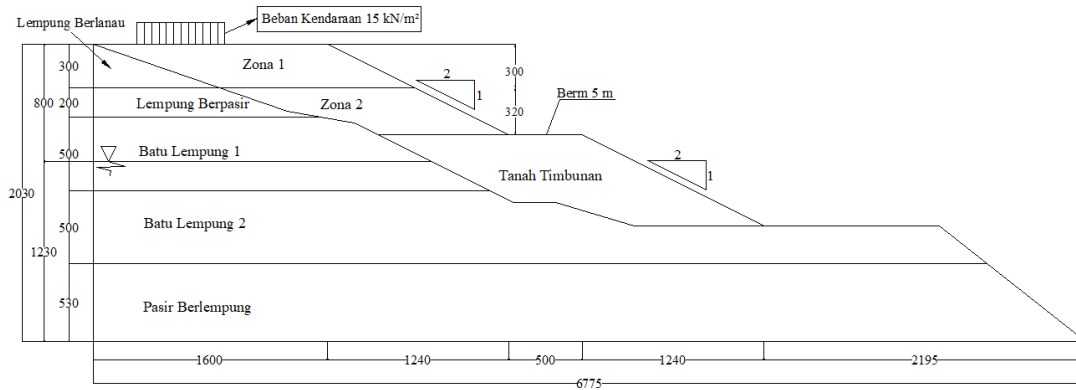
5.4 Lereng Geometri Baru Dengan Perkuatan Geotekstil

Guna menaikkan *Safety Factor* lereng pada jalan Trenggalek-Ponorogo perlu dilakukan suatu pekerjaan konstruksi perkuatan lereng yang dapat menahan kelongsoran. Dalam tugas akhir ini akan dilakukan analisis perkuatan lereng menggunakan perkuatan geotekstil.

Berdasarkan Hardiyatmo (2008), geotekstil merupakan material lembaran yang terbuat dari bahan tekstil polymeric, bersifat lolos air, yang dapat berbentuk bahan nir-anyam (*non woven*), rajutan atau anyam (*woven*) yang digunakan dengan tanah/batu dan/atau material geoteknik yang lain di dalam aplikasi teknik sipil. Ketika kain tekstil ini diletakkan di dalam tanah, maka disebut geotekstil. Jenis geotekstil yang digunakan adalah geotekstil woven UW-250 produksi PT. Tekindo Geosistem Unggul.

Metode yang digunakan dalam tugas akhir ini adalah metode zone per zone, pemilihan jumlah zona dipengaruhi oleh ketinggian lereng, dikarenakan tinggi lereng sudah melebihi 6 m, maka lereng tanah timbunan dibagi menjadi dua bagian yaitu zone 1 dan zone 2. Berdasarkan potensi kelongsoran pada Gambar 5.31 dan Gambar 5.33 peletakan geotekstil dilakukan pada timbunan bagian atas. Adapun

desain peletakan geotekstil pada lereng geometri baru dapat dilihat pada Gambar 5.36.



Gambar 5. 36 Lereng Geometri Baru Dengan Perkuatan Geotekstil

Dalam merencanakan suatu perkuatan geotekstil, perlu dilakukan perhitungan gaya-gaya yang bekerja pada geotekstil, dan perlu dilakukan analisis terhadap stabilitas eksternal dan internal pada geotekstil, sehingga geotekstil menjadi lebih stabil. Data tanah timbunan yang digunakan adalah data tanah timbunan dari Tugas Akhir Wicaksono (2016). Adapun data yang digunakan dalam menghitung perkuatan geotekstil adalah sebagai berikut.

1. Tanah Timbunan

- a. Berat volume tanah (γ_b) : 15,3 kN/m³
- b. Berat volume tanah (sat) : 17,1 kN/m³
- c. Sudut Gesek Dalam (ϕ) : 30 °
- d. Kohesi (c) : 10 kN/m²
- e. Kemiringan lereng : 27 °

2. Data Geotekstil

- a. Jenis geotekstil : Geotekstil *woven* UW-250
- b. Kuat Tarik ultimate : 52 kN/m
- c. Kekakuan Normal : 260 kN/m

Untuk koefisien daya dukung dapat dilihat pada Tabel 5.2

Tabel 5. 2 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

Perhitungan geotekstil menggunakan program *Microsoft Excel* sehingga angka-angka yang tertulis apabila dihitung secara manual akan menghasilkan angka yang tidak 100% sama.

5.4.1 Stabilitas Eksternal

1. Menentukan jarak vertical antar geotekstil (SV)

Beban merata kendaraan = 15 kN/m digunakan *safety factor* = 1.5

$$K_a = \cos \beta \left(\frac{\cos \beta - \sqrt{\cos^2 \beta - \cos^2 \emptyset}}{\cos \beta + \sqrt{\cos^2 \beta - \cos^2 \emptyset}} \right)$$

$$K_a = \cos 27 \left(\frac{\cos 27 - \sqrt{\cos^2 27 - \cos^2 30}}{\cos 27 + \sqrt{\cos^2 27 - \cos^2 30}} \right) = 0,552$$

a. Zone 1

$$\sigma_{hc 1} = (q \times k_a) + (k_a \times H_1 \times \gamma b) - (2 \times c \times \sqrt{k_a})$$

$$= (15 \times 0,552) + (0,552 \times 3 \times 15,3) - (2 \times 10 \times \sqrt{0,552})$$

$$= 18,757 \text{ kN/m}^2$$

$$Sv1 = \frac{Ta}{\sigma_{hc} \times SF} = \frac{26}{18,757 \times 1,5} = 0,924 \text{ m}$$

Dilapangan dipasang $Sv1 = 1 \text{ m}$

Banyaknya lapis geotekstil = $3/1 = 3$ lembar

Diambil = 3 lembar

b. Zone 2

$$\sigma_{hc} 1 = (ka \times H1 \times \gamma b) - (2 \times c \times \sqrt{ka})$$

$$= (0,552 \times 6,2 \times 15,3) - (2 \times 10 \times \sqrt{0,552})$$

$$= 37,503 \text{ kN/m}^2$$

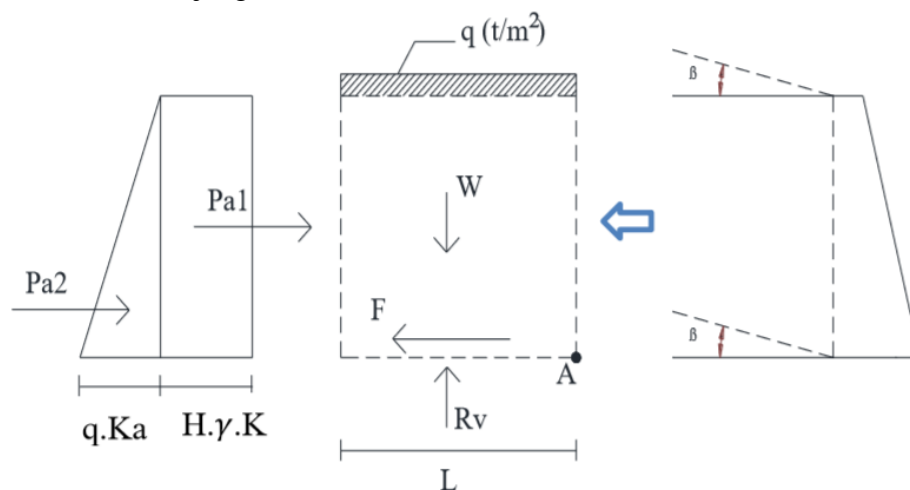
$$Sv1 = \frac{Ta}{\sigma_{hc} \times SF} = \frac{26}{37,053 \times 1,5} = 0,462 \text{ m}$$

Dilapangan dipasang $Sv1 = 0,8 \text{ m}$

Banyaknya lapis geotekstil = $3,2/0,8 = 4$ lembar

Diambil = 4 lembar

2. Menentukan Panjang Geotekstil



Gambar 5. 37 Gaya-Gaya Yang Bekerja Pada Geotekstil

a. Stabilitas terhadap guling

$$SF = \frac{\Sigma MR}{\Sigma MD} = \frac{\text{Momen melawan}}{\text{Momen penggulingan}} \geq 1.5$$

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

$$\Sigma MR = \left((0,5 \times \gamma b \times H) + (q \times 0,5) \right) \times L^2$$

$$SF = \frac{\left(15 \times 0,55 \times \frac{1}{2} \times 6,2^2 \right) + \left(\frac{1}{2} \times 0,55 \times 15,3 \times 6,2^2 \times \frac{1}{3} \times 6,2 \right) - \left(2 \times 10 \times \sqrt{0,55} \times \frac{1}{2} \times 6,2^2 \right)}{\left((0,5 \times 15,3 \times 6,2) + (15 \times 0,5) \right) \times L^2}$$

$$SF = \frac{54,93L^2}{208,68}$$

$$L^2 = \frac{(208,68 \times 1,5)}{54,93} = 5,699$$

$$L = 2,387 \text{ m}$$

Diambil panjang geotekstil = 3 m

b. Stabilitas terhadap geser

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

Tahanan geser pada dasar perkuatan ($\delta b = 2/3 \times 30^\circ = 20^\circ$)

$$SF = \frac{L \times ((6,2 \times 15,3) + 15) \times \text{tg } 20^\circ}{(0,5 \times 6,2^2 \times 0,552) + (15 \times 0,552 \times 6,2) - (2 \times 10 \times \sqrt{0,552} \times 6,2)}$$

$$SF = \frac{39,986 L}{121,533}$$

$$L = \frac{121,533 \times 1,5}{39,986} = 4,559$$

Diambil panjang geotekstil = 5 m

c. Eksentrisitas

$$e = \frac{\Sigma MD}{Rv} = \frac{\left(Pq \times \frac{1}{2} H \right) + \left(Ps \times \frac{1}{3} H \right) - \left(Pk \times \frac{1}{2} H \right)}{(H \times \gamma b \times L) + (q \times L)}$$

Resultan gaya yang bekerja pada teras

$$\frac{1}{6} L \geq \frac{\left(q \times ka \times \frac{1}{2} \times H^2 \right) + \left(\frac{1}{2} \times ka \times \gamma b \times H^2 \times \frac{1}{3} \times H \right) - \left(2 \times c \times \sqrt{ka} \times \frac{1}{2} \times H^2 \right)}{(H \times \gamma b \times L) + (q \times L)}$$

$$\frac{1}{6} L \geq \frac{\left(15 \times 0,55 \times \frac{1}{2} \times 6,2^2 \right) + \left(\frac{1}{2} \times 0,55 \times 15,3 \times 6,2^2 \times \frac{1}{3} \times 6,2 \right) - \left(2 \times 10 \times \sqrt{0,55} \times \frac{1}{2} \times 6,2^2 \right)}{(6,2 \times 15,3 \times L) + (15 \times L)}$$

$$109,86 L^2 \geq 208,68$$

$$L^2 = 11,397 \text{ m}$$

$$L = 3,376 \text{ m}$$

Diambil panjang geotekstil = 4 m

d. Tinjauan terhadap daya dukung pondasi

Digunakan SF = 2

$$N_c = 30,14$$

$$N_\gamma = 22,14$$

$$L \leq \frac{\sigma_{ult}}{H \times \gamma_b \text{ timb.} + q}$$

$$\begin{aligned} q_{ult} &= c \times N_c + 0,5 \times L \times \gamma_b \times N_\gamma \\ &= 10 \times 30,14 + 0,5 \times L \times 15,3 \times 22,14 \\ &= 301,4 + 171,36 L \end{aligned}$$

Maka,

$$\begin{aligned} \sigma_{ult} &= q_{ult} \times SF \\ &= (301,4 + 171,36 L) \times 1,5 \\ &= 452,1 + 257,04 L \end{aligned}$$

$$L \leq \frac{452,1 + 257,04 L}{6,2 \times 15,3 \times 15}$$

$$14229 L \leq 452,1 + 257,04 L$$

$$L = \frac{452,1}{(14229 - 257,04)} = 0,387 \text{ m}$$

Digunakan panjang geotekstil = 0,5 m

Berdasarkan empat jenis stabilitas eksternal, digunakan panjang paling besar yaitu 5 meter. Panjang 5 meter merupakan panjang minimum yang digunakan pada geometri lereng agar mampu menahan keempat stabilitas eksternal, akan tetapi panjang tersebut belum melawati garis potensi kelongsoran pada Gambar 5.29 sepanjang 6 meter, maka digunakan panjang geotekstil sebesar 7 meter, agar geotekstil mampu menyalurkan gaya ke tanah pasif.

5.4.2 Stabilitas Internal

1. Panjang geotekstil *overlapping*

$$L_o = \frac{\sigma_{hci} \times S_{vi} \times SF}{2 \times \gamma_b \times z_i \times \text{tg } \emptyset}$$

Zone A1 pada geotekstil no. 1

$$\sigma_{hc 1} = 18,757 \text{ kN/m}^2$$

$$SF = 1,5$$

$$Sv1 = 1 \text{ m}$$

$$Z1 = 3 \text{ m}$$

$$Lo = \frac{18,757 \times 1 \times 1,5}{2 \times 15,3 \times 3 \times \text{tg } 30} = 0,53 \text{ m}$$

Karena panjang *overlapping* minimum 1 meter, maka panjang *overlapping* diambil 1 m. Hasil rekapitulasi perhitungan *Lo* dapat dilihat pada Tabel 5.4.

Tabel 5. 3 Rekapitulasi Panjang Overlapping Geotekstil

Zona	Geotekstil	Svi (m)	Zi (m)	Lo (m)	Lo pakai (m)
Zona 1	Geotekstil no 1	1,00	3	0,53	1
	Geotekstil no 2	1,00	3	0,53	1
	Geotekstil no 3	1,00	3	0,53	1
Zona 2	Geotekstil no 4	0,80	6,2	0,41	1
	Geotekstil no 5	0,80	6,2	0,41	1
	Geotekstil no 6	0,80	6,2	0,41	1
	Geotekstil no 7	0,80	6,2	0,41	1

2. Panjang efektif geotekstil

$$Le = \frac{SF \times Svi \times ka \times \gamma b \times zi}{2 \times \gamma b \times zi \times \text{tg } \emptyset}$$

Zone 1 pada geotekstil no.1

$$Le = \frac{1,5 \times 1 \times 0,552 \times 15,3 \times 3}{2 \times 15,3 \times 3 \times \text{tg } 30} = 0,7 \text{ m}$$

Karena panjang *Le* minimum 1 meter, maka panjang *Le* diambil 1 m. Hasil rekapitulasi perhitungan *Le* dapat dilihat pada Tabel 5.8.

Tabel 5. 4 Rekapitulasi Panjang Efektif Geotekstil.

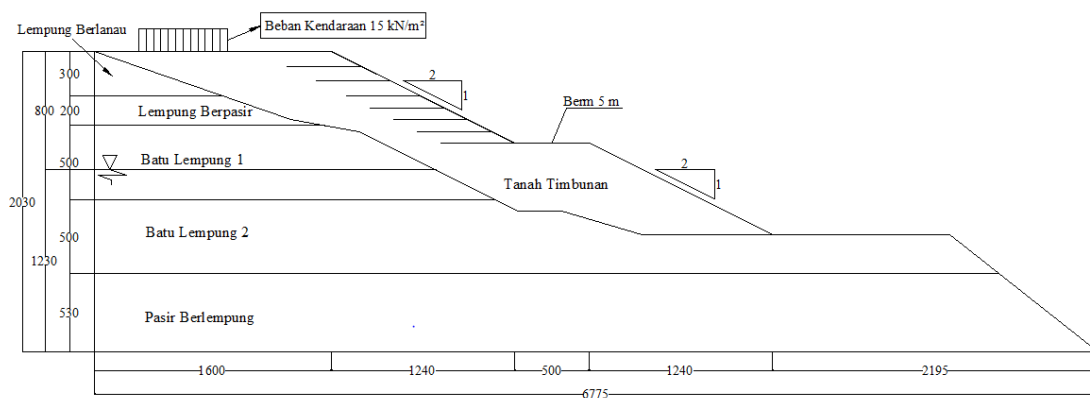
Zona	Geotekstil	Le (m)	Le Pakai (m)
Zona 1	Geotekstil no 1	0,7	1
	Geotekstil no 2	0,7	1
	Geotekstil no 3	0,7	1
Zona 2	Geotekstil no 4	0,6	1
	Geotekstil no 5	0,6	1
	Geotekstil no 6	0,6	1
	Geotekstil no 7	0,6	1

Setelah memperhitungkan panjang geotekstil berdasarkan stabilitas eksternal dan internal, selanjutnya menghitung kemampuan geotekstil dalam menahan kuat tarik akibat tanah. Kuat tarik akibat tanah pada geotekstil terjadi saat geotekstile menerima beban dari atas (*soil embankment*) maka geotekstile akan terjadi perlawanan dengan menegang dan mentransfer tegangan tersebut ke daerah pasif. Sehingga geotekstile mampu menahan gaya tarik yang bekerja akibat diberikan beban tersebut. Untuk itu keperluan perencanaan jenis geotekstile yang mampu menahan gaya tarik tersebut perlu dilakukan pengecekan terhadap gaya tariknya. Untuk menghitung kuat tarik geotekstil, gunakan nilai Svi paling dasar, yaitu pada zona 2 dengan Svi 0,8 meter. Adapun perhitungan gaya tarik yang bekerja pada geotekstil adalah sebagai berikut.

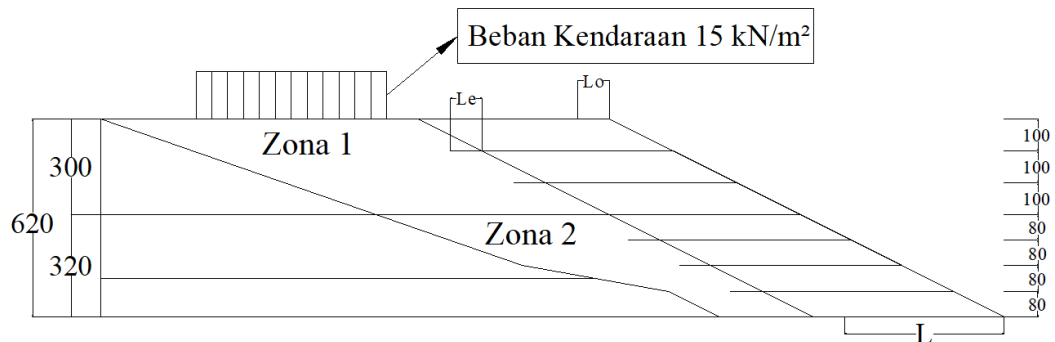
Gaya tarik yang bekerja pada geotekstil

$$\begin{aligned}
 T &= tg \ \emptyset \times 2 \times \sigma n \times b \times L \\
 &= tg \ 30 \times 2 \times (0,5 \times 0,8 \times 15,3) \times 1 \times 7 \\
 &= 49,47 \text{ kN}
 \end{aligned}$$

Berdasarkan perhitungan diatas didapatkan nilai kuat tarik maksimum pada geotekstil sebesar 49,47 kN. Nilai tersebut masih berada dibawah nilai kuat tarik ultimate dari geotekstil sebesar 52 kN/m, maka geotekstil aman dalam menahan kuat tarik. Adapun desain lereng geometri baru dengan perkuatan geotekstil dapat dilihat pada Gambar 5.38 dan detail pemasangan dapat dilihat pada Gambar 5.39



Gambar 5. 38 Lereng Geometri Baru Dengan Perkuatan Geotekstil



Gambar 5. 39 Detail Pemasangan Geotekstil Pada Lereng Geometri Baru

Lereng geometri baru dengan perkuatan geotekstil di analisis menggunakan program Plaxis 8.6. Adapun input parameter tanah dan input parameter geotekstil dapat dilihat pada Tabel 5.5 dan Tabel 5.6.

Tabel 5. 5 Parameter Tanah Lereng Geometri Baru Dengan Perkuatan Geotekstil

Satuan	Lempung Berlanau	Lempung Berpasir	Batu Lempung 1	Batu Lempung 2	Pasir Berlempung	Tanah Timbunan
kN/m ³	15,3	15,1	15,5	17,2	18,7	15,3
kN/m ³	17,1	17,1	17,5	19,0	20,3	17,1
kN/m ²	9958	8426	10724	35236	45960	10000
-	0,4	0,35	0,35	0,3	0,2	0,3
kN/m ²	10	10	28	31	50	10
°	15	30	20	30	35	30
m/hari	0,00004	0,00048	0,00004	0,00048	0,00043	0,0004
m/hari	0,00004	0,00048	0,00004	0,00048	0,00043	0,0004

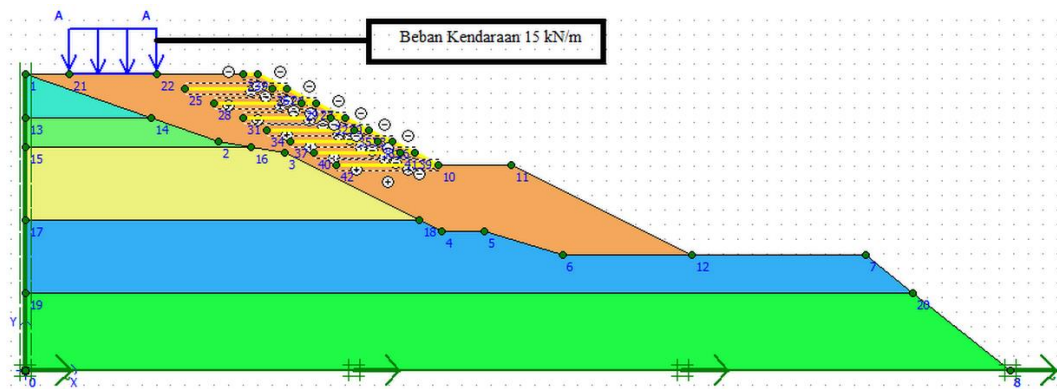
Tabel 5. 6 Parameter Input Geotekstil

Parameter	Notasi	Nilai	Satuan
Kekakuan Normal	EA	260	kN/m

Sumber : PT. Tekindo Geosistem Unggul (2018)

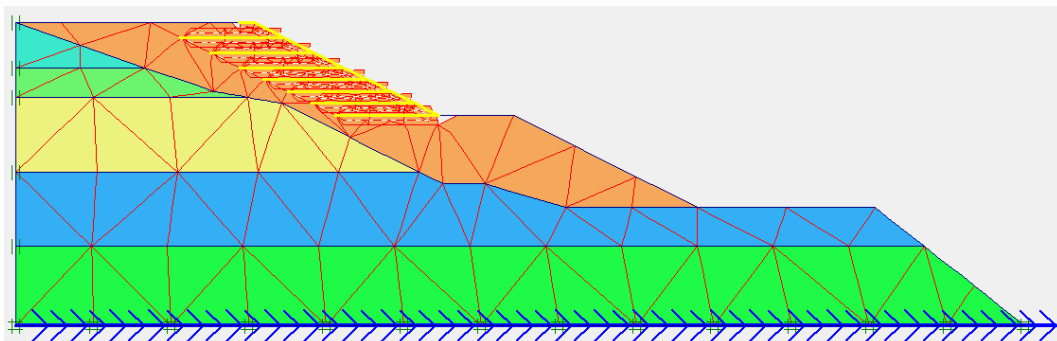
Lereng geometri baru dengan perkuatan geotekstil dimodelkan secara dua dimensi menggunakan program Plaxis 8.6, dengan memasukan beban kendaraan dan beban gempa dinamik, pemodelan dilakukan dengan dua variasi, yaitu dengan

dan tanpa beban gempa. Adapun pemodelan lereng baru perkuatan geotekstil dapat dilihat pada Gambar 5.40.



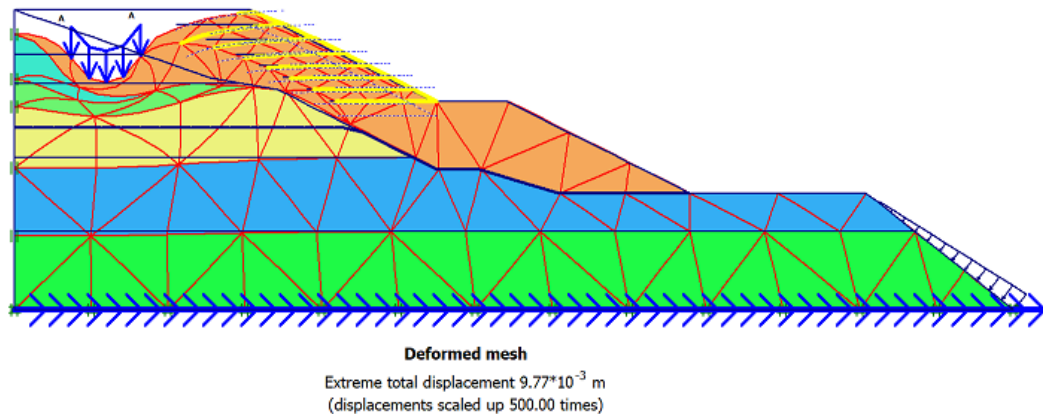
Gambar 5. 40 Pemodelan Lereng Geometri Baru Perkuatan Geotekstil Dalam Plaxis 8.6

Selanjutnya dilakukan penyusunan jaringan elemen (*meshing*), adapun *meshing* pada lereng geometri baru perkuatan geotekstil dapat dilihat pada Gambar 5.41

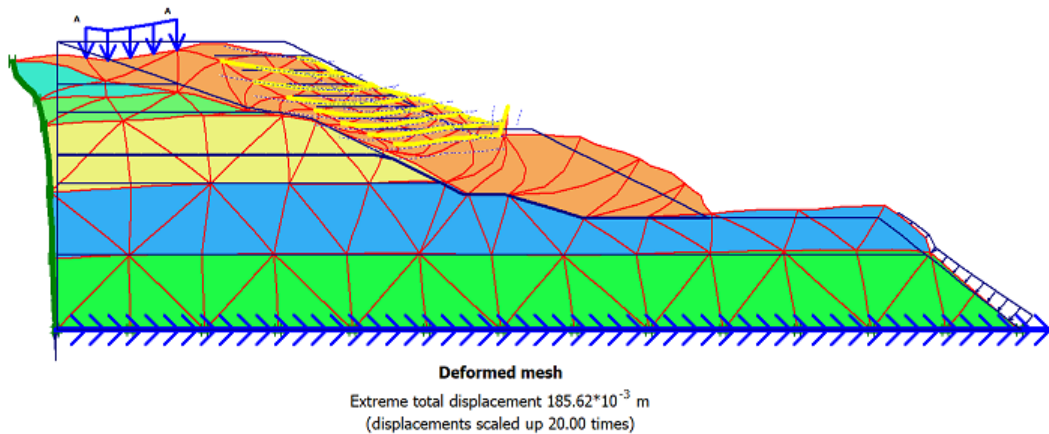


Gambar 5. 41 Meshing Pada Lereng Geometri Baru Perkuatan Geotekstil

Hasil dari *deformed mesh* terlihat dengan adanya perubahan jarring elemen menjadi tidak beraturan, perbedaan *deformed mesh* terlihat antara lereng geometri baru perkuatan geotekstil dengan beban gempa dan tanpa beban gempa. *Deformed Mesh* pada pemodelan tanpa beban gempa lebih dominan vertical, sedangkan *deformed mesh* pada pemodelan dengan beban gempa cenderung tidak beraturan akibat beban gempa. Adapun hasil *deformed mesh* pada lereng geometri baru perkuatan geotekstil tanpa dan dengan beban gempa dapat dilihat pada Gambar 5.42 dan Gambar 5.43



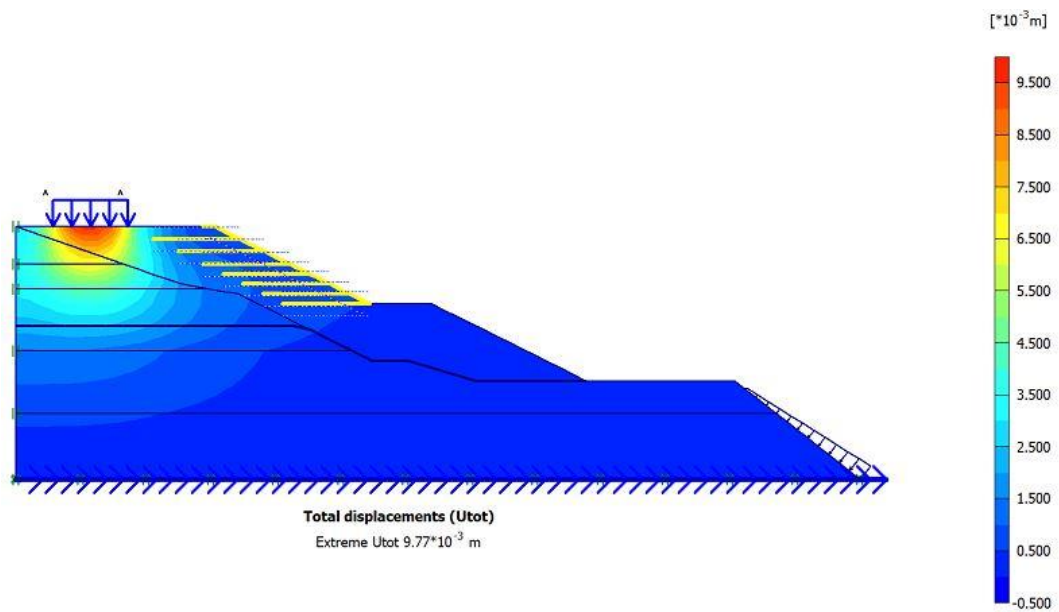
Gambar 5. 42 Deformed Mesh Pada Lereng Geometri Baru Perkuatan Geotekstil Tanpa Beban Gempa



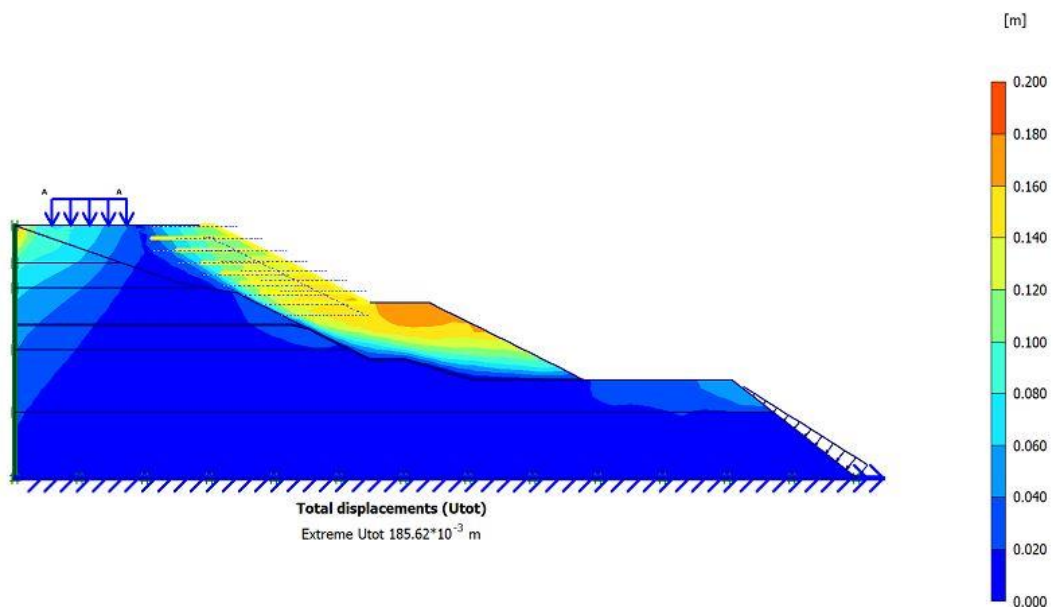
Gambar 5. 43 Deformed Mesh Pada Lereng Geometri Baru Perkuatan Geotekstil Dengan Beban Gempa

Perbedaan terlihat pada *displacement* antara lereng geometri baru perkuatan geotekstil tanpa dan dengan beban gempa. Pada pemodelan lereng tanpa beban gempa, *displacement* terjadi pada lapis timbunan dibawah beban kendaraan, hal tersebut ditunjukkan dengan adanya warna merah, warna merah memiliki nilai *displacement* yang besar, kemudian bergradasi menuju warna biru yang memiliki nilai *displacement* kecil. Sedangkan pada pemodelan lereng dengan beban gempa, *displacement* terjadi pada tepi kanan lereng dengan adanya warna merah kuning. Nilai *displacement* pada pemodelan tanpa beban gempa yaitu $9,77 \times 10^{-3}$ meter dan nilai *displacement* pada pemodelan dengan beban gempa yaitu $185,62 \times 10^{-3}$ meter. Nilai *displacement* lebih besar terjadi pada pemodelan dengan beban gempa.

Adapun hasil *total displacement* pada lereng geometri baru perkuatan geotekstil tanpa dan dengan beban gempa dapat dilihat pada Gambar 5.44 dan Gambar 5.45

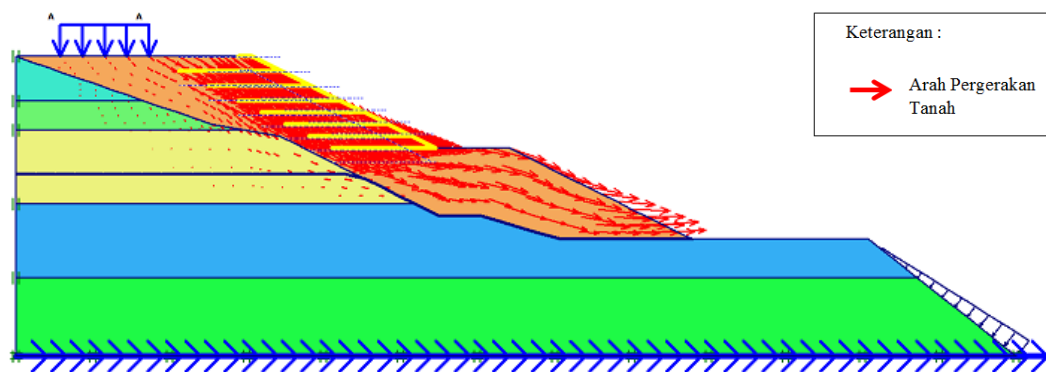


Gambar 5. 44 Total Displacement Pada Lereng Geometri Baru Perkuatan Geotekstil Tanpa Beban Gempa

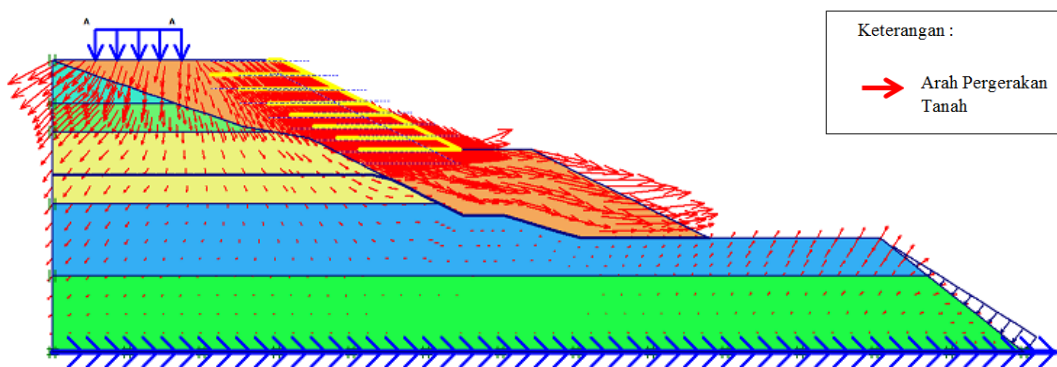


Gambar 5. 45 Total Displacement Pada Lereng Geometri Baru Perkuatan Geotekstil Dengan Beban Gempa

Perbedaan terlihat pada arah pergerakan tanah lereng geometri baru perkuatan geotekstil antara pemodelan tanpa gempa dan dengan gempa. Pada pemodelan lereng tanpa beban gempa, arah pergerakan tanah lebih menuju kebawah, dikarenakan beban kendaraan dan beban sendiri (*Gravity Load*). Sedangkan pada pemodelan lereng dengan beban gempa, arah pergerakan tanah lebih menuju kearah tepi kanan lereng. Arah pergerakan ditunjukkan dengan adanya panah merah pada gambar. Adapun arah pergerakan tanah pada lereng geometri baru tanpa dan dengan beban gempa dapat dilihat pada Gambar 5.46 dan Gambar 5.47



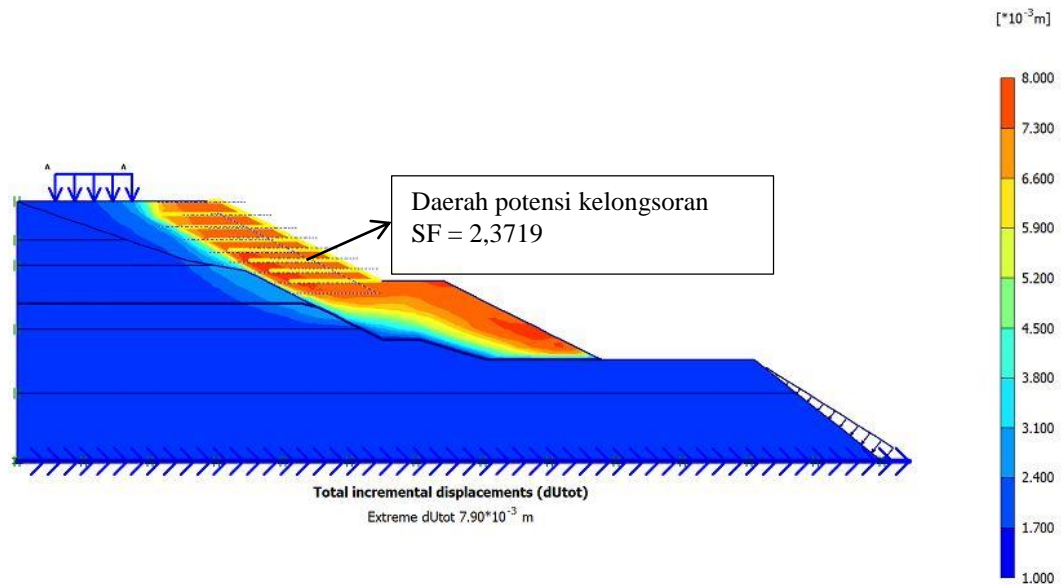
Gambar 5. 46 Pergerakan Tanah Pada Lereng Geometri Baru Tanpa Beban Gempa



Gambar 5. 47 Pergerakan Tanah Pada Lereng Geometri Baru Dengan Beban Gempa

Potensi kelongsoran memperlihatkan daerah dimana kemungkinan lereng mengalami kelongsoran, pada hasil analisis plaxis lereng geometri baru perkuatan geotekstil tanpa dan dengan beban gempa, keduanya memiliki potensi kelongsoran yang sama yaitu pada daerah tepi lereng, warna orange menunjukkan zona aktif

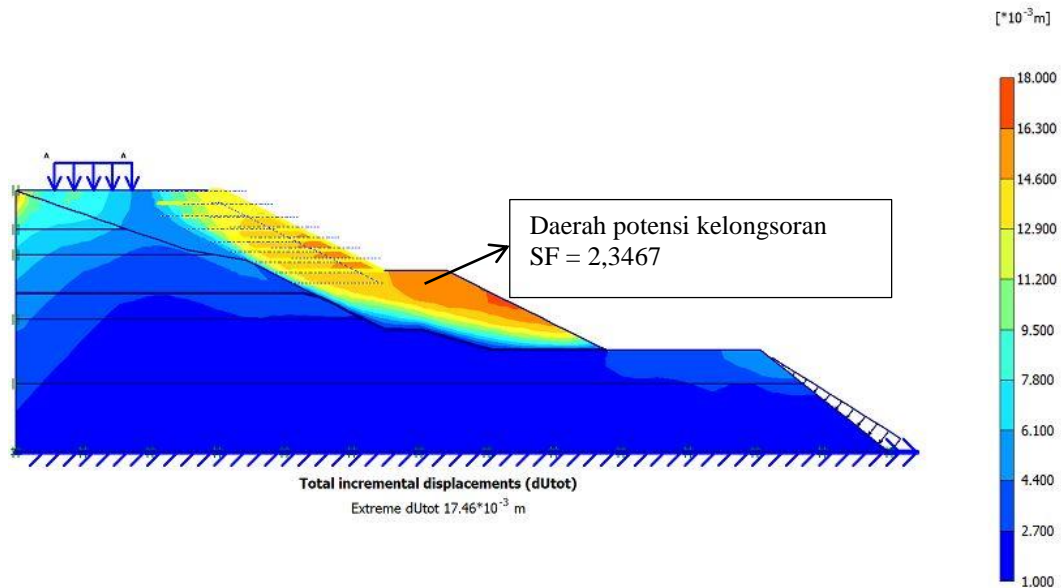
lereng. Adapun potensi kelongsoran pada lereng geometri baru tanpa dan dengan beban gempa dapat dilihat pada Gambar 5.48 dan Gambar 5.50. Untuk nilai *safety factor* dapat dilihat pada Gambar 5.49 dan Gambar 5.51.



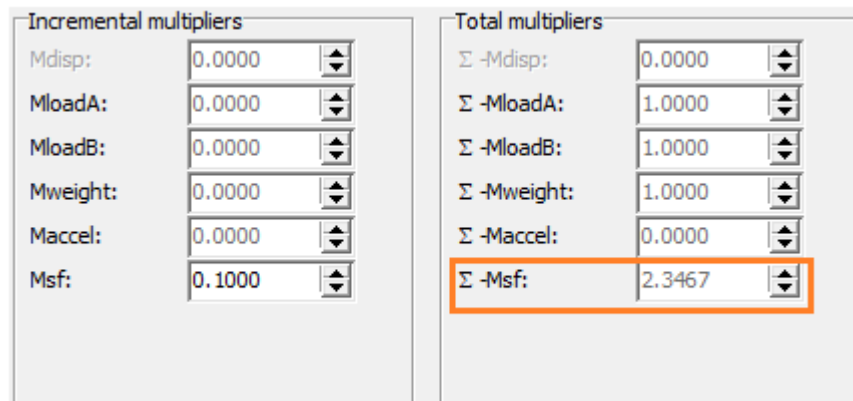
Gambar 5. 48 Potensi Kelongsoran Pada Lereng Geometri Baru Perkuatan Geotekstil Tanpa Beban Gempa

Incremental multipliers		Total multipliers	
Mdisp:	0.0000	Σ -Mdisp:	0.0000
MloadA:	0.0000	Σ -MloadA:	1.0000
MloadB:	0.0000	Σ -MloadB:	1.0000
Mweight:	0.0000	Σ -Mweight:	1.0000
Maccel:	0.0000	Σ -Maccel:	0.0000
Msf:	0.1000	Σ -Msf:	2.3719

Gambar 5. 49 Nilai Safety Factor Pada Lereng Geometri Baru Perkuatan Geotekstil Tanpa Beban Gempa



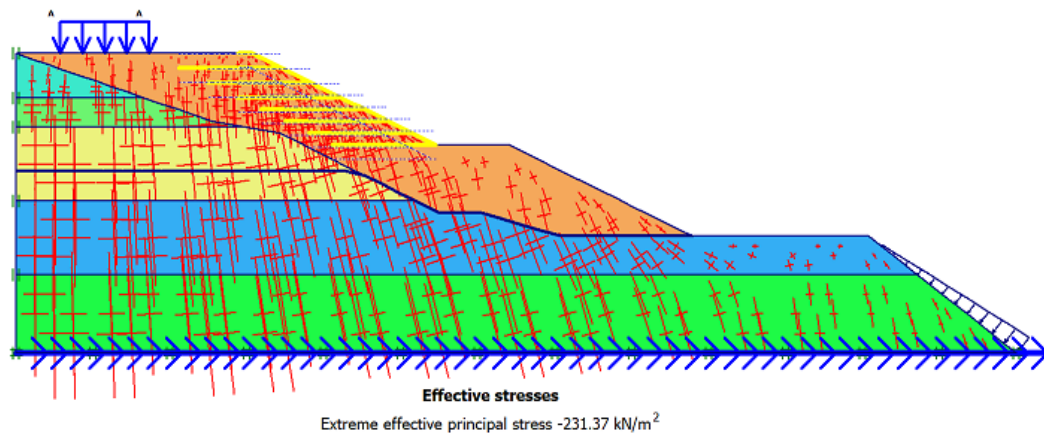
Gambar 5. 50 Potensi Kelongsoran Pada Lereng Geometri Baru Perkuatan Geotekstil Dengan Beban Gempa



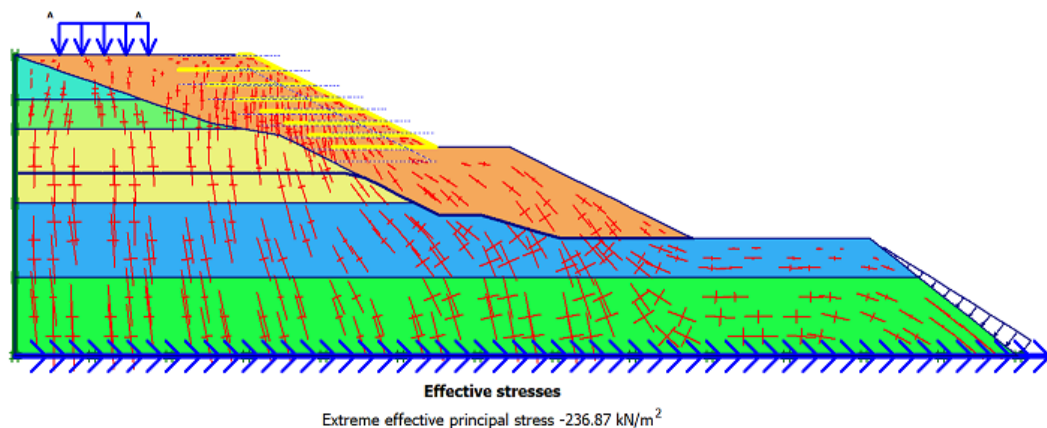
Gambar 5. 51 Nilai *Safety Factor* Pada Lereng Geometri Baru Perkuatan Geotekstil Dengan Beban Gempa

Effective Stresses atau tegangan efektif pada tanah menunjukkan tegangan pada tanah. Pada hasil analisis ditunjukkan oleh garis-garis berwarna merah, yang makin kebawah makin banyak. Makin banyak garis-garis tersebut menunjukkan makin besarnya *effective stresses* tanah. Berdasarkan hasil analisis terdapat perbedaan antara pemodelan tanpa gempa dan dengan gempa, pada pemodelan dengan beban gempa *effective stresses* garis merah tampak lebih tidak beraturan. Nilai *effective stresses* pada pemodelan tanpa gempa $-231,37 \text{ kN/m}^2$ dan pada pemodelan dengan gempa $-236,87 \text{ kN/m}^2$. Adapun *effective stresses* pada lereng

geometri baru perkuatan geotekstil tanpa dan dengan beban gempa dapat dilihat pada Gambar 5.52 dan Gambar 5.53.

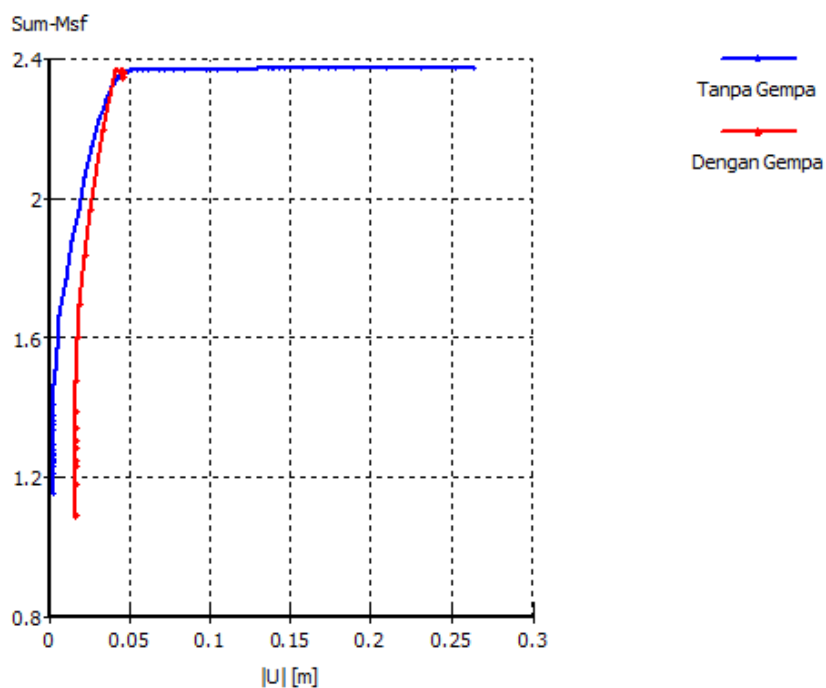


Gambar 5. 52 *Effective Stresses* Pada Lereng Geometri Baru Perkuatan Geotekstil Tanpa Beban Gempa



Gambar 5. 53 *Effective Stresses* Pada Lereng Geometri Baru Perkuatan Geotekstil Dengan Beban Gempa

Berdasarkan analisis menggunakan program Plaxis 8.6 nilai *safety factor* pada lereng geometri baru perkuatan geotekstil tanpa beban gempa diperoleh sebesar 2,3719, dan pada lereng geometri baru perkuatan geotekstil dengan beban gempa diperoleh sebesar 2,3467. Berdasarkan kedua nilai *safety factor* tersebut lereng sudah dikatakan aman dan mampu menahan kelongsoran dikarenakan memiliki *safety factor* lebih dari 1.25. Adapun Nilai *safety factor* lereng geometri baru dengan dan tanpa beban gempa dapat dilihat pada Gambar 5.54.

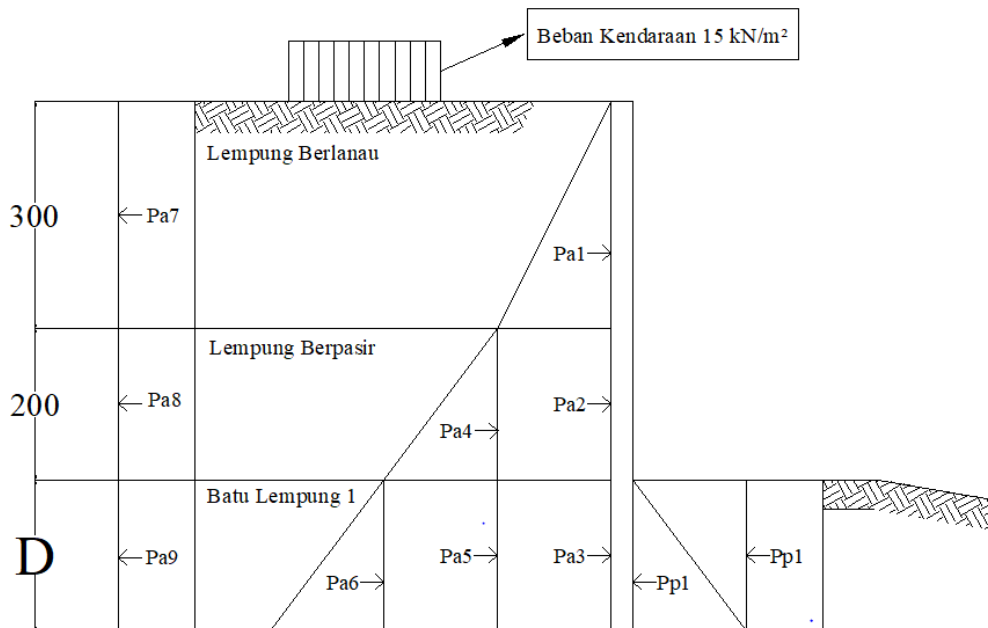


Gambar 5. 54 Nilai Safety Factor Lereng Geometri Baru Perkuatan Geotekstil

5.5 Lereng Dengan Perkuatan Turap

Selain menggunakan perkuatan geotekstil, guna menaikkan *safety factor* pada lereng, pada tugas akhir ini juga dilakukan analisis perkuatan lereng menggunakan perkuatan turap.

Metode yang digunakan dalam tugas akhir ini adalah metode *simplified*, metode ini mangasumsikan tekanan aktif dan pasif menyebar sampai ke dasar turap. Metode ini lebih mudah digunakan dalam menentukan kedalaman dari turap berdasarkan tekanan tanah serta beban yang bekerja pada turap. Adapun distribusi gaya yang bekerja pada turap dapat dilihat pada Gambar 5.55



Gambar 5. 55 Distribusi Gaya Yang Bekerja Pada Turap

Perhitungan turap menggunakan program *Microsoft Excel* sehingga angka-angka yang tertulis apabila perhitungan secara manual akan menghasilkan angka yang tidak 100% sama. Adapun data parameter tanah dan beban dapat dilihat pada Tabel 5.1 dan Tabel 5.2

1. Analisis gaya yang bekerja pada turap

a. Koefisien tanah aktif (K_a)

$$\begin{aligned} \text{Tanah 1: } K_{a1} &= \tan^2\left(45^\circ - \left(\frac{\phi^0}{2}\right)\right) \\ &= \tan^2\left(45^\circ - \left(\frac{15^\circ}{2}\right)\right) \\ &= 0,589 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \text{Tanah 2 : } K_{a2} &= \tan^2\left(45^\circ - \left(\frac{\phi^0}{2}\right)\right) \\ &= \tan^2\left(45^\circ - \left(\frac{30^\circ}{2}\right)\right) \\ &= 0,333 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \text{Tanah 3: } K_{a3} &= \tan^2\left(45^\circ - \left(\frac{\phi^0}{2}\right)\right) \\ &= \tan^2\left(45^\circ - \left(\frac{20^\circ}{2}\right)\right) \\ &= 0,49 \end{aligned}$$

b. Koefisien tanah pasif (K_p)

$$\begin{aligned} \text{Tanah 3: } K_{p3} &= \tan^2\left(45^\circ + \left(\frac{\theta^\circ}{2}\right)\right) \\ &= \tan^2\left(45^\circ + \left(\frac{20^\circ}{2}\right)\right) \\ &= 2,04 \end{aligned}$$

2. Menghitung gaya yang bekerja pada turap

a. Gaya pada tanah aktif

$$\begin{aligned} Pa1 &= 0,5 \times Ka_1 \times \gamma_2 \times H_1^2 \\ &= 0,5 \times 0,589 \times 15,1 \times 3^2 \\ &= 40,52 \text{ kN} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} Pa2 &= 0,5 \times Ka_2 \times \gamma_1 \times H_1 \times H_2 \\ &= 0,5 \times 0,333 \times 15,1 \times 3 \times 2 \\ &= 30,58 \text{ kN} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} Pa7 &= -2 \times c \times \sqrt{ka_2} \times H_1 \\ &= -2 \times 10 \times \sqrt{0,589} \times 3 \\ &= -46,04 \text{ kN} \end{aligned}$$

b. Gaya pada tanah pasif

$$\begin{aligned} Pp1 &= 0,5 \times Kp_1 \times \gamma_2 \times H_D^2 \\ &= 0,5 \times 2,04 \times 15,5 \times D^2 \\ &= 17,86 D^2 \text{ kN} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} Pp2 &= -2 \times c \times \sqrt{kp_1} \times H_D \\ &= -2 \times 28 \times \sqrt{2,04} \times D \\ &= 79,98 D \text{ kN} \end{aligned}$$

Adapun rekapitulasi perhitungan seluruh gaya yang bekerja pada turap dapat dilihat pada Tabel 5.11.

3. Menghitung momen pada turap

a. Momen pada tanah aktif

$$\begin{aligned} Ma1 &= Pa2 \times \left(\left(\frac{1}{3} H_1\right) + H_2 + D\right) \\ &= 40,52 \times \left(\left(\frac{1}{3} \times 3\right) + 2 + D\right) \\ &= 40,52 D + 121,56 \text{ kNm} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 Ma_2 &= Pa_3 \times ((1/2 H_2) + D) \\
 &= 30,58 \times ((1/2 \times 2) + D) \\
 &= 30,58 D + 30,58 \text{ kNm} \\
 Ma_7 &= -Pa_8 \times ((1/2 H_1) + H_2 + D) \\
 &= -46,04 \times ((1/2 \times 3) + 2 + D) \\
 &= -46,04 D - 161,04 \text{ kNm}
 \end{aligned}$$

b. Momen pada tanah pasif

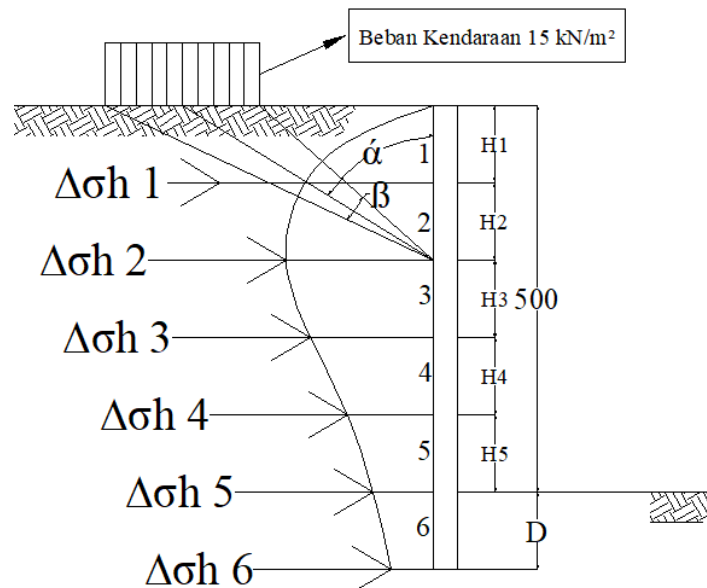
$$\begin{aligned}
 Mp_1 &= Pp_1 \times (1/3 D) \\
 &= 17,56 D^2 \times 0,33 D \\
 &= 5,95 D^3 \text{ kNm} \\
 Mp_2 &= Pp_2 \times (0,5 D) \\
 &= 79,98 D \times 0,5 D \\
 &= 39,99 D^2
 \end{aligned}$$

Adapun rekapitulasi perhitungan momen yang bekerja pada turap dapat dilihat pada Tabel 5.7.

Tabel 5. 7 Tabel Rekapitulasi Perhitungan Gaya Dan Momen Pada Turap

Tekanan Tanah	Rumus	Gaya	Lengan Momen	Momen
		(kN)	(m)	(kNm)
Aktif				
Pa1	$0,5 \cdot Ka_1 \cdot \gamma_1 \cdot H_1^2$	40,517	D+3	$40,52D + 121,55$
Pa2	$.Ka_2 \cdot \gamma_1 \cdot H_1 \cdot H_2$	30,584	D+1	$30,58D + 30,58$
Pa3	$(H_1 \cdot \gamma_1 + H_2 \cdot \gamma_2) Ka_3 D$	37,279D	0,5D	$18,64 D^2$
Pa4	$0,5 \cdot Ka_2 \cdot \gamma_2 \cdot H_2^2$	10,053	D+0,667	$10,05D + 6,7$
Pa5	$Ka_3 \cdot \gamma_2 \cdot H_2 \cdot D$	14,787D	0,5D	$7,39 D^2$
Pa6	$0,5 \cdot Ka_3 \cdot \gamma_3 \cdot D^2$	$3,793D^2$	0,33D	$1,26 D^3$
Pa7	$-2 \cdot c \cdot \sqrt{ka_1} H_1$	-46,040	D+3,5	$-46,04D - 161,14$
Pa8	$-2 \cdot c \cdot \sqrt{ka_2} H_2$	-23,094	D+1	$-23,09D - 23,09$
Pa9	$-2 \cdot c \cdot \sqrt{ka_3} D$	-39,212D	0,5D	$-19,61D^2$
Pasif				
Pp1	$0,5 \cdot Kp_3 \cdot \gamma_1 \cdot D^2$	$17,865D^2$	0,33D	$5,95D^3$
Pp2	$-2 \cdot c \cdot \sqrt{kp_3} D$	79,976D	0,5D	$39,99D^2$

Menghitung beban terbagi rata memanjang yang berupa kendaraan. Adapun tekanan tanah akibat beban kendaraan dapat dilihat pada Gambar 5.56.



Gambar 5. 56 Tekanan Tanah Akibat Beban Kendaraan

Dengan perhitungan sebagai berikut.

$$\begin{aligned}\Delta\sigma_h 1 &= \left(\frac{2q}{\pi}\right)(\text{rad } (\beta) - \sin(\text{rad } (\beta)) \cos(2 \text{ rad } (\alpha))) \\ &= \left(\frac{2 \cdot 15}{\pi}\right)(0,19 - \sin(0,19) \cos(2,55)) \\ &= 3,34 \text{ kN/m}^2\end{aligned}$$

$$\begin{aligned}\Delta\sigma_h 2 &= \left(\frac{2q}{\pi}\right)(\text{rad } (\beta) - \sin(\text{rad } (\beta)) \cos(2 \text{ rad } (\alpha))) \\ &= \left(\frac{2 \cdot 15}{\pi}\right)(0,28 - \sin(0,28) \cos(3,82)) \\ &= 3,82 \text{ kN/m}^2\end{aligned}$$

Adapun rekapitulasi perhitungan seluruh tegangan yang bekerja pada turap dapat dilihat pada Tabel 5.8.

Menghitung gaya pada tiap-tiap pias.

$$\begin{aligned}Pa 1 &= \left(\frac{\Delta\sigma_h 1}{2}\right) \times 1 \\ &= \left(\frac{3,34}{2}\right) \times 1 \\ &= 1,67 \text{ kN}\end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 Pa_2 &= \left(\frac{\Delta\sigma h_1 + \Delta\sigma h_2}{2} \right) \times 1 \\
 &= \left(\frac{3,34 + 3,82}{2} \right) \times 1 \\
 &= 3,58 \text{ kN}
 \end{aligned}$$

Adapun rekapitulasi perhitungan seluruh gaya yang bekerja pada turap dapat dilihat pada Tabel 5.8.

Menghitung momen pada pias

$$\begin{aligned}
 M1 &= Pa_1 \times \left(\left(\frac{1}{3} \times H1 \right) + H2 + H3 + H4 + H5 + D \right) \\
 &= 1,67 \times \left((0,5 \times 1) + 4 + D \right) \\
 &= 1,67D + 7,245 \text{ kNm}
 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 M2 &= Pa_2 \times \left(\left(\frac{(Pa_1 + 2Pa_2)H2}{3(Pa_1 + Pa_2)} \right) + H3 + H4 + H5 + D \right) \\
 &= 3,58 \times \left(\left(\frac{(1,67 + 2 \times 3,58)1}{3(1,67 + 3,58)} \right) + 3 + D \right) \\
 &= 3,58D + 12,54 \text{ kNm}
 \end{aligned}$$

Adapun rekapitulasi perhitungan seluruh momen yang bekerja pada turap dapat dilihat pada Tabel 5.8.

Tabel 5. 8 Rekapitulasi Perhitungan Gaya dan Momen Akibat Beban Merata

No	Rad α	Rad β	$\Delta\sigma h$	Gaya	Lengan Momen	Momen
			(kN/m ²)	(kN)	(m)	(kNm)
1	1,274	0,192	3,344	1,672	D+4,33	1,67D + 7,24
2	1,012	0,279	3,821	3,582	D+3,56	3,58D + 12,75
3	0,820	0,314	3,206	3,513	D+2,49	3,51D + 8,77
4	0,681	0,297	2,253	2,729	D+1,48	2,73D + 4,04
5	0,576	0,279	1,596	1,924	D+0,47	1,92D + 0,91
6	0,489	0,262	1,118	1,357	0,47D	0,64D ²

Berdasarkan hasil perhitungan didapatkan nilai momen pada turap sebagai berikut.

$$\Sigma M = 0$$

$$\Sigma M = \Sigma M_{aktif} - \Sigma M_{pasif} + M_{\sigma h}$$

$$8,326 + 25,44D - 32,92D^2 - 4,69D^3 = 0$$

$$D = 0,92 \text{ m}$$

Untuk keamanan nilai d_0 dikalikan dengan angka keamanan 1,5, sehingga $d = 1,5 d_0 = 1,5 \times 0,92 = 1,38 \approx 2$ m. Jadi panjang turap yang masuk ke tanah adalah 2 m, sehingga panjang turap yang dibutuhkan adalah $5 + 2 = 7$ m, akan tetapi berdasarkan table turap dari PT Adhi Persada Beton, panjang turap minimum tipe W-325 Class A yang dijual adalah 9 m, oleh sebab itu digunakan turap dengan panjang 9 m.

4. Kontrol Kekuatan turap

Setelah memperhitungkan nilai D , selanjutnya melakukan control kekuatan turap dengan mensubstitusi nilai D kedalam persamaan P_p dan P_a , sehingga dapat diketahui gaya yang bekerja pada turap sebenarnya. Adapun rekapitulasi perhitungan gaya sebenarnya pada turap dapat dilihat pada Tabel 5.9.

Tabel 5. 9 Tabel Rekapitulasi Perhitungan Gaya Sebenarnya Pada Turap

Tekanan Tanah	Rumus	Gaya
		KN
Aktif		
Pa1	$0,5 \cdot K_{a1} \cdot \gamma_1 \cdot H_1^2$	40,517
Pa2	$\cdot K_{a2} \cdot \gamma_1 \cdot H_1 \cdot H_2$	30,584
Pa3	$\cdot (H_1 \cdot \gamma_1 + H_2 \cdot \gamma_2) K_{a3} D$	149,116
Pa4	$0,5 \cdot K_{a2} \cdot \gamma_2 \cdot H_2^2$	10,053
Pa5	$K_{a3} \cdot \gamma_2 \cdot H_2 \cdot D$	59,148
Pa6	$0,5 \cdot K_{a3} \cdot \gamma_3 \cdot D^2$	60,688
Pa7	$-2 \cdot c \cdot \sqrt{ka_1} H_1$	-46,04
Pa8	$-2 \cdot c \cdot \sqrt{ka_2} H_2$	-23,094
Pa9	$-2 \cdot c \cdot \sqrt{ka_3} D$	-156,848
σ_h total	$(\frac{2q}{\pi})(\beta - \sin\beta \cos 2\alpha)$	18,85
Pasif		
Pp1	$0,5 \cdot K_{p1} \cdot \gamma_1 \cdot D^2$	285,84
Pp2	$-2 \cdot c \cdot \sqrt{kp_3} D$	319,904

Berdasarkan perhitungan diatas didapatkan nilai P_a sebesar 142,97 kN dan untuk nilai P_p sebesar 605,74, berdasarkan kedua nilai tersebut nilai $P_a < P_p$, maka

dengan kedalaman 9 m turap mampu menahan beban kendaraan serta gaya lateral dari tanah.

5. Penentuan profil turap

Dalam tugas akhir ini digunakan turap beton tipe W-325 Class B yang di produksi oleh PT. Adhi Persadha Beton. Penentuan tipe turap beton didasarkan pada crack momen yang tersedia pada table profil turap di lampiran 4. Mengacu pada perhitungan turap diatas dengan momen yang sama, maka untuk menentukan ΣM_{total} adalah dengan mengganti "D" dengan "X".

$$\begin{aligned}\Sigma M &= \Sigma M_{aktif} - \Sigma M_{pasif} + M_{\sigma h} \\ &= 8,343 + 25,44X - 32,92X^2 - 4,69X^3\end{aligned}$$

Letak momen maksimum dapat diperoleh dengan mendefersialkan persamaan momen total diatas terhadap x.

$$\frac{d \Sigma M}{dx} = 0, \text{ maka :}$$

$$-14,07X^2 - 65,84X + 25,44 = 0, \text{ atau}$$

$$14,07X^2 + 65,84X - 25,44 = 0$$

Dengan menggunakan rumus ABC, maka dapat difaktorkan sebagai berikut.

$$x_{1,2} = \frac{-65,84 \pm \sqrt{(65,84)^2 - 4 \times (14,07) \times (-25,44)}}{2 \times 14,07}$$

$$x_1 = 0,359$$

$$x_2 = -5,038$$

Maka digunakan nilai x1 sebesar 0,359

$$\begin{aligned}\Sigma M &= Pa - Pp + M_{\sigma h} \\ &= 8,33 + 25,44X - 32,92X^2 - 4,69X^3 \\ &= 8,33 + 25,44(0,359) - 32,92(0,359)^2 - 4,69(0,359)^3 \\ &= 13,003 \text{ kNm} \\ &= 1,3003 \text{ tm}\end{aligned}$$

Berdasarkan table profil turap beton, digunakan turap dengan tipe W-325 Class B dengan crack momen $13,81 > 1,3003 \text{ tm}$

Adapun data turap yang digunakan dalam menghitung kekuatan adalah sebagai berikut.

1. Jenis material = Beton
2. Tipe = Turap Beton tipe W-325 Class B
3. Ketebalan = 325 mm
4. E = $35,82 \times 10^6$ kN/m
5. $\gamma_{struktur}$ = 24 kN/m³
6. γ_{tanah} = 15,5 kN/m³

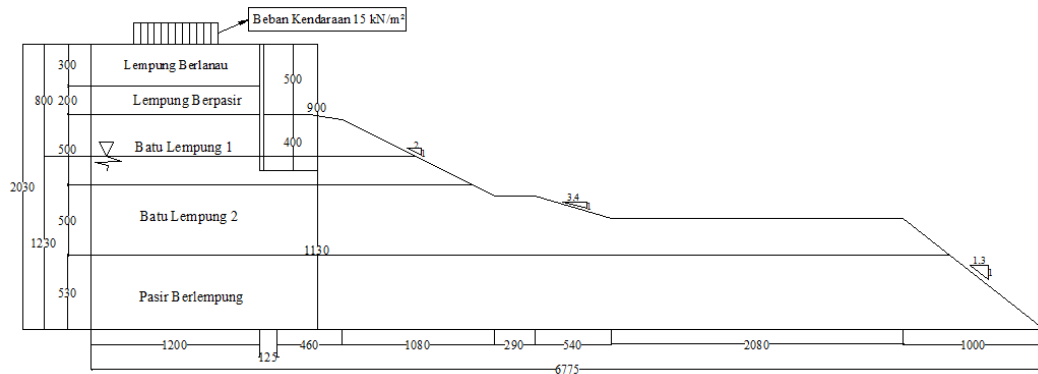
Berdasarkan nilai di atas, maka dapat dilakukan perhitungan untuk mendapatkan nilai parameter struktur turap, yaitu *normal stiffness* (EA), *flexural rigidity* (EI), dan berat struktur (w).

$$\begin{aligned} EA &= E \times h \times b \\ &= (35,82 \times 10^6) \times 0,325 \times 1 \\ &= 11,64 \times 10^6 \text{ kN/m} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} EI &= E \frac{h^3 \times b}{12} \\ &= (35,82 \times 10^6) \frac{0,325^3 \times 1}{12} \\ &= 10,24 \times 10^4 \text{ kN.m} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} w &= (\gamma_{struktur} - \gamma_{tanah}) \times h \\ &= (24 - 15,5) \times 0,325 \\ &= 2,77 \text{ kN} \end{aligned}$$

Berdasarkan perhitungan yang telah dilakukan, adapun desain lereng dengan perkuatan turap dapat dilihat pada Gambar 5.57.



Gambar 5. 57 Lereng Dengan Perkuatan Turap

Lereng dengan perkuatan turap dianalisis menggunakan program Plaxis 8.6. Adapun input parameter tanah serta input parameter turap berdasarkan perhitungan, dapat dilihat pada Tabel 5.10 dan Tabel 5.11

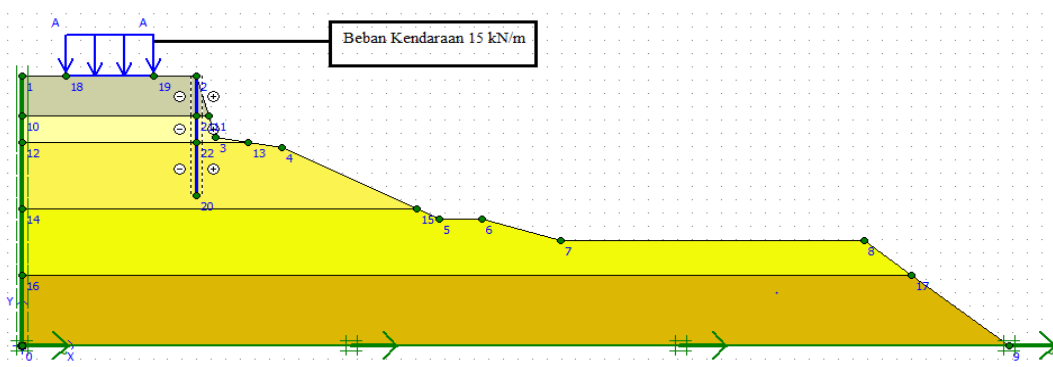
Tabel 5. 10 Parameter Tanah Dengan Perkuatan Turap

Parameter	Satuan	Lempung Berlanau	Lempung Berlanau 2	Batu Lempung 1	Batu Lempung 2	Pasir Berlempung
γ <i>Unsaturated</i>	kN/m ³	15,3	15,1	15,5	17,2	18,7
γ <i>Saturated</i>	kN/m ³	17,1	17,1	17,5	19,0	20,3
E_{ref}	kN/m ²	9958	8426	10724	35236	45960
V	-	0,4	0,35	0,35	0,3	0,2
<i>Kohesi</i>	kN/m ²	10	10	28	31	50
<i>Sudut Geser Dalam</i>	°	15	30	20	30	35
Permeabilitas K_x	m/hari	0,00004	0,00048	0,00004	0,00048	0,00043
Permeabilitas K_y	m/hari	0,00004	0,00048	0,00004	0,00048	0,00043

Tabel 5. 11 Data Input Turap

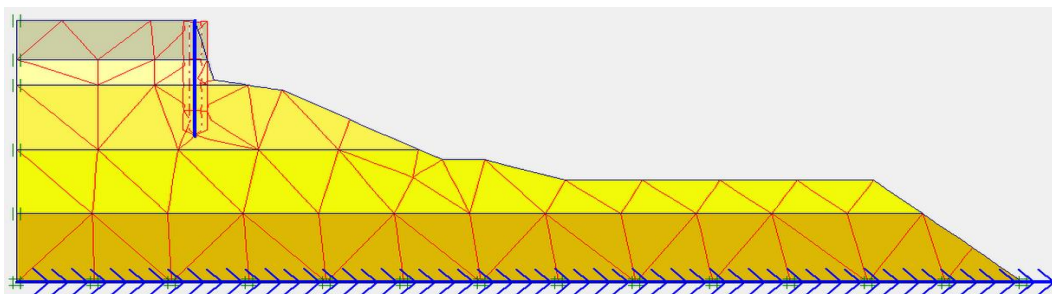
No	Parameter Struktur	Simbol	Satuan	<i>Sheet Pile</i>
1	Mutu Beton	f'_c	Mpa	58,1
2	<i>Modulus young</i>	E	kN/m ²	35.824.977
3	<i>Normal stiffness</i>	EA	kN/m	11.643.118
4	<i>Flexural rigidity</i>	EI	kNm	102.484
5	Berat struktur	w	kN	2,77
6	Angka poison	ν		0,15

Lereng dengan perkuatan turap dimodelkan secara dua dimensi menggunakan program Plaxis 8.6, dengan memasukan beban kendaraan dan beban gempa dinamik, pemodelan dilakukan dengan dua variasi, yaitu dengan dan tanpa beban gempa. Adapun pemodelan lereng perkuatan turap dapat dilihat pada Gambar 5.58.



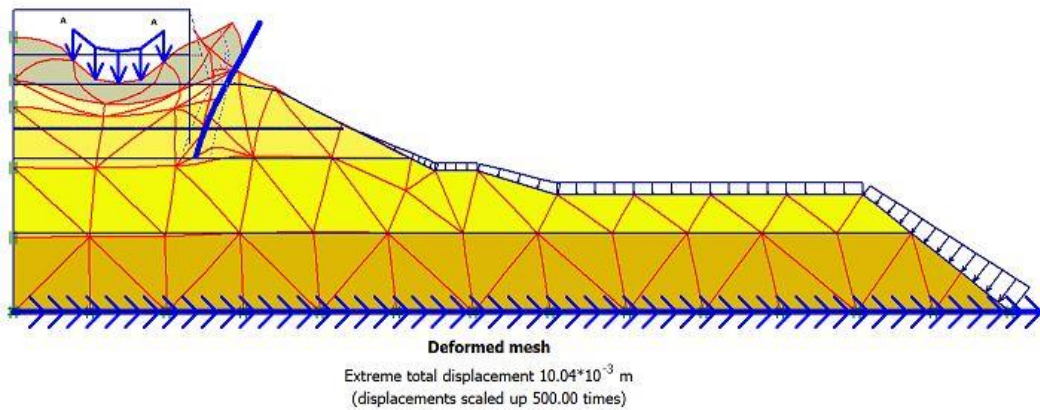
Gambar 5. 58 Pemodelan Lereng Dengan Perkuatan Turap

Selanjutnya dilakukan penyusunan jaringan elemen (*meshing*), adapun *meshing* pada lereng perkuatan turap dapat dilihat pada Gambar 5.59.

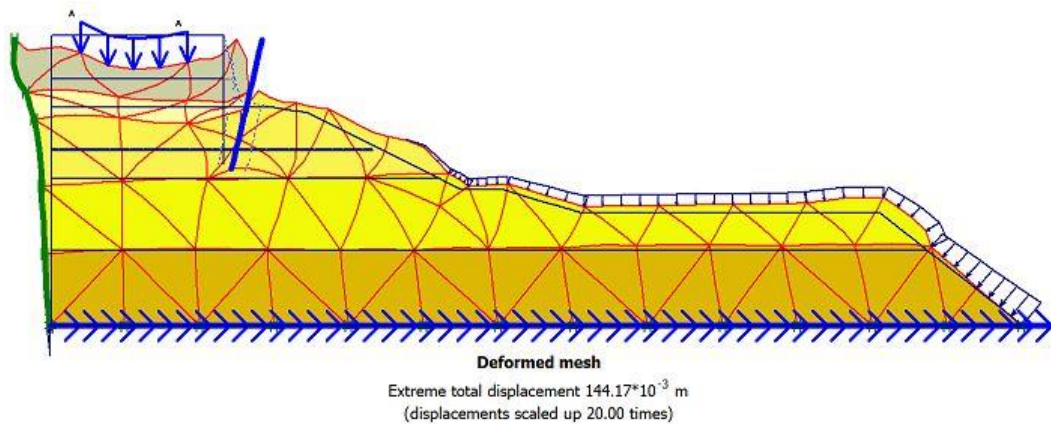


Gambar 5. 59 Meshing Pada Lereng Perkuatan Turap Dengan Beban Gempa

Hasil dari *deformed mesh* terlihat dengan adanya perubahan jarring elemen menjadi tidak beraturan, perbedaan *deformed mesh* terlihat antara lereng perkuatan *pile* dengan beban gempa dan tanpa beban gempa. *Deformed Mesh* pada pemodelan tanpa beban gempa lebih dominan vertical, sedangkan *deformed mesh* pada pemodelan dengan beban gempa cenderung tidak beraturan akibat beban gempa. Adapun hasil *deformed mesh* pada lereng perkuatan turap tanpa dan dengan beban gempa dapat dilihat pada Gambar 5.60 dan Gambar 5.61.



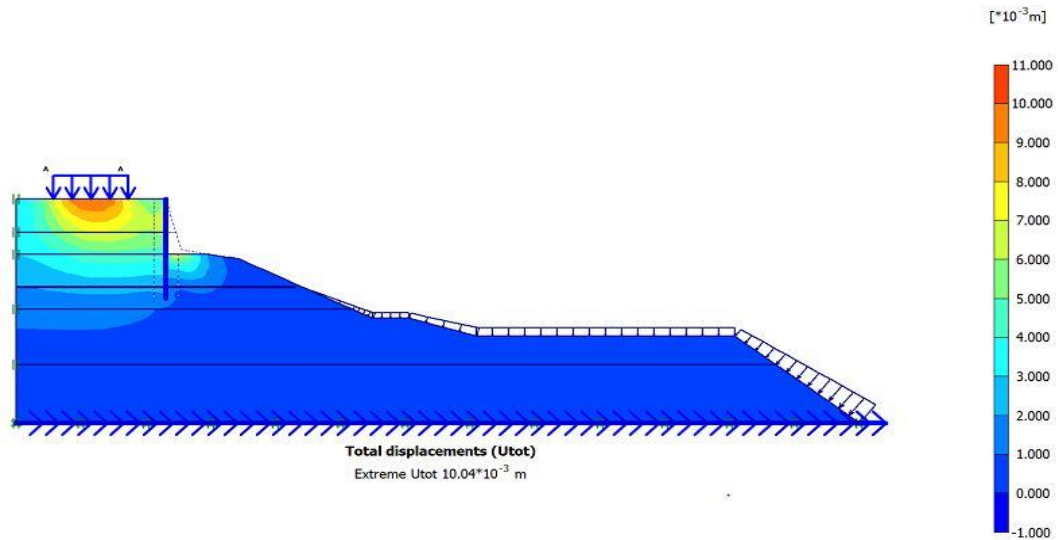
Gambar 5. 60 Deformed Mesh Pada Lereng Perkuatan Turap Tanpa Beban Gempa



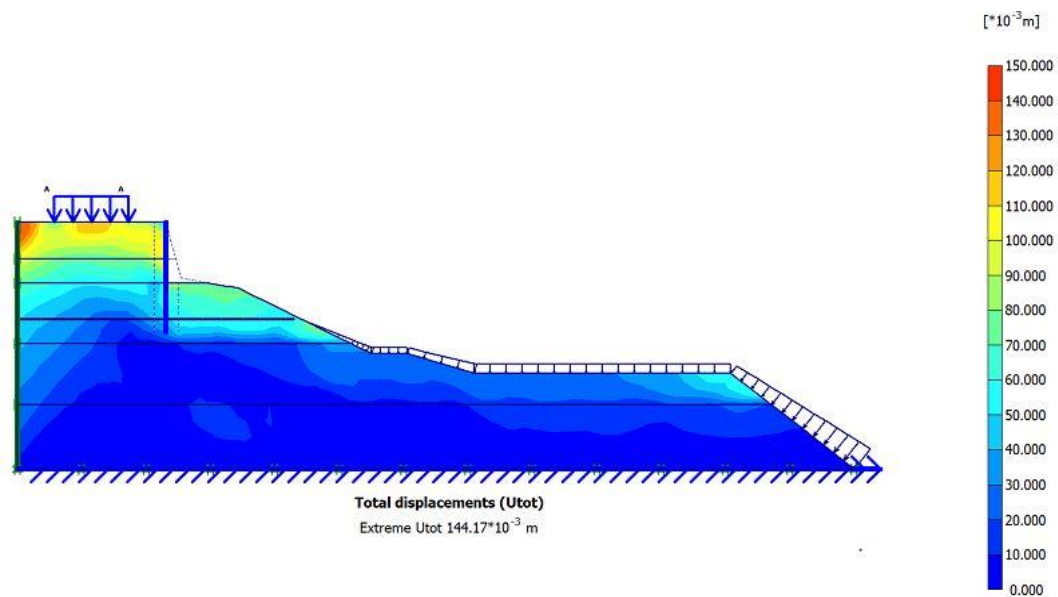
Gambar 5. 61 Deformed Mesh Pada Lereng Perkuatan Turap Dengan Beban Gempa

Perbedaan terlihat pada *displacement* antara lereng perkuatan turap tanpa dan dengan beban gempa. Pada pemodelan lereng tanpa beban gempa, *displacement* terjadi pada lapis timbunan dibawah beban kendaraan, hal tersebut ditunjukkan dengan adanya warna merah, warna merah memiliki nilai *displacement* yang besar, kemudian bergradasi menuju warna biru yang memiliki nilai *displacement* kecil. Sedangkan pada pemodelan lereng dengan beban gempa, *displacement* terjadi pada tepi kiri lereng dengan adanya warna merah kuning. Nilai *displacement* pada pemodelan tanpa beban gempa yaitu $10,04 \times 10^{-3}$ m dan nilai *displacement* pada pemodelan dengan beban gempa yaitu $144,17 \times 10^{-3}$ m. Nilai *displacement* lebih besar terjadi pada pemodelan dengan beban gempa. Adapun hasil *total*

displacement pada lereng perkuatan turap tanpa dan dengan beban gempa dapat dilihat pada Gambar 5.62 dan Gambar 5.63.



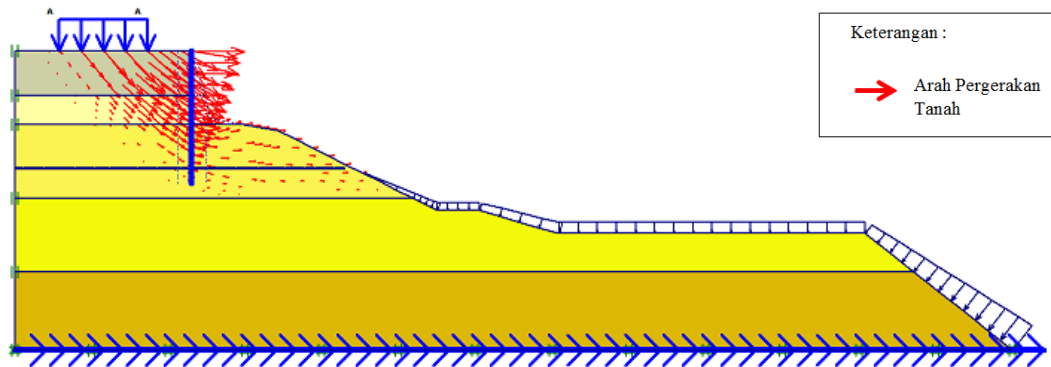
Gambar 5. 62 Total Displacement Pada Lereng Perkuatan Turap Tanpa Beban Gempa



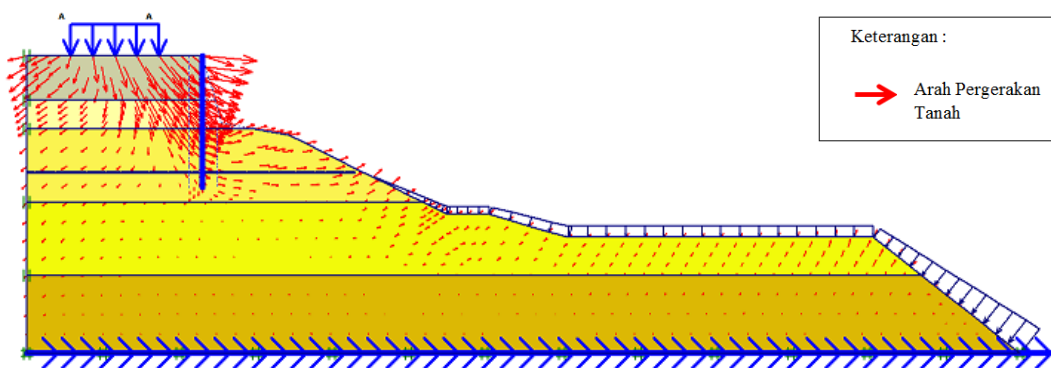
Gambar 5. 63 Total Displacement Pada Lereng Perkuatan Turap Dengan Beban Gempa

Perbedaan terlihat pada arah pergerakan tanah lereng perkuatan turap antara pemodelan tanpa gempa dan dengan gempa. Pada pemodelan lereng tanpa beban gempa, arah pergerakan tanah cenderung bergerak ke kanan. Sedangkan pada

pemodelan lereng dengan beban gempa, arah pergerakan tanah menuju ke arah kanan dan kiri lereng. Arah pergerakan ditunjukkan dengan adanya panah merah pada gambar. Adapun arah pergerakan tanah pada lereng perkuatan turap tanpa dan dengan beban gempa dapat dilihat pada Gambar 5.64 dan Gambar 5.65.

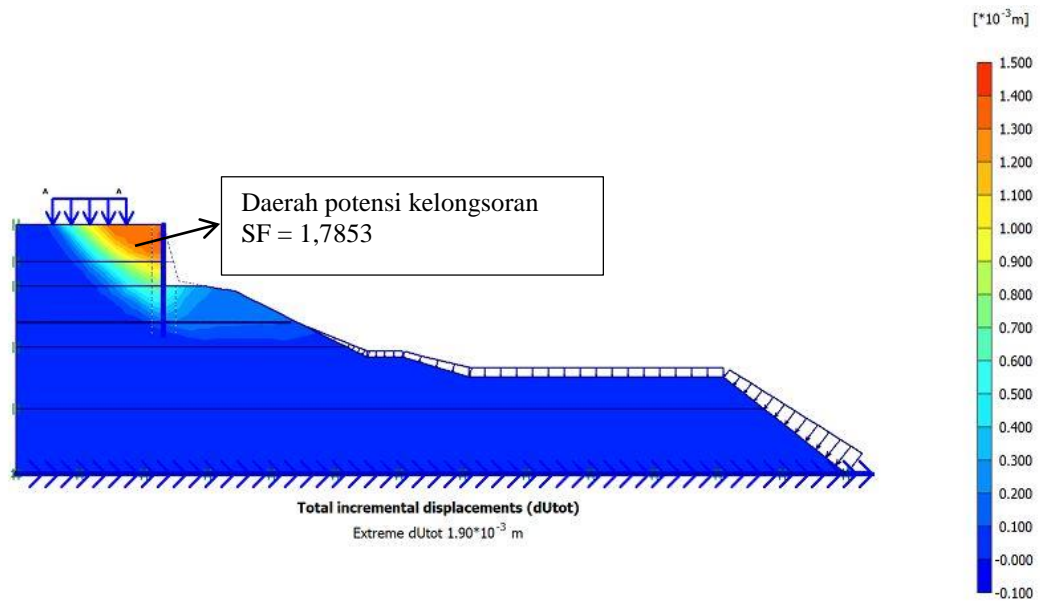


Gambar 5. 64 Pergerakan Tanah Lereng Perkuatan Turap Tanpa Beban Gempa

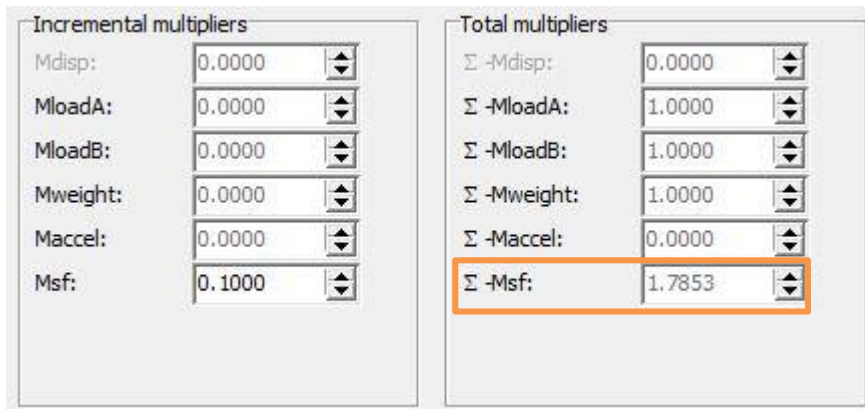


Gambar 5. 65 Pergerakan Tanah Lereng Perkuatan Turap Dengan Beban Gempa

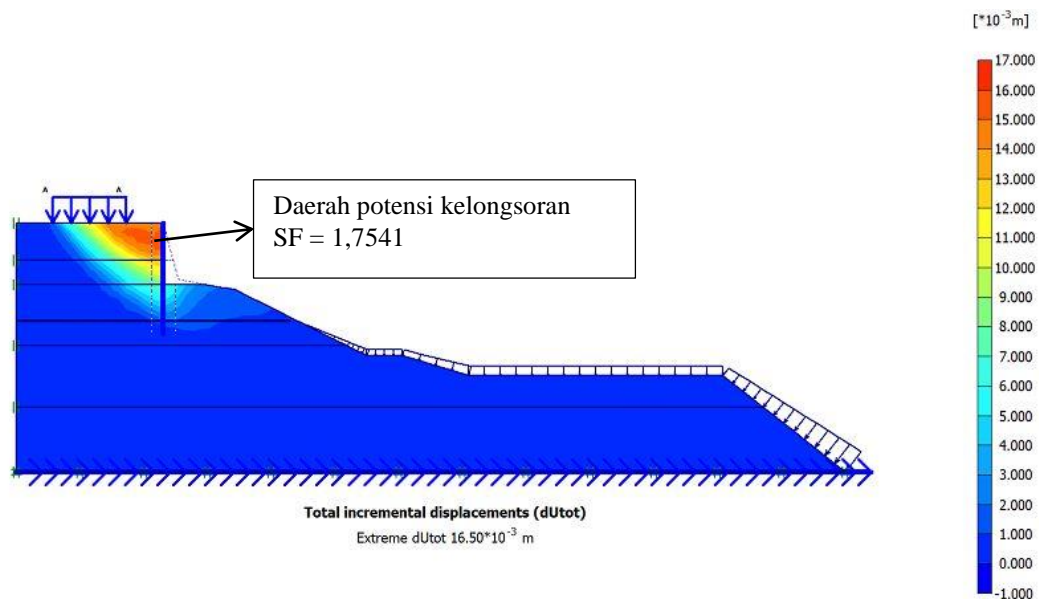
Potensi kelongsoran memperlihatkan daerah dimana kemungkinan lereng mengalami kelongsoran, pada hasil analisis plaxis lereng perkuatan turap tanpa dan dengan beban gempa, keduanya memiliki potensi kelongsoran yang sama yaitu pada daerah tepi lereng, warna orange menunjukkan zona aktif lereng. Adapun potensi kelongsoran pada lereng perkuatan turap tanpa dan dengan beban gempa dapat dilihat pada Gambar 5.66 dan Gambar 5.68. Untuk nilai *safety factor* dapat dilihat pada Gambar 5.67 dan Gambar 5.69.



Gambar 5. 66 Potensi Kelongsoran Pada Lereng Perkuatan Turap Tanpa Beban Gempa



Gambar 5. 67 Nilai Safety Factor Pada Lereng Perkuatan Turap Tanpa Beban Gempa



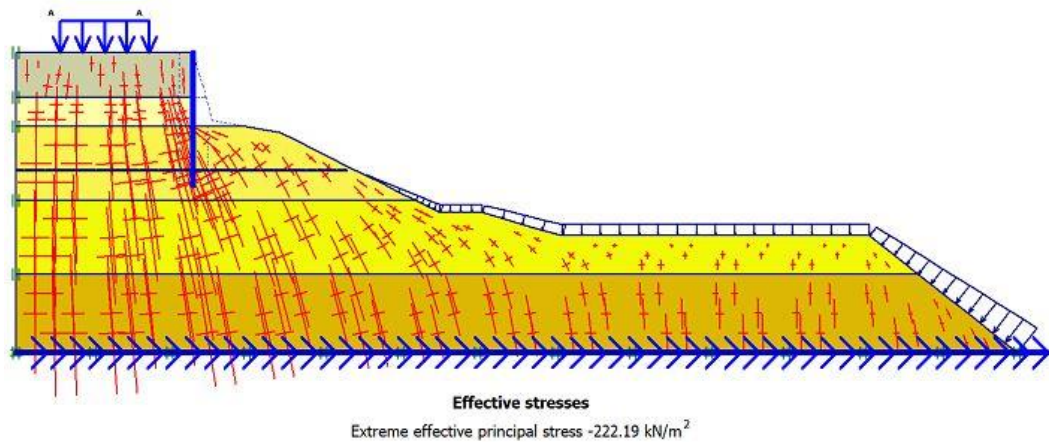
Gambar 5. 68 Potensi Kelongsoran Pada Lereng Perkuatan Turap Tanpa Beban Gempa

Incremental multipliers		Total multipliers	
Mdisp:	0.0000	Σ -Mdisp:	0.0000
MloadA:	0.0000	Σ -MloadA:	1.0000
MloadB:	0.0000	Σ -MloadB:	1.0000
Mweight:	0.0000	Σ -Mweight:	1.0000
Maccel:	0.0000	Σ -Maccel:	0.0000
Msf:	0.1000	Σ -Msf:	1.7541

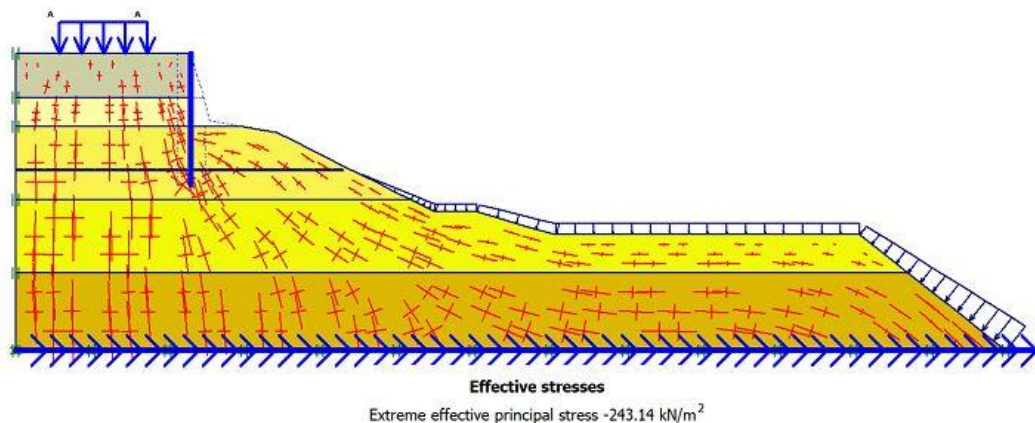
Gambar 5. 69 Nilai Safety Factor Pada Lereng Perkuatan Turap Tanpa Beban Gempa

Effective Stresses atau tegangan efektif pada tanah menunjukkan tegangan pada tanah. Pada hasil analisis ditunjukkan oleh garis-garis berwarna merah, yang makin kebawah makin banyak. Makin banyak garis-garis tersebut menunjukkan makin besarnya *effective stresses* tanah. Berdasarkan hasil analisis terdapat perbedaan antara pemodelan tanpa gempa dan dengan gempa, pada pemodelan dengan beban gempa *effective stresses* garis merah tampak lebih tidak beraturan. Nilai *effective stresses* pada pemodelan tanpa gempa $-222,19 \text{ kN/m}^2$ dan pada pemodelan dengan gempa $-243,14 \text{ kN/m}^2$. Adapun *effective stresses* pada lereng

perkuatan turap tanpa dan dengan beban gempa dapat dilihat pada Gambar 5.70 dan Gambar 5.71.

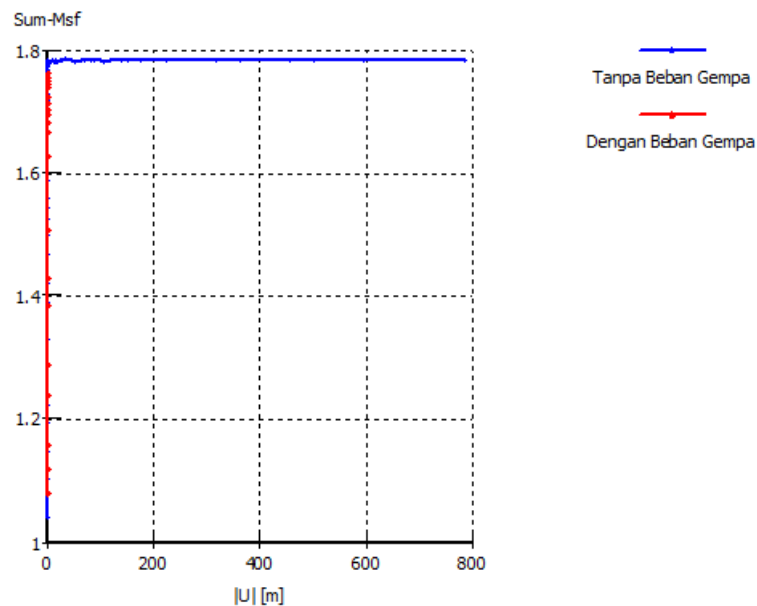


Gambar 5. 70 Effective Stresses Pada Lereng Perkuatan Turap Tanpa Beban Gempa



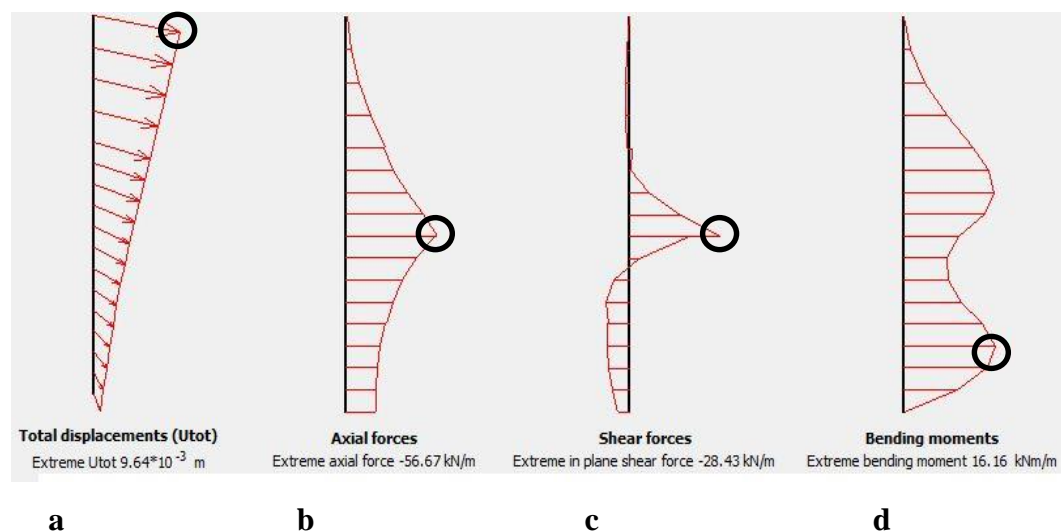
Gambar 5. 71 Effective Stresses Pada Lereng Perkuatan Turap Dengan Beban Gempa

Analisis menggunakan program Plaxis 8.6 nilai *safety factor* pada lereng perkuatan turap tanpa beban gempa diperoleh sebesar 1,7853, dan pada lereng perkuatan turap dengan beban gempa diperoleh sebesar 1,7541. Berdasarkan kedua nilai *safety factor* tersebut lereng sudah dikatakan aman dan mampu menahan kelongsoran dikarenakan memiliki *safety factor* lebih dari 1.25. Adapun Nilai *safety factor* lereng perkuatan turap dengan dan tanpa beban gempa dapat dilihat pada Gambar 5.72.



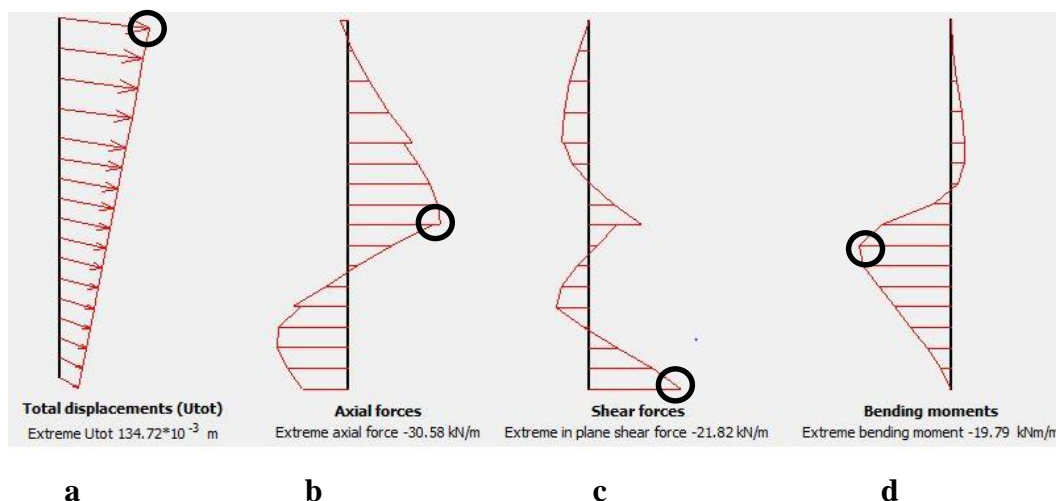
Gambar 5. 72 Nilai Safety Factor Lereng Perkuatan Turap

Deformasi terjadi pada turap akibat adanya gaya lateral tanah serta beban kendaraan. Berdasarkan hasil analisis menggunakan program Plaxis 8.6 didapatkan deformasi pada sheet pile sebesar $9,64 \times 10^{-3}$ m. Selain deformasi terdapat gaya normal sebesar $-56,67$ kN/m, gaya geser sebesar $-28,43$ kN/m dan bending moment sebesar $-16,16$ kNm/m. Adapun gambar diagram deformasi pada sheet pile dapat dilihat pada Gambar 5.73a, gaya normal pada Gambar 5.73b, gaya geser pada Gambar 5.73c, dan bending moment pada Gambar 5.73d.



Gambar 5. 73 Deformasi, Gaya dan Moment Pada Turap Tanpa Beban Gempa

Deformasi terjadi pada turap akibat adanya gaya lateral tanah, beban kendaraan dan beban gempa. Berdasarkan hasil analisis menggunakan program Plaxis 8.6 didapatkan deformasi pada sheet pile sebesar $134,72 \times 10^{-3}$ m. Deformasi yang terjadi lebih besar pada turap dengan beban gempa, hal ini dikarenakan adanya tambahan beban berupa gempa. Selain deformasi terdapat gaya normal sebesar -30,58 kN/m, gaya geser sebesar -21,82 kN/m dan bending moment sebesar -19,79 kNm/m. Adapun gambar diagram deformasi pada sheet pile dapat dilihat pada Gambar 5.74a, gaya normal pada Gambar 5.74b, gaya geser pada Gambar 5.74c, dan bending moment pada Gambar 5.74d.



Gambar 5. 74 Deformasi, Gaya dan Moment Pada Turap Dengan Beban Gempa

Berdasarkan gaya-gaya yang bekerja pada turap dan dianalisis menggunakan program Plaxis 8.6, maka turap mendapatkan bending moment sebesar 16,16 kNm pada lereng tanpa beban gempa dan 19,79 kNm pada lereng dengan beban gempa. Bending momen tersebut mampu diatahan oleh turap, dikarenakan turap memiliki spesifikasi crack momen sebesar 13,81 tm atau setara dengan 138,1 kNm. Selain *crack moment*, gaya yang mendorong dan menahan turap juga harus diperhitungkan. Berdasarkan perhitungan diperoleh Pa sebesar 142,97 kN dan nilai Pp sebesar 605,74, berdasarkan kedua nilai tersebut nilai $P_a < P_p$, maka dengan kedalaman 9 m turap mampu menahan beban kendaraan serta gaya lateral dari tanah.

5.6 Pembahasan

Pada analisis lereng Jalan Ponorogo-Trenggalek Sta. 23 + 600 dilakukan guna mengetahui nilai *safety factor*. Adapun analisis dilakukan dengan membandingkan berbagai perkuatan pada lereng. Analisis dilakukan menggunakan program Plaxis 8.6 dan perhitungan manual menggunakan metode Fellinius. Adapun variasi yang digunakan dalam analisis ini yaitu beban merata akibat beban lalu lintas, dan beban gempa yang sudah sesuai dengan zona gempa pada daerah Ponorogo-Trenggalek. Analisis yang dilakukan menggunakan variasi pemodelan lereng dengan gempa dan tanpa gempa.

Berdasarkan hasil analisis menggunakan program Plaxis 8.6 pada lereng asli tanpa beban gempa didapatkan nilai *safety factor* 1,1789 sedangkan pada lereng asli dengan beban gempa didapatkan nilai *safety factor* 1,1436. Berdasarkan kedua nilai tersebut nilai *safety factor* $< 1,25$, maka lereng dianggap labil dan tidak aman, hal itu dikarenakan tipe tanah pada lereng yang didominasi tanah berbutir halus yaitu lanau dan lempung, tanah tersebut sangat peka terhadap air, menyebabkan tanah mudah terjadi penurunan dan keruntuhan.

Oleh karena itu dilakukan penggantian geometri pada lereng, dengan mengganti tanah lunak dengan tanah replacement dengan nilai parameter tanah yang lebih tinggi, selain itu perubahan juga dilakukan pada kemiringan lereng menjadi lebih landai menjadi 27° guna mengurangi gaya yang mendorong lereng, hasil analisis menggunakan program Plaxis 8.6 untuk lereng geometri baru tanpa beban gempa didapatkan nilai *safety factor* 1,5709 sedangkan pada lereng geometri baru dengan beban gempa didapatkan nilai *safety factor* 1,5156, berdasarkan kedua nilai tersebut nilai *safety factor* $> 1,25$, maka lereng dianggap aman, dan mampu menahan kelongsoran.

Dapat dilihat pada nilai *safety factor* yang didapat untuk lereng geometri baru lebih besar dibandingkan dengan nilai angka aman pada lereng tanah asli, hal ini menunjukkan bahwa solusi penanganan masalah pada lereng berjalan dengan baik lereng lebih stabil dibandingkan pada lereng tanah asli. Setelah itu alternatif solusi ketiga dengan menambahkan perkuatan geotekstil pada lereng geometri baru, nilai angka aman lereng geometri baru dengan perkuatan geotekstil dan lereng geometri

baru tanpa diperkuat geotekstil menunjukkan kenaikan nilai yang cukup tinggi. Berdasarkan analisis menggunakan program Plaxis 8.6 nilai pada lereng geometri baru perkuatan geotekstil tanpa beban gempa didapatkan *safety factor* 1,7831 sedangkan pada lereng geometri baru perkuatan geotekstil dengan beban gempa didapatkan *safety factor* 1,7776. Kenaikan nilai *safety factor* tersebut dikarenakan parameter interface dan parameter dasar yang dimiliki oleh geotekstil woven (kekakuan dan kuat tarik) mempengaruhi karakteristik perkuatan geotekstil ketika digunakan didalam tanah.

Selain penggunaan geotekstil dalam perbaikan lereng, pada tugas akhir ini juga dilakukan perkuatan menggunakan turap. Penggunaan perkuatan turap juga memberikan pengaruh yang cukup tinggi, berdasarkan analisis menggunakan program Plaxis 8.6, lereng dengan perkuatan turap tanpa beban gempa didapatkan nilai *safety factor* 1,7853 sedangkan lereng dengan perkuatan turap dengan beban gempa didapatkan nilai *safety factor* 1,7541. Kenaikan nilai *safety factor* dikarenakan pile mampu menahan arah pergerakan tanah pada lereng, gaya pasif yang menahan lebih besar dari gaya aktif yang mendorong. Adapun rekapitulas analisis pada lereng jalan Trenggalek-Ponorogo Sta. 23 + 600 dapat dilihat pada Tabel 5.15.

Adapun rekapitulasi dari analisis pada lereng Jalan Trenggalek-Ponorogo Sta. 23 + 600 dapat dilihat pada Tabel 5.15.

Tabel 5. 12 Rekapitulasi Hasil Analisis

Keterangan	Satuan	Lereng Asli		Lereng Geometri Baru		Lereng Geometri Baru Perkuatan Geotekstil		Lereng Perkuatan Turap	
		Tanpa Gempa	Dengan Gempa	Tanpa Gempa	Dengan Gempa	Tanpa Gempa	Dengan Gempa	Tanpa Gempa	Dengan Gempa
Effective Stresses	kN/m ²	-224,77	-248,7	-231,4	-252,6	-231,37	-236,87	-222,19	-242,33
Total Displacement	m	9,31 x 10 ⁻³	999,98 x 10 ⁻³	9,77 x 10 ⁻³	189 x 10 ⁻³	9,77 x 10 ⁻³	185,62 x 10 ⁻³	10,04 x 10 ⁻³	144,17 x 10 ⁻³
Safety Factor		1,1789	1,1436	1,5709	1,5156	2,3719	2,3467	1,7853	1,7541