

BAB V

ANALISIS DATA DAN PEMBAHASAN

5.1 Pendahuluan

Berdasarkan hasil *soil investigation* lapangan yang diperoleh dari PT. LAPI-ITB, lapisan tanah asli merupakan tanah lunak yang berupa tanah lempung yang mempunyai daya dukung relatif rendah serta penurunan yang besar. Oleh karena itu, suatu usaha perbaikan harus dilakukan untuk memenuhi syarat keamanan suatu timbunan. Untuk desain struktur jalan tol Ngawi – Kertosono menggunakan metode penggantian tanah lunak dan perkuatan tanah berupa pemasangan lembaran geosintetik di bawah timbunan.

Perbaikan tanah dasar jalan dilakukan dengan mengupas lapisan tanah atas (*stripping*) setebal 50 cm sebelum diberikan lapisan geotekstil dan ditimbun. *Stripping* dilakukan untuk menghilangkan lapisan permukaan yang biasanya berupa tanah humus yang sukar dipadatkan. Solusi ini membutuhkan analisis yang lebih mendalam lagi, apakah bahan geotekstil yang diaplikasikan pada dasar timbunan tersebut benar mampu memberikan angka aman yang besar.

Pada bab ini disajikan hasil perhitungan analisis stabilitas timbunan pada Tol Ngawi – Kertosono khususnya ruas Ngawi – Caruban seksi 3.1. STA 119 + 680 dengan beberapa kondisi yaitu tanpa dan dengan perkuatan geotekstil menggunakan program Plaxis v.8.2 didasarkan beban timbunan, lalu lintas, perkerasan dan gempa.

5.2 Data Geoteknik

Dalam studi kasus ini data geoteknik yang digunakan diperoleh dari laporan *soil investigation* PT. LAPI-ITB berupa data parameter tanah dan data perkuatan geotekstil. Timbunan direncanakan mempunyai lebar 27,2 m dan tinggi 8 m serta kemiringan lereng adalah 1:2. Tanah dasar terdiri dari 15 m tanah lunak. Lapisan tanah terdiri dari empat lapisan yang masing – masing merupakan lapisan

tanah lunak dengan konsistensi sangat lunak dan elevasi muka air tanah berada pada permukaan tanah asli.

Timbunan akan ditinjau dengan dua kondisi yaitu tanpa perkuatan dan dengan perkuatan geotekstil menggunakan program Plaxis v.8.2. Material timbunan adalah material tanah yang diambil dari beberapa lokasi yang telah memenuhi spesifikasi sebagai tanah timbunan. Berikut data parameter yang akan di *input* pada analisis menggunakan program Plaxis v.8.2.

1. Data Parameter Tanah

Untuk data parameter tanah serta perkuatan yang digunakan dapat dilihat pada Tabel 4.1 dan Tabel 4.2.

2. Geotekstil

Nilai kuat tarik ijin geotekstil dan regangannya diperoleh dari PT. LAPI-ITB, 2016. Data perkuatan geotekstil *woven* yang dijadikan *input* ke dalam program Plaxis dapat dilihat pada Tabel 4.2.

5.3 Pembebanan

1. Beban Lalu Lintas

Beban yang diberikan pada timbunan jalan raya terdiri dari beban lalu lintas sebagai beban hidup (*LL*) dan beban perkerasan *rigid* sebagai beban mati (*DL*). Kedua beban lalu lintas dan perkerasan dikombinasikan menjadi satu beban merata yang dijadikan sebagai data *input* dalam analisis yaitu sebesar $22,2 \text{ kN/m}^2$ (lihat Halaman 41-42).

2. Beban Gempa

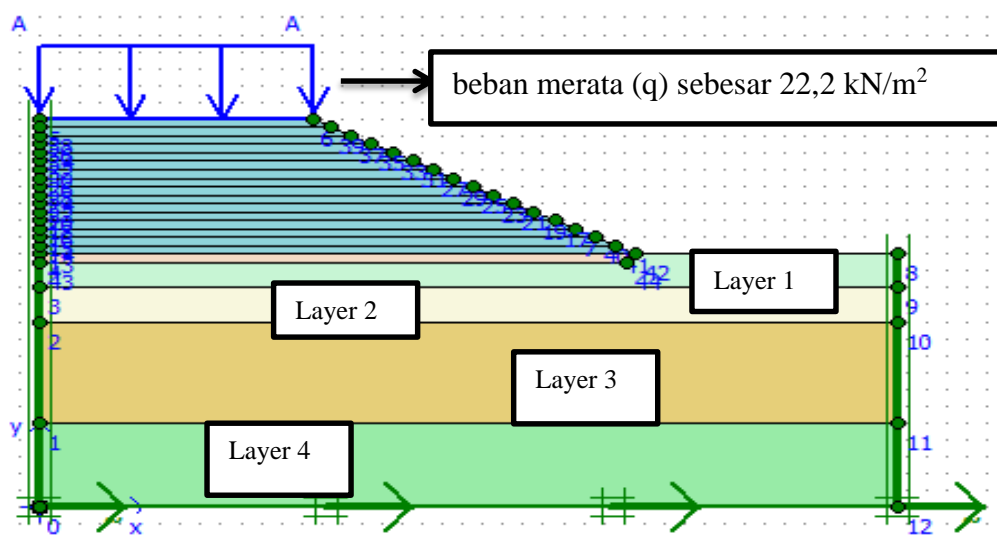
Besarnya percepatan beban gempa yang diberikan dalam analisis didasarkan pada peta zonasi gempa (Gambar 4.6). Program Plaxis v.8.2 menyediakan grafik hubungan antara percepatan dan waktu, berdasarkan grafik tersebut gempa telah melewati percepatan puncaknya setelah 15 detik. Untuk grafik hubungan antara percepatan dan waktu gempa dapat dilihat pada Gambar 4.5.

5.4 Analisis Timbunan Tanpa Perkuatan Geotekstil

5.4.1 Pemodelan Tanah Timbunan Tanpa Perkuatan Geotekstil

Dalam pengerjaan analisis stabilitas timbunan menggunakan program Plaxis v.8.2 perlu ditentukan terlebih dahulu model perilaku tegangan-regangan tanah yang akan digunakan. Pemilihan model perilaku tegangan-regangan tanah harus menggambarkan keadaan tanah di lapangan untuk memperoleh hasil analisis yang sesuai. Untuk analisis pada kasus ini akan digunakan model tanah *Mohr Coulomb*.

Analisis stabilitas timbunan pada ruas jalan tol Ngawi – Kertosono khususnya ruas Ngawi – Caruban seksi 3.1 STA 119 + 680 menggunakan program Plaxis v.8.2 digunakan model regangan bidang (*plane strain*) dengan elemen hingga 15 titik nodal. Model timbunan direncanakan mempunyai lebar 27,2 m dan tinggi 8 m dengan kemiringan lereng 1:2 serta diberikan beban merata (q) sebesar $22,2 \text{ kN/m}^2$ yang merupakan kombinasi beban lalu lintas dan perkerasan. Tanah dasar terdiri dari tanah lempung. Lapisan tanah terdiri dari 4 lapisan berdasarkan hasil pengujian *soil investigation* oleh PT. LAPI-ITB. Tebal masing-masing lapisan adalah 2 meter untuk layer 1, layer 2 setebal 2 meter, layer 3 setebal 6 m, dan layer 4 setebal 5 meter serta untuk elevasi muka air tanah tepat berada pada permukaan tanah asli. Data geoteknik yang di *input* pada program Plaxis dapat dilihat pada BAB IV.



Gambar 5.1 Model Geometri Timbunan Tanpa Perkuatan Geotekstil

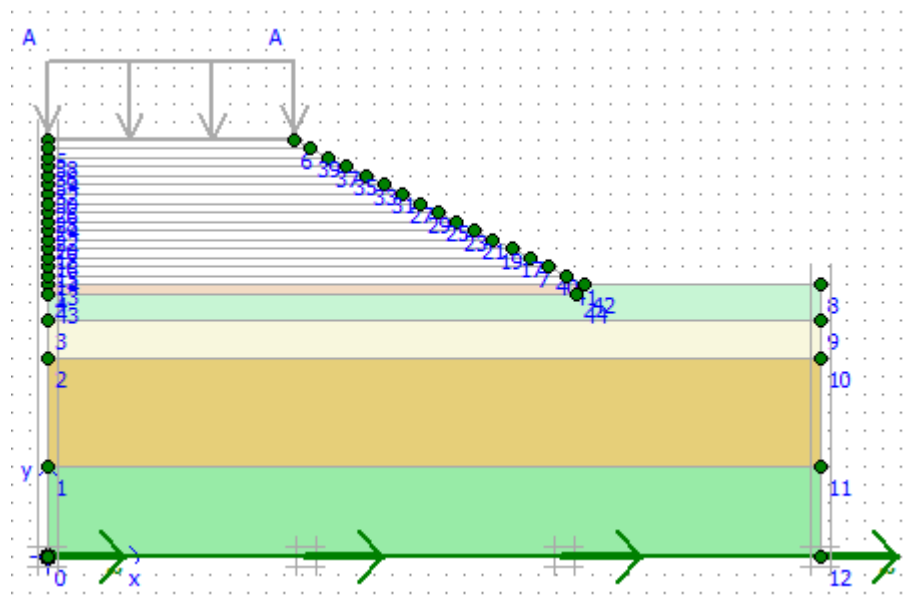
Pemodelan timbunan dapat dilihat pada Gambar 5.1 dengan asumsi beban timbunan dilakukan dalam 16 tahapan dimana tiap tahap dilakukan penimbunan setinggi 0,5 m selama kurang lebih 2 hari dan jeda waktu yang diberikan sebelum ke tahap penimbunan selanjutnya adalah 20 hari. Tahap selanjutnya diberikan penambahan beban berupa beban kendaraan dan beban gempa. Jepit standar digunakan untuk mendefinisikan kondisi batas.

5.4.2 Tahapan Perhitungan Analisis Timbunan Tanpa Perkuatan Geotekstil

Konstruksi timbunan direncanakan dilakukan secara bertahap terdiri dari 16 lapis timbunan dan masing-masing lapis terdiri dari dua tahap yaitu tahap konstruksi dan tahap konsolidasi. Tahap konstruksi membutuhkan waktu 2 hari, setelah tahapan konstruksi selesai, dilanjutkan dengan konsolidasi selama 20 hari agar tekanan air pori berlebih dapat berdisipasi. Tahap selanjutnya adalah penambahan beban lalu lintas, perkerasan, serta beban gempa. Analisis diakhiri dengan perhitungan nilai angka aman.

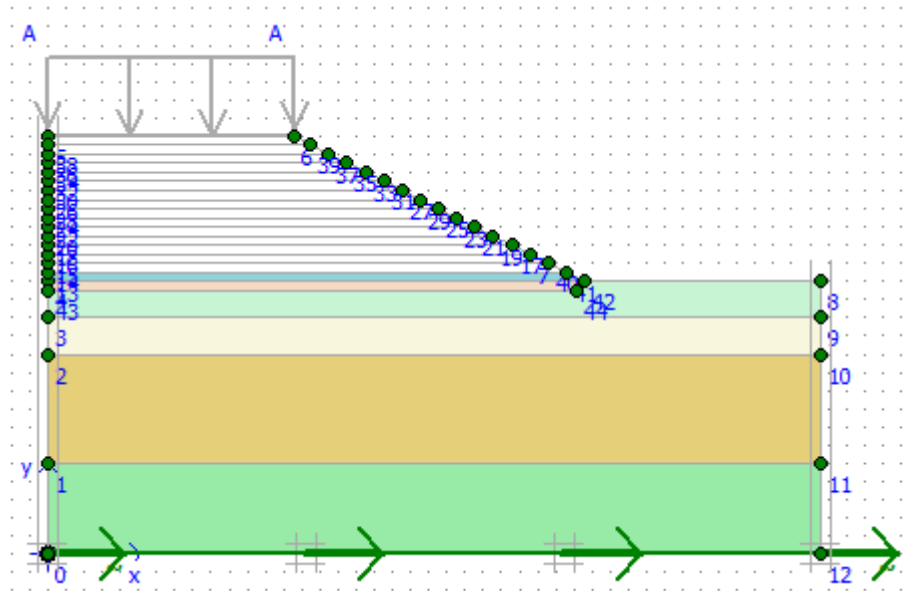
Untuk mendefinisikan tahap – tahap perhitungan, berikut adalah langkah-langkahnya.

1. Tahap phase 1, merupakan phase kondisi awal sebelum terbebani timbunan dimana tiap lapis timbunan dinonaktifkan (lihat Gambar 5.2).



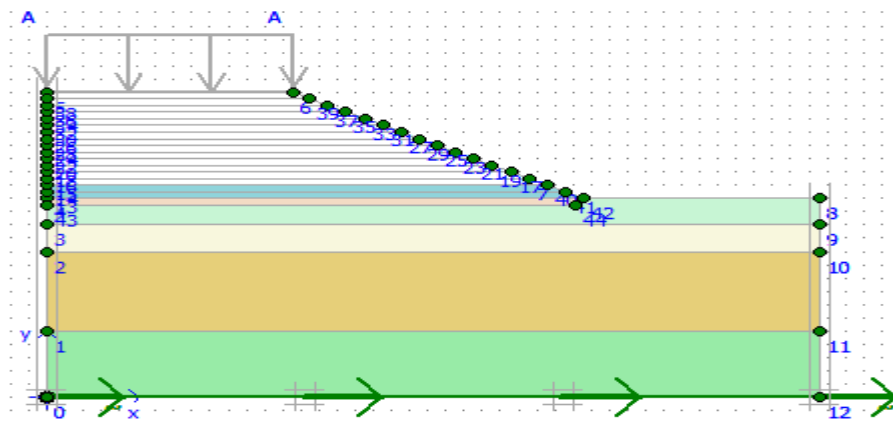
Gambar 5.2 Phase 1, Kondisi Awal

2. Tahap ke-2 adalah analisis konsolidasi, tahapan konstruksi. Lapisan timbunan pertama dibebankan setinggi 0,5 meter, dengan interval waktu 2 hari (lihat Gambar 5.3).



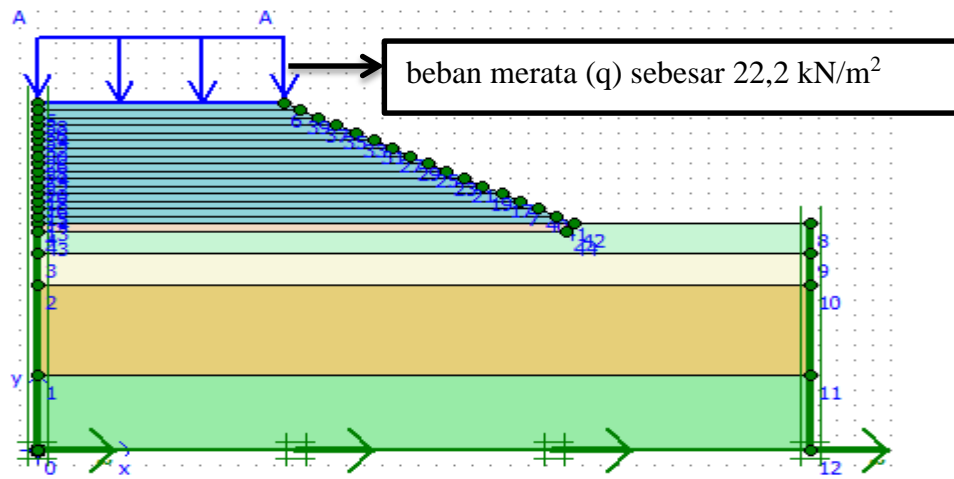
Gambar 5.3 Phase 2, Timbunan Pertama

3. Tahap ke-3 juga merupakan analisis konsolidasi, tahapan konstruksi. Pada tahap ini tidak ada perubahan dalam geometri karena hanya diperlukan analisis konsolidasi hingga waktu batas tertentu saja. Tanah dasar ditunggu terkonsolidasi akibat beban timbunan pertama selama 20 hari.
4. Tahap ke-4 adalah analisis konsolidasi, tahapan konstruksi. Lapisan timbunan kedua dibebankan setinggi 0,5 meter, dengan interval waktu 2 hari (lihat Gambar 5.4).



Gambar 5.4 Phase 4, Timbunan Kedua

5. Tahap ke-5 merupakan analisis konsolidasi, tahapan konstruksi. Pada tahap ini tidak ada perubahan dalam geometri karena hanya diperlukan analisis konsolidasi hingga waktu batas tertentu saja. Tanah dasar ditunggu terkonsolidasi akibat beban lapisan timbunan kedua selama 20 hari. Tahapan dilanjutkan hingga pada timbunan terakhir yaitu pada timbunan ke-16, Phase 33.
6. Tahap selanjutnya adalah analisis plastis, tahapan konstruksi dengan melakukan penambahan beban di atas timbunan. Diberikan beban merata (q) sebesar $22,2 \text{ kN/m}^2$ yang merupakan kombinasi beban lalu lintas dan perkerasan (lihat Gambar 5.5).



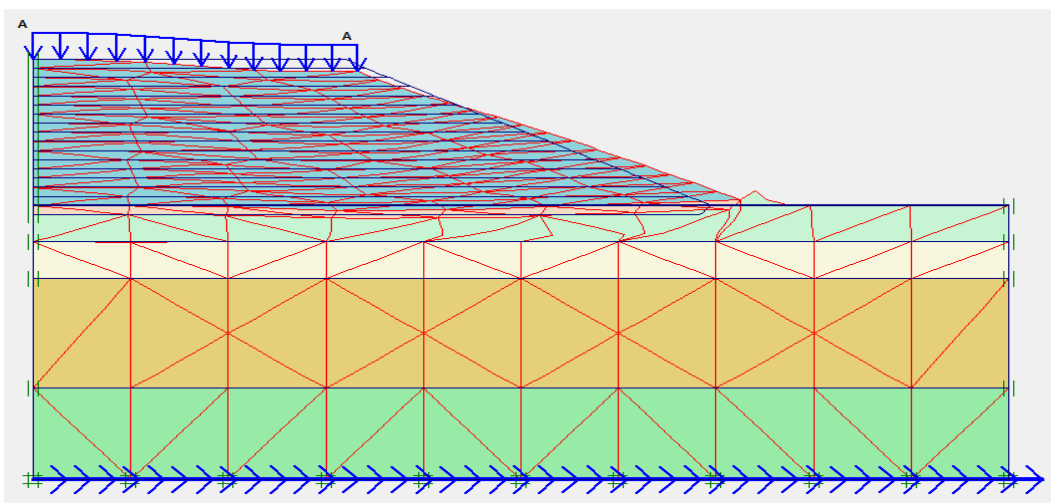
Gambar 5.5 Phase 34, Beban Lalu Lintas dan Perkerasan

7. Tahap ke-35 merupakan analisis dinamik, sebagai gambaran perilaku timbunan saat mengalami gempa bumi. Digunakan akselerogram dari sebuah gempa yang direkam oleh USGS pada tahun 2014 dengan mengatur interval waktu sebesar 15 detik untuk analisis ini.
8. Tahap ke-36 merupakan tahap perhitungan faktor aman dengan metode *Reduksi phi-c*.

Fase – fase tersebut menggambarkan kondisi selama pelaksanaan penimbunan sampai dengan analisis faktor aman, ketika timbunan selesai dibangun.

5.4.3 Output Analisis Timbunan Tanpa Perkuatan Geotekstil

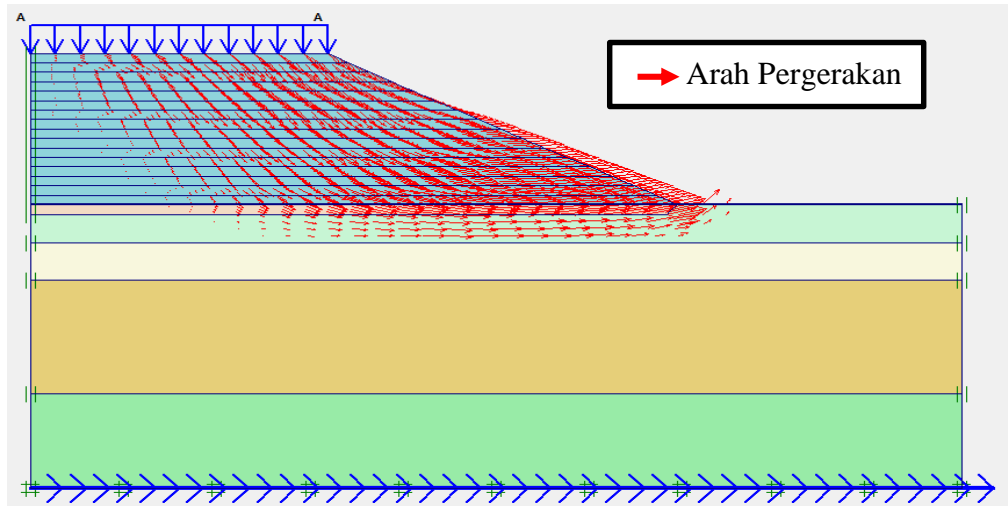
Perubahan bentuk pada struktur timbunan diindikasikan dengan segitiga jaringan elemen yang berubah secara tidak beraturan dan penurunan pada bentuk permukaan timbunan yang disebabkan oleh beban timbunan dan beban kendaraan. Gambar 5.6 adalah hasil *meshing* menggunakan program plaxis v.8.2 pada kondisi timbunan tanpa perkuatan menggunakan pilihan jaringan kasar (*course*).



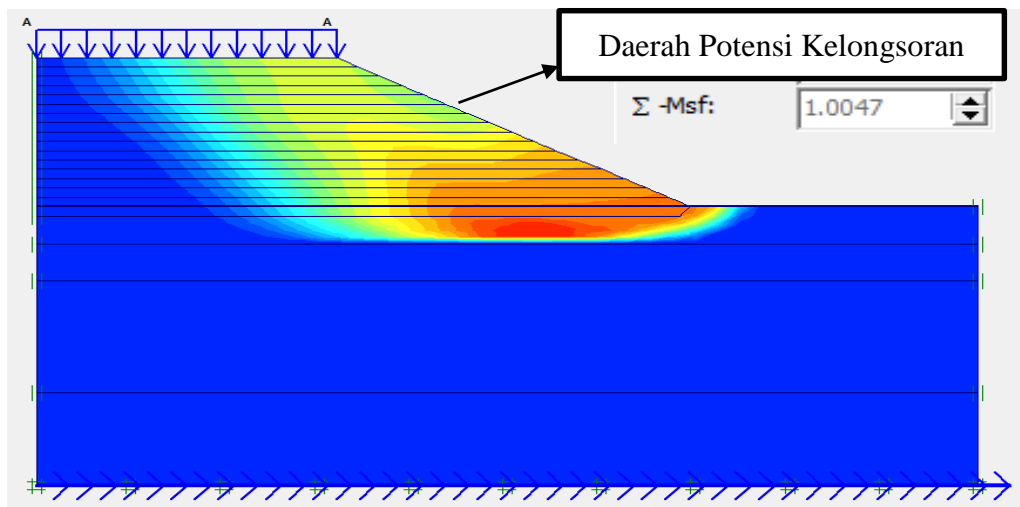
Gambar 5.6 Deformed Mesh Pada Timbunan Tanpa Perkuatan Geotekstil

Hasil perhitungan setelah konstruksi timbunan selesai ditunjukkan adanya gaya angkat pada daerah kaki timbunan serta dataran di belakang timbunan akibat adanya perilaku tak terdrainase dari material tanah (lihat Gambar 5.7). Dengan mengevaluasi peningkatan *total displacements*, dapat terlihat adanya suatu mekanisme keruntuhan yang mulai terbentuk. Pada Gambar 5.8 terlihat deformasi arah vertikal tanah timbunan akibat beban lalu lintas dan perkerasan tanpa perkuatan geotekstil. Dari hasil ini dapat juga dilihat zona aktif dan zona pasif yang terbentuk, zona aktif ditandai dengan warna orange dan zona pasif ditandai dengan warna biru tua. Pada Gambar 5.8 potensi kelongsoran terjadi hingga pada lapisan dibawah timbunan. Keadaan ini dapat lebih parah akibat adanya deformasi arah horizontal. Oleh karena itu agar kestabilan tanah terjaga selama pelaksanaan penimbunan bertahap, maka

diperlukan alat perkuatan di bawah tanah timbunan untuk membantu memberikan tambahan tegangan geser.



Gambar 5.7 Arah Pergerakan Tanah Pada Timbunan Setelah Proses Konstruksi Timbunan

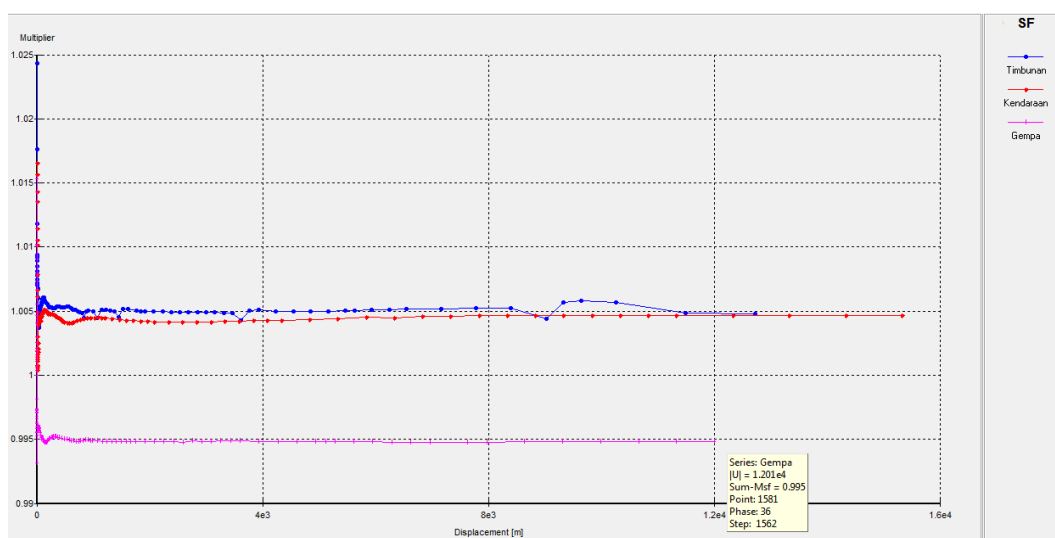


Gambar 5.8 Total Displacements Pada Timbunan Tanpa Perkuatan Geotekstil

Berdasarkan hasil perhitungan menggunakan metode elemen hingga pada program Plaxis, faktor aman timbunan tanpa perkuatan dengan beban operasional yang diberikan berupa beban kendaraan, perkerasan dan beban gempa dapat dilihat pada Tabel 5.1 dan Gambar 5.9.

Tabel 5.1 Hasil Analisis Nilai Faktor Aman Timbunan Tanpa Perkuatan

Analisis	Faktor Aman (SF)
Akibat Timbunan	1,0048
Akibat Beban Kendaraan	1,0047
Akibat Beban Gempa	0,9948

**Gambar 5.9 Hasil Analisis Angka Aman Timbunan Tanpa Perkuatan Menggunakan Plaxis v.8.2**

Pada Tabel 5.1 dan Gambar 5.9 hasil analisis faktor aman timbunan tanpa perkuatan adalah $<1,5$ (syarat faktor aman), sehingga dapat diketahui timbunan tanah asli tidak aman dan membutuhkan perkuatan.

5.5 Analisis Timbunan Dengan Perkuatan Geotekstil

5.5.1 Perencanaan Tanah Timbunan dengan Perkuatan Geotekstil

Pada analisis timbunan tanpa perkuatan geotekstil menggunakan program Plaxis v.8.2 telah diketahui bahwa tanah mengalami keruntuhan sehingga membutuhkan perkuatan, pada kasus ini menggunakan geotekstil. Dari hasil analisis timbunan tanpa perkuatan menggunakan program plaxis didapat garis potensi kelongsoran pada Gambar 5.8, dari gambar tersebut bisa dilihat bahwa garis potensi kelongsoran terbentuk hingga dasar timbunan. Untuk penempatan

geotekstil ditempatkan pada pertemuan tanah lunak dan timbunan karena melihat potensi kelongsoran kritis yang terjadi berada pada dasar timbunan.

Untuk merencanakan perkuatan timbunan dengan geotekstil agar timbunan stabil terhadap gaya-gaya yang bekerja pada geotekstil maka perlu dilakukan analisis stabilitas eksternal dan stabilitas internal. Berikut data-data yang diperlukan untuk analisis stabilitas eksternal dan stabilitas internal:

1. Tanah Timbunan

- a. Berat volume tanah (γ_b) = 17,8 kN/m³
- b. Kohesi (c) = 22 kN/m²
- c. Sudut Gesek Dalam (ϕ) = 19°

2. Geotekstil

- a. Jenis geotekstil = Geotekstil *woven* UW-250
- b. Kuat Tarik Ultimet (Tu) = 50 kN/m

3. Koefisien Daya dukung tanah

Untuk koefisien daya dukung tanah bisa 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	10,88	44	118,37	115,31	224,64

Sumber : Departemen Pekerjaan Umum (2009)

1. Stabilitas Eksternal

- a. Menentukan jarak arah vertikal antar lapis geotekstil (S_v)

Beban merata kendaraan = 22.2 kN/m^2 digunakan faktor aman (SF) = 1,5

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

$$K_a = \tan^2 \left(45 - \frac{19}{2} \right) = 0,509$$

$$S_v1 = \frac{T_a}{\sigma_h \times SF}$$

$$T_a = \frac{50}{(1,3 \times 2 \times 1,2 \times 1,1)} = 14,569 \text{ kN/m}$$

$$\sigma_{hc} = K_a \times \sigma_v = K_a (z \gamma_b + q)$$

$$\sigma_{hc} = 0,509 (1,5 \times 17,8 + 22,2) = 24,88 \text{ kN/m}$$

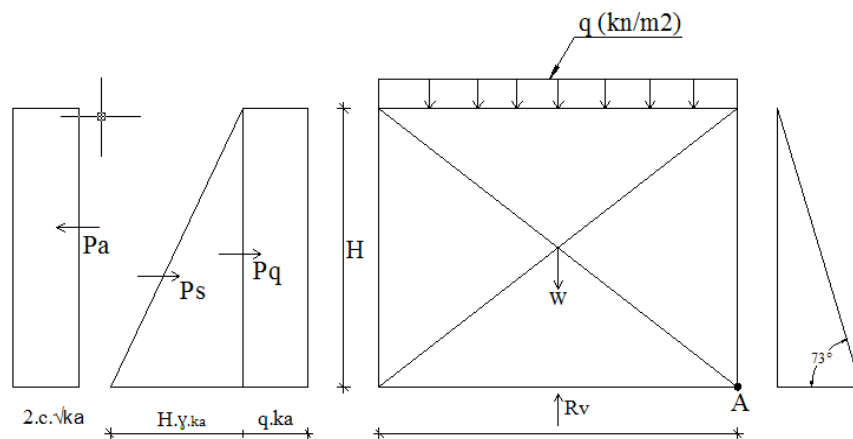
$$S_v = \frac{14,569}{24,88 \times 1,5} = 0,38 \text{ m}$$

Dilapangan dipasang $S_v = 0,5 \text{ m}$

Banyaknya lapis geotekstil = $1,5/0,5 = 3$ lembar

b. Menentukan panjang geotekstil

Diagram gaya yang bekerja pada tanah dapat dilihat pada Gambar 5.12 berikut ini. Gaya-gaya tersebut menjadi acuan dalam menentukan panjang geotekstil.



Gambar 5.10 Gaya-gaya yang Bekerja Pada Tanah Miring

Untuk menentukan panjang geotekstil yang digunakan, maka dilakukan beberapa tahap perhitungan seperti berikut ini.

1) Eksentrisitas

$$e = \frac{\sum MD}{R_v} = \frac{\left(P_q \times \frac{1}{2} H \right) + \left(P_s \times \frac{1}{3} H \right) - \left(P_k \times \frac{1}{2} H \right)}{(H \times \gamma b \times L) + (q \times L)}$$

Resultan gaya yang bekerja pada teras

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

$$\frac{1}{6}L \geq \frac{(22,2 \times 0,509 \times \frac{1}{2} \times 8^2) + (\frac{1}{2} \times 0,509 \times 17,8 \times 8^2 \times \frac{1}{3} \times 8) - (2 \times 22,2 \times \sqrt{0,509} \times \frac{1}{2} \times 8^2)}{(8 \times 17,8 \times L) + (22,2 \times L)}$$

$$164,6 L^2 \geq 1039,13$$

$$L^2 = 6,315 \text{ m}$$

$$L = 2,513 \text{ m}$$

2) Stabilitas terhadap guling

$$L^2 = \frac{SF \times H \times ka \times (q + \frac{1}{3} \times H \times \gamma b)}{\gamma b}$$

$$L^2 = \frac{(1,5 \times 8 \times 0,509 \times (22,2 + \frac{1}{3} \times 8 \times 17,8))}{17,8} = 23,895 \text{ m}$$

$$L = 4,888 \text{ m}$$

3) Stabilitas terhadap geser

$$L = \frac{SF \times ka \times (q + \frac{1}{2} \times H \times \gamma b)}{\gamma b \times \tan \phi}$$

$$L = \frac{1,5 \times 0,509 \times (22,2 + \frac{1}{2} \times 8 \times 17,8)}{17,8 \times \tan 19^\circ}$$

$$L = \frac{71,311}{6,129} = 11,635 \text{ m}$$

4) Tinjauan terhadap kapasitas dukung fondasi

Digunakan SF = 2

$$N_c = 13,93$$

$$N_\gamma = 4,68$$

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

$$q_{ult} = c \times N_c + 0,5 \times L \times \gamma_b \times N_\gamma$$

$$= 22 \times 13,93 + 0,5 \times L \times 17,8 \times 4,68$$

$$= 306,460 + 22,980 L$$

Maka,

$$\sigma_{ult} = q_{ult} \times SF$$

$$= (306,460 + 22,980 L) \times 2$$

$$= 612,920 + 45,960 L$$

$$L \leq \frac{612,920 + 45,960 L}{8 \times 17,8 + 22,2}$$

$$164,6 L \leq 612,92 + 83,304 L$$

$$L = \frac{612,92}{(164,6 - 83,304)} = 7,54 \text{ m}$$

Dari empat jenis parameter di atas, diambil panjang geotekstil (L) yang maksimum yaitu $L = 11,635 \approx 12 \text{ m}$.

2. Stabilitas Internal

Data yang diperlukan untuk analisis stabilitas pada timbunan dengan perkuatan, yaitu:

$$\text{panjang geotekstil (L)} = 12 \text{ m}$$

$$\text{jarak vertikal antar geotekstil (Sv)} = 0,5 \text{ m}$$

$$\text{kuat tarik geotekstil (Ta)} = 33,33 \text{ kN/m}$$

$$\text{Tinggi timbunan yang ditinjau (H)} = 1,5 \text{ m}$$

sebagai contoh dilakukan analisis pada perkuatan lapis pertama ($z = 0,5 \text{ m}$)

sebagai berikut:

- a. menghitung koefisien gesek antara tanah dengan perkuatan

$$\mu = \text{tg} (2\phi/3) = \text{tg} (2 \times 19^\circ/3) = 0,225$$

- c. menghitung panjang perkuatan yang berada di belakang garis longsor

$$L_e = \frac{SF \times S_{vi} \times k_a \times \gamma b \times z}{2 \times \gamma b \times z_i \times \text{tg} \phi}$$

$$L_e = \frac{1,5 \times 0,5 \times 0,509 \times 17,8 \times 1,5}{2 \times 17,8 \times 0,5 \times \text{tg} 19} = 1,66 \text{ m}$$

- d. menghitung koefisien tekanan tanah lateral aktif.

$$K_a = \text{tg}^2 (45^\circ - \phi/2) = \text{tg}^2 (45^\circ - 19/2) = 0,509$$

- e. menghitung tegangan vertikal

$$\sigma_v = (\gamma b \times z) + q = (17,8 \times 0,5) + 22,2 = 31,1 \text{ kN/m}^2$$

f. menghitung tegangan horizontal

$$\sigma_h = K_a \times \sigma_v = 0,509 \times 31,1 = 15,83 \text{ kN/m}^2$$

g. menghitung tekanan lateral setinggi S_v

$$\Delta P_h = S_v \times \sigma_h = 0,5 \times 15,83 = 7,915 \text{ kN/m}$$

h. menghitung faktor aman terhadap cabut tulangan

$$SF_p = 2\mu\sigma_v L_e / \Delta P_h = 2 \times 0,225 \times 48,9 \times 12 / 12,44 = 2,935$$

i. menghitung faktor aman terhadap putus tulangan

$$SF_r = T_a / \Delta P_h = 33.333 / 12.44 = 1,841$$

j. Menghitung panjang tekukan geotekstil (*overlapping*)

$$z = \text{kedalaman tekukan} = 0,5 - 0,25 = 0,25 \text{ m}$$

$$\sigma_{hc} = K_a \sigma_v \text{ (tekanan lateral ditengah –tengah tekukan)}$$

$$= 0,509 (0,25 \times 17,8 + 22,2) = 13,565 \text{ kN/m}^2$$

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

$$= \frac{13,565 \times 0,5 \times 1,5}{2 \times 17,8 \times 0,25 \times \text{tg } 19} = 5,08 \text{ m}$$

Perhitungan stabilitas internal pada timbunan ditampilkan pada Tabel 5.3.

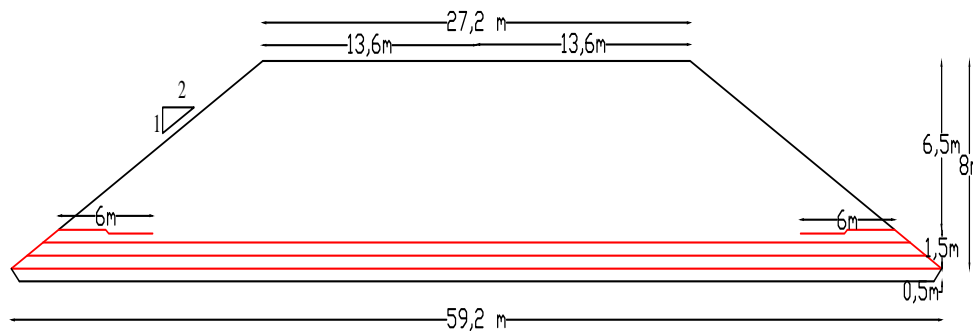
Tabel 5.3 Rekapitulasi Perhitungan Stabilitas Internal Pada Timbunan

No. Tulangan		1	2	3
Kedalaman (z)	(m)	0,5	1	1,5
K_a		0,509	0,509	0,509
σ_v	(kN/m ²)	31,1	40	48,9
σ_h	(kN/m ²)	15,83	20,35	24,88
L_e	(m)	1,66	1,109	0,849
SF_p		2,935	1,962	1,769
SF_r		1,841	1,79	1,67
σ_{hc}	(kN/m ²)	13,56	18,09	22,62
L_o	(m)	5,08	2,26	1,69

Pada perencanaan timbunan dengan perkuatan geotekstil, perkuatan difungsikan sebagai separator dan perkuatan sehingga pada pelaksanaan geotekstil dipasang selebar timbunan. Untuk hasil dari perencanaan geotekstil dapat dilihat pada Tabel 5.4.

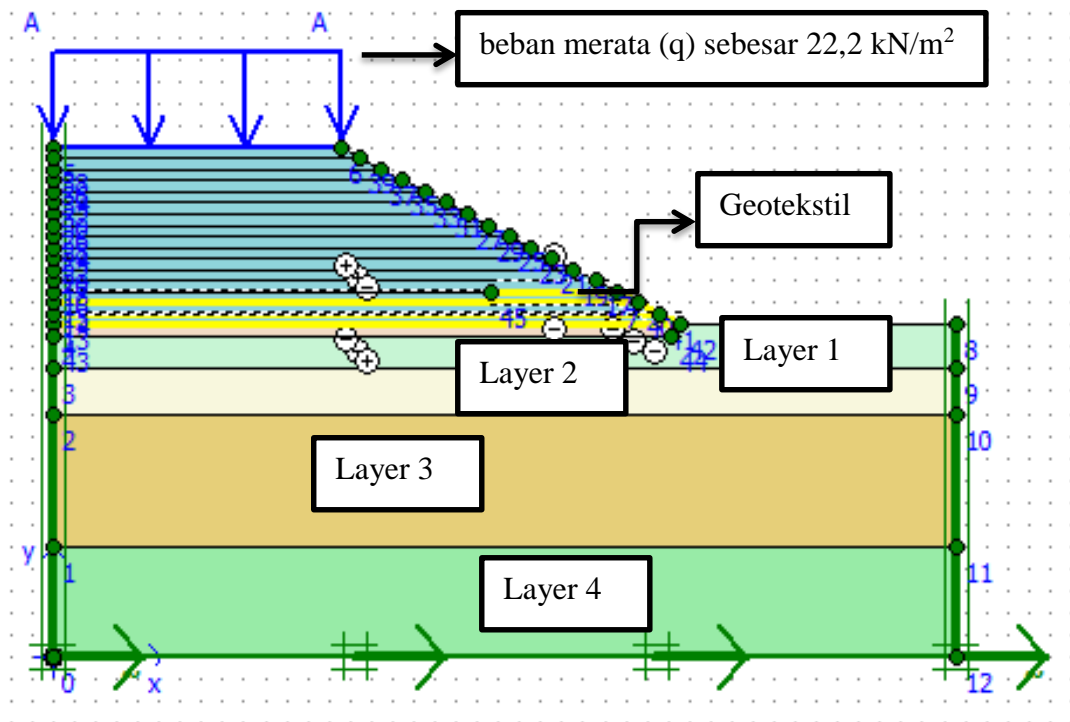
Tabel 5.4. Rekapitulasi Kebutuhan Geotekstil

Lapisan No	Z (m)	Sv (m)	L pakai (m)	Lo (m)
1	0,5	0,5	27,6	6
2	1	0,5	28,6	6
3	1,5	0,5	29,6	6

**Gambar 5.11 Rencana Pemasangan Geotekstil**

5.5.2 Pemodelan Tanah Timbunan dengan Perkuatan Geotekstil

Di dalam pengerjaan analisis stabilitas timbunan menggunakan program Plaxis v.8.2 perlu ditentukan terlebih dahulu model perilaku tegangan-regangan tanah yang akan digunakan. Pemilihan model perilaku tegangan-regangan tanah harus menggambarkan keadaan tanah di lapangan untuk memperoleh hasil analisis yang sesuai. Untuk analisis pada kasus ini akan digunakan model tanah *Mohr Coulomb*. Pada analisis stabilitas timbunan dengan perkuatan geotekstil menggunakan program Plaxis v.8.2 digunakan model regangan bidang (*plane strain*) dan elemen hingga 15 titik node. Pada Gambar 5.12 diperlihatkan garis berwarna kuning yang menggambarkan lapisan geotekstil yang dipasang sebanyak 3 lapisan dengan masing – masing lapisan berjarak 0.5 meter, pemasangan dilakukan pada dasar timbunan. Lapisan geotekstil ini berfungsi sebagai perkuatan yang diharapkan mampu memikul beban yang bekerja sehingga kekuatan jalan akan lebih meningkat, kuat tarik geotekstil yang digunakan pada penelitian ini adalah 50 kN/m.



Gambar 5.13 Model Geometri Timbunan Dengan Perkuatan Geotekstil

Model timbunan direncanakan mempunyai lebar 27.2 m dan tinggi 8 m serta kemiringan lereng 1:2. Tanah dasar terdiri dari tanah lempung. Lapisan tanah terdiri dari 4 lapisan berdasarkan hasil pengujian *soil investigation* oleh PT.LAPI-ITB. Tebal masing-masing lapisan adalah 2 meter untuk layer 1, layer 2 setebal 2 meter, layer 3 setebal 6 m, dan layer 4 setebal 5 meter serta untuk elevasi muka air tanah tepat berada pada permukaan tanah asli. Data geoteknik yang di *input* pada program Plaxis dapat dilihat pada BAB IV.

Pemodelan timbunan dapat dilihat pada Gambar 5.13 dengan beban timbunan dilakukan dalam 16 tahapan dimana tiap tahap dilakukan penimbunan setinggi 0,5 m selama kurang lebih 2 hari dan jeda waktu yang diberikan sebelum ke tahap penimbunan selanjutnya adalah 20 hari. Tahap selanjutnya diberikan penambahan beban berupa beban kendaraan dan beban gempa. Jepit standar digunakan untuk mendefinisikan kondisi batas.

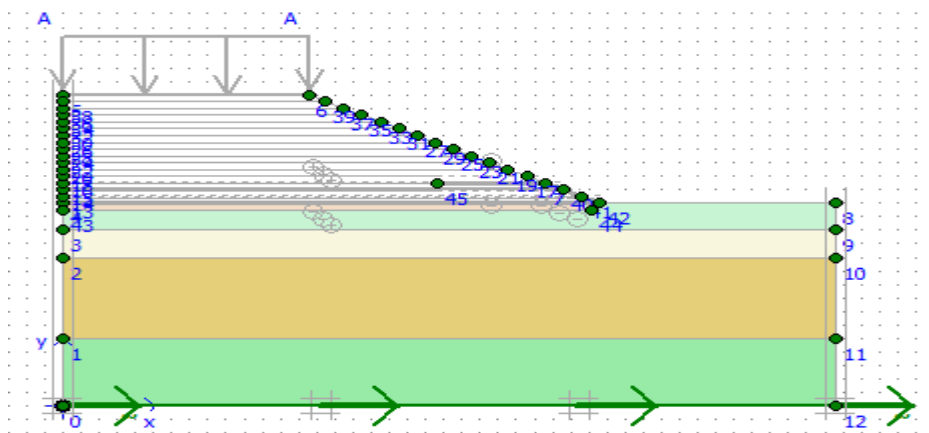
5.5.3 Tahapan Perhitungan Timbunan dengan Perkuatan Geotekstil

Konstruksi timbunan direncanakan dilakukan secara bertahap terdiri dari 16 lapis timbunan dan masing-masing lapis terdiri dari dua tahap yaitu tahap

konstruksi dan tahap konsolidasi. Tahap konstruksi membutuhkan waktu 2 hari, setelah tahapan konstruksi selesai, dilanjutkan dengan konsolidasi selama 20 hari agar tekanan air pori berlebih dapat berdisipasi. Tahap selanjutnya adalah penambahan beban lalu lintas, perkerasan, serta beban gempa. Analisis diakhiri dengan perhitungan nilai faktor aman.

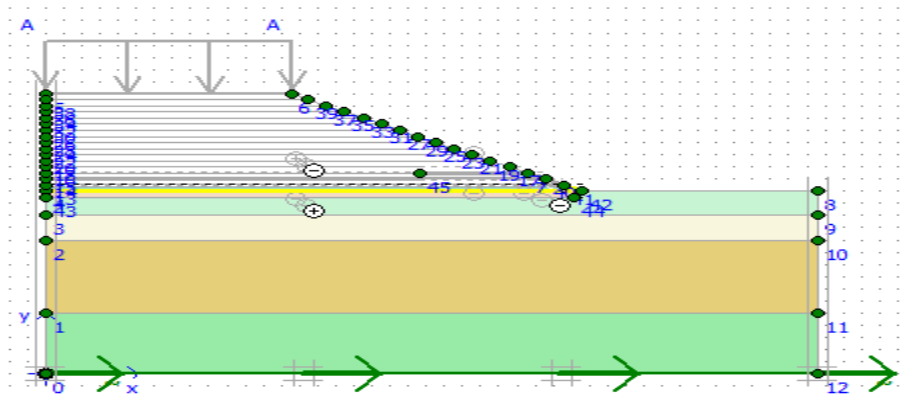
Untuk mendefinisikan tahap – tahap perhitungan, berikut adalah langkah-langkahnya.

1. Tahap phase 1, merupakan phase kondisi awal sebelum terbebani timbunan dimana tiap lapis timbunan dinonaktifkan (lihat Gambar 5.13).



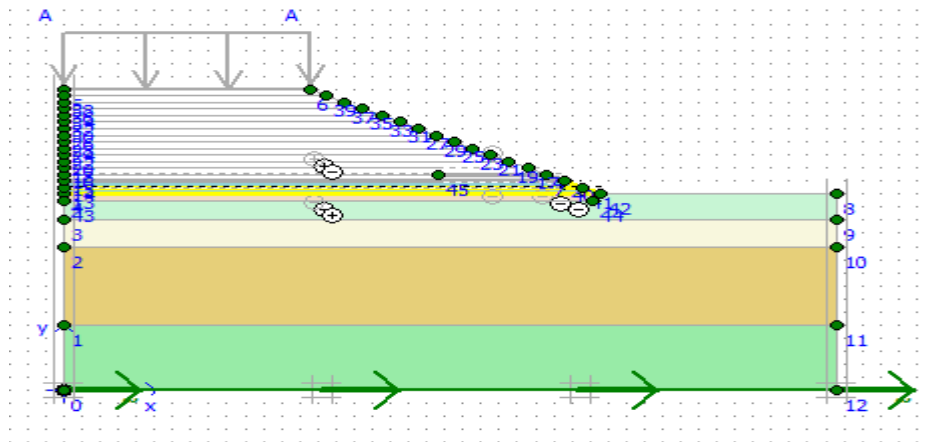
Gambar 5.13 Phase 1, Kondisi Awal

2. Tahap perhitungan ke-2 adalah analisis konsolidasi, tahapan konstruksi. Lapisan timbunan pertama dibebani setinggi 0,5 meter dengan interval waktu 2 hari serta mengaktifkan kembali perkuatan geotekstil (lihat Gambar 5.14).



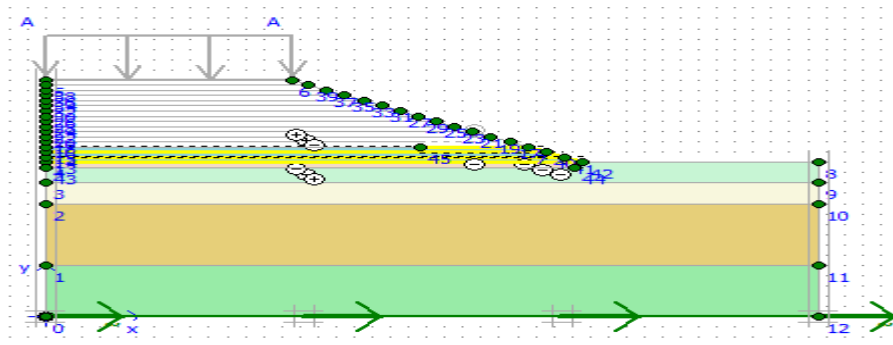
Gambar 5.14 Phase 2, Timbunan 1

3. Tahap ke-3 juga merupakan analisis konsolidasi, tahapan konstruksi. Pada tahap ini tidak ada perubahan dalam geometri karena hanya diperlukan analisis konsolidasi hingga waktu batas tertentu saja. Tanah dasar ditunggu terkonsolidasi akibat beban timbunan pertama selama 20 hari.
4. Tahap perhitungan ke-4 adalah analisis konsolidasi, tahapan konstruksi. Lapisan timbunan kedua dibebankan setinggi 0,5 meter, dengan interval waktu hari (lihat Gambar 5.15).



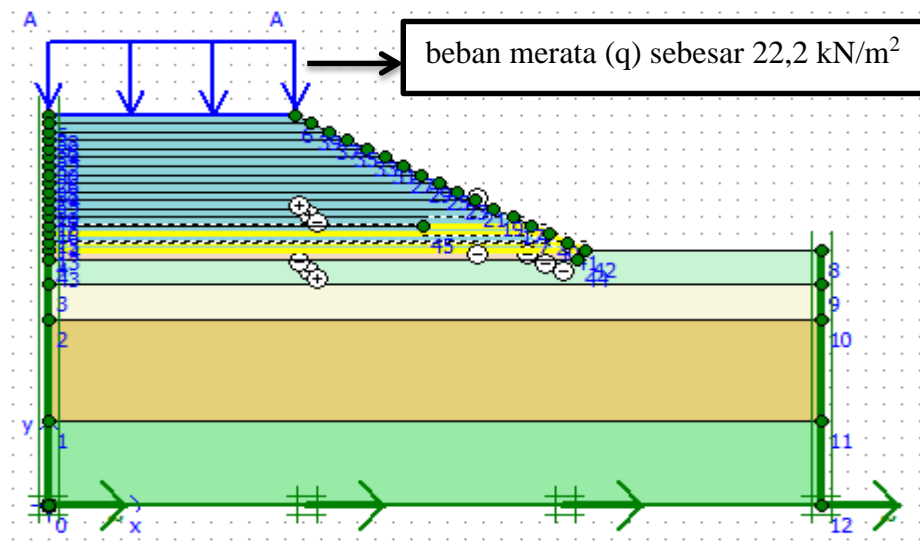
Gambar 5.15 Phase 4, Timbunan 2

5. Tahap ke-5 merupakan analisis konsolidasi, tahapan konstruksi. Pada tahap ini tidak ada perubahan dalam geometri karena hanya diperlukan analisis konsolidasi hingga waktu batas tertentu saja. Tanah dasar ditunggu terkonsolidasi akibat beban lapisan timbunan kedua selama 20 hari.
6. Tahap perhitungan ke-6 adalah analisis konsolidasi, tahapan konstruksi. Lapisan timbunan ketiga dibebankan setinggi 0,5 meter, dengan interval waktu 2 hari (lihat Gambar 5.16).



Gambar 5.16 Phase 6, Timbunan 3

7. Tahap ke-7 merupakan analisis konsolidasi, tahapan konstruksi. Pada tahap ini tidak ada perubahan dalam geometri karena hanya diperlukan analisis konsolidasi hingga waktu batas tertentu saja. Tanah dasar ditunggu terkonsolidasi akibat beban lapisan timbunan ketiga selama 20 hari. Tahapan dilanjutkan hingga pada timbunan terakhir yaitu pada timbunan ke-16, Phase 33.
8. Tahap ke-34 adalah analisis plastis, tahapan konstruksi dengan melakukan penambahan beban di atas timbunan. Diberikan beban merata (q) sebesar $22,2 \text{ kN/m}^2$ yang merupakan kombinasi beban lalu lintas dan perkerasan (lihat Gambar 5.17).



Gambar 5.17 Phase 16, Beban Lalu lintas dan Perkerasan

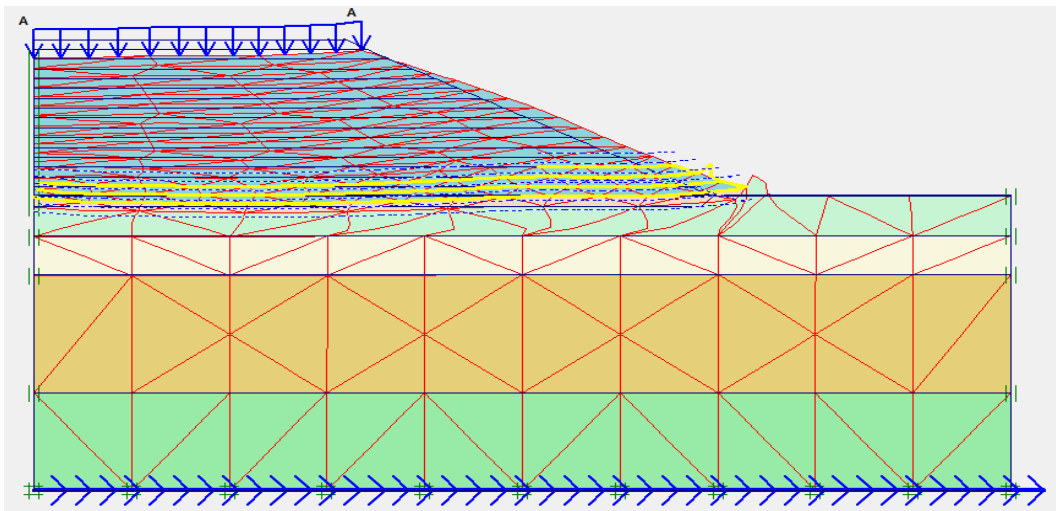
9. Tahap ketujuh belas merupakan analisis dinamik, sebagai gambaran perilaku timbunan saat mengalami gempa bumi. Digunakan akselerogram dari sebuah gempa yang direkam oleh USGS pada tahun 2014 dengan mengatur interval waktu sebesar 15 detik untuk analisis ini.
10. Tahap kedelapan belas merupakan tahap perhitungan faktor aman dengan metode *Reduksi phi-c*.

Fase – fase tersebut menggambarkan kondisi selama pelaksanaan penimbunan sampai dengan analisis angka aman, ketika timbunan selesai dibangun.

5.5.4 Output Analisis Timbunan Dengan Perkuatan Geotekstil

Penggunaan bahan geotekstil sebagai bahan perkuatan di dasar timbunan berfungsi mengurangi penurunan tanah dasar secara mendadak akibat penambahan beban di atasnya. Setiap lapis timbunan yang diberikan di atas tanah dasar mengakibatkan peningkatan tekanan air pori tanah dasar, hal ini menyebabkan tegangan geser tanah dasar efektif menjadi menurun. Parameter tegangan geser efektif sesaat setelah penambahan lapis timbunan menjadi rendah. Dalam kondisi tersebut, perkuatan geotekstil memegang peranan penting untuk menggantikan kemampuan dukung tanah sesaat yang lemah.

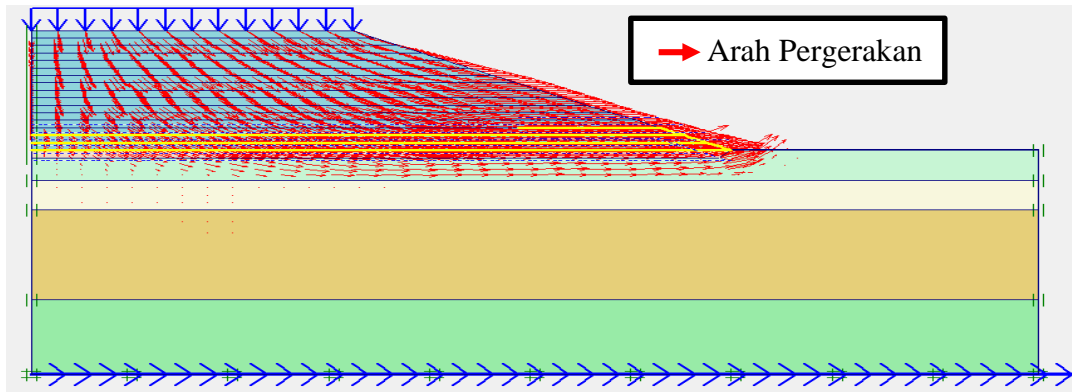
Gambar 5.18 adalah hasil *meshing* menggunakan program plaxis v.8.2 pada kondisi timbunan dengan perkuatan menggunakan pilihan jaringan kasar (*course*). Garis kuning pada gambar tersebut menunjukkan perkuatan geotekstil yang dibentangkan dibawah tanah timbunan berbatasan dengan tanah dasar.



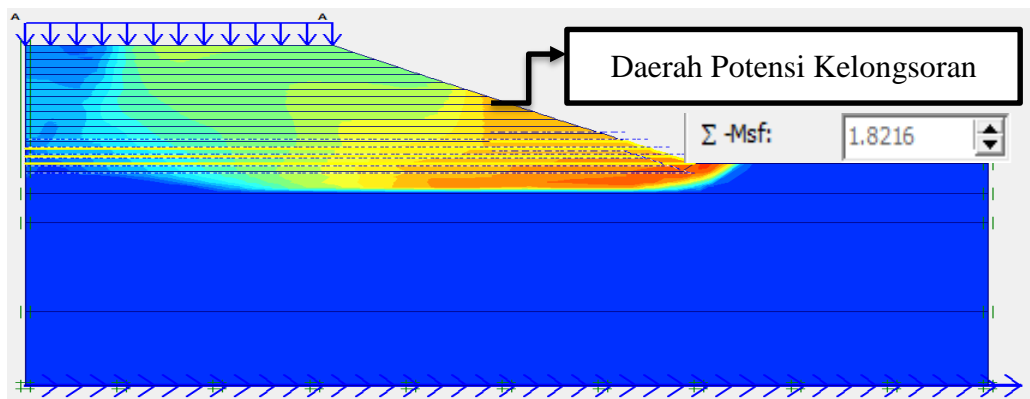
Gambar 5.18 Defomed Mesh Timbunan dengan Perkuatan Geotekstil

Gambar 5.20 dapat juga dilihat zona aktif dan zona pasif yang terbentuk, zona aktif di tandai dengan warna orange dan zona pasif ditandai dengan warna biru tua. Kelongsoran terjadi hingga pada lapisan dibawah timbunan, hal ini dapat ditunjukkan oleh warna orange yang terbentuk dari mekanisme keruntuhan timbunan tanah dengan perkuatan geotekstil lebih sedikit dibandingkan dengan timbunan tanah asli atau tanpa perkuatan geotekstil. Hal ini menunjukkan pengaruh penambahan material geotekstil di antara tanah timbunan dengan tanah

dasar ini dapat mengurangi penurunan total, geotekstil mampu mengurangi permasalahan penurunan di akhir proses pelaksanaan penimbunan berlangsung sampai dengan penambahan beban.



Gambar 5.19 Arah Pergerakan Tanah Pada Timbunan Setelah Proses Konstruksi Timbunan

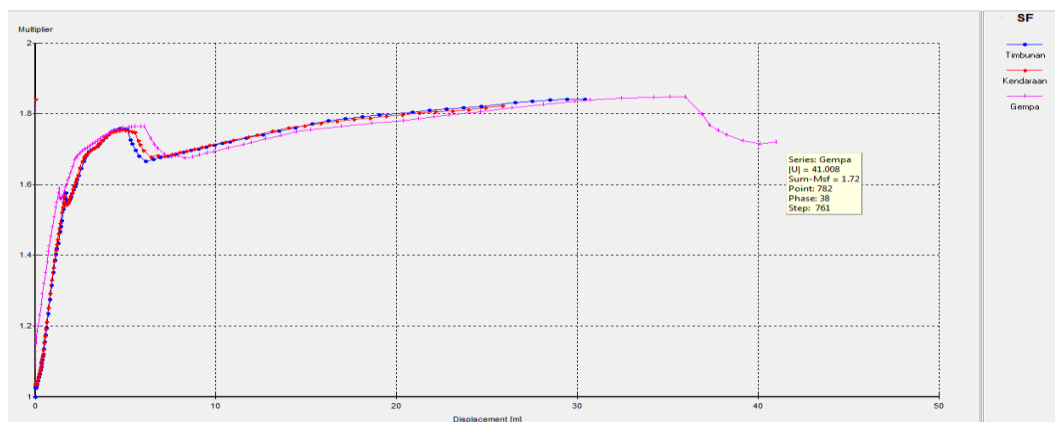


Gambar 5.20 Potensi Kelongsoran Timbunan dengan Perkuatan Setelah Proses Konstruksi Timbunan Selesai

Hasil analisis faktor aman timbunan dengan perkuatan geotekstil dengan beban operasional yang diberikan berupa beban kendaraan, perkerasan dan beban gempa dapat dilihat pada Tabel 5.5 dan Gambar 5.21.

Tabel 5.5. Hasil Analisis Faktor Aman Timbunan dengan Perkuatan Geotekstil

Analisis	Faktor Aman (SF)
Akibat Timbunan	1,8405
Akibat Beban Kendaraan	1,8216
Akibat Beban Gempa	1,7196



Gambar 5.21 Hasil Analisis Angka Aman Timbunan dengan Perkuatan Geotekstil Menggunakan Plaxis v.8.2

5.6 Pembahasan

Dari hasil analisis stabilitas timbunan dengan menggunakan program Plaxis v.8.2 didapatkan nilai Faktor aman (*Safety Factor*) yang berbeda-beda sesuai dengan kondisi masing-masing model timbunan yang di gunakan seperti tampak pada Tabel 5.6.

Tabel 5.6 Rekapitulasi Hasil Analisis Stabilitas Timbunan Tanpa Dan Dengan Perkuatan Menggunakan Plaxis v.8.2

ANALISIS	Faktor aman (SF)		
	Beban Timbunan	Beban Timbunan + Beban Kendaraan	Beban Timbunan + Beban Kendaraan + Beban Gempa
Timbunan tanpa perkuatan	1,0048	1,0047	0,9948
Timbunan dengan perkuatan	1,8405	1,8216	1,7196

Berdasarkan hasil analisis dengan menggunakan program Plaxis, perkuatan geotekstil sangat berpengaruh pada timbunan jalan. Hal ini terlihat pada Tabel 5.6 bahwa terdapat perbedaan antara faktor aman, kondisi timbunan dengan perkuatan lebih besar dibandingkan dengan timbunan tanpa perkuatan. Pada struktur

timbunan tanpa pekuatan faktor aman final yang dapat dicapai adalah 0,9948. Hal ini menunjukkan bahwa kondisi timbunan tersebut tidak aman, karena faktor aman yang didapat lebih kecil dari syarat faktor aman yang telah ditetapkan yaitu 1,5.

Faktor aman pada struktur timbunan dengan perkuatan geotekstil menunjukkan perbedaan nilai yang cukup tinggi. Hal ini menunjukkan bahwa perkuatan geotekstil *woven* mampu meningkatkan faktor aman dari 0,9948 menjadi 1,8216. Meningkatnya faktor aman tersebut dikarenakan parameter *interface* dan parameter dasar yang dimiliki oleh geotekstil *woven* (kekakuan dan kuat tarik) mempengaruhi karakteristik perkuatan geotekstil ketika digunakan pada struktur di dalam tanah. Geotekstil mampu menahan gaya tarik, sehingga timbunan yang diberi perkuatan geotekstil menjadi lebih stabil dibandingkan dengan timbunan tanpa perkuatan geotekstil.