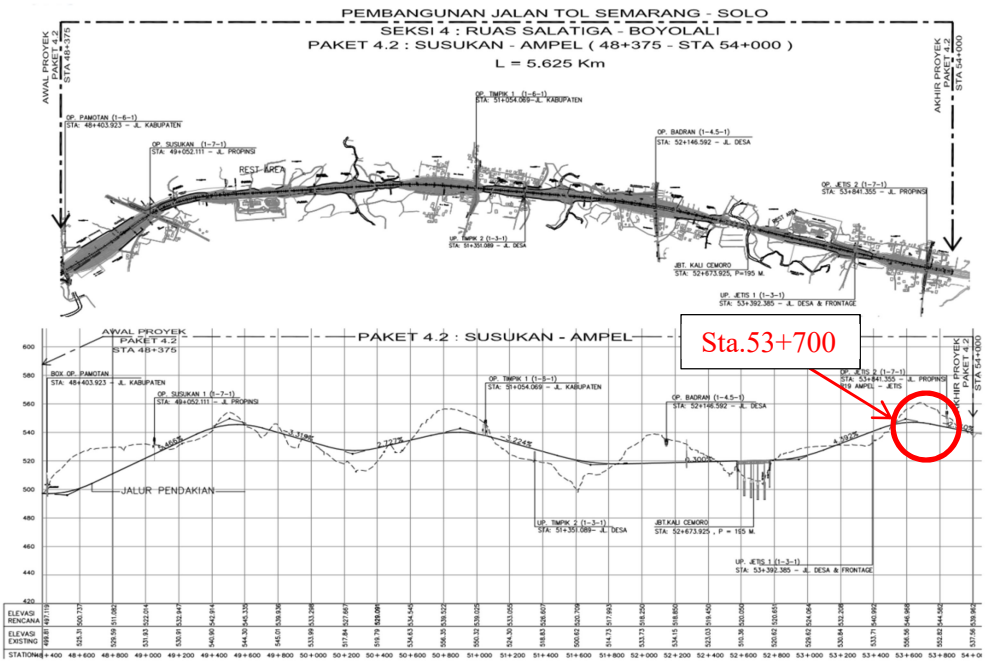
BAB V
ANALISIS DAN PEMBAHASAN

5.1 Data Umum

Pada analisis ini lereng yang diteliti adalah lereng galian pada Proyek Pembangunan Jalan Tol Semarang-Solo Ruas Salatiga-Kartasura tepatnya pada sta 53+700. Titik sta 53+700 merupakan salah satu titik yang spesial karena merupakan salah satu titik lereng galian tertinggi dengan ketinggian mencapai 17,5 m dari permukaan jalan utama. Layout Pembangunan Jalan Tol Semarang-Solo Ruas Salatiga-Kartasura dapat dilihat pada Gambar 5.1.



Gambar 5.1 Layout Pembangunan Jalan Tol Semarang-Solo

(Sumber:Dokumen Pengadaan PT.Solo Ngawi Jaya,2016)

5.2 Data Teknis

Data-data teknis yang diperlukan dalam analisis stabilitas lereng menggunakan program Plaxis Versi 8.6 meliputi data primer, data sekunder, geometri lokasi kajian dan dimensi *sheet pile* yang digunakan.

5.2.1 Data Primer

Data primer pada analisis stabilitas lereng ini didapatkan dari hasil pengujian kadar air, berat volume tanah, berat jenis tanah, analisa butira tanah, batas-batas *Atteberg*, dan pengujian geser langsung.

1. Kadar air

   Pengujian kadar air bertujuan untuk menentukan kadar air sampel tanah. Kadar air adalah persentase nilai perbandingan antara berat air dalam satuan tanah dengan berat kering tanah tersebut. Rekapitulasi hasil perhitungan pengujian kadar air dapat dilihat pada Tabel 5.1.

Tabel 5.1 Hasil Pengujian Kadar Air

No	Pengujian	Satuan	1	2
1	Berat Container (W1)	gr	9,01	9,01
2	Berat Container + Tanah Basah (W2)	gr	47,91	41,81
3	Berat Container + Tanah Kering (W3)	gr	36,51	32,11
4	Berat Air (Ww = W2 – W3)	gr	11,4	9,70
5	Berat Tanah Kering (W3 – W1)	gr	27,50	23,10
6	Kadar Air ((W2 – W3)/(W3 – W1)) x 100%	%	41,45%	41,99%
7	Kadar Air rata-rata (w)	%	41,72%	

Berdasarkan hasil pengujian kadar air, didapatkan hasil kadar air rata-rata pada Proyek Pembangunan Jalan Tol Semarang-Solo Ruas Salatiga-Kartasura sebesar 41,72%.

2. Berat volume

   Pengujian berat volume bertujuan untuk menentukan berat volume sampel tanah. Berat volume tanah adalah nilai perbandingan berat tanah total termasuk air yang terkandung di dalamnya dengan volume tanah total. Rekapitulasi hasil perhitungan pengujian berat volume tanah dapat dilihat pada Tabel 5.2.

Tabel 5.2 Hasil Pengujian Berat Volume Tanah

No	Pengujian	Satuan	1	2
1	Diameter ring	cm	6,17	6,17
2	Tinggi ring	cm	1,86	1,86
3	Volume ring	cm^3	55,61	55,61
4	Berat ring	gr	65,81	65,81
5	Berat ring + tanah basah	gr	164,91	155,71
6	Berat tanah basah	gr	99,10	89,90
7	Berat volume tanah	gr/ cm^3	1,78	1,62
8	Berat volume rata-rata	gr/ cm^3	1,699	

   Berdasarkan hasil pengujian berat volume, didapatkan hasil berat volume rata-rata pada Proyek Pembangunan Jalan Tol Semarang-Solo Ruas Salatiga-Kartasura sebesar 1,699 gr/ cm^3.

3. Berat jenis

   Pengujian berat jenis bertujuan untuk menentukan berat jenis sampel tanah. Berat jenis (Gs) adalah perbandingan antara berat volume butiran padat (γ_s) dengan berat volume air (γ_w) dengan volume yang sama pada *temperature* tertetu. Rekapitulasi hasil perhitungan pengujian berat jenis dapat dilihat pada Tabel 5.3.

Tabel 5.3 Hasil Pengujian Berat Jenis

No	Pengujian	Satuan	1	2
1	Berat piknometer (W1)	gr	175,50	175,50
2	Berat piknometer + tanah kering (W2)	gr	375,80	375,50
3	Berat piknometer + tanah + air (W3)	gr	816,40	819,40
4	Berat piknometer + air (W4)	gr	692,30	692,40
5	Suhu air	°C	26	26
6	γw pada suhu (t° C)	gr/cm^3	0,9968	0,9968
7	γw pada suhu (27,5° C)	gr/cm^3	0,9966	0,9966
8	Berat jenis tanah pada suhu (t° C)		2,63	2,74
9	Berat jenis tanah pada suhu (27,5° C)		2,63	2,74
10	Berat jenis rata-rata pada suhu (27,5°C)		2,68	

Berdasarkan hasil pengujian berat jenis, didapatkan hasil berat jenis rata-rata pada Proyek Pembangunan Jalan Tol Semarang-Solo Ruas Salatiga-Kartasura sebesar 2,68.

4. Analisis butiran tanah

Pengujian analisis butiran tanah bertujuan untuk menentukan persentase ukuran butir tanah pada benda uji yang tertahan saringan no.200 dan untuk menentukan gradasi agregat halus dan agregat kasar. Rekapitulasi hasil perhitungan pengujian analisis saringan dapat dilihat pada Tabel 5.4.

Tabel 5.4 Hasil Uji Analisis Saringan

No. Saringan	Diameter Saringan	Berat Tanah Tertahan		Berat Tanah Lolos		% Tertahan		% Lolos	
	mm	gr		gr		%		%	
		1	2	1	2	1	2	1	2
4	4,75	1,86	0	998,14	1000	0,19	0	99,81	100
10	2	3,57	0,23	994,57	999,77	0,36	0,02	99,46	99,98
20	0,85	15,4	0,37	979,17	999,4	1,54	0,04	97,92	99,94
40	0,425	23,8	25,19	955,37	974,21	2,38	2,52	95,54	97,42
60	0,25	13,2	20	942,17	954,21	1,32	2	94,22	95,42
140	0,106	26,49	25,24	915,68	928,97	2,65	2,52	91,57	92,90
200	0,075	26,73	49,99	888,95	878,98	2,67	5,00	88,90	87,90
Pan		888,95	878,98	0	0	88,90	87,90	0	0

Berdasarkan hasil pengujian berat jenis, didapatkan hasil persen lolos untuk kedua sampel pada saringan no.200 sebesar 88,90 % untuk sampel 1 dan 87,90 % untuk sampel 2. Sehingga persen lolos rata-rata pada Proyek Pembangunan Jalan Tol Semarang-Solo Ruas Salatiga-Kartasura sebesar 88,40 %.

5. Analisis hidrometer

   Pengujian hidrometer dilakukan untuk menentukan distribusi ukuran butiran tanah yang lolos saringan no. 200. Rekapitulasi hasil perhitungan pengujian analisis hidrometer dapat dilihat pada Tabel 5.5 untuk sampel I dan Tabel 5.6 untuk sampel II.

Tabel 5.5 Hasil Pengujian Analisis Hidrometer Sampel I

Waktu	Suhu	Ra	Rc	% Lolos	R	L	L/t	K	Diameter
Menit	^{o}C					cm			mm
0	26	40	42	45,154	43	120	0	0,0127	0
2	26	31	33	35,478	34	120	60	0,0127	0,098
5	26	45	47	50,529	48	120	24	0,0127	0,062
30	26	13	15	16,126	16	120	4	0,0127	0,025
60	26	10	12	12,901	13	120	2	0,0127	0,018
250	27	4	6	6,451	7	119	0,476	0,0125	0,009
1440	27	1	3	3,225	4	119	0,083	0,0125	0,004

Tabel 5.6 Hasil Pengujian Analisis Hidrometer Sampel II

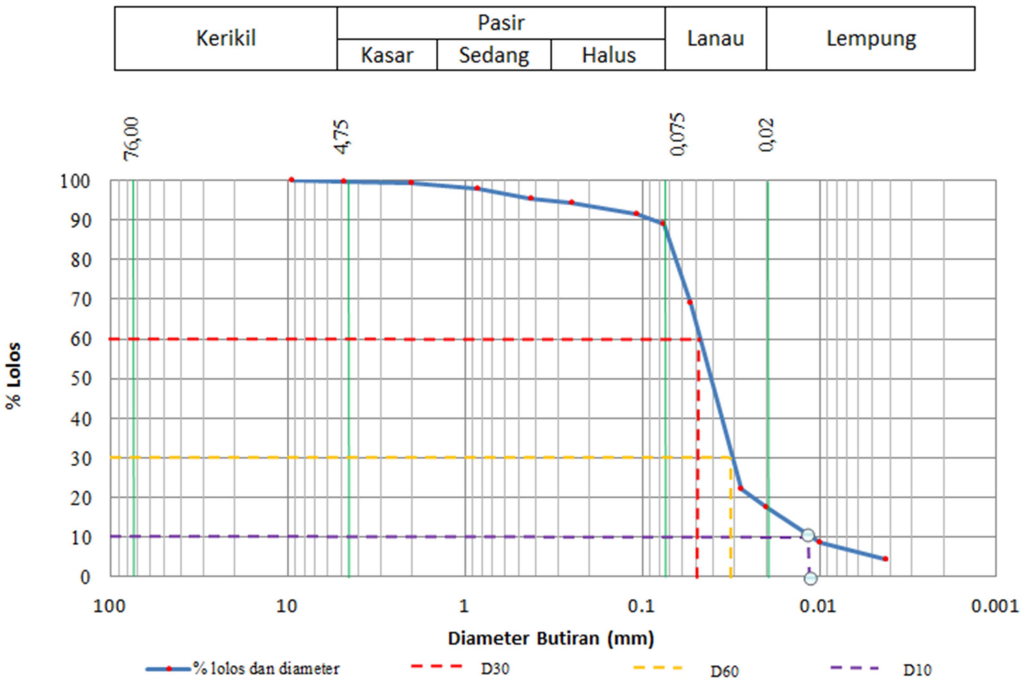
Waktu	Suhu	Ra	Rc	% Lolos	R	L	L/t	K	Diameter
Menit	^{o}C					cm			mm
0	26	48	50	57,73	51	120	0	0,0127	0
2	26	37	39	45,03	40	120	60	0,0127	0,098
5	26	43	45	51,96	46	120	24	0,0127	0,062
30	26	20	22	25,40	23	120	4	0,0127	0,025
60	26	15	17	19,63	18	120	2	0,0127	0,018
250	26	9	11	12,70	12	120	0,48	0,0127	0,009
1440	26	3	5	5,77	6	120	0,083	0,0127	0,004

Berdasarkan hasil pengujian hidrometer, didapatkan nilai diameter butir tanah dan persen lolos untuk setiap sampel. Hasil persen lolos uji hidrometer dapat dilihat pada Tabel 5.7.

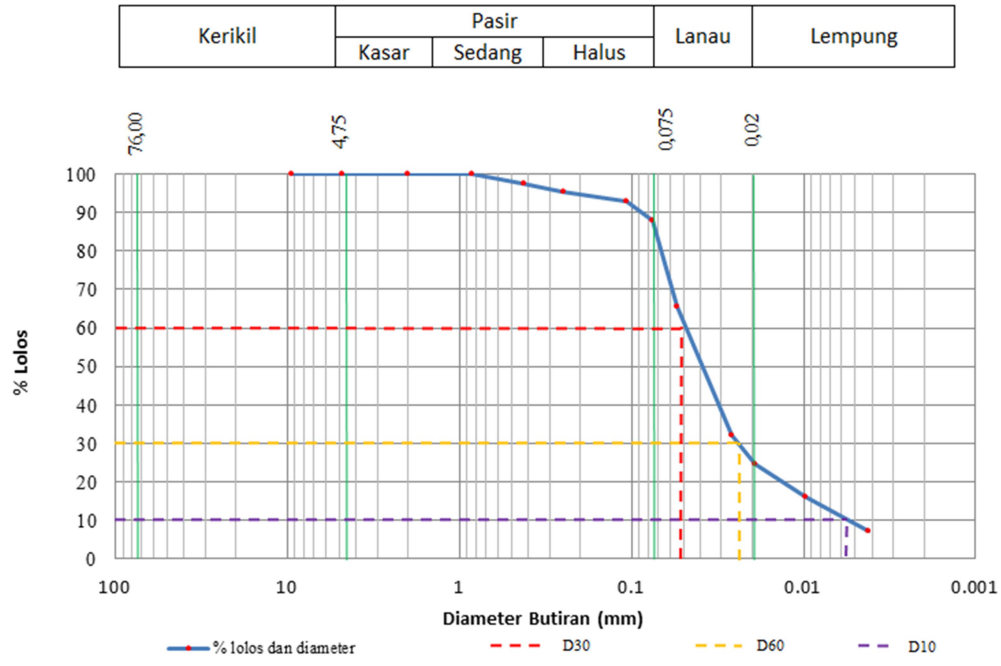
Tabel 5.7 Hasil Persen Lolos Uji Hidrometer

Diameter Butir Tanah (mm)		% Lolos (%)	
1	2	1	2
0,053	0,054	69,217	65,528
0,028	0,026	22,090	32,036
0,020	0,019	17,672	24755
0,010	0,010	8,836	16,018
0,004	0,004	4,418	7,281

Berdasarkan hasil pengujian analisis butiran tanah dan analisis hidrometer, didapatkan grafik *grain size analysis*. Grafik *grain size analysis* dapat dilihat pada Gambar 5.2 dan 5.3.



Gambar 5.2 Grafik *Grain Size Analysis* Sampel I



Gambar 5.3 Grafik *Grain Size Analysis* Sampel II

Berdasarkan Gambar 5.2 dan Gambar 5.3 di atas, didapatkan persentase ukuran butiran pada tanah asli dan menunjukkan jenis tanah untuk kedua sampel yang dapat dilihat pada Tabel 5.8.

Tabel 5.8 Prosentasi Butiran Berdasarkan Jenisnya

Keterangan	Sampel I	Sampel II	Satuan
Lolos # 200	88,895	87,898	%
Kerikil	0	0	%
Pasir	10	13,5	%
Lanau	72,5	62,5	%
Lempung	17,5	24	%
D10	0,012	0,0057	mm
D30	0,031	0,024	mm
D60	0,049	0,052	mm
Cu=D60/D10	4,08333	9,12281	
Cc=D30/(D10xD60)	1,63435	1,94332	

Berdasarkan Tabel 5.8 dapat diketahui bahwa tanah sampel pada Proyek Pembangunan Jalan Tol Semarang-Solo Ruas Salatiga-Kartasura berjenis lanau berlempung.

6. Batas susut

   Pengujian batas susut bertujuan untuk menentukan kadar air tanah pada kondisi batas susut. Rekapitulasi hasil perhitungan pengujian batas susut dapat dilihat pada Tabel 5.9.

Tabel 5.9 Hasil Pengujian Batas Susut

No	Pengujian		Sampel I		Sampel II	
1	No Ring		1	2	1	2
2	Diameter Ring	cm	4,18	4.13	4,18	4,13
3	Tinggi Ring	cm	1,15	1.13	1,15	1,13
4	Volume Ring	cm3	15,781	15.138	15,781	15,138
5	Berat cawan susut	gr	39	34.8	39	34,8
6	cawan susut + tanah basah	gr	66,45	67.4	66,45	67,4
7	cawan susut + tanah kering	gr	61,54	59.55	61,11	62,41
8	Berat Tanah Kering	gr	22,54	24.75	22,11	27,61
9	Berat Air	gr	4,91	7.85	5,34	4,99
10	Kadar Air	%	21,783	31.717	24,152	18,073
11	Kadar Air Rata-rata	%	26,750		21,113	
12	Berat Air Raksa + Gelas Ukur	gr	224,75	230,44	224,75	230,44
13	Berat Gelas Ukur	gr	60,52	60,52	60,52	60,52
14	tanah kering (Wo)	gr	22,54	24,75	22,11	27,61
15	volume tanah kering (Vo)	cm3	12,08	12,49	12,08	12,49
16	Batas Susut (SL)	%	21,619	31,610	23,985	17,977
17	Batas Susut rata-rata	%	26,615		20,981	
18	Angka Susut (SR)	cm	1,866	1,982	1,830	2,211
19	Susut Volumetrik (SV)	cm3	0,306	0,212	0,306	0,212
20	Susut Linear (LS)	%	0,001	0,001	0,001	0,001

Berdasarkan hasil pengujian batas susut didapatkan kadar air pada tanah uji Proyek Pembangunan Jalan Tol Semarang-Solo Ruas Salatiga-Kartasura sebesar 26,615 % untuk sampel I dan 20,981 % untuk sampel II. Sehingga didapatkan nilai batas cair rata-rata adalah 23,798 %.

7. Batas cair

   Pengujian batas cair bertujuan untuk menentukan batas cair tanah. Batas cair (LL) didefinisikan sebagai kadar air tanah pada batas antara keadaan cair dan keadaan plastis, yaitu batas atas dari daerah plastis.

   Rekapitulasi hasil perhitungan pengujian batas cair dapat dilihat pada Tabel 5.10 untuk sampel I dan Tabel 5.11 untuk sampel II.

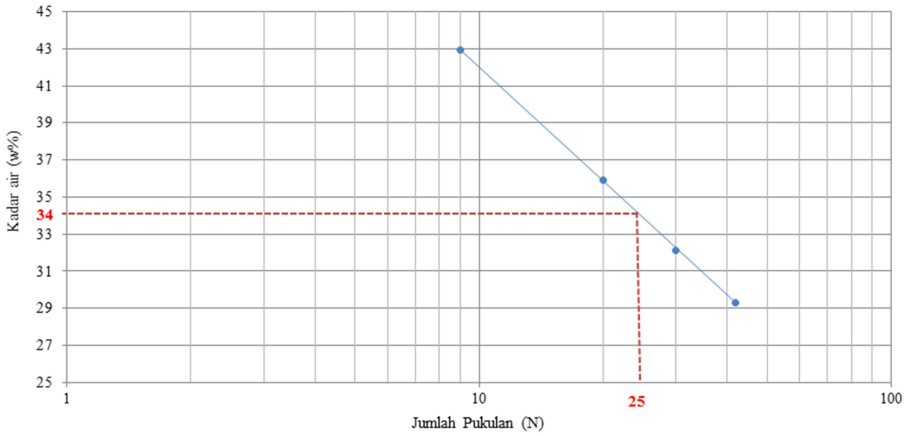
Tabel 5.10 Hasil Pengujian Batas Cair Sampel I

No Pengujian		I		II		III		IV	
No Cawan		1	2	3	4	5	6	7	8
Berat Cawan	(gr)	9,61	9,31	9,11	8,91	8,91	8,91	9,01	9,01
Berat Cawan + Tanah Basah	(gr)	17,51	18,11	19	24,15	21,1	20,91	20,16	18,91
Berat Cawan + Tanah Kering	(gr)	15,5	15,11	16,75	19,61	19,1	17,21	19,25	15,62
Berat Air	(gr)	2,01	3	2,25	4,54	2	3,7	0,91	3,29
Berat Tanah Kering	(gr)	5,89	5,8	7,64	10,7	10,19	8,3	10,24	6,61
Kadar Air	%	34,126	51,724	29,450	42,430	19,627	44,578	8,887	49,773
Kadar Air Rata-Rata	%	42,925		35,940		32,103		29,330	
Jumlah Pukulan, N		9		20		30		42	

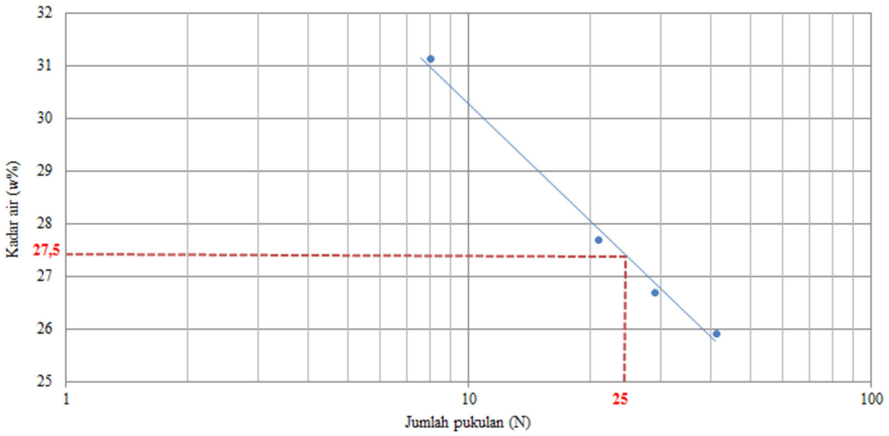
Tabel 5.11 Hasil Pengujian Batas Cair Sampel II

No Pengujian		I		II		III		IV	
No Cawan		1	2	3	4	5	6	7	8
Berat Cawan	(gr)	9.61	9.31	9.11	8.91	8.91	8.91	9.01	9.01
Berat Cawan + Tanah Basah	(gr)	14.81	12.91	15.41	15.38	12.11	14.51	14.91	14.11
Berat Cawan + Tanah Kering	(gr)	13.81	11.91	14.11	13.91	11.35	13.49	13.83	12.95
Berat Air	(gr)	1	1	1.3	1.47	0.76	1.02	1.08	1.16
Berat Tanah Kering	(gr)	4.2	2.6	5	5	2.44	4.58	4.82	3.94
Kadar Air	%	23.810	38.462	26	29.400	31.148	22.271	22.407	29.442
Kadar Air Rata-Rata	%	31.136		27.700		26.709		25.924	
Jumlah Pukulan, N		9		8		21		29	

Berdasarkan hasil perhitungan diatas, maka didapatkan grafik perbandingan jumlah pukulan terhadap kadar air. Grafik perbandingan jumlah pukulan terhadap kadar air dapat dilihat pada Gambar 5.3 untuk sampel I dan Gambar 5.4 untuk sampel II.



Gambar 5.3 Grafik Jumlah Pukulan vs Kadar Air Sampel I



Gambar 5.4 Grafik Jumlah Pukulan vs Kadar Air Sampel II

Berdasarkan Grafik 5.2 dan Grafik 5.3 didapatkan kadar air pada pukulan ke 25 yang merupakan batas cair tanah uji pada Proyek Pembangunan Jalan Tol Semarang-Solo Ruas Salatiga-Kartasura sebesar 34 % untuk sampel I dan 27,4 % untuk sampel II. Sehingga didapatkan nilai batas cair rata-rata adalah 30,75 %.

8. Batas plastis

   Pengujian batas plastis bertujuan untuk menentukan kadar air pada kondisi batas plastis. Batas plastis (Plastic limit) didefinisikan sebagai kadar air pada kedudukan antara daerah plastis dan semi padat, yaitu persentase kadar air dimana tanah dengan diameter silinder 3,2 mm mulai retak-retak ketika digulung. Rekapitulasi hasil pengujian batas plastis dapat dilihat pada Tabel 5.12.

Tabel 5.12 Rekapitulasi Hasil Pengujian Batas Plastis

Pengujian	Sampel I		Sampel II	
No. Cawan	1	2	1	2
Berat Cawan (gr)	8,91	9,01	8,91	9,01
Cawan+Tanah basah(gr)	12,21	10,51	10,31	10,51
Cawan+Tanah kering(gr)	11,71	10,11	10,21	10,11
Berat Air (gr)	0,5	0,4	0,1	0,4
Berat Tanah Kering (gr)	2,8	1,1	1,3	1,1
Kadar Air (%)	17,857	36,364	7,692	36,364
Kadar Air Rata-rata (%)	27,110		22,028	

   Berdasarkan hasil perhitungan pengujian batas plastis didapatkan nilai batas plastis sebesar 27,110 % untuk sampel I dan 22,028 % untuk sampel II. Sehingga didapatkan nilai batas plastis rata-rata sebesar 24,569 %.

   Setelah mendapatkan nilai batas cair (LL) dan batas plastis (PL), maka didapat juga indeks plastisitas (IP) = LL-PL sebesar 6,181 %.

   Dengan berpedoman pada peraturan ASTM Standard D2487, klasifikasi jenis tanah pada Proyek Pembangunan Jalan Tol Semarang-Solo Ruas Salatiga-Kartasura termasuk jenis tanah lanau (ML).

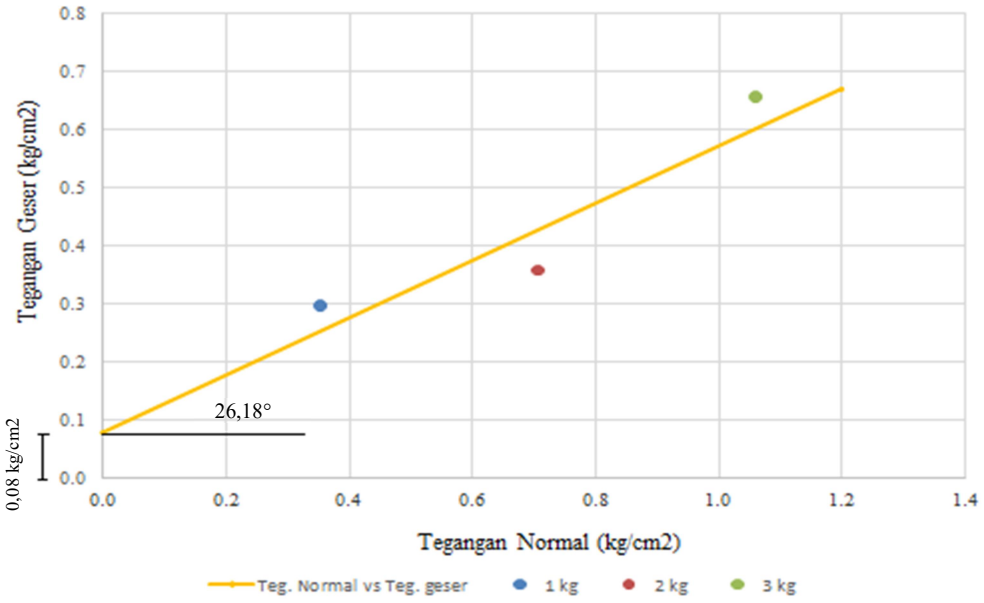
9. Pengujian geser langsung

   Pengujian geser langsung bertujuan untuk mengetahui nilai kohesi dan sudut geser dalam suatu tanah. Parameter kuat geser tanah diperlukan untuk analisis stabilitas lereng Rekapitulasi hasil pengujian geser langsung dapat dilihat pada Tabel 5.13.

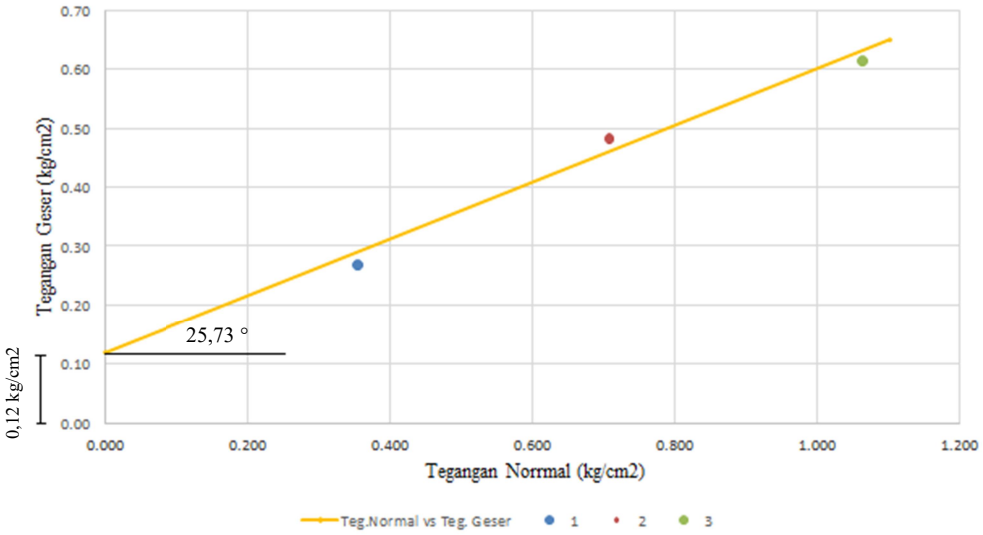
Tabel 5.13 Hasil Pengujian Geser Langsung

Penggeseran	Satuan	Sampel 1			Sampel 2		
		1	2	3	1	2	3
Beban Normal	kg	1	2	3	1	2	3
Tegangan Normal (σ)	kg/cm2	0,354	0,707	1,061	0,354	0,707	1,061
Tegangan Geser Maksimum (τ)	kg/cm2	0,300	0,358	0,657	0,270	0,585	0,614

Berdasarkan Tabel 5.14 di atas, maka didapatkan grafik hubungan tegangan geser dengan tegangan normal dimana sampel I dan sampel II sudah diketahui nilai rata-rata dari keduanya. Grafik hubungan tegangan geser dengan tegangan normal dapat dilihat pada Gambar 5.5 dan Gambar 5.6.



Gambar 5.5 Grafik Tegangan Normal vs Tegangan Geser Sampel I



Gambar 5.6 Grafik Tegangan Normal vs Tegangan Geser Sampel II

Berdasarkan grafik tegangan normal vs tegangan geser diperoleh nilai kohesi (c) dan sudut geser dalam (φ) berturut-turut untuk sampel I sebesar 0,08 kg/cm^2 dan 26,18 ^{o}, sedangkan untuk sampel II sebesar 0,12 kg/cm^2 dan 25,73 ^{o}.

5.2.2 Data Sekunder

Dalam analisis lereng galian pada Proyek Pembangunan Jalan Tol Semarang-Solo Ruas Salatiga-Kartasura, data sekunder adalah grafik bor log sta.53+841. Data lain yang belum dimiliki dan dibutuhkan dalam analisis menggunakan Plaxis Versi 8.6 ditetapkan dengan korelasi berdasarkan jenis tanah pada grafik bor log sta.53+841. Pada Tabel 5.11 kedalaman 1 meter merupakan data primer hasil dari pengujian sampel pada sta. 53+700 sedangkan kedalaman 2 meter hingga 17,53 meter merupakan data hasil korelasi dari beberapa referensi yang sesuai dengan data bor log pada sta.53+841.

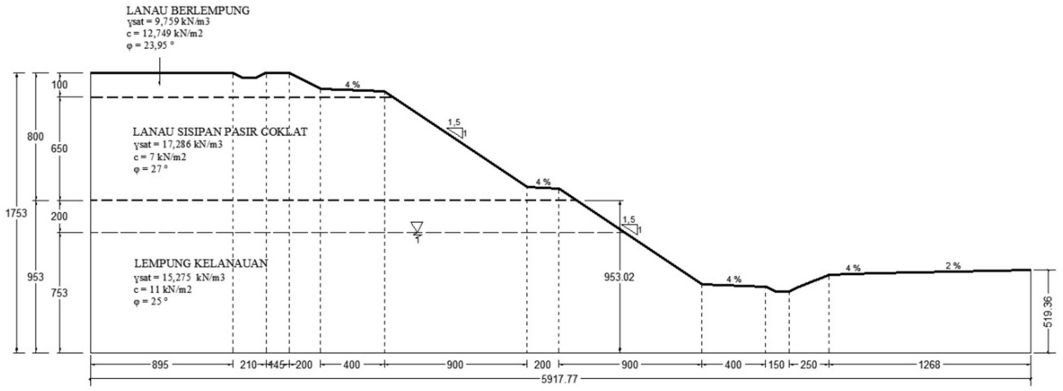
Grafik bor log pada Proyek Pembangunan Jalan Tol Semarang-Solo Ruas Salatiga-Kartasura dapat dilihat pada Lampiran 9 dan rekapitulasi data tanah dapat dilihat pada Tabel 5.14.

Tabel 5.14 Rekapitulasi Data Tanah

No	Keterangan	Satuan	Jenis Tanah		
			Lanau Berlempung	Lanau Berpasir	Lempung Kelanauan
1	Berat jenis		2,685	2,65	2,615
2	Angka pori		1,699	1,165	1,9
3	ɣunsat	kN/m^3	9,759	12,008	8,846
4	ɣsat	kN/m^3	15,934	17,286	15,273
5	kx	m/hari	4,0E-05	4,0E-05	4,0E-04
6	ky	m/hari	4,0E-05	4,0E-05	4,0E-04
7	Eref	kN/m^2	11000	11000	6750
8	Angka Poison		0,33	0,33	0,25
9	Kohesi	kN/m^3	12,749	7	11
10	Sudut geser dalam		23,95	27	25

5.2.3 Geometri

Pada analisis ini lereng yang diteliti adalah lereng galian pada Proyek Pembangunan Jalan Tol Semarang-Solo Ruas Salatiga-Kartasura tepatnya pada sta 53+700. Gambar 5.7 merupakan gambar perencanaan potongan melintang sta. 53+700. Lereng sta 53+700 dengan ketinggian mencapai 17,5 meter memiliki dua *berm*. Pekerjaan *berm* pada lereng sta. 53+700 dilakukan untuk meningkatkan gaya-gaya yang menahan kelongsoran, meningkatkan angka aman stabilitas lereng dan mengurangi gaya-gaya yang mendorong lereng. *Berm* dikerjakan pada setiap jenjang selebar 2 meter, hal ini dimaksudkan untuk memberikan ruang untuk menampung bongkahan tanah yang jatuh dari bagian lereng tersebut.
Gambar geometri lereng sta. 53+700 dapat dilihat pada Gambar 5.8.



Gambar 5.8 Geometri Lereng sta. 53+700

5.2.4 Perkuatan menggunakan *Sheet Pile*

Pada analisis stabilitas lereng ini, jenis perkuatan tanah yang digunakan adalah *sheet pile*. Sebelum dilakukan analisis stabilitas lereng, maka diperlukan perencanaan dimensi dan parameter *sheet pile* agar mampu menahan gaya-gaya yang dapat mengakibatkan keruntuhan lereng.

Dinding penahan tanah (*sheet pile*) yang digunakan dalam analisis program Plaxis versi 8.6 adalah dinding penahan tanah dengan dimensi sebagai berikut:

1. jenis material = Beton
2. tipe = U-section
3. ketebalan = 300 mm
4. E = 2,30 x 10^7 kN/m^2
5. lebar struktur = 1000 mm
6. ɣstruktur = 24 kN/m^2
7. ɣtanah = 15,618 kN/m^2

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

EA = E x h x b

= (2,3 x 10^7) x 0.3 x 1

= 6,9 x 10^6 kN/m

EI = E $\frac{h^3 x b}{12}$

= (2,3 x 10^7) $\frac{0.3^3 x 1}{12}$

= 51750 kN.m

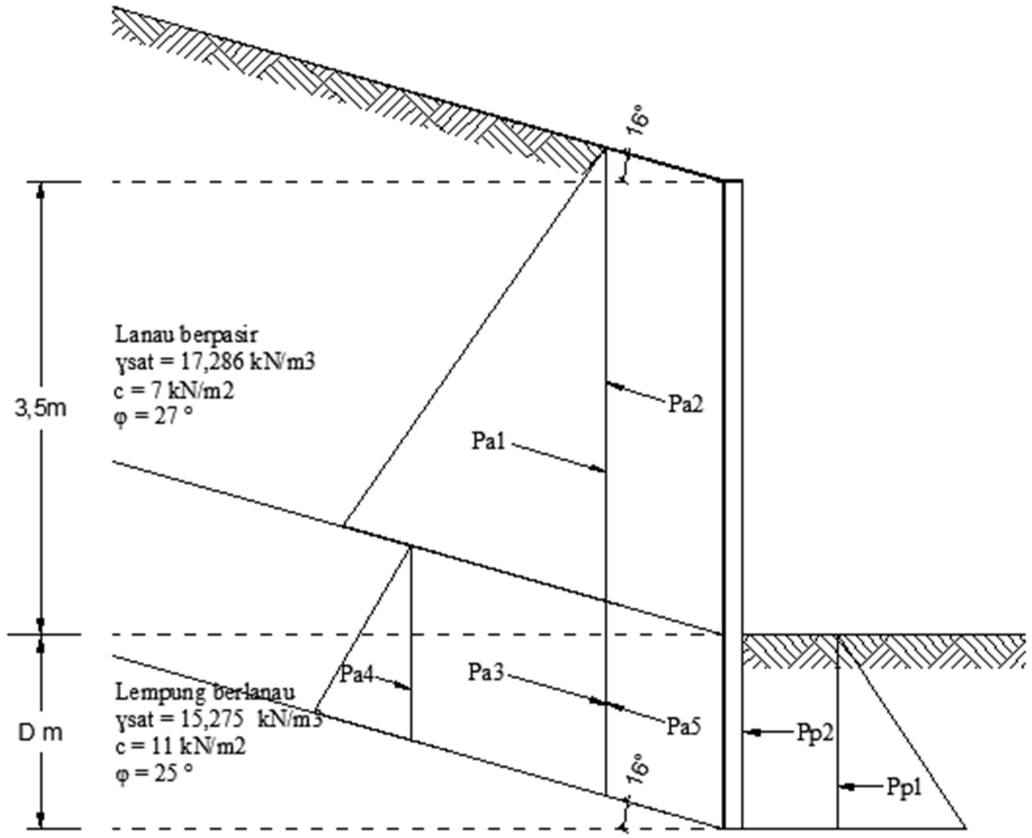
w = (ɣstruktur - ɣtanah) x h

= (24 – 15,273) x 0,3

= 2,618 kN

Menurut Redana (2010), secara praktis perhitungan panjang *sheet pile* sangat rumit, maka dari itu diusulkan metode *simplified* yang jauh lebih mudah. Metode *simplified* mangasumsikan tekanan aktif dan pasif menyebar sampai ke dasar *sheet pile*. Gambar 5.9 memperlihatkan distribusi tekanan lateral pada *sheet pile*. Tekanan tanah aktif dan tekanan tanah pasif diperhitungan seutuhnya.

Perhitungan tekanan tanah lateral dalam menentukan panjang *sheet pile* dilakukan dengan asumsi pada awal perhitungan, selanjutnya dilakukan perhitungan keseimbangan tekanan tanah lateral sebagai kontrol desain *sheet pile*.



Gambar 5.9 Distribusi Tekanan Lateral pada *Sheet Pile*

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

1. Menghitung koefisien tekanan tanah aktif dan pasif

   Lapisan tanah pada lereng sta. 53+700 terbagi menjadi dua lapisan. Lapis pertama merupakan lapisan tanah lanau berpasir dan lapisan kedua merupakan tanah lempung berlanau. Perhitungan koefisien tekanan tanah aktif dan pasif dapat dilihat pada perhitungan dibawah ini dengan ka1 mewakili koefisien tekanan tanah aktif lapis pertama, ka2 mewakili koefisien tekanan tanah aktif lapis kedua, dan kp mewakili koefisien tekanan tanah pasif.

$$Ka1 = cos\beta \left(\frac{\cos\beta - \sqrt{cos^2\beta - c^2\emptyset}}{\cos\beta + \sqrt{cos^2\beta - cos^2\emptyset}}\right)$$

$$= \cos 16 \left(\frac{\cos 16 - \sqrt{cos^2 16 - cos^2 27}}{\cos \sqrt{cos^2 16 - cos^2 27}}\right)$$

$$= 0{,}437$$

$$Ka2 = cos\beta \left(\frac{\cos\beta - \sqrt{cos^2\beta - cos^2\emptyset}}{\cos\beta + \sqrt{cos^2\beta - cos^2\emptyset}}\right)$$

$$= \cos 16 \left(\frac{\cos 16 - \sqrt{cos^2 16 - cos^2 25}}{\cos 16 + \sqrt{cos^2 16 - cos^2 25}}\right)$$

$$= 0{,}481$$

$$Kp = \tan\left(45 + \frac{\cos\emptyset}{2}\right)2$$

$$= \tan\left(45 + \frac{\cos 25}{2}\right)2$$

$$= 2{,}464$$

2. Menghitung tekanan tanah aktif dan pasif

   Tekanan tanah aktif adalah tekanan tanah lateral minimum yang mengakibatkan keruntuhan geser tanah akibat gerakan dinding menjauhi tanah dibelakangnya. Rumus yang digunakan dalam perhitungan tekanan tanah aktif adalah Persamaan 3.9 sedangkan tekanan tanah pasif menggunakan Persamaan 3.10. Rekapitulasi hasil perhitungan tekanan tanah aktif dan pasif pada lereng sta. 53+700 dapat dilihat pada Tabel 5.24.

3. Menghitung momen *sheet pile*

   Rekapitulasi perhitungan momen *sheet pile* dapat dilihat pada Tabel 5.15.

Tabel 5.15 Rekapitulasi Perhitungan Momen *Sheet Pile*

Tekanan Tanah	Rumus	Gaya	Lengan Momen	Momen ke dasar
		kN	m	kN.m
Pa1	$0{,}5 \cdot Ka_1 \cdot \gamma_1 \cdot H_1^2$	45,924	D+3,5	321,470+45,924D
Pa2	$-2.c.\sqrt{ka_1}.H$	-18,502	D+1,75	-64,758+(-18,502D)
Pa3	$Ka_2.\gamma_1.H_1.H_2$	28,889D	0,5D	$14{,}445D^2$
Pa4	$0{,}5.Ka_2 \cdot \gamma_2 \cdot H_2^2$	$3{,}614D^2$	D/3	$1{,}205D^3$
Pa5	$-2.c.\sqrt{ka_2}.H$	-6,933D	D/2	$-1{,}733D^2$
Pp1	$0{,}5.Kp \cdot \gamma_2 \cdot H_2^2$	$18{,}526\ D^2$	D/3	$6{,}175\ D^3$
Pp2	$2.c.\sqrt{ka_2}.H$	47,210D	D/2	$23{,}605D^2$

Berdasarkan perhitungan diatas maka didapatkan nilai momen pada *sheet pile.*

$\Sigma M = 0$

$256{,}712 + 7{,}422D - 10{,}894D^2 - 4{,}971D^3 = 0$

$D = 5{,}373 \text{ m} \approx 6 \text{ m}$

$H_{total} = 3{,}5 + 6$

$= 9{,}5 \text{ m}$

4. Kontrol kekuatan *sheet pile*

Setelah mendapatkan nilai D, maka perhitungan dapat dilanjutkan dengan mensubstitusikan nilai D ke persamaan Pa dan Pp untuk mendapatkan nilai gaya-gaya dan momen sebenarnya yang bekerja pada *sheet pile*. Rekapitulasi perhitungan gaya pada *sheet pile* dapat dilihat pada Tabel 5.15.

Tabel 5.15 Rekapitulasi Perhitungan Gaya *Sheet Pile*

Tekanan Tanah	Rumus	Gaya
		kN
Pa1	$0{,}5 \cdot Ka_1 \cdot \gamma_1 \cdot H_1^2$	45,924
Pa2	$-2.c.\sqrt{ka_1}.H$	-18,502
Pa3	$Ka_2.\gamma_1.H_1.H_2$	173,3359
Pa4	$0{,}5 \cdot Ka_2 \cdot \gamma_2 \cdot H_2^2$	130,1177
Pa5	$-2.c.\sqrt{ka_2}.H$	-41,5995
Pp1	$0{,}5.Kp \cdot \gamma_2 \cdot H_2^2$	666,9418
Pp2	$2.c.\sqrt{ka_2}.H$	448,494

$\Sigma Pa = Pa1+Pa2+Pa3+Pa4+Pa5$

$=45{,}924+(-18{,}502)+173{,}336+130{,}118+(-41{,}599)$

$=289{,}276 \text{ kN}$

$\Sigma Pp = 1115{,}435 \text{ kN}$

Berdasarkan hasil perhitungan di atas, diperoleh nilai Pa total sebesar 289,276 kN sedangkan nilai Pp total sebesar 18,526 kN. Nilai Pa merupakan nilai gaya yang dibutuhkan agar lereng tidak longsor sedangkan nilai Pp adalah gaya yang dimiliki oleh lereng dengan perkuatan *sheet pile*. Nilai Pp lebih besar dari nilai Pa maka desain *sheet pile* dapat digunakan dalam pemodelan.

Rekapitulasi hasil perhitungan parameter struktur *sheet pile* dapat dilihat pada Tabel 5.16.

Tabel 5.16 Rekapitulasi Data *Sheet Pile*

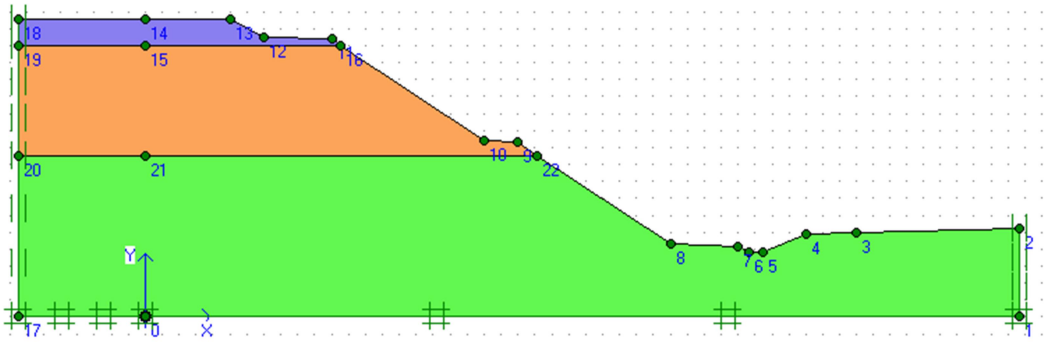
No	Parameter Struktur	Simbol	Satuan	*Sheet Pile*
1	Tebal	h	m	0.3
2	Lebar	b	m	1
3	Panjang	L	m	9,5
4	*Modulus young*	E	kN/m^2	2,30E+07
5	*Normal stiffness*	EA	kN/m	6,90E+06
6	*Flexural rigidity*	EI	kNm	51750
7	Berat struktur	w	kN	2,618052
8	Angka poison	v		0,3

5.3 Lereng Asli Sta. 53+700

Kondisi lereng tanah asli pada Proyek Pembangunan Jalan Tol Semarang-Solo Ruas Salatiga-Kartasura, tepatnya pada sta. 53+700 memiliki kedalaman kurang lebih 17,5 meter dengan lebar lereng kurang dari 25 meter. Lapisan tanah pada lokasi ini didominasi oleh tanah lanau dengan indeks plastisitas rendah, hal ini terlihat dari hasil pengujian sampel pada sta. 53+700 dan grafik bor log pada Gambar 5.7. Sedangkan pada tanah lapisan di bawahnya merupakan lapisan tanah lempung kelanauan.

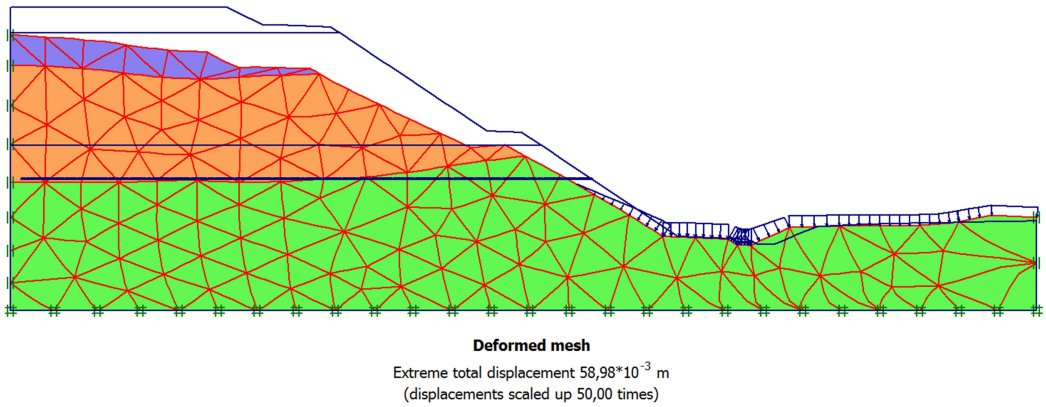
Pada analisis stabilitas lereng sta. 53+700, lereng tanah asli dimodelkan dengan 3 lapisan tanah. Lapisan pertama berupa tanah lanau berlempung dengan indeks plastisitas rendah. Parameter tanah pada lapisan ini didapatkan dari data primer hasil pengujian sampel tanah pada sta. 53+700. Lapisan tanah kedua merupakan lapisan tanah lanau dengan sisipan pasir coklat. Sedangkan untuk lapisan ketiga merupakan tanah lempung kelanauan. Analisis ini bertujuan untuk mengetahui seberapa besar gaya yang kemungkinan terjadi pada lereng tersebut, mengetahui nilai angka aman suatu lereng dan bagaimana kemampuan lereng tersebut untuk menahan beban gempa menggunakan *software* Plaxis 8.6.

Gambar pemodelan lereng asli sta 53+700 dapat dilihat pada Gambar 5.10.



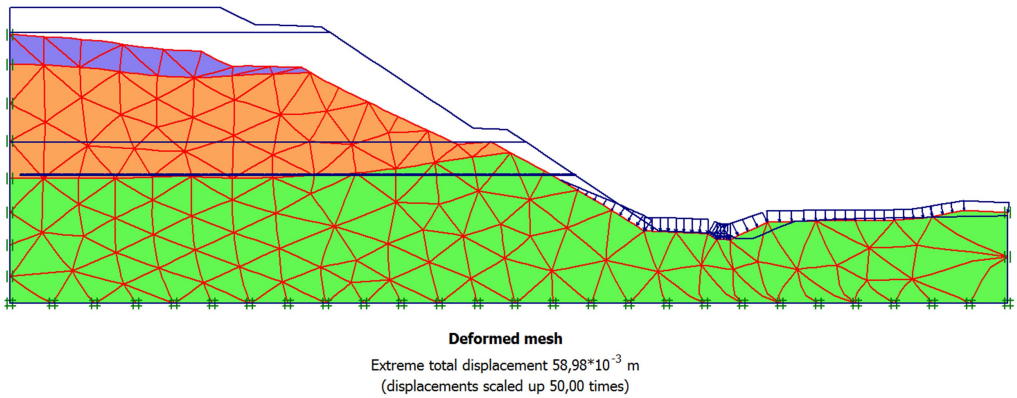
Gambar 5.10 Geometri Lereng Asli

Hasil *deformed mesh* pada lereng tanah asli sta. 53+700 tanpa beban gempa dapat dilihat pada Gambar 5.11.



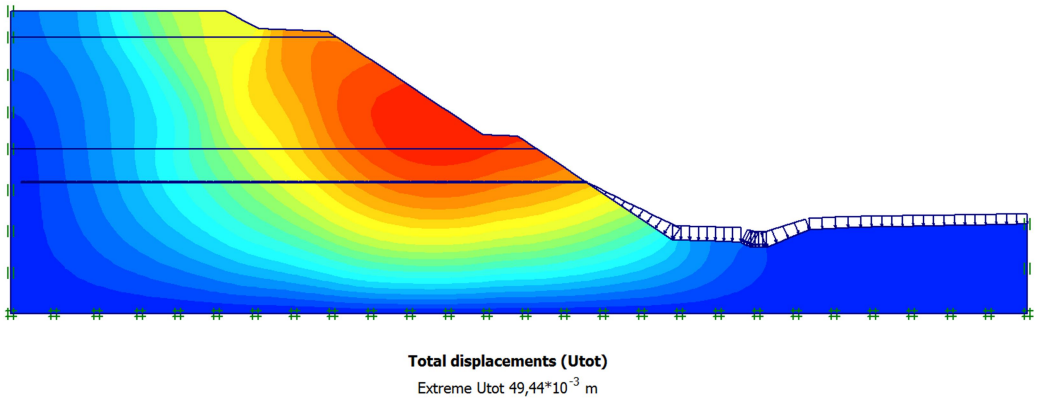
Gambar 5.11 *Deformed Mesh* Lereng Asli Tanpa Beban Gempa

Hasil *deformed mesh* pada lereng tanah asli sta. 53+700 dengan beban gempa dapat dilihat pada Gambar 5.12.



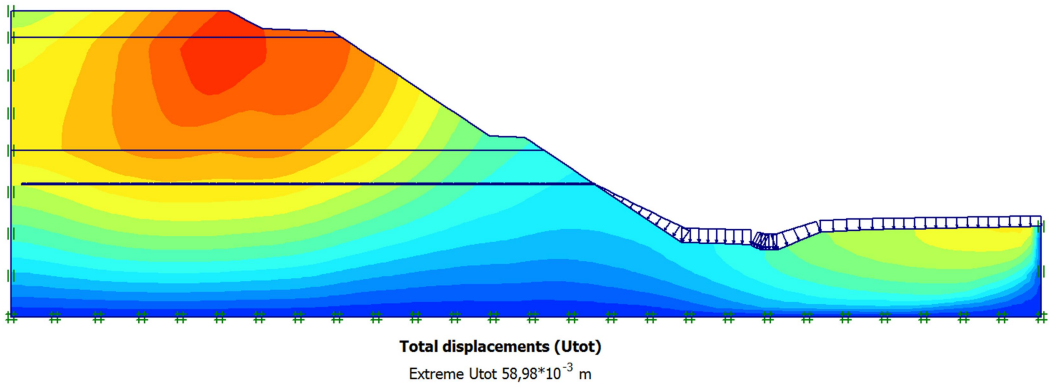
Gambar 5.12 *Deformed Mesh* Lereng Asli Dengan Beban Gempa

Pada lereng tanah asli sta. 53+700 terjadi *displacement* secara vertikal dan horizontal. *Displacement* terjadi dari bagian puncak lereng hingga bagian dasar lereng. Hal ini ditandai dengan warna merah yang membentuk garis keruntuhan lereng. Besarnya nilai *displacement* pada lereng tanah asli sta. 53+700 tanpa beban gempa yaitu 49,44 x 10^{-3} meter dan dengan beban gempa yaitu 50,11 x 10^{-3} meter. Total *displacement* pada lereng tanah asli sta. 53+700 tanpa beban gempa dapat dilihat pada Gambar 5.13.



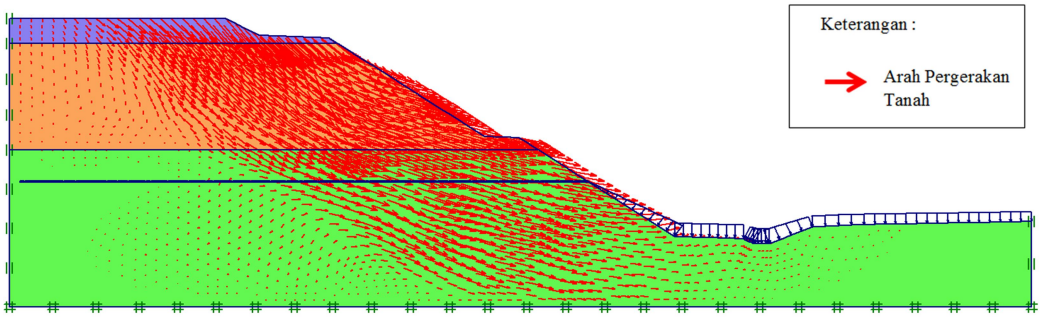
Gambar 5.13 *Total Displacement* Lereng Asli Tanpa Beban Gempa

Total *displacement* pada lereng tanah asli sta. 53+700 dengan beban gempa dapat dilihat pada Gambar 5.14.



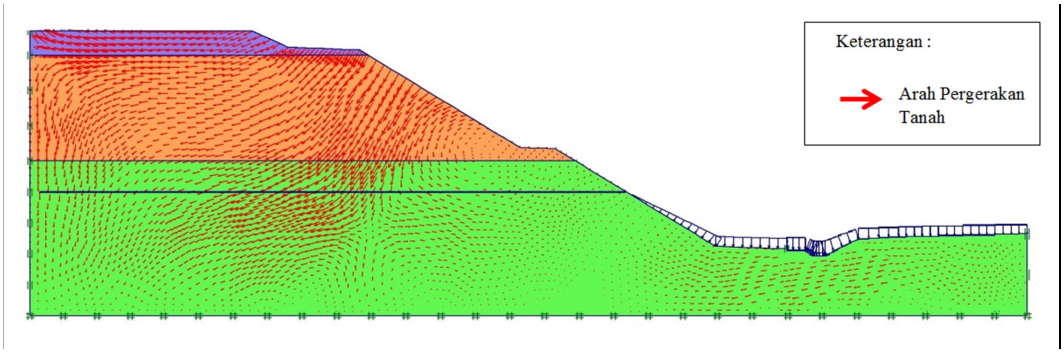
Gambar 5.14 *Total Displacement* Lereng Asli Dengan Beban Gempa

Arah pergerakan tanah pada lereng asli sta. 53+700 tanpa beban gempa dapat dilihat pada Gambar 5.15.



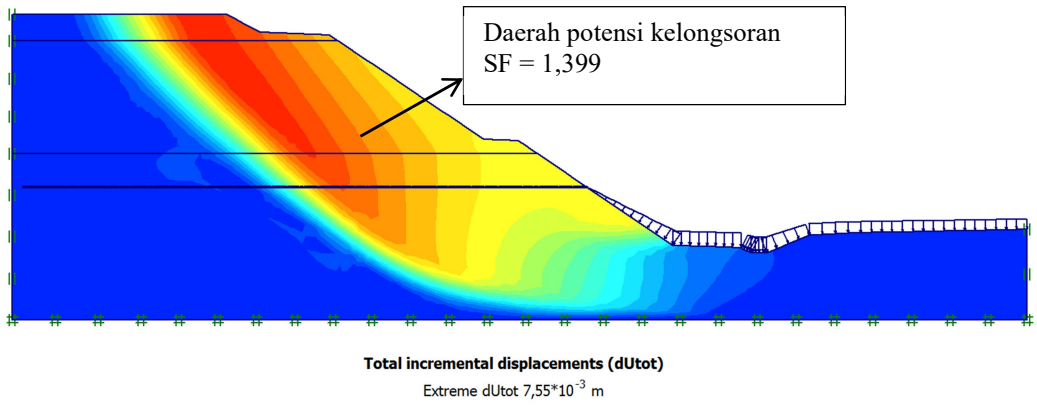
Gambar 5.15 Arah Pergerakan Tanah Lereng Asli Tanpa Beban Gempa

Arah pergerakan tanah pada lereng asli sta. 53+700 dengan beban gempa dapat dilihat pada Gambar 5.16.



Gambar 5.16 Arah Pergerakan Tanah Lereng Asli Dengan Beban Gempa

Arah pergerakan tanah pada lereng asli sta. 53+700 yang dominan ke arah kanan dapat memicu terjadinya kelongsoran lereng. Potensi kelongsoran tanah pada lereng asli tanpa beban gempa dapat dilihat pada Gambar 5.17.



Gambar 5.17 Potensi Kelongsoran Tanah Lereng Asli Tanpa Beban Gempa

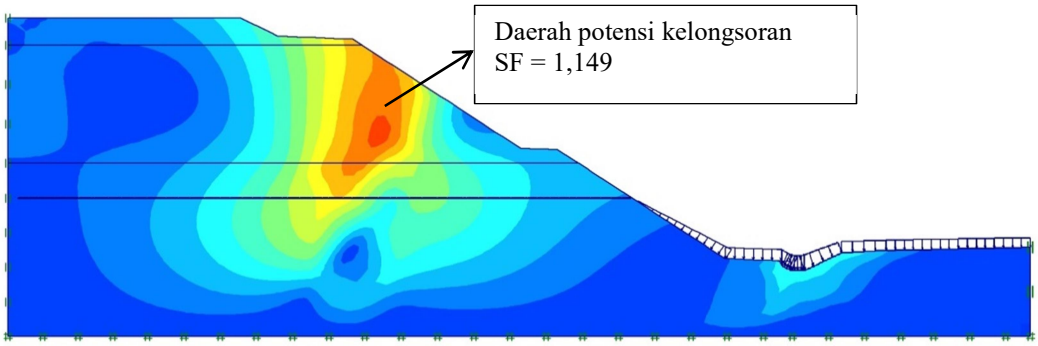
Nilai SF lereng asli tanpa beban gempa dapat dilihat pada Gambar 5.18.

Multipliers

	Incremental multipliers		Total multipliers	
Prescribed displacements	Mdisp:	0,000	Σ-Mdisp:	0,000
Load system A	MloadA:	0,000	Σ-MloadA:	1,000
Load system B	MloadB:	0,000	Σ-MloadB:	1,000
Soil weight	Mweight:	0,000	Σ-Mweight:	1,000
Acceleration	Maccel:	0,000	Σ-Maccel:	0,000
Strength reduction factor	Msf:	0,052	Σ-Msf:	1,399
Time	Increment:	0,000	End time:	0,000
Dynamic time	Increment:	0,000	End time:	0,000

Gambar 5.18 Nilai SF Lereng Asli Tanpa Beban Gempa

Potensi kelongsoran tanah pada lereng asli dengan beban gempa pada Gambar 5.19.



Gambar 5.19 Potensi Kelongsoran Tanah Lereng Asli Dengan Beban Gempa

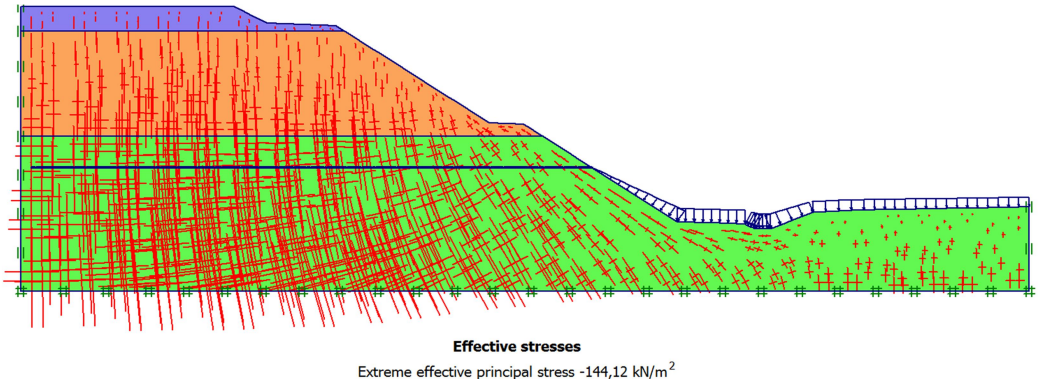
Nilai SF lereng asli dengan beban gempa dapat dilihat pada Gambar 5.18 dan 5.20.

Multipliers

	Incremental multipliers		Total multipliers	
Prescribed displacements	Mdisp:	0,000	Σ-Mdisp:	0,000
Load system A	MloadA:	0,000	Σ-MloadA:	1,000
Load system B	MloadB:	0,000	Σ-MloadB:	1,000
Soil weight	Mweight:	0,000	Σ-Mweight:	1,000
Acceleration	Maccel:	0,000	Σ-Maccel:	1,000
Strength reduction factor	Msf:	0,036	Σ-Msf:	1,149
Time	Increment:	0,000	End time:	0,000
Dynamic time	Increment:	0,000	End time:	0,000

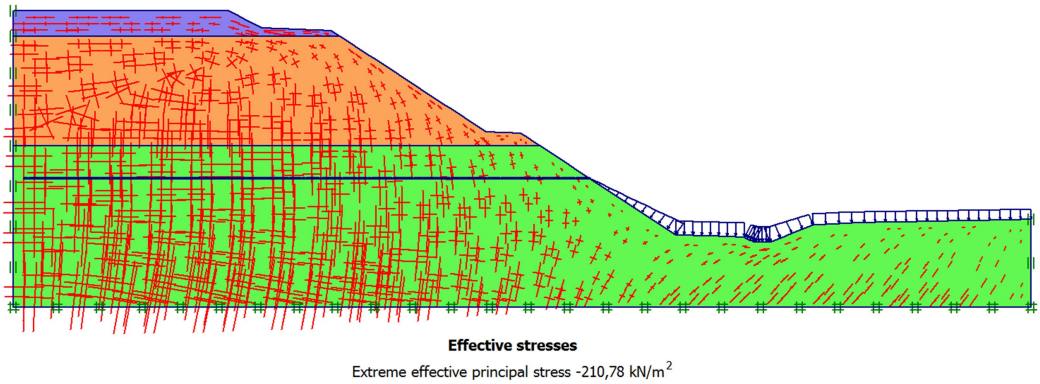
Gambar 5.20 Nilai SF Lereng Asli Tanpa Beban Gempa

Hasil analisis program Plaxis 8.6 menunjukan bahwa garis-garis yang mengindikasikan arah dan besarnya tegangan efektif semakin ke bawah semakin terlihat banyak. Besarnya nilai *effective stresses* pada lereng asli sta. 53+700 tanpa beban gempa adalah -144,12 kN/m^2 dan dengan beban gempa adalah -210,78 kN/m^2. *Effective stress* pada lereng asli sta. 53+700 tanpa beban gempa dapat dilihat pada Gambar 5.21.



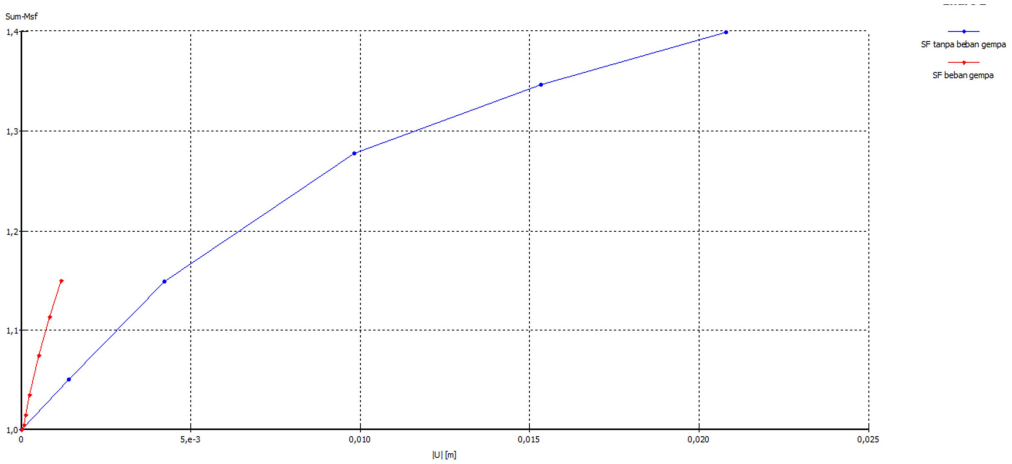
Gambar 5.21 *Effective Stresses* Lereng Asli Tanpa Beban Gempa

Effective stress pada lereng asli sta. 53+700 dengan beban gempa pada Gambar 5.22.



Gambar 5.22 *Effective Stresses* Lereng Asli Dengan Beban Gempa

Kurva *safety factor* lereng asli tanpa beban gempa dan dengan beban gempa dapat dilihat pada Gambar 5.23.



Gambar 5.23 Kurva *Safety Factor* Lereng Asli

Berdasarkan hasil pemodelan lereng asli di atas, diperoleh nilai *safety factor* (SF) untuk lereng asli tanpa beban gempa sebesar 1,399 dan dengan beban gempa sebesar 1,149.

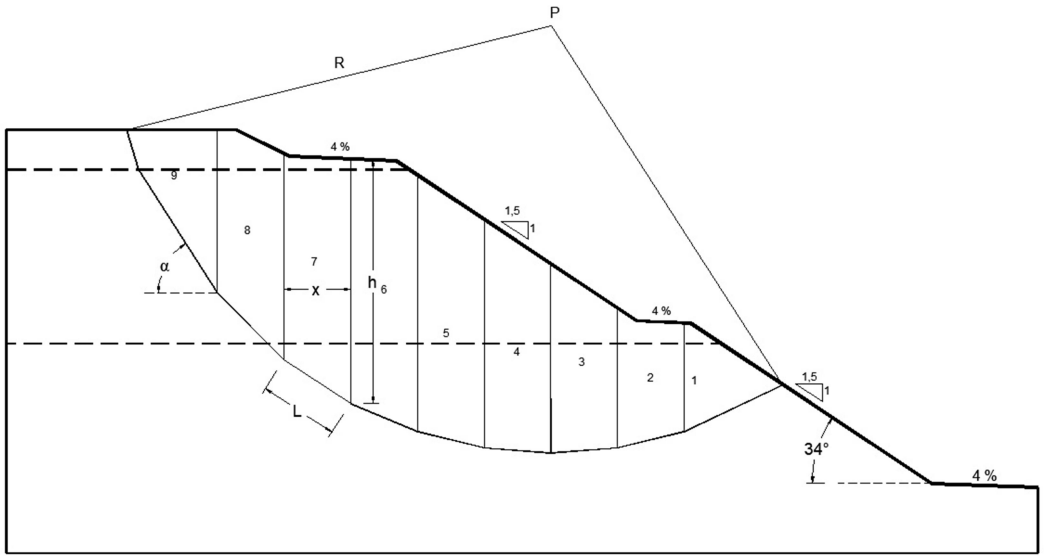
Hal ini menunjukkan bahwa pada lereng asli tanpa beban gempa SF > 1,25 maka lereng sudah aman dari kelongsoran karena lereng sudah relatif stabil. Sedangkan pada lereng asli dengan beban gempa SF < 1,25 maka lereng belum aman dari kelongsoran.

Dalam analisis stabilitas lereng pada tugas akhir ini, permasalahan lereng sta. 53+700 akan diatasi dengan beberapa variasi diantaranya adalah mengubah geometri lereng, perkuatan lereng menggunakan *sheet pile*, dan menambahkan *counterweight* (timbunan).

5.4 Analisis Stabilitas Lereng Asli dengan Metode Fellenius

Hasil analisis lereng sta. 53+700 menggunakan program Plaxis 8.6 telah membuktikan bahwa lereng sta. 53+700 merupakan lereng yang masih tergolong lereng kritis saat menerima beban gempa dan perlu diberikan perkuatan tanah. Metode untuk menganalisis kestabilan lereng yang paling umum digunakan adalah metode irisan yang dicetuskan oleh Fellenius (1939). Metode ini banyak digunakan untuk menganalisis kestabilan lereng yang tersusun oleh tanah, dan

bidang gelincirnya berbentuk busur (*arc-failure*). Analisis stabilitas lereng asli sta. 53+700 dengan metode Fellenius diperhitungkan sebagai validasi dari data hasil analisis menggunakan program Plaxis 8.6. Gambar potongan tiap pias pada lereng asli sta. 53+700 dapat dilihat pada Gambar 5.24.



Gambar 5.24 Analisis Stabilitas sta. 53+700 dengan Metode Fillenius

Berikut adalah langkah-langkah perhitungan stabilitas lereng menggunakan metode Fellenius.

1. Mengukur panjang bidang longsor setiap pias (L). Rekapitulasi panjang bidang longsor untuk setiap pias dapat dilihat pada Tabel 5.28.
2. Menghitung luas setiap bagian pias (A) dapat dilakukan dengan menggunakan rumus bangun datar pada umumnya.
   a. Pias 1 = 0,5 x a x t
      = 0,5 x 4,588 x 4,018
      = 7,782 m^2
   b. Pias 2 = (0,5 x a x t) + (0,5 x (a+b) x t)
      = (0,5 x 3,915 x 3,312) + (0,5 x (1,323+0,769) x 3)
      = 9,019 m^2 + 2,209 m^2
   c. Pias 3 = (a x t) + (0,5 x (a+b) x t)
      = (3 x 4,110) + (0,5 x (1,323+2,987) x 3)
      = 10,016 m^2 + 5,379 m^2

Rekapitulasi hasil perhitungan luas untuk setiap pias dapat dilihat pada Tabel 5.28.

3. Mengukur besar sudut (α) setiap pias pada bidang longsor. Rekapitulasi besar sudut pada bidang longsor untuk setiap pias dapat dilihat pada Tabel 5.28.
4. Menghitung nilai W untuk setiap pias.
   a. Pias 1 = Σ (A x ɣ)
      = 7,782x15,038
      = 117,027 kN/m
   b. Pias 2 = Σ (A x ɣ)
      = (9,019x15,038)+(2,209x17,171)
      = 116,310 kN/m
   c. Pias 3 = Σ (A x ɣ)
      = (10,016x15,038) + (5,379x17,171)
      = 242,984 kN/m

   Rekapitulasi hasil perhitungan W untuk setiap pias dapat dilihat pada Tabel 5.28.
5. Menghitung nilai W sin α untuk setiap pias.
   a. Pias 1 = W x sin α
      = 117,027 x sin (-26)
      = -51,301 kN/m
   b. Pias 2 = W x sin α
      = 116,310 x sin (-14)
      = -41,987 kN/m
   c. Pias 3 = W x sin α
      = 242,984 x sin (-4)
      = -16,950 kN/m

   Rekapitulasi hasil perhitungan W sin α untuk setiap pias dapat dilihat pada Tabel 5.28.
6. Menghitung nilai W cos α untuk setiap pias.
   a. Pias 1 = W x cos α
      = 117,027 x cos (-26)

= 105,183 kN/m

b. Pias 2 = W x cos α

= 116,310 x cos (-14)

= 168,402 kN/m

c. Pias 3 = W x cos α

= 242,984 x cos (-4)

= 242,392 kN/m

Rekapitulasi hasil perhitungan W cos α untuk setiap pias dapat dilihat pada Tabel 5.28.

7. Menghitung nilai *safety factor* (SF) pada lereng sta 53+700.

$$SF = \frac{C.L + \Sigma w * \cos\alpha}{\Sigma w * \cos\alpha}$$

$$= \frac{7.22{,}564 + 1793{,}543}{559{,}946}$$

$$= 1{,}376$$

Rekapitulasi hasil perhitungan dengan metode Fellenius dapat dilihat pada Tabel 5.17.

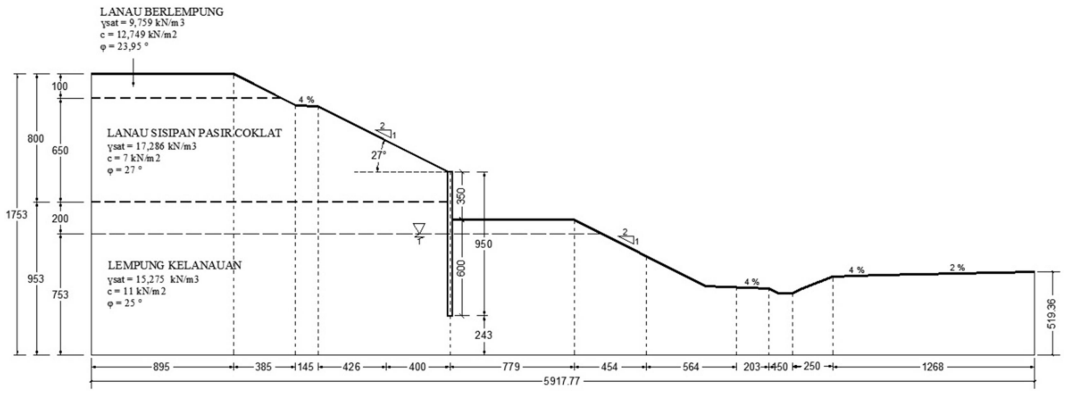
Tabel 5.17 Hasil Perhitungan Metode Fellenius

Pias	L	A (m2)		Sudut (α)	sin α	cos α	W=A*ɣ	W*sin a	W*cos a
	m	lempung	Lanau	°					
1	4,588	7,782			-26	-0,438	0,899	117,027	-51,301
2	2,570	9,019	2,209		-14	-0,242	0,970	173,558	-41,987
3	2,503	1,.016	5,379		-4	-0,070	0,998	242,984	-16,950
4	2,503	10,017	2,209		4	0,070	0,998	188,563	13,153
5	2,568	9,018	9,533		14	0,242	0,970	299,300	72,407
6	2,713	6,940	13,687		23	0,391	0,921	339,384	132,608
7	3,026	3,576	12,380		33	0,545	0,839	266,352	145,066
8	3,484		12,651	2,939	45	0,707	0,707	257,881	182,349
9	6,942		4,818	4,760	57	0,839	0,545	148,570	124,602
Σ	30,897							559,946	1793,543

Berdasarkan hasil analisis menggunakan metode fellenius di atas, diperoleh nilai SF 1,376 sedangkan hasil analisis menggunakan Plaxis 8.6 tanpa beban gempa adalah 1,374. Hal ini membuktikan bahwa hasil analisis lereng secara manual menggunakan metode Fellenius sudah sesuai dengan hasil analisis lereng menggunakan Plaxis 8.6.

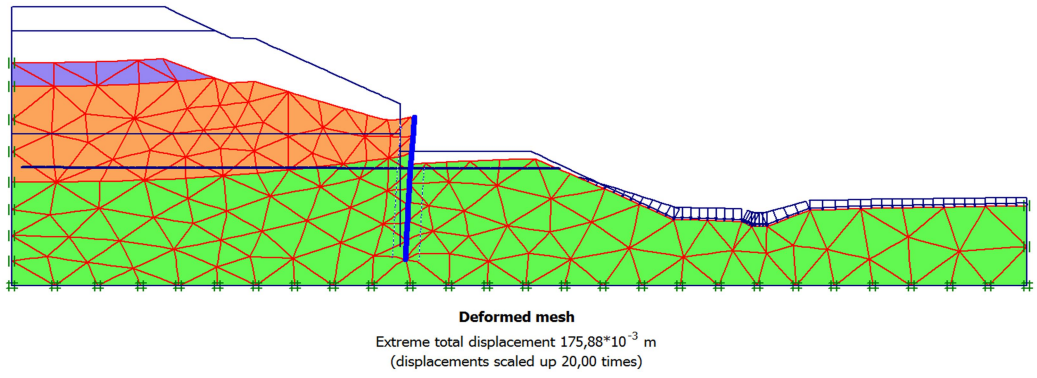
5.5 Lereng Geometri Baru *Trial* 1 dengan Perkuatan *Sheet Pile*

Pada *trial* ini sudut kemiringan lereng dibuat lebih landai menjadi 27° dan lereng dibuat 3 trap. Desain lereng geometri baru *trial* 1 dengan *sheet pile* dapat dilihat pada Gambar 5.25.



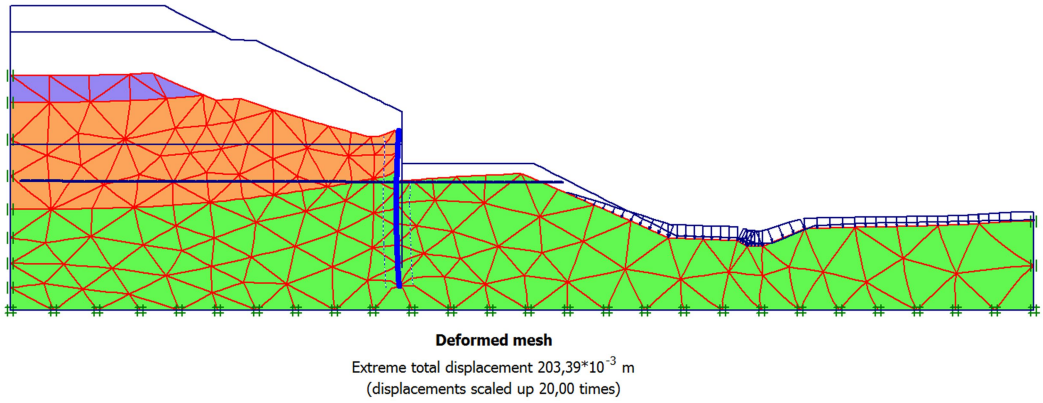
Gambar 5.25 Desain Geometri Baru *Trial* 1 dengan *Sheet Pile*

Hasil *deformed mesh* pada lereng geometri baru *trial* 1 dengan *sheet pile* tanpa beban gempa dapat dilihat pada Gambar 5.26.



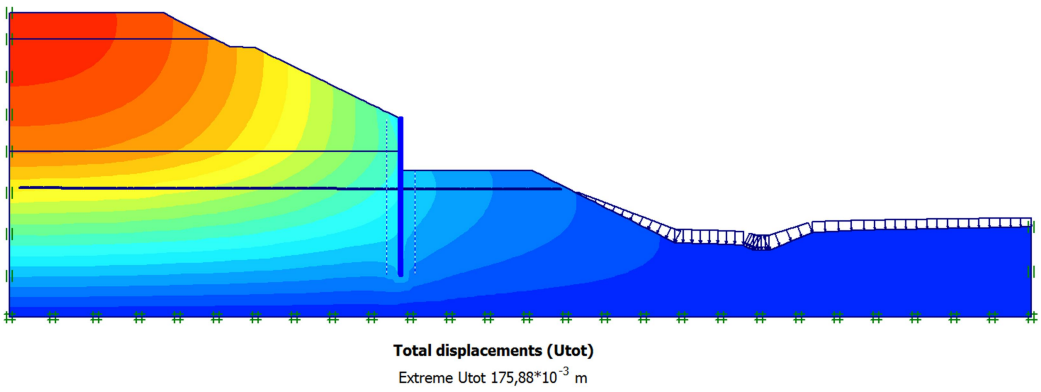
Gambar 5.26 *Deformed Mesh* Geometri Baru *Trial* 1 dengan *Sheet Pile* Tanpa Beban Gempa

Hasil *deformed mesh* pada lereng geometri baru *trial* 1 dengan *sheet pile* dengan beban gempa dapat dilihat pada Gambar 5.27.



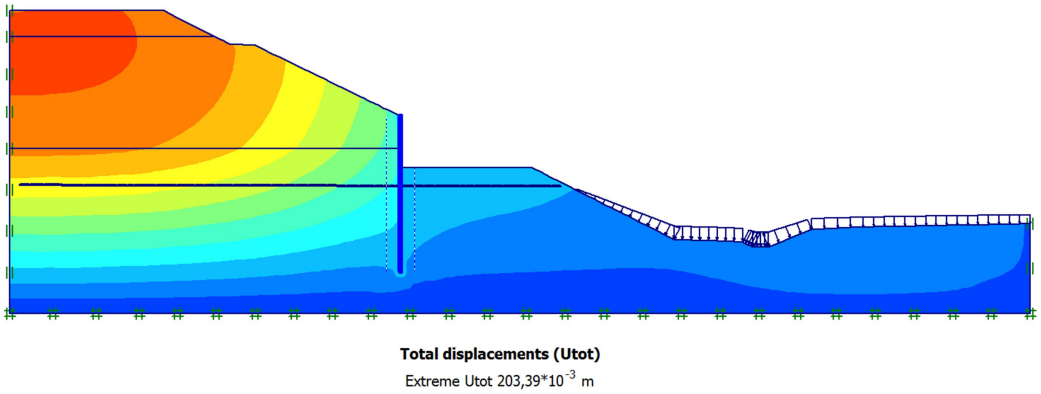
Gambar 5.27 *Deformed Mesh* Geometri Baru *Trial* 1 dengan *Sheet Pile* Dengan Beban Gempa

Pada lereng geometri baru *trial* 1 dengan *sheet pile* terjadi *displacement* secara vertikal dan horizontal. *Displacement* terjadi dari bagian puncak lereng hingga bagian dasar lereng. Hal ini ditandai dengan warna merah yang membentuk garis keruntuhan lereng. Besarnya nilai *displacement* pada lereng geometri baru *trial* 1 dengan *sheet pile* tanpa beban gempa yaitu 175,88 x 10^{-3} meter dan dengan beban gempa yaitu 203,79 x 10^{-3} meter. Total *displacement* pada lereng geometri baru *trial* 1 dengan *sheet pile* tanpa beban gempa dapat dilihat pada Gambar 5.28.



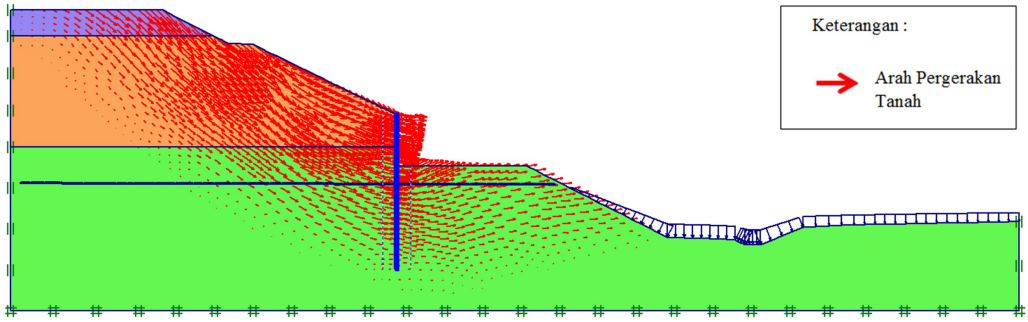
Gambar 5.28 *Total Displacement* Geometri Baru *Trial* 1 dengan *Sheet Pile* Tanpa Beban Gempa

Total *displacement* pada lereng geometri baru *trial* 1 dengan *sheet pile* dengan beban gempa dapat dilihat pada Gambar 5.29.



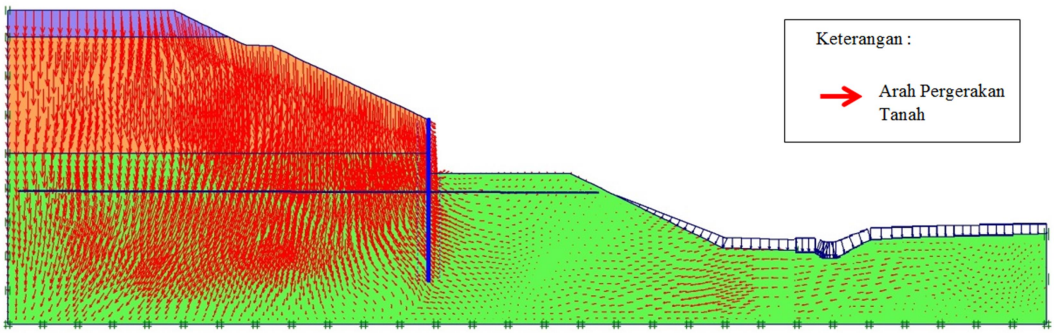
Gambar 5.29 *Total Displacement* Geometri Baru *Trial* 1 dengan *Sheet Pile* Dengan Beban Gempa

Arah pergerakan tanah pada lereng geometri baru *trial* 1 dengan *sheet pile* tanpa beban gempa dapat dilihat pada Gambar 5.30.



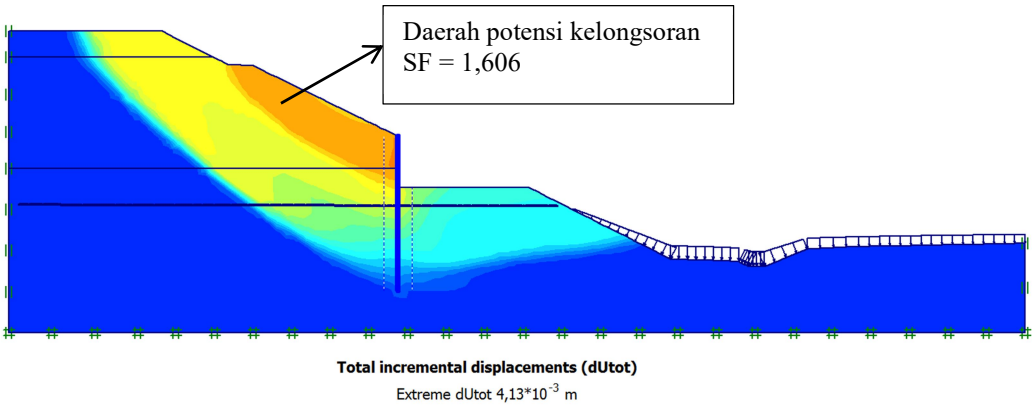
Gambar 5.30 Arah Pergerakan Tanah Geometri Baru *Trial* 1 dengan *Sheet Pile* Tanpa Beban Gempa

Arah pergerakan tanah pada lereng geometri baru *trial* 1 dengan *sheet pile* dengan beban gempa dapat dilihat pada Gambar 5.31.



Gambar 5.31 Arah Pergerakan Tanah Geometri Baru *Trial* 1 dengan *Sheet Pile* Dengan Beban Gempa

Potensi kelongsoran tanah pada lereng geometri baru *trial* 1 dengan *sheet pile* tanpa beban gempa dapat dilihat pada Gambar 5.32. Potensi kelongsoran pada lereng geometri baru *trial* 1 dengan *sheet pile* lebih kecil dibandingkan lereng asli, hal ini ditandai dengan warna merah yang membentuk garis keruntuhan lereng pada lereng asli berubah menjadi warna kuning pada lereng geometri baru *trial* 1 dengan *sheet pile.*



Gambar 5.32 Potensi Kelongsoran Geometri Baru *Trial* 1 dengan *Sheet Pile* Tanpa Beban Gempa

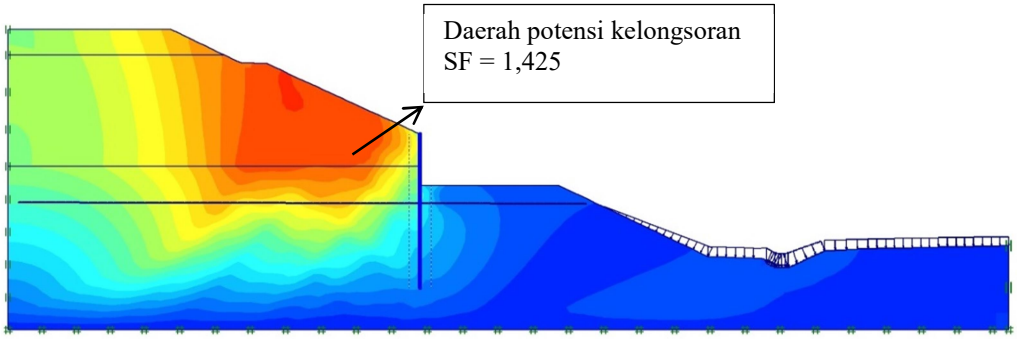
Nilai SF lereng geometri baru *trial* 1 dengan *sheet pile* tanpa beban gempa dapat dilihat pada Gambar 5.33.

Multipliers

	Incremental multipliers		Total multipliers	
Prescribed displacements	Mdisp:	0,000	Σ-Mdisp:	0,000
Load system A	MloadA:	0,000	Σ-MloadA:	1,000
Load system B	MloadB:	0,000	Σ-MloadB:	1,000
Soil weight	Mweight:	0,000	Σ-Mweight:	1,000
Acceleration	Maccel:	0,000	Σ-Maccel:	0,000
Strength reduction factor	Msf:	0,000	Σ-Msf:	1,606
Time	Increment:	0,000	End time:	0,000
Dynamic time	Increment:	0,000	End time:	0,000

Gambar 5.33 Nilai SF Geometri Baru *Trial* 1 dengan *Sheet Pile* Tanpa Beban Gempa

Potensi kelongsoran tanah pada lereng geometri baru *trial* 1 dengan *sheet pile* dan dengan beban gempa pada Gambar 5.34.



Gambar 5.34 Potensi Kelongsoran Geometri Baru *Trial* 1 dengan *Sheet Pile* Dengan Beban Gempa

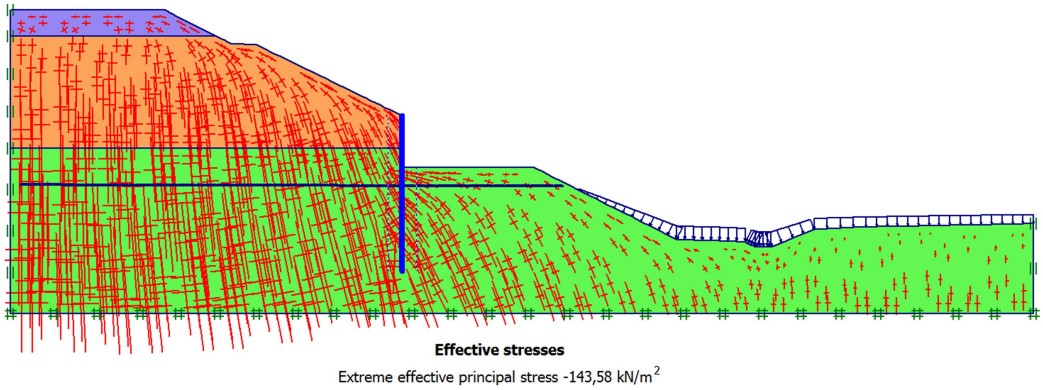
Nilai SF lereng geometri baru *trial* 1 dengan *sheet pile* dan dengan beban gempa dapat dilihat pada Gambar 3.35.

Multipliers

	Incremental multipliers		Total multipliers	
Prescribed displacements	Mdisp:	0,000	Σ-Mdisp:	0,000
Load system A	MloadA:	0,000	Σ-MloadA:	1,000
Load system B	MloadB:	0,000	Σ-MloadB:	1,000
Soil weight	Mweight:	0,000	Σ-Mweight:	1,000
Acceleration	Maccel:	0,000	Σ-Maccel:	1,000
Strength reduction factor	Msf:	0,120	Σ-Msf:	1,425
Time	Increment:	0,000	End time:	0,000
Dynamic time	Increment:	0,000	End time:	0,000

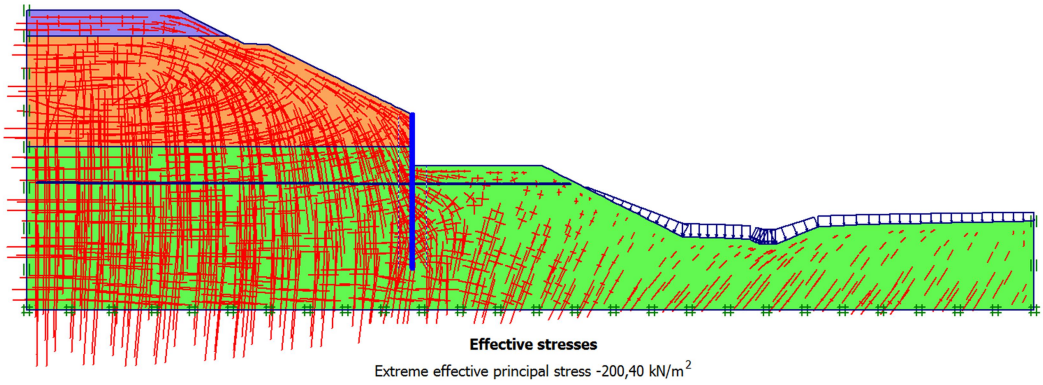
Gambar 5.35 Nilai SF Geometri Baru *Trial* 1 dengan *Sheet Pile* Dengan Beban Gempa

Besarnya nilai *effective stresses* pada lereng geometri baru *trial* 1 dengan *sheet pile* tanpa beban gempa adalah -143,58 kN/m^2 dan dengan beban gempa adalah -200,40 kN/m^2. *Effective stress* pada lereng geometri baru *trial* 1 dengan *sheet pile* tanpa beban gempa dapat dilihat pada Gambar 5.36.



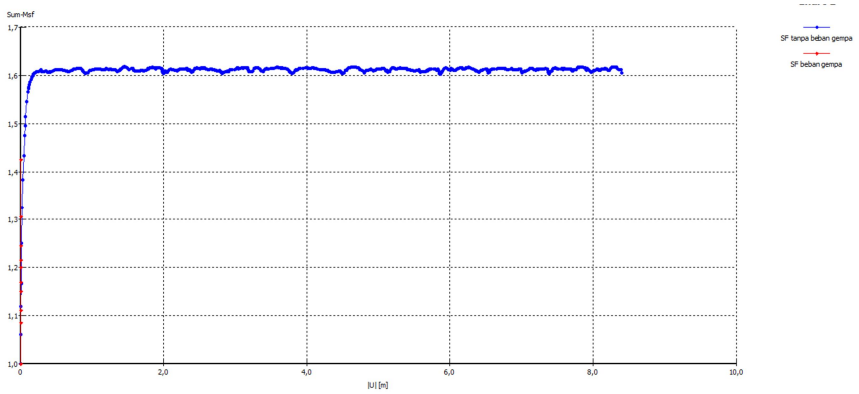
Gambar 5.36 *Effective Stresses* Geometri Baru *Trial* 1 dengan *Sheet Pile* Tanpa Beban Gempa

Effective stress pada lereng geometri baru *trial* 1 dengan *sheet pile* dan dengan beban gempa pada Gambar 5.37.



Gambar 5.37 *Effective Stresses* Geometri Baru *Trial* 1 dengan *Sheet Pile* Dengan Beban Gempa

Kurva safety factor lereng geometri baru *trial* 1 dengan *sheet pile* dapat dilihat pada Gambar 5.38.

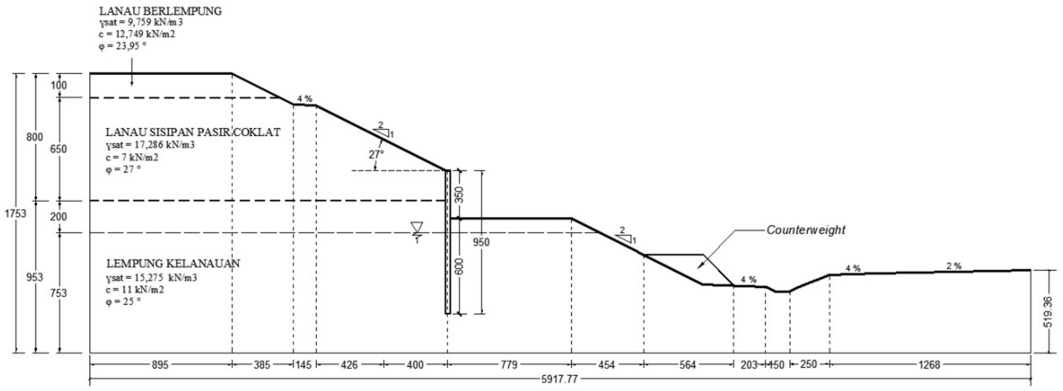


Gambar 5.38 Kurva *Safety Factor* Geometri Baru *Trial* 1 dengan *Sheet Pile*

Berdasarkan hasil pemodelan lereng geometri baru trial 1 dengan *sheet pile* di atas, diperoleh nilai *safety factor* (SF) untuk lereng geometri baru trial 1 dengan *sheet pile* tanpa beban gempa sebesar 1,606 dan dengan beban gempa sebesar 1,425. Hal ini menunjukkan bahwa pada lereng geometri baru *trial* 1 dengan *sheet pile* tanpa beban gempa SF > 1,25 maka lereng sudah aman dari kelongsoran. Sedangkan pada lereng geometri baru trial 1 dengan *sheet pile* dengan beban gempa SF > 1,25 maka lereng sudah aman dari kelongsoran.

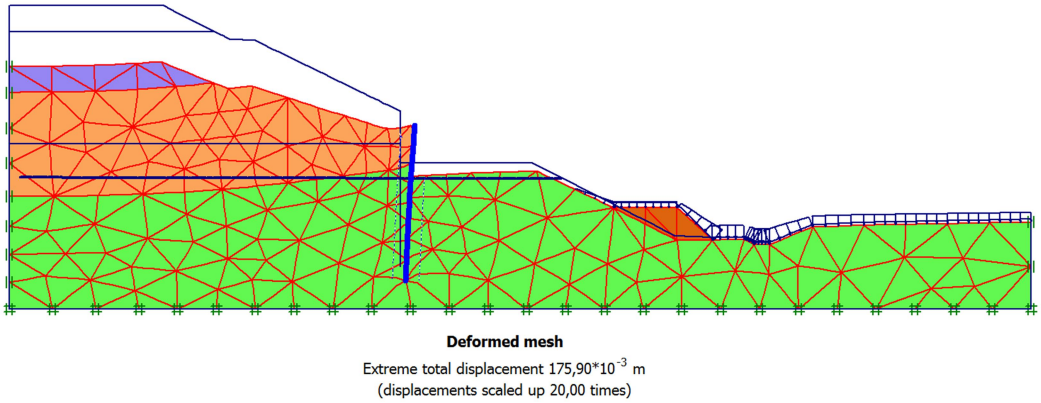
5.6 Lereng Geometri Baru *Trial* 1 dengan Perkuatan *Sheet Pile* dan *Counterweight*

Desain lereng geometri baru *trial* 1 dengan *sheet pile* dan *counterweight* dapat dilihat pada Gambar 5.39.



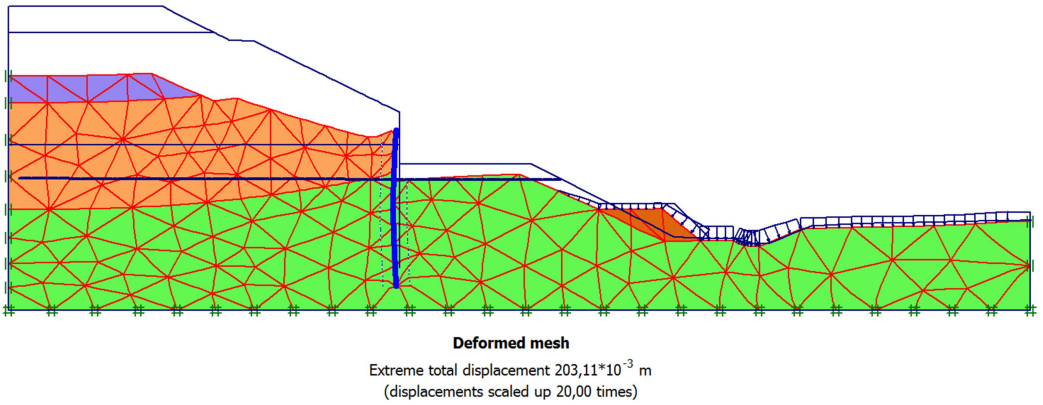
Gambar 5.39 Desain Geometri Baru *Trial* 1 dengan Perkuatan *Sheet Pile* dan *Counterweight*

Hasil *deformed mesh* pada lereng geometri baru *trial* 1 dengan *sheet pile* dan *counterweight* tanpa beban gempa dapat dilihat pada Gambar 5.40.



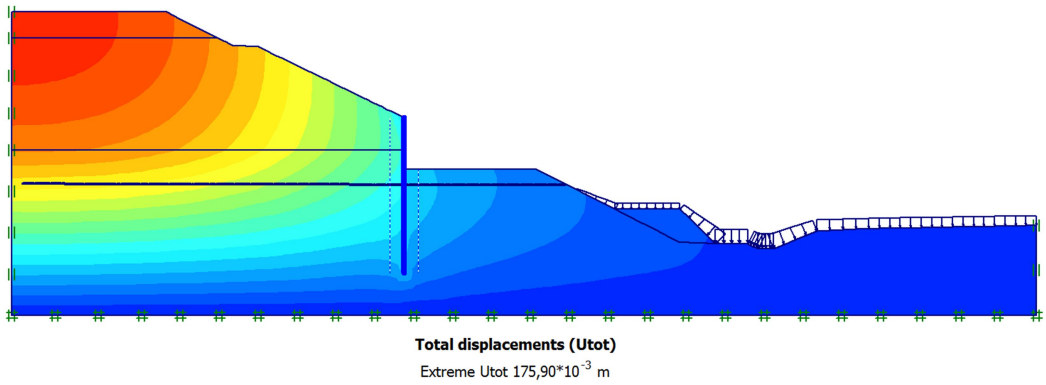
Gambar 5.40 *Deformed Mesh* Geometri Baru *Trial* 1 dengan Perkuatan *Sheet Pile* dan *Counterweight* Tanpa Beban Gempa

Hasil *deformed mesh* pada lereng geometri baru *trial* 1 dengan *sheet pile* dan *counterweight* dengan beban gempa dapat dilihat pada Gambar 5.41.



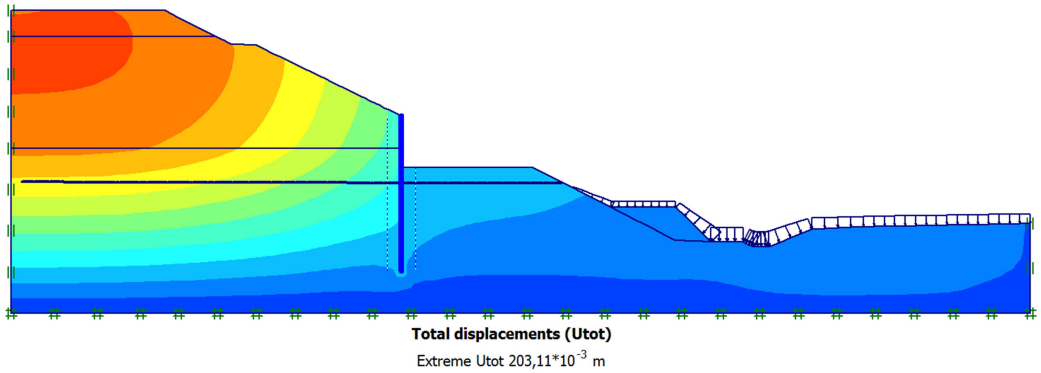
Gambar 5.41 *Deformed Mesh* Geometri Baru *Trial* 1 dengan Perkuatan *Sheet Pile* dan *Counterweight* Dengan Beban Gempa

Besarnya nilai *displacement* pada lereng geometri baru *trial* 1 dengan *sheet pile* dan *counterweight* tanpa beban gempa yaitu 175,90 x 10^{-3} meter dan dengan beban gempa yaitu 203,110 x 10^{-3} meter. Total *displacement* pada lereng geometri baru *trial* 1 dengan *sheet pile* dan *counterweight* tanpa beban gempa dapat dilihat pada Gambar 5.42.



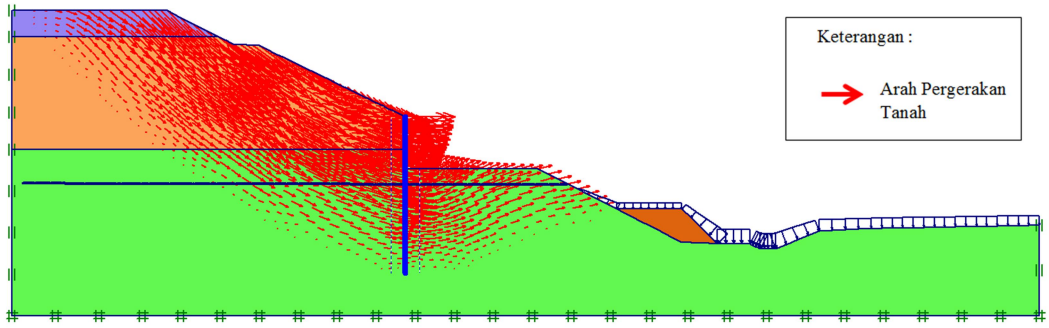
Gambar 5.42 *Total Displacement* Geometri Baru *Trial* 1 dengan Perkuatan *Sheet Pile* dan *Counterweight* Tanpa Beban Gempa

Total *displacement* pada lereng geometri baru *trial* 1 dengan *sheet pile* dan *counterweight* dengan beban gempa dapat dilihat pada Gambar 5.43.



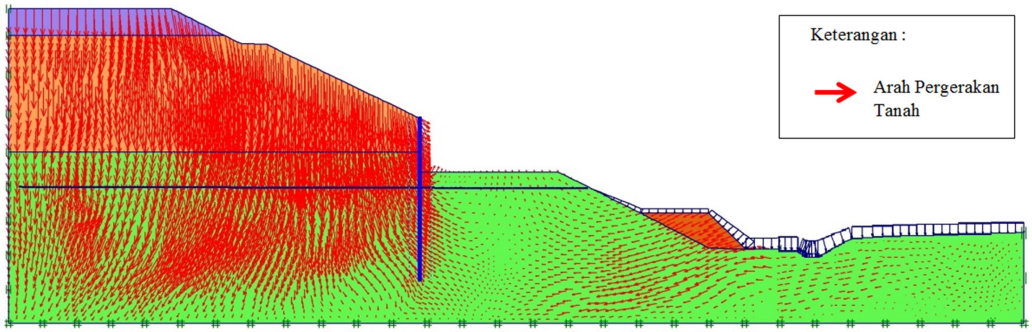
Gambar 5.43 *Total displacement* Geometri Baru *Trial* 1 dengan Perkuatan *Sheet Pile* dan *Counterweight* Dengan Beban Gempa

Arah pergerakan tanah pada lereng geometri baru *trial* 1 dengan *sheet pile* dan *counterweight* tanpa beban gempa dapat dilihat pada Gambar 5.44.



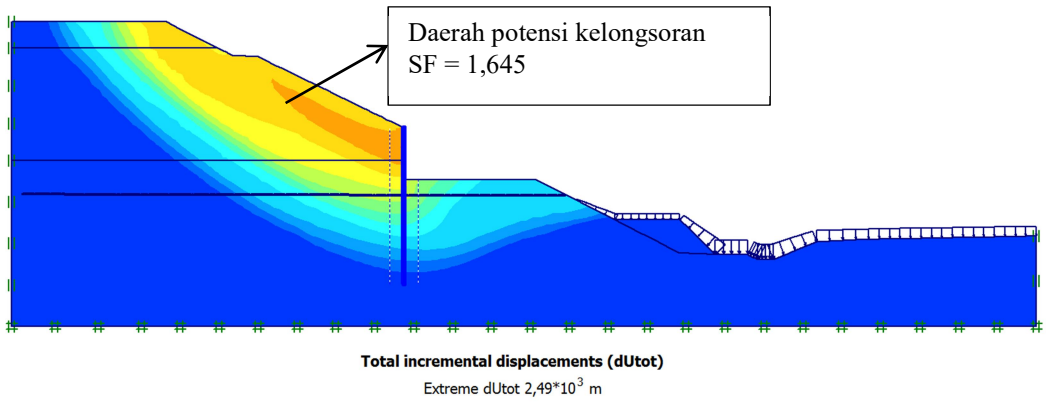
Gambar 5.44 Arah Pergerakan Tanah Geometri Baru *Trial* 1 dengan Perkuatan *Sheet Pile* dan *Counterweight* Tanpa Beban Gempa

Arah pergerakan tanah pada lereng geometri baru *trial* 1 dengan *sheet pile* dan *counterweight* dengan beban gempa dapat dilihat pada Gambar 5.45.



Gambar 5.45 Arah Pergerakan Tanah Geometri Baru *Trial* 1 dengan Perkuatan *Sheet Pile* dan *Counterweight* Dengan Beban Gempa

Potensi kelongsoran tanah pada lereng geometri baru trial 1 dengan *sheet pile* dan *counterweight* tanpa beban gempa dapat dilihat pada Gambar 5.46. Potensi kelongsoran pada lereng geometri baru *trial* 1 dengan *sheet pile* dan *counterweight* lebih kecil dibandingkan lereng asli, hal ini ditandai dengan warna merah yang membentuk garis keruntuhan lereng pada lereng asli berubah menjadi warna kuning..



Gambar 5.46 Potensi Kelongsoran Geometri Baru *Trial* 1 dengan Perkuatan *Sheet Pile* dan *Counterweight* Tanpa Beban Gempa

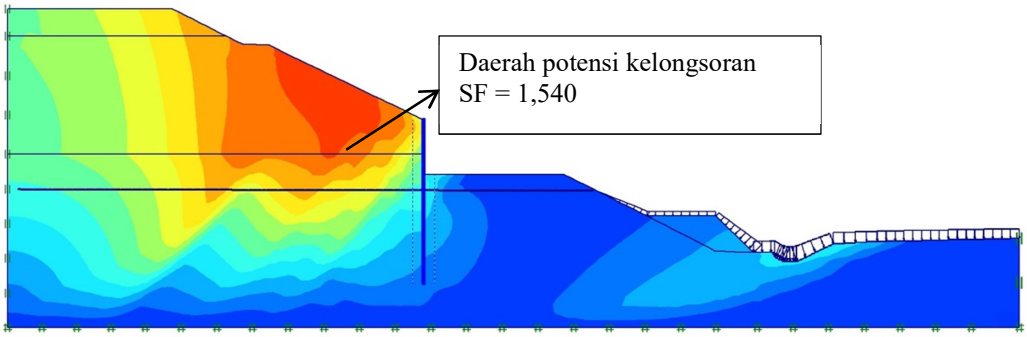
Nilai SF lereng geometri baru trial 1 dengan *sheet pile* dan *counterweight* tanpa beban gempa dapat dilihat pada Gambar 5.47.

Multipliers

	Incremental multipliers		Total multipliers	
Prescribed displacements	Mdisp:	0,000	Σ-Mdisp:	0,000
Load system A	MloadA:	0,000	Σ-MloadA:	1,000
Load system B	MloadB:	0,000	Σ-MloadB:	1,000
Soil weight	Mweight:	0,000	Σ-Mweight:	1,000
Acceleration	Maccel:	0,000	Σ-Maccel:	0,000
Strength reduction factor	Msf:	0,000	Σ-Msf:	1,645
Time	Increment:	0,000	End time:	0,000
Dynamic time	Increment:	0,000	End time:	0,000

Gambar 5.47 Nilai SF Geometri Baru *Trial* 1 dengan Perkuatan *Sheet Pile* dan *Counterweight* Tanpa Beban Gempa

Potensi kelongsoran tanah pada lereng geometri baru trial 1 dengan *sheet pile* dan *counterweight* dengan beban gempa dapat dilihat pada Gambar 5.48.



Gambar 5.48 Potensi Kelongsoran Geometri Baru *Trial* 1 dengan Perkuatan *Sheet Pile* dan *Counterweight* Dengan Beban Gempa

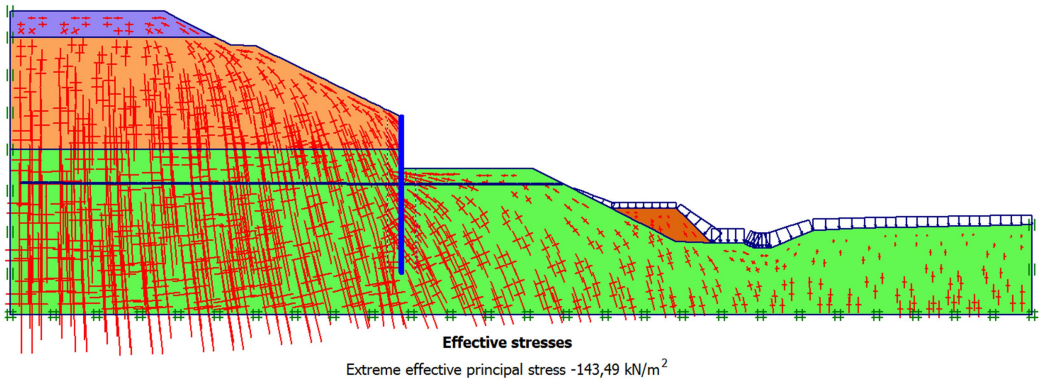
Nilai SF lereng geometri baru trial 1 dengan *sheet pile* dan *counterweight* dengan beban gempa dapat dilihat pada Gambar 5.49.

Multipliers

	Incremental multipliers		Total multipliers	
Prescribed displacements	Mdisp:	0,000	Σ-Mdisp:	0,000
Load system A	MloadA:	0,000	Σ-MloadA:	1,000
Load system B	MloadB:	0,000	Σ-MloadB:	1,000
Soil weight	Mweight:	0,000	Σ-Mweight:	1,000
Acceleration	Maccel:	0,000	Σ-Maccel:	1,000
Strength reduction factor	Msf:	0,122	Σ-Msf:	1,540
Time	Increment:	0,000	End time:	0,000
Dynamic time	Increment:	0,000	End time:	0,000

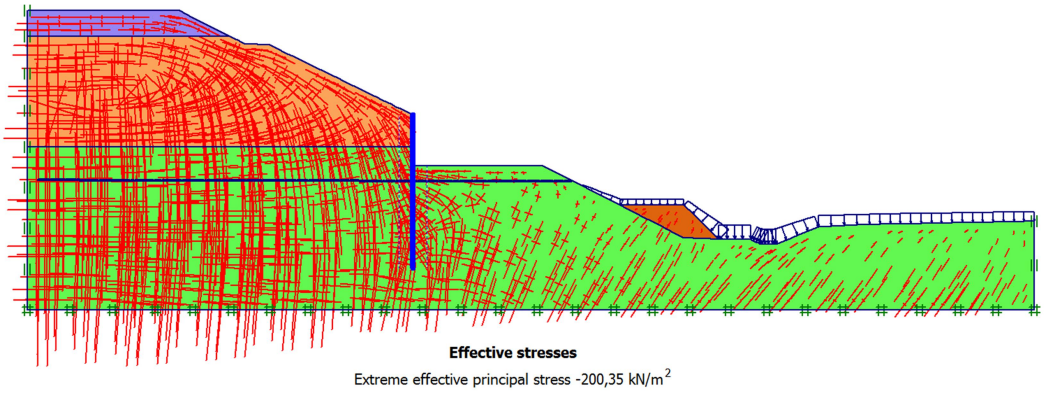
Gambar 5.49 Nilai SF Geometri Baru *Trial* 1 dengan Perkuatan *Sheet Pile* dan *Counterweight* Dengan Beban Gempa

Besarnya nilai *effective stresses* pada lereng geometri baru trial 1 dengan *sheet pile* dan *counterweight* tanpa beban gempa adalah -143,49 kN/m^2 dan dengan beban gempa adalah -200,35 kN/m^2. *Effective stress* pada lereng geometri baru trial 1 dengan *sheet pile* dan *counterweight* tanpa beban gempa dapat dilihat pada Gambar 5.50.



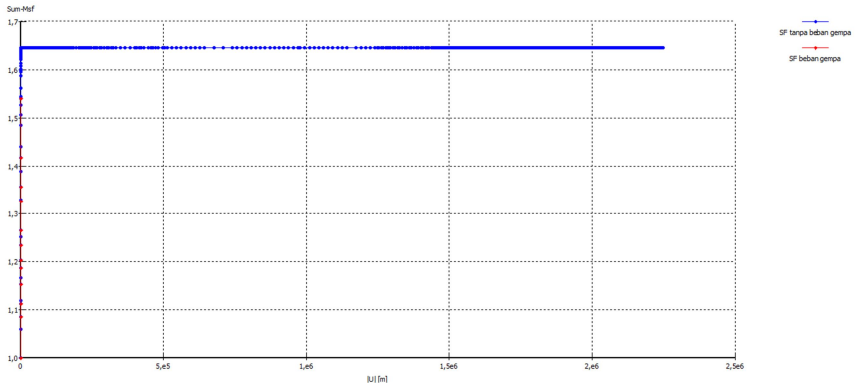
Gambar 5.50 *Effective Stresses* Geometri Baru *Trial* 1 dengan Perkuatan *Sheet Pile* dan *Counterweight* Tanpa Beban Gempa

Effective stress pada lereng geometri baru trial 1 dengan *sheet pile* dan *counterweight* dengan beban gempa pada Gambar 5.51.



Gambar 5.51 *Effective Stresses* Geometri Baru *Trial* 1 dengan Perkuatan *Sheet Pile* dan *Counterweight* Dengan Beban Gempa

Kurva *safety factor* lereng geometri baru trial 1 dengan *sheet pile* dan *counterweight* dapat dilihat pada Gambar 5.52.



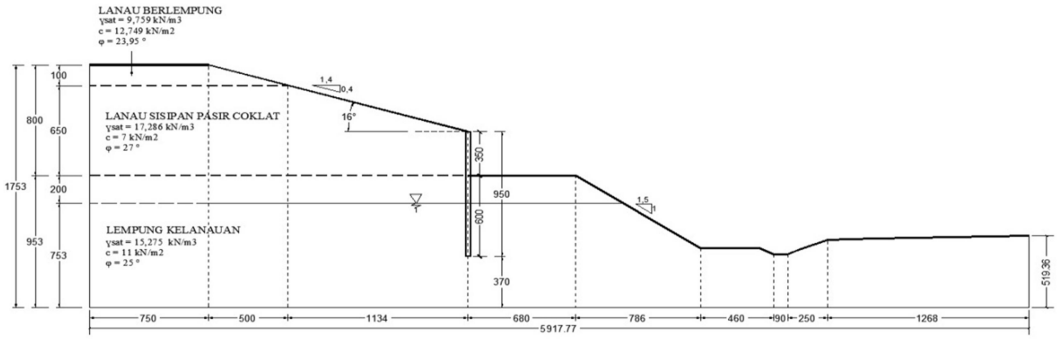
Gambar 5.52 Kurva *Safety Factor* Geometri Baru *Trial* 1 dengan Perkuatan *Sheet Pile* dan *Counterweight*

Berdasarkan hasil pemodelan lereng geometri baru *trial* 1 dengan *sheet pile* dan *counterweight* di atas, diperoleh nilai *safety factor* (SF) untuk lereng geometri baru trial 1 dengan *sheet pile* tanpa beban gempa sebesar 1,645 dan dengan beban gempa sebesar 1,540. Hal ini menunjukkan bahwa pada lereng geometri baru *trial* 1 dengan *sheet pile* dan *counterweight* tanpa beban gempa SF > 1,25 maka lereng sudah aman dari kelongsoran. Sedangkan pada lereng geometri baru *trial* 1 dengan *sheet pile* dan *counterweight* dengan beban gempa SF > 1,25 maka lereng sudah aman dari kelongsoran.

5.7 Lereng Geometri Baru *Trial* 2 dengan Perkuatan *Sheet Pile*

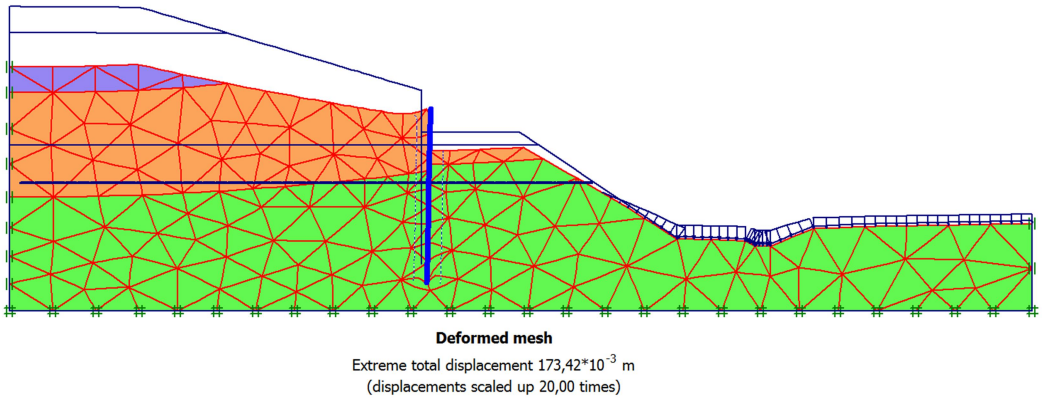
Pada desain geometri baru *trial* 2 dengan *sheet pile*, lereng dibuat lebih landai menjadi 16° dan dibuat 2 trap.

Desain geometri baru trial 2 dengan *sheet pile* dapat dilihat pada Gambar 5.53.



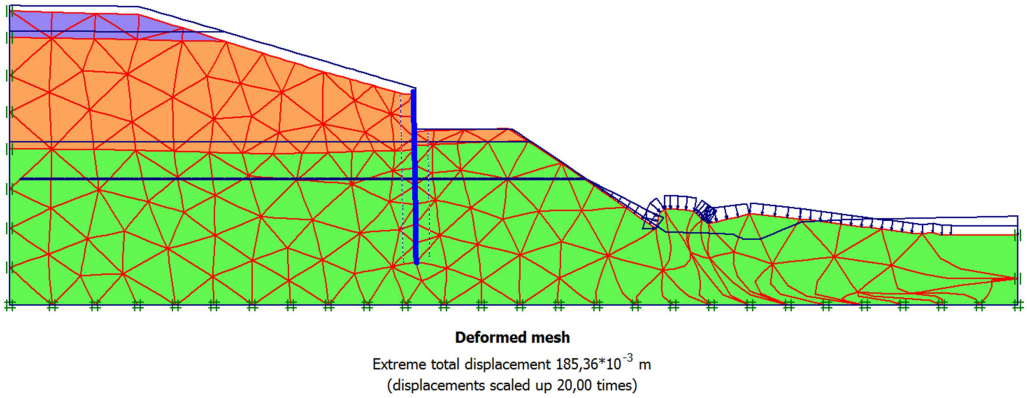
Gambar 5.53 Desain Geometri Baru *Trial* 2 dengan Perkuatan *Sheet Pile*

Hasil *deformed mesh* pada lereng geometri baru *trial* 2 dengan *sheet pile* tanpa beban gempa dapat dilihat pada Gambar 5.54.



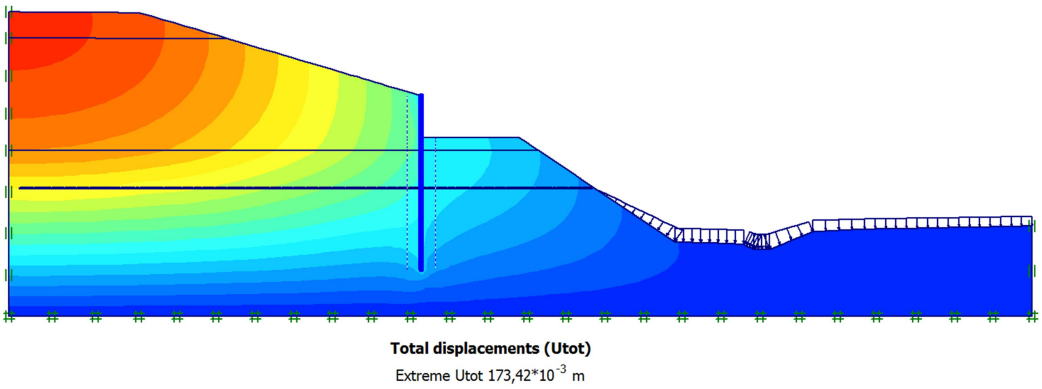
Gambar 5.54 *Deformed Mesh* Geometri Baru *Trial* 2 dengan Perkuatan *Sheet Pile* Tanpa Beban Gempa

Hasil *deformed mesh* pada lereng geometri baru *trial* 2 dengan *sheet pile* dengan beban gempa dapat dilihat pada Gambar 5.55.



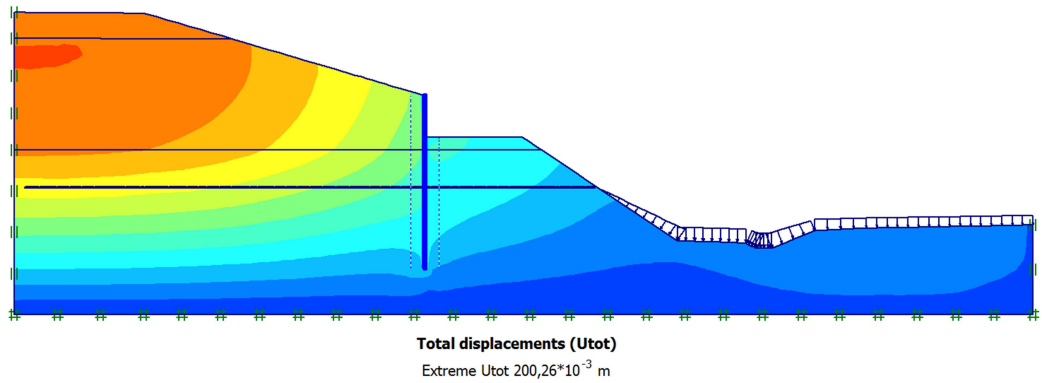
Gambar 5.55 *Deformed Mesh* Geometri Baru *Trial* 2 Tanpa Perkuatan *Sheet Pile* Tanpa Beban Gempa

Besarnya nilai *displacement* pada lereng geometri baru *trial* 2 dengan *sheet pile* tanpa beban gempa adalah 159,13 x 10^{-3} meter dan dengan beban gempa adalah 180,75 x 10^{-3} meter. Gambar *total displacement* pada lereng geometri baru *trial* 2 dengan *sheet pile* tanpa beban gempa dapat dilihat pada Gambar 5.56.



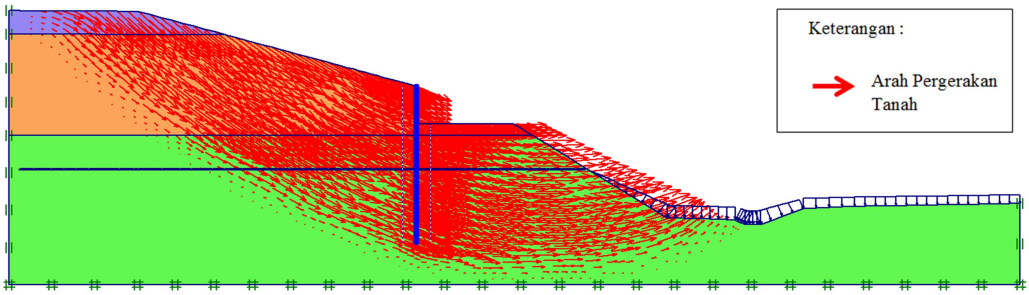
Gambar 5.56 *Total Displacement* Geometri Baru *Trial* 2 dengan Perkuatan *Sheet Pile* Tanpa Beban Gempa

Gambar *total displacement* pada lereng geometri baru *trial* 2 dengan *sheet pile* dengan beban gempa dapat dilihat pada Gambar 5.57.



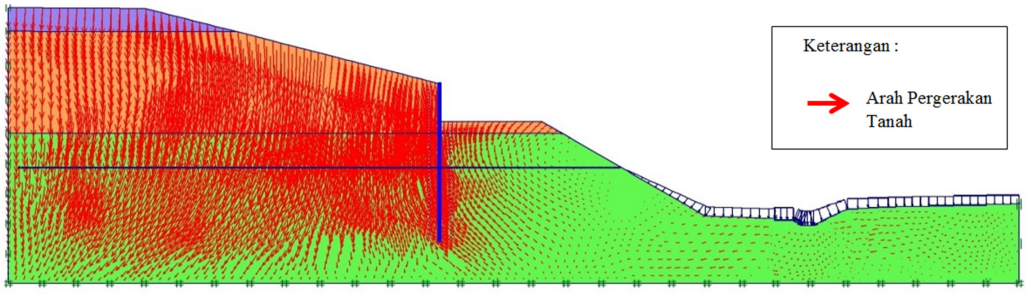
Gambar 5.57 *Total displacement* Geometri Baru *Trial* 2 dengan Perkuatan *Sheet Pile* Dengan Beban Gempa

Arah pergerakan tanah pada lereng geometri baru *trial* 2 dengan *sheet pile* pergerakan tanah dominan ke arah kanan. Arah pergerakan tanah pada lereng geometri baru *trial* 2 dengan *sheet pile* tanpa beban gempa dapat dilihat pada Gambar 5.58.



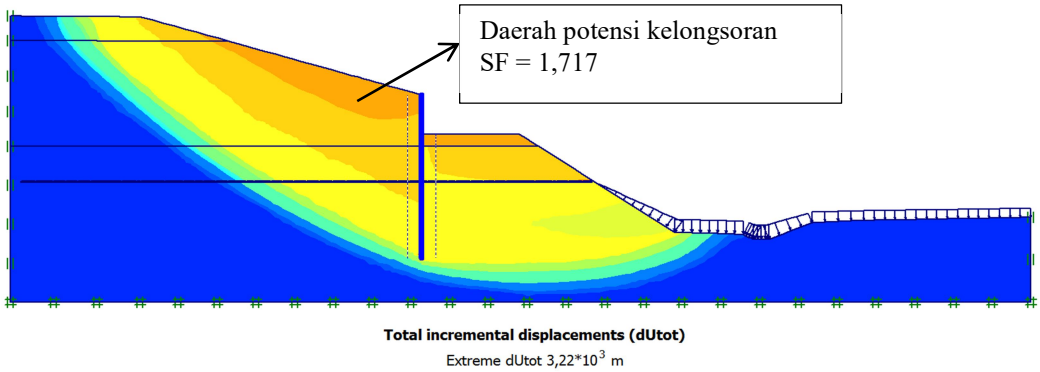
Gambar 5.58 Arah Pergerakan Tanah Geometri Baru *Trial* 2 dengan Perkuatan *Sheet Pile* Tanpa Beban Gempa

Arah pergerakan tanah pada lereng geometri baru *trial* 2 dengan *sheet pile* dengan beban gempa dapat dilihat pada Gambar 5.59.



Gambar 5.59 Arah Pergerakan Tanah Geometri Baru *Trial* 2 dengan Perkuatan *Sheet Pile* Dengan Beban Gempa

Potensi kelongsoran tanah pada lereng geometri baru *trial* 2 dengan *sheet pile* tanpa beban gempa dapat dilihat pada Gambar 5.60. Potensi kelongsoran pada lereng geometri baru *trial* 2 dengan *sheet pile* lebih kecil dibandingkan lereng asli, hal ini ditandai dengan warna merah yang membentuk garis keruntuhan lereng pada lereng asli berubah menjadi warna kuning pada lereng *trial* 2 dengan *sheet pile.*



Gambar 5.60 Potensi Kelongsoran Geometri Baru *Trial* 2 dengan Perkuatan *Sheet Pile* Tanpa Beban Gempa

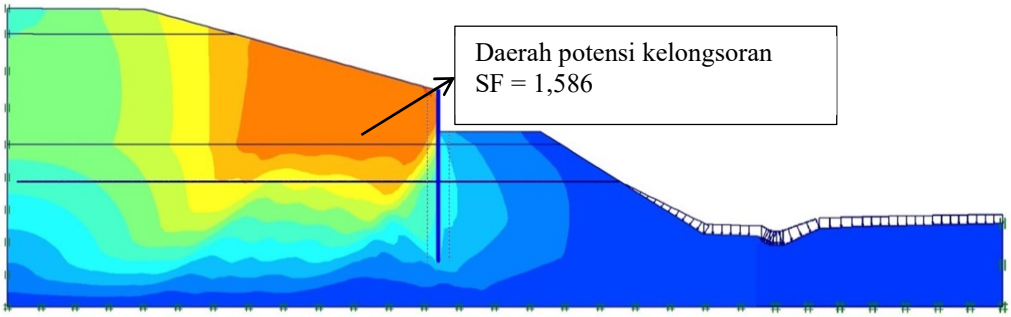
Nilai SF lereng geometri baru *trial* 2 dengan *sheet pile* dengan beban gempa dapat dilihat pada Gambar 5.61.

Multipliers

	Incremental multipliers		Total multipliers	
Prescribed displacements	Mdisp:	0,000	Σ-Mdisp:	0,000
Load system A	MloadA:	0,000	Σ-MloadA:	1,000
Load system B	MloadB:	0,000	Σ-MloadB:	1,000
Soil weight	Mweight:	0,000	Σ-Mweight:	1,000
Acceleration	Maccel:	0,000	Σ-Maccel:	0,000
Strength reduction factor	Msf:	0,000	Σ-Msf:	1,717
Time	Increment:	0,000	End time:	0,000
Dynamic time	Increment:	0,000	End time:	0,000

Gambar 5.61 Nilai SF Geometri Baru *Trial* 2 dengan Perkuatan *Sheet Pile* Tanpa Beban Gempa

Potensi kelongsoran tanah pada lereng geometri baru *trial* 2 dengan *sheet pile* dengan beban gempa dapat dilihat pada Gambar 5.62.



Gambar 5.62 Potensi Kelongsoran Geometri Baru *Trial* 2 dengan Perkuatan *Sheet Pile* Dengan Beban Gempa

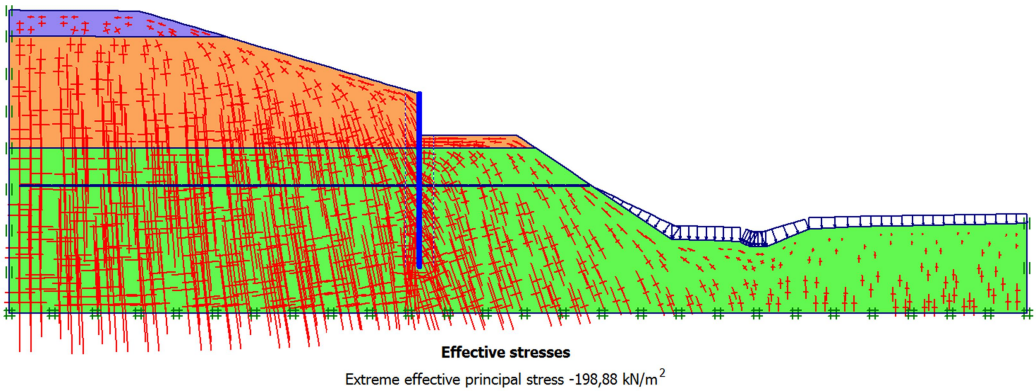
Nilai SF lereng geometri baru *trial* 2 dengan *sheet pile* dengan beban gempa dapat dilihat pada Gambar 5.63.

Multipliers

	Incremental multipliers		Total multipliers	
Prescribed displacements	Mdisp:	0,000	Σ-Mdisp:	0,000
Load system A	MloadA:	0,000	Σ-MloadA:	1,000
Load system B	MloadB:	0,000	Σ-MloadB:	1,000
Soil weight	Mweight:	0,000	Σ-Mweight:	1,000
Acceleration	Maccel:	0,000	Σ-Maccel:	1,000
Strength reduction factor	Msf:	0,002	Σ-Msf:	1,586
Time	Increment:	0,000	End time:	0,000
Dynamic time	Increment:	0,000	End time:	0,000

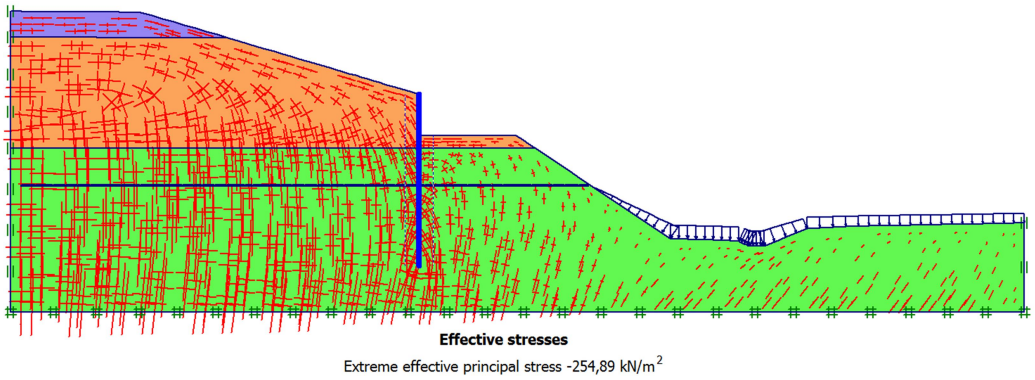
Gambar 5.63 Nilai SF Geometri Baru *Trial* 2 dengan Perkuatan *Sheet Pile* Dengan Beban Gempa

Hasil analisis program Plaxis 8.6 menunjukan bahwa garis-garis yang mengindikasikan arah dan besarnya tegangan efektif semakin ke bawah semakin terlihat banyak. Besarnya nilai *effective stresses* pada lereng geometri baru *trial* 2 tanpa beban gempa adalah sebesar -198,88 kN/m^2 dan dengan beban gempa adalah sebesar -254,89 kN/m^2. *Effective stress* pada lereng geometri baru *trial* 2 dengan *sheet pile* tanpa beban gempa dapat dilihat pada Gambar 5.64.



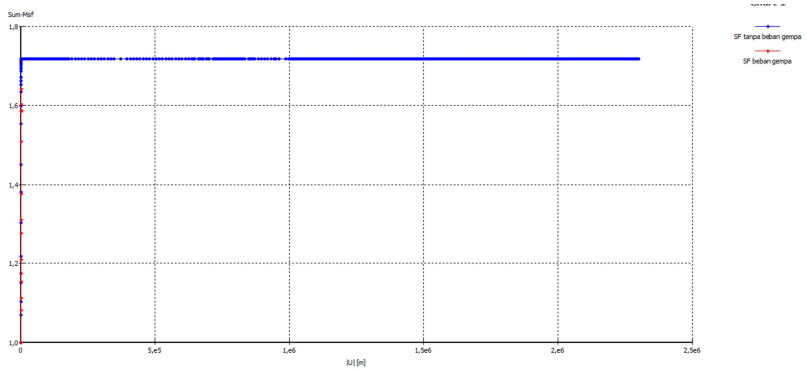
Gambar 5.64 *Effective Stresses* Geometri Baru *Trial* 2 dengan Perkuatan *Sheet Pile* Tanpa Beban Gempa

Effective stress pada lereng geometri baru *trial* 2 dengan *sheet pile* dan dengan beban gempa pada Gambar 5.65.



Gambar 5.65 *Effective Stresses* Geometri Baru *Trial* 2 dengan Perkuatan *Sheet Pile* Dengan Beban Gempa

Kurva *safety factor* lereng geometri baru *trial* 2 dengan *sheet pile* dapat dilihat pada Gambar 5.66.

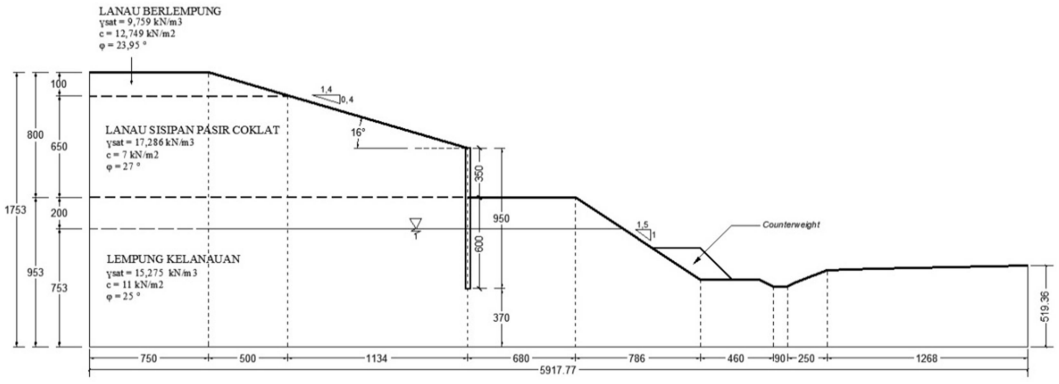


Gambar 5.66 Kurva *Safety Factor* Geometri Baru *Trial* 2 dengan Perkuatan *Sheet Pile*

Berdasarkan hasil pemodelan lereng baru *trial* 2 dengan *sheet pile* di atas, diperoleh nilai *safety factor* (SF) untuk lereng *trial* 2 tanpa beban gempa sebesar 1,717 dan dengan beban gempa sebesar 1,586. Hal ini menunjukkan bahwa pada lereng *trial* 2 tanpa beban gempa SF > 1,25 maka lereng aman dari kelongsoran lereng. Sedangkan pada lereng *trial* 2 dengan beban gempa SF > 1,25 maka lereng aman dari kelongsoran lereng.

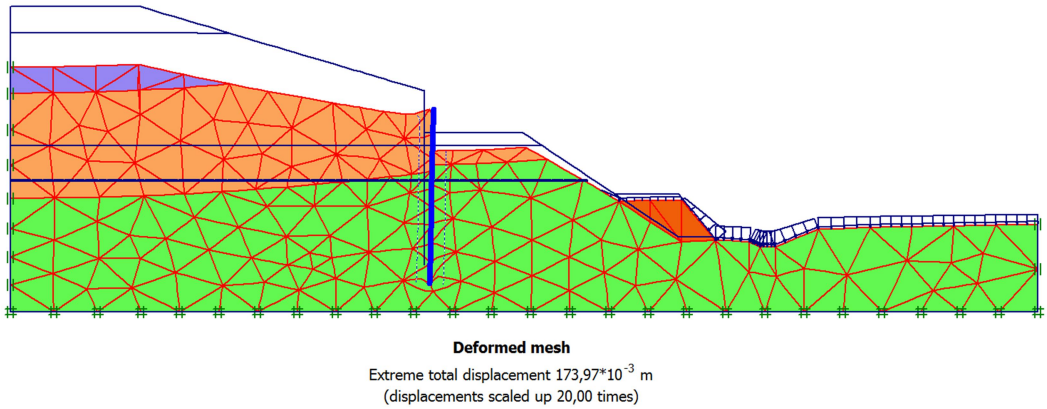
5.8 Lereng Geometri Baru *Trial* 2 dengan Perkuatan *Sheet Pile* dan *Counterweight*

Desain geometri baru lereng sta. 53+700 dengan *sheet pile* dan *counterweight* dapat dilihat pada Gambar 5.67.



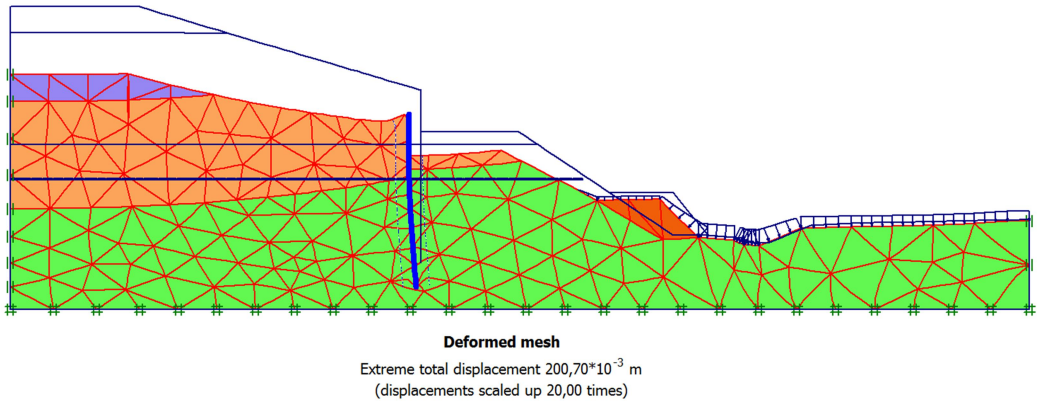
Gambar 5.67 Desain Geometri Baru *Trial* 2 dengan Perkuatan *Sheet Pile* dan *Counterweight*

Hasil *deformed mesh* pada lereng geometri baru *trial* 2 dengan *sheet pile* dan *counterweight* tanpa beban gempa dapat dilihat pada Gambar 5.68 dan dengan beban gempa dapat dilihat pada Gambar 3.69.



Gambar 5.68 *Deformed Mesh* Geometri Baru *Trial* 2 dengan Perkuatan *Sheet Pile* dan *Counterweight* Tanpa Beban Gempa

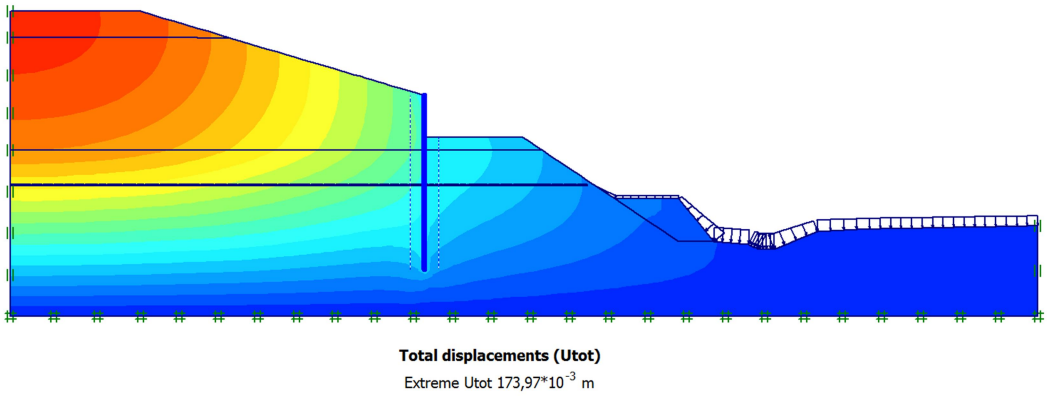
Hasil *deformed mesh* pada lereng geometri baru *trial* 2 dengan *sheet pile* dan *counterweight* dengan beban gempa dapat dilihat pada Gambar 5.69.



Gambar 5.69 *Deformed Mesh* Geometri Baru *Trial* 2 dengan Perkuatan *Sheet Pile* dan *Counterweight* Dengan Beban Gempa

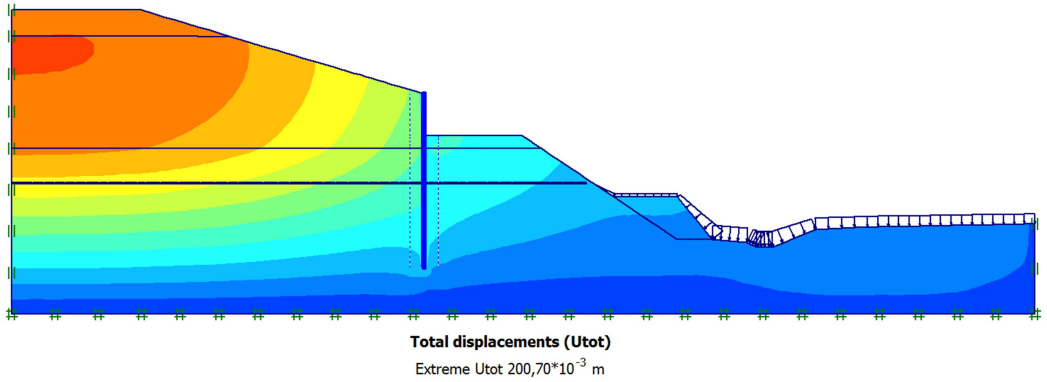
Besarnya nilai *displacement* pada lereng *trial* 2 dengan *sheet pile* dan *counterweight* tanpa beban gempa adalah 39,63 x 10^{-3} meter dan dengan beban gempa adalah 50,92 x 10^{-3} meter. Gambar *displacement* lereng geometri baru

trial 2 dengan *sheet pile* dan *counterweight* tanpa beban gempa dapat dilihat pada Gambar 5.70.



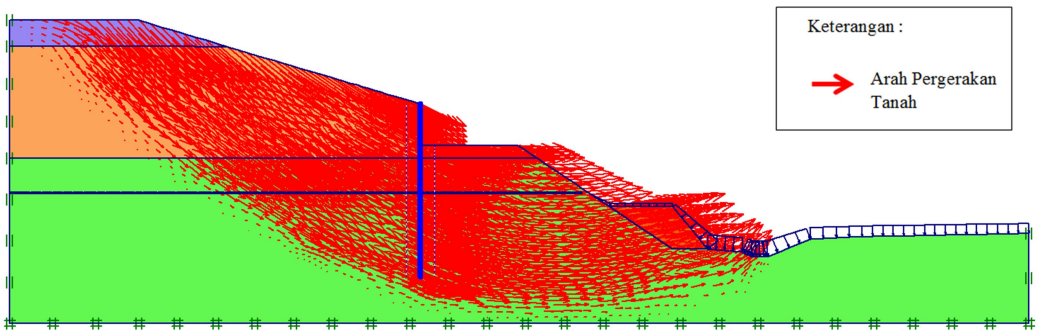
Gambar 5.70 *Total displacement* Geometri Baru *Trial* 2 dengan Perkuatan *Sheet Pile* dan *Counterweight* Tanpa Beban Gempa

Gambar *displacement* lereng geometri baru *trial* 2 dengan *sheet pile* dan *counterweight* dengan beban gempa dapat dilihat pada Gambar 5.71.



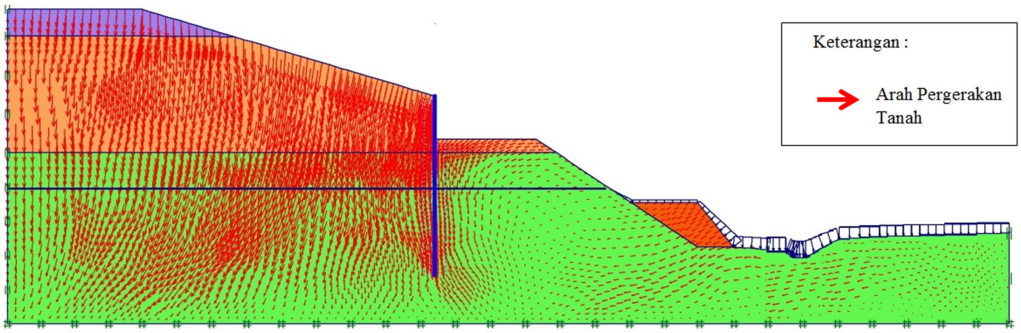
Gambar 5.71 *Total displacement* Geometri Baru *Trial* 2 dengan Perkuatan *Sheet Pile* dan *Counterweight* Dengan Beban Gempa

Arah pergerakan tanah pada lereng geometri baru *trial* 2 dengan *sheet pile* dan *counterweight* pergerakan tanah dominan ke arah kanan. Arah pergerakan tanah pada lereng geometri baru *trial* 2 dengan *sheet pile* dan *counterweight* tanpa beban gempa dapat dilihat pada Gambar 5.72.



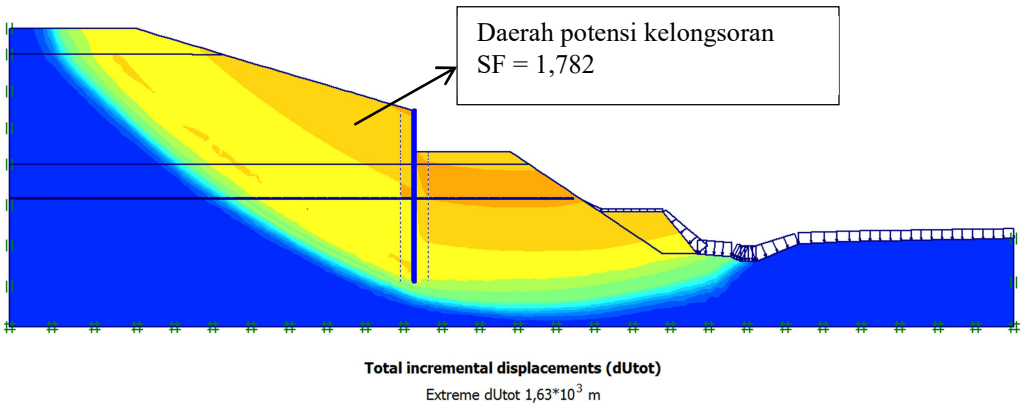
Gambar 5.72 Arah Pergerakan Tanah Geometri Baru *Trial* 2 dengan Perkuatan *Sheet Pile* dan *Counterweight* Tanpa Beban Gempa

Arah pergerakan tanah pada lereng geometri baru *trial* 2 dengan *sheet pile* dan *counterweight* tanpa beban gempa dapat dilihat pada Gambar 5.72.



Gambar 5.73 Arah Pergerakan Tanah Geometri Baru *Trial* 2 dengan Perkuatan *Sheet Pile* dan *Counterweight* Dengan Beban Gempa

Potensi kelongsoran tanah pada lereng geometri baru *trial* 2 dengan *sheet pile* dan *counterweight* tanpa beban gempa dapat dilihat pada Gambar 5.74. Potensi kelongsoran pada lereng geometri baru *trial* 2 dengan *sheet pile* dan *counterweight* lebih kecil dibandingkan lereng asli, hal ini ditandai dengan warna merah yang membentuk garis keruntuhan lereng pada lereng asli berubah menjadi warna hijau kebiruan pada lereng *trial* 2 dengan *sheet pile* dan *counterweight.*



Gambar 5.74 Potensi Kelongsoran Geometri Baru *Trial* 2 dengan Perkuatan *Sheet Pile* dan *Counterweight* Tanpa Beban Gempa

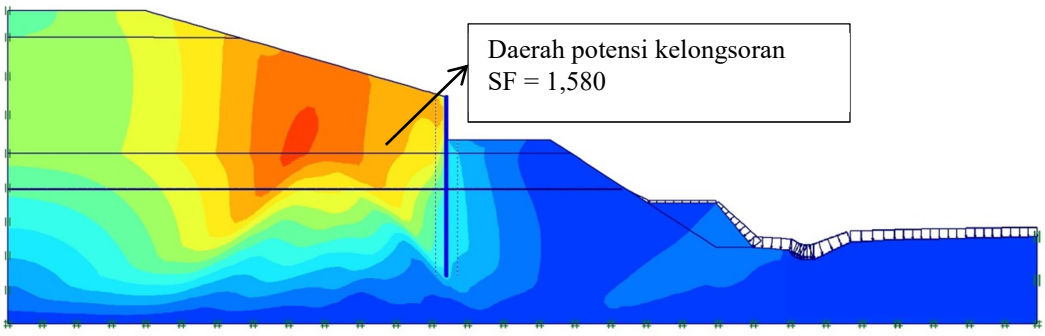
Nilai SF lereng geometri baru *trial* 2 dengan *sheet pile* dan *counterweight* tanpa beban gempa dapat dilihat pada Gambar 5.75.

Multipliers

	Incremental multipliers		Total multipliers	
Prescribed displacements	Mdisp:	0,000	Σ-Mdisp:	0,000
Load system A	MloadA:	0,000	Σ-MloadA:	1,000
Load system B	MloadB:	0,000	Σ-MloadB:	1,000
Soil weight	Mweight:	0,000	Σ-Mweight:	1,000
Acceleration	Maccel:	0,000	Σ-Maccel:	0,000
Strength reduction factor	Msf:	0,000	Σ-Msf:	1,782
Time	Increment:	0,000	End time:	0,000
Dynamic time	Increment:	0,000	End time:	0,000

Gambar 5.75 Nilai SF Geometri Baru *Trial* 2 dengan Perkuatan *Sheet Pile* dan *Counterweight* Tanpa Beban Gempa

Potensi kelongsoran tanah pada lereng geometri baru *trial* 2 dengan *sheet pile* dan *counterweight* dengan beban gempa dapat dilihat pada Gambar 5.76.



Gambar 5.76 Potensi Kelongsoran Geometri Baru *Trial* 2 dengan Perkuatan *Sheet Pile* dan *Counterweight* Dengan Beban Gempa

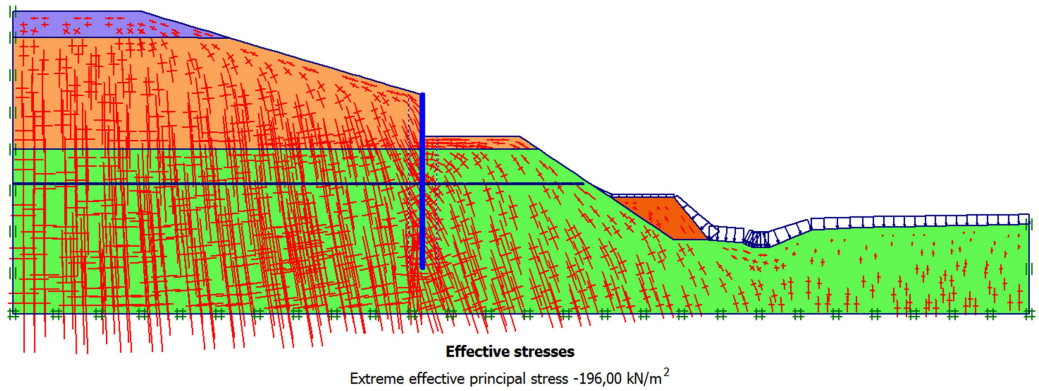
Nilai SF lereng geometri baru *trial* 2 dengan *sheet pile* dan *counterweight* dengan beban gempa dapat dilihat pada Gambar 5.77.

Multipliers

	Incremental multipliers		Total multipliers	
Prescribed displacements	Mdisp:	0,000	Σ-Mdisp:	0,000
Load system A	MloadA:	0,000	Σ-MloadA:	1,000
Load system B	MloadB:	0,000	Σ-MloadB:	1,000
Soil weight	Mweight:	0,000	Σ-Mweight:	1,000
Acceleration	Maccel:	0,000	Σ-Maccel:	1,000
Strength reduction factor	Msf:	0,067	Σ-Msf:	1,580
Time	Increment:	0,000	End time:	0,000
Dynamic time	Increment:	0,000	End time:	0,000

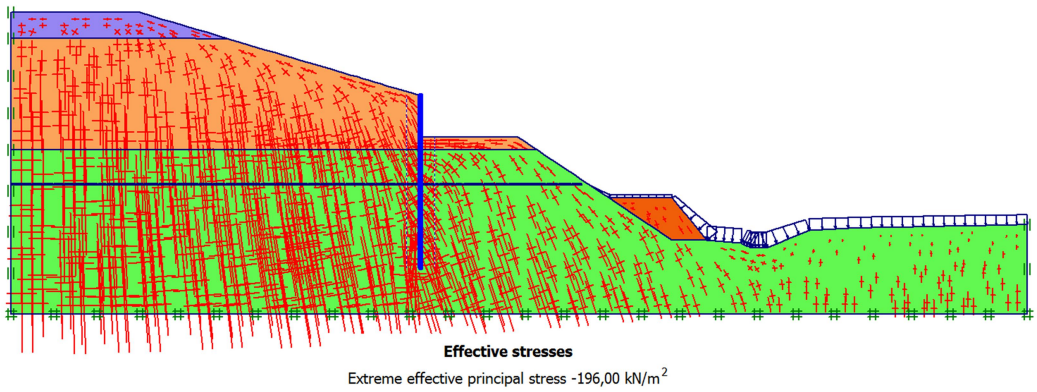
Gambar 5.77 Nilai SF Geometri Baru *Trial* 2 dengan Perkuatan *Sheet Pile* dan *Counterweight* Dengan Beban Gempa

Hasil analisis program Plaxis 8.6 menunjukan bahwa garis-garis yang mengindikasikan arah dan besarnya tegangan efektif semakin ke bawah semakin terlihat banyak. Besarnya nilai *effective stresses* pada lereng geometri baru *trial* 2 dengan *sheet pile* dan *counterweight* tanpa beban gempa adalah sebesar -196 kN/m^2 dan dengan beban gempa adalah sebesar -250,58 kN/m^2. *Effective stress* pada lereng geometri baru *trial* 2 dengan *sheet pile* dan *counterweight* tanpa beban gempa dapat dilihat pada Gambar 5.78.



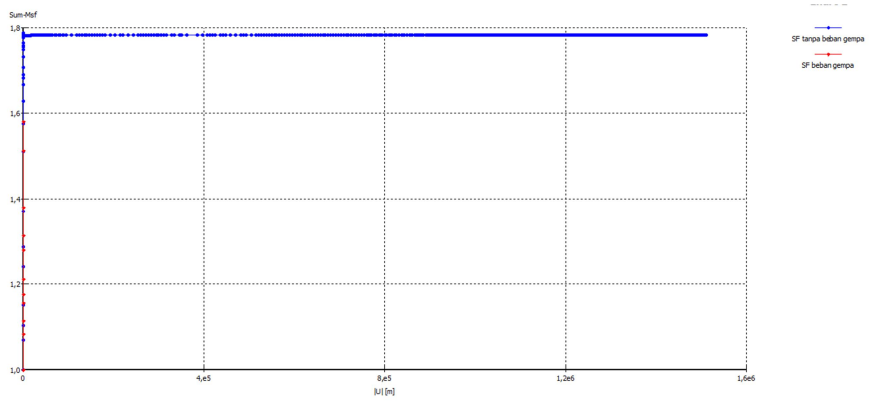
Gambar 5.78 *Effective Stresses* Geometri Baru *Trial* 2 dengan Perkuatan *Sheet Pile* dan *Counterweight* Tanpa Beban Gempa

Effective stress pada lereng geometri baru *trial* 2 dengan *sheet pile* dan *counterweight* dengan beban gempa pada Gambar 5.79.



Gambar 5.79 *Effective Stresses* Geometri Baru *Trial* 2 dengan Perkuatan *Sheet Pile* dan *Counterweight* Dengan Beban Gempa

Kurva *safety factor* pada lereng geometri baru *trial* 2 dengan *sheet pile* dan *counterweight* dapat dilihat pada Gambar 5.80.



Gambar 5.80 Kurva *Safety Factor* Geometri Baru *Trial* 2 dengan Perkuatan *Sheet Pile* dan *Counterweight*

Berdasarkan hasil pemodelan lereng baru *trial* 2 dengan *sheet pile* dan *counterweight* di atas, diperoleh nilai *safety factor* (SF) untuk lereng *trial* 2 dengan *sheet pile* dan *counterweight* tanpa beban gempa sebesar 1,782 dan dengan beban gempa sebesar 1,666. Hal ini menunjukkan bahwa pada lereng *trial* 2 dengan *sheet pile* dan *counterweight* tanpa beban gempa SF > 1,25 maka lereng aman dari kelongsoran lereng. Sedangkan dengan beban gempa SF > 1,25 maka lereng aman dari kelongsoran lereng.

Rekapitulasi hasil analisis stabilitas lereng sta. 53+700 menggunakan Plaxis versi 8.6 dapat dilihat pada Tabel 5.18.

Tabel 5.18 Rekapitulasi Hasil Analisis Sabilitas Lereng sta. 53+700

Keterangan	Satuan	Lereng Asli		Lereng Geometri Baru Trial 1 dengan S*heet Pile*		Lereng Geometri Baru Trial 1 dengan S*heet Pile* dan *Counterweight*		Lereng Geometri Baru Trial 2 dengan S*heet Pile*		Lereng Geometri Baru Trial 2 dengan S*heet Pile* dan *Counterweight*	
		Tanpa Beban Gempa	Dengan Beban Gempa	Tanpa Beban Gempa	Dengan Beban Gempa	Tanpa Beban Gempa	Dengan Beban Gempa	Tanpa Beban Gempa	Dengan Beban Gempa	Tanpa Beban Gempa	Dengan Beban Gempa
Total Displacement	m	4,94E-02	5,90E-02	1,76E-01	2,03E-01	1,76E-01	2,03E-01	1,73E-01	2,00E-01	1,74E-01	2,01E-01
Effective stress	kN/m2	-144,12	-285,32	-143,58	-200,4	-143,49	-200,35	-198,88	-254,89	-196	-250,58
Safety Factor		1,3988	1,149	1,6055	1,4215	1,6449	1,5403	1,717	1,5862	1,7818	1,6665