

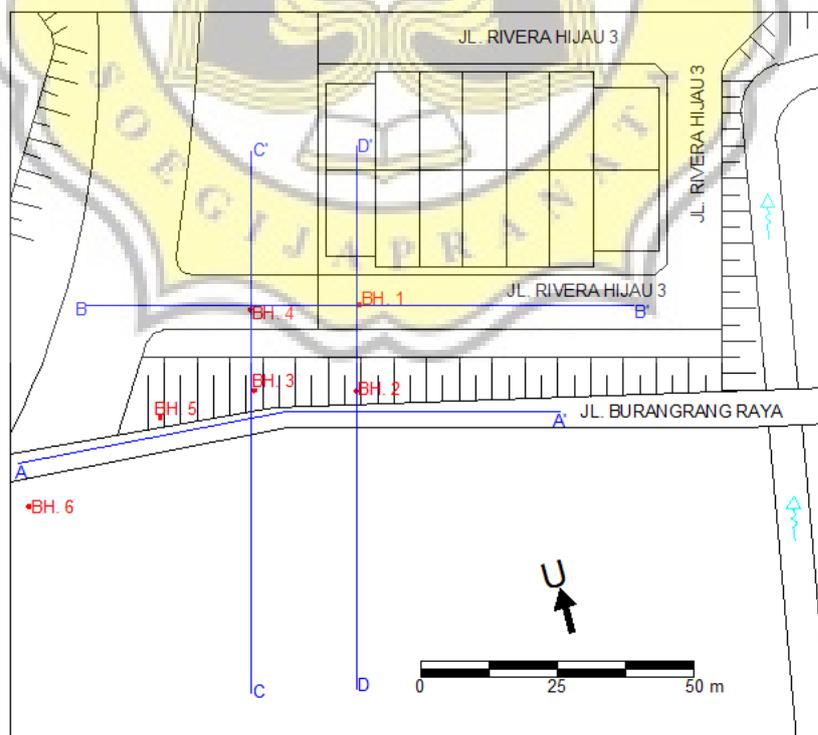


BAB 4 ANALISIS DAN PEMBAHASAN

4.1 Data yang Digunakan

Data yang digunakan untuk membuat pemodelan lereng di Jalan Burangrang Raya pada penelitian ini meliputi data peta lokasi, data topografi lereng, data penyelidikan tanah berupa data bor, dan data *soil nailing*. Data peta lokasi, topografi lereng, dan data bor digunakan untuk membuat stratigrafi lereng yang dimodelkan pada *PLAXIS*. Data bor diperoleh dari Laboratorium Mekanika Tanah UNDIP. Data *soil nailing* digunakan untuk rencana pemasangan *soil nailing* pada lereng.

Berdasarkan peta lokasi lereng di Jalan Burangrang Raya yang ditunjukkan pada Lampiran A diketahui terdapat 6 titik *bore log* yang menunjukkan kondisi lapisan tanah di lokasi penelitian. Hasil keenam titik *bore log* tersebut dapat dilihat pada Lampiran B. Posisi *cross section* lereng juga ditunjukkan pada Gambar 4.1 sebanyak 4 buah. Keempat *cross section* lereng tersebut dipilih untuk menunjukkan bentuk topografi dan stratigrafi lereng pada lokasi penelitian.

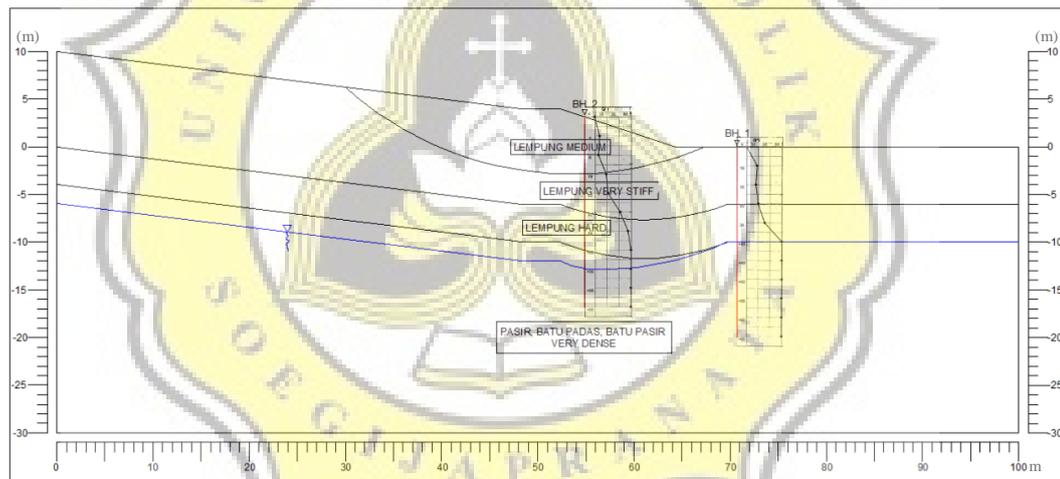


Gambar 4.1 Peta Lokasi Lereng Jalan Burangrang Raya

4.1.1 Stratigrafi lereng

Stratigrafi lereng memberikan informasi berupa bentuk lapisan tanah di bawah permukaan lereng dan jenis tanah masing-masing lapisan. Stratigrafi lereng dibuat dengan cara menghubungkan jenis lapisan tanah dari hasil uji bor. Stratigrafi lereng tersebut dibuat sesuai *cross section* yang dipilih.

Data *cross section* D – D' dipilih untuk dimodelkan pada penelitian ini karena sekitar wilayah tersebut mengalami kolongoran yang terparah. Stratigrafi lereng pada *cross section* tersebut dibuat menggunakan data lapisan tanah dan N-SPT dari titik bor 1 (BH. 1) dan titik bor 2 (BH. 2). Stratigrafi lereng dari *cross section* D – D' ditunjukkan pada Gambar 4.2 digunakan untuk pemodelan lereng pada *PLAXIS*. Hasil stratigrafi lereng untuk *cross section* lainnya ditunjukkan pada Lampiran D.



Gambar 4.2 Stratigrafi Lereng *Cross Section* D – D'

4.1.2 Parameter tanah

Parameter tanah yang digunakan sesuai dengan material model yang dipakai. Material model yang digunakan untuk penelitian ini yaitu material model Mohr-Coulomb. Nilai parameter tanah yang digunakan diperoleh dengan menggunakan korelasi terhadap hasil uji lapangan pada subbab 2.4.1.

Nilai N-SPT yang hampir sama pada kedalaman yang berdekatan dirata-rata terlebih dahulu baik pada titik bor 1 maupun titik bor 2 sebelum dilakukan korelasi kepadatan tanah. Korelasi kepadatan tanah padat titik BH. 1 dan titik BH. 2 dapat

dilihat pada Tabel 4.1 dan Tabel 4.2. Data parameter tanah untuk penelitian ini dapat dilihat pada Tabel 4.3. Data yang berdasarkan korelasi terhadap jenis tanah, nilai N-SPT, dan kepadatan tanah tersebut digunakan sebagai *input* untuk pemodelan menggunakan *PLAXIS* pada pemodelan jangka pendek.

Tabel 4.1 Kepadatan Tanah Titik BH. 1

Lapisan Tanah	Jenis Tanah	N-SPT	Kepadatan
1	Lempung	17	<i>Very Stiff</i>
2	Lempung	26	<i>Hard</i>
3	Padas	60	<i>Very Dense</i>

Tabel 4.2 Kepadatan Tanah Titik BH. 2

Lapisan Tanah	Jenis Tanah	N-SPT	Kepadatan
1	Lempung	7	<i>Medium</i>
2	Lempung	20	<i>Very Stiff</i>
3	Lempung	45	<i>Hard</i>
4	Padas	60	<i>Very Dense</i>

Tabel 4.3a Data Parameter Tanah Jangka Pendek

No	Jenis Tanah	N-SPT rata-rata	Kepadatan	Tipe Material	γ_{unsat} (kN/m ³)	γ_{sat} (kN/m ³)	<i>k</i> (m/hari)
1	Lempung	7	<i>Medium</i>	<i>Undrained</i>	17	18	8,64E-05
2	Lempung	18	<i>Very Stiff</i>	<i>Undrained</i>	18	19	8,64E-06
3	Lempung	39	<i>Hard</i>	<i>Undrained</i>	19	20	8,64E-04
4	Padas	60	<i>Very Dense</i>	<i>Drained</i>	20	21	8,64E-01

Tabel 4.3b Data Parameter Tanah Jangka Pendek (Lanjutan)

No	Jenis Tanah	N-SPT rata-rata	Kepadatan	$e_{initial}$	<i>E</i> (kN/m ²)	ν	<i>c</i> (kN/m ²)	ϕ (°)
1	Lempung	7	<i>Medium</i>	1,3	10.000	0,25	15	20
2	Lempung	19	<i>Very Stiff</i>	1,2	55.000	0,35	75	23
3	Lempung	39	<i>Hard</i>	1	33.000	0,30	180	25
4	Padas	60	<i>Very Dense</i>	0,9	42.000	0,30	5	41

4.1.3 Data soil nailing

Data *soil nailing* meliputi dimensi, mutu, modulus elastisitas, sudut pemasangan, dan jarak pemasangan. *Soil nailing* yang dimodelkan dalam *PLAXIS* menggunakan *tool plate* perlu dilakukan *input* parameter *soil nailing*. Parameter *soil nailing* yang berupa kekakuan aksial (*EA*), kekakuan lentur (*EI*), berat dan Angka Poisson *soil nailing* diperoleh dengan mengasumsikan terlebih dahulu dimensi, modulus

elastisitas, serta jarak pemasangan *soil nailing* berdasarkan subbab 2.3.1 dan subbab 2.3.2. Tabel 4.4 menunjukkan data *soil nailing* yang digunakan pada penelitian ini.

Tabel 4.4 Data *Soil Nailing*

Data Rencana <i>Soil Nailing</i>	Nilai
Panjang (m)	11
Diameter lubang, D_{DH} (mm)	100
Diameter <i>nail</i> , d (mm)	25
Kuat leleh <i>nail</i> , f_y (MPa)	390
Sudut inklinasi ($^\circ$)	65
Jarak antar <i>nail</i> horisontal (m)	2
Jarak antar <i>nail</i> vertikal (untuk lereng dengan 2 <i>soil nailing</i>) (m)	4,74
Jarak antar <i>nail</i> vertikal (untuk lereng dengan 3 <i>soil nailing</i>) (m)	4,74
Jarak antar <i>nail</i> vertikal (untuk lereng dengan 5 <i>soil nailing</i>) (m)	2,37
Data Parameter <i>Soil Nailing</i>	Nilai
Luas <i>soil nailing</i> , A (mm ²)	7853,98
Luas <i>nail</i> , A_n (mm ²)	490,87
Luas <i>grout</i> , A_g (mm ²)	7363,11
Modulus elastisitas <i>nail</i> , E_n (GPa)	200
Modulus elastisitas <i>grout</i> , E_g (GPa)	22
Modulus elastisitas <i>grouted soil nail</i> , E_{eq} (GPa)	33,12
<i>Axial stiffness nail</i> , EA (kN/m)	130.061
<i>Bending stiffness nail</i> , EI (kNm ² /m)	81,29
Berat <i>soil nailing</i> (kN/m/m)	0,094
Angka Poisson <i>soil nailing</i>	0,2

4.2 Analisis Stabilitas Lereng Asli

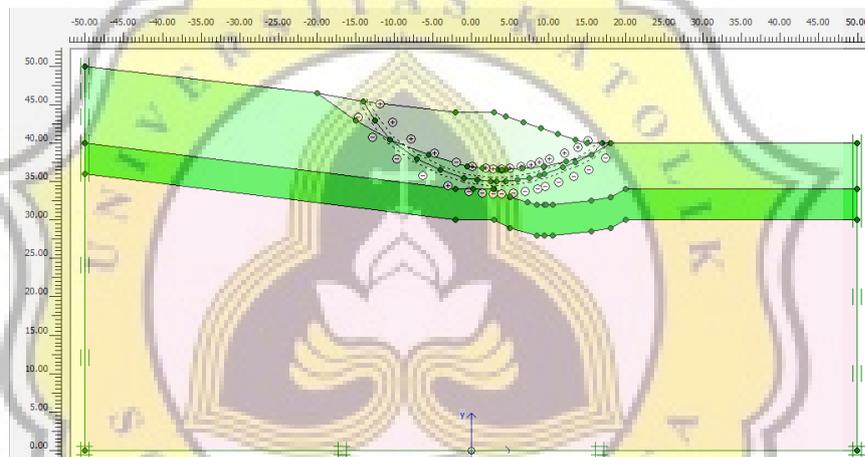
Analisis stabilitas lereng asli dilakukan untuk mengetahui bagaimana kelongsoran lereng asli. Nilai faktor keamanan dan pola keruntuhan dari lereng asli ditunjukkan melalui analisis stabilitas lereng ini. Besarnya perpindahan material tanah yang terjadi akan menentukan pola keruntuhan lereng. Pola keruntuhan yang terjadi akan ditunjukkan dengan warna beserta nilai perpindahan materialnya.

Subbab ini akan menjelaskan mengenai pembuatan model untuk kondisi asli lereng pada Jalan Burangrang Raya. Pengaturan kalkulasi juga turut dijelaskan agar model yang dibuat dapat dianalisis oleh *PLAXIS*. Hasil kalkulasi tersebut akan ditampilkan dan dibahas juga pada subbab ini.

4.2.1 Pemodelan dan pengaturan kalkulasi lereng asli

Pembuatan model dan pengaturan kalkulasi dilakukan dengan tahapan sebagai berikut:

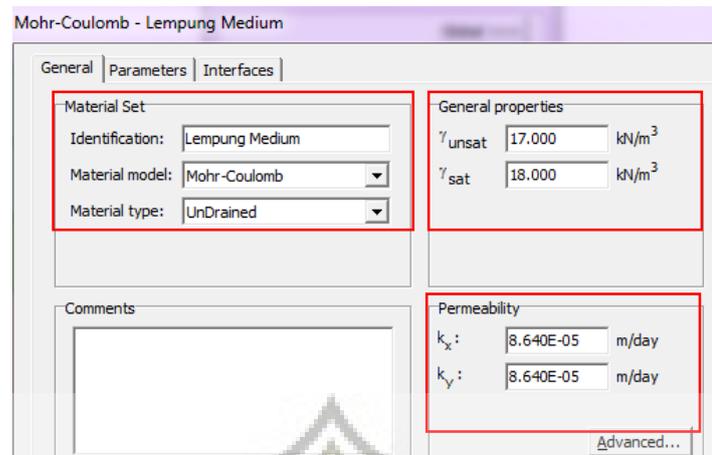
1. Penggambaran stratigrafi lereng serta pembatasan daerah yang dihitung
Langkah awal dalam pembuatan model pada *PLAXIS* adalah menggambar bentuk lereng sesuai dengan gambar stratigrafi pada Gambar 4.2. Bidang gelincir lereng pada Lampiran C digambar bersamaan dengan penggambaran stratigrafi lereng. Lereng yang ditinjau perlu diberikan batas agar analisis hanya dilakukan pada area yang dibatasi. Penggambaran lereng dan bidang gelincir serta pembatasan daerah yang dihitung dapat dilihat pada Gambar 4.3.



Gambar 4.3 Pemodelan Lereng Asli

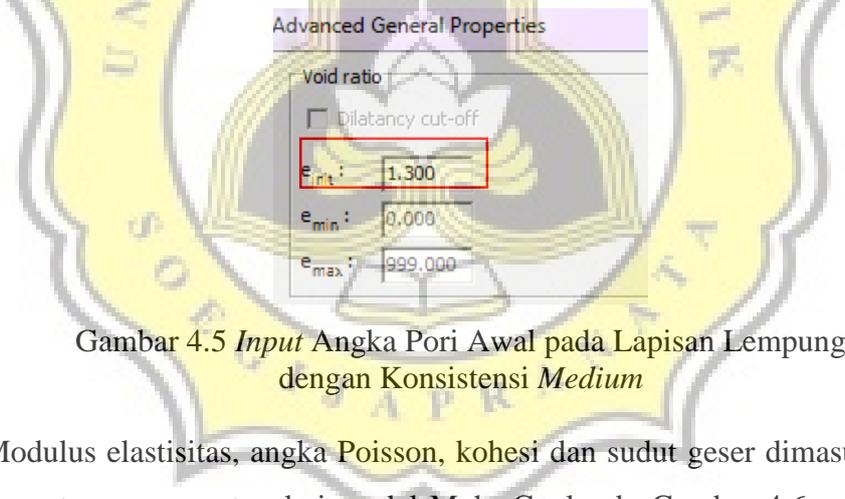
2. *Input* parameter tanah
Parameter tanah yang digunakan untuk pemodelan ini meliputi jenis tanah, berat isi tanah, koefisien permeabilitas, angka pori, modulus elastisitas, angka Poisson, kohesi dan sudut geser tanah. Setiap lapisan tanah memiliki nilai parameter tanah yang berbeda. Nilai parameter tanah yang dimasukkan pada model lereng dapat dilihat pada Tabel 4.3.

Input pada pengaturan umum berupa data identifikasi tanah, model material, tipe material, berat isi tanah dan permeabilitas. Gambar 4.4 menunjukkan contoh pengisian pengaturan umum dari lapisan lempung dengan konsistensi *medium*. Material tipe *undrained* dipilih karena lapisan tersebut memiliki potensi untuk mengalami peningkatan tekanan air pori.



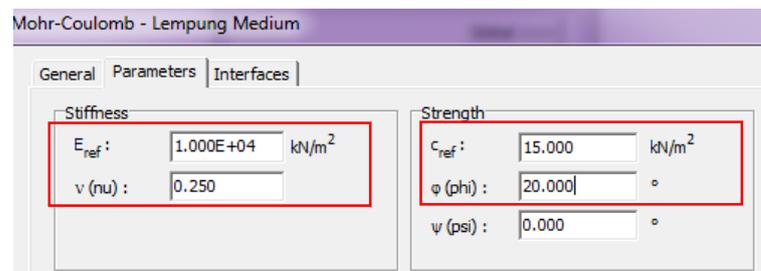
Gambar 4.4 Pengaturan Umum Model Mohr-Coulomb pada Lapisan Lempung dengan Konsistensi *Medium*

Nilai angka pori awal dari lapisan tanah dimasukkan pada lanjutan pengaturan umum. Gambar 4.5 menunjukkan contoh pengisian angka pori awal dari lapisan lempung dengan konsistensi *medium*.



Gambar 4.5 *Input* Angka Pori Awal pada Lapisan Lempung dengan Konsistensi *Medium*

Modulus elastisitas, angka Poisson, kohesi dan sudut geser dimasukkan pada pengaturan parameter dari model Mohr-Coulomb. Gambar 4.6 menunjukkan contoh pengisian pengaturan parameter dari lapis tanah pertama.

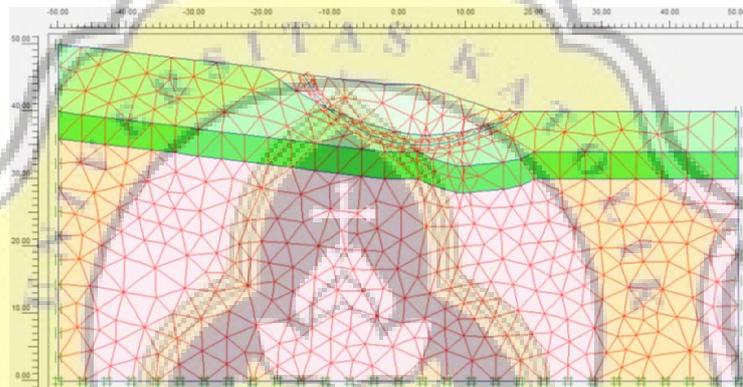


Gambar 4.6 *Input* Pengaturan Parameter Model Mohr-Coulomb pada Lapisan Lempung dengan Konsistensi *Medium*

Input parameter untuk lapisan tanah yang lain dilakukan dengan langkah yang sama sesuai dengan nilai parameter tanah masing-masing lapisan yang dapat dilihat pada Tabel 4.3.

3. Pembuatan jaring elemen atau *Finite Element Model* (FEM)

Jaring elemen berfungsi untuk menunjukkan perilaku tanah akibat adanya pembebanan maupun struktur. Pembuatan jaring elemen ini dilakukan otomatis oleh *PLAXIS*. *Output* yang dihasilkan oleh jaring elemen berupa perhitungan tegangan tanah dan bentuk keruntuhan lereng. Jaring elemen untuk pemodelan lereng Jalan Burangrang Raya diperlihatkan pada Gambar 4.7.

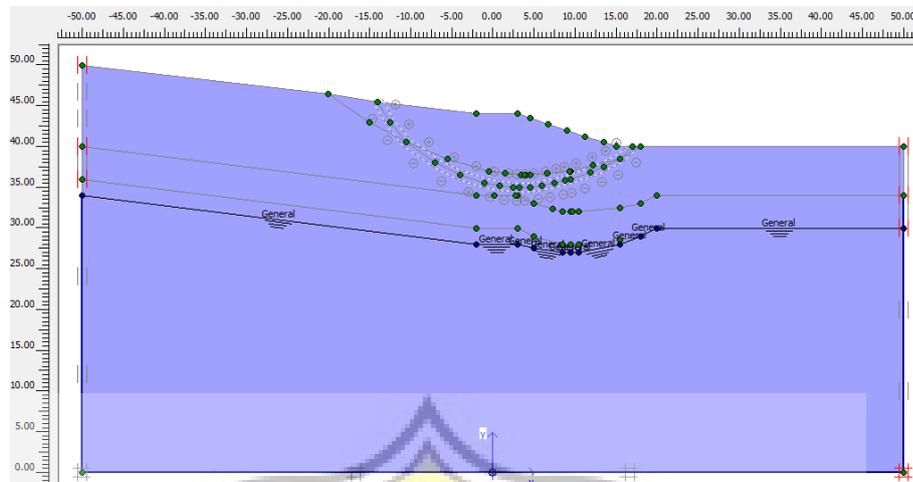


Gambar 4.7 Jaring Elemen Lereng Asli

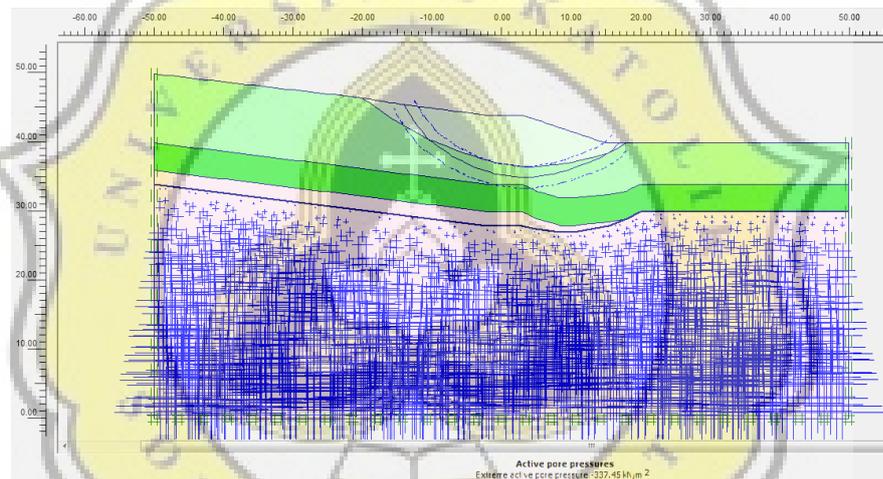
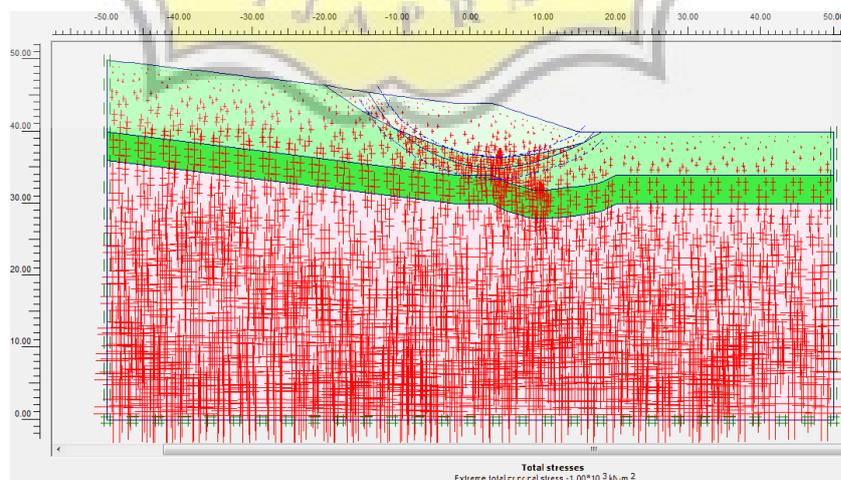
4. Pembuatan kondisi awal lereng

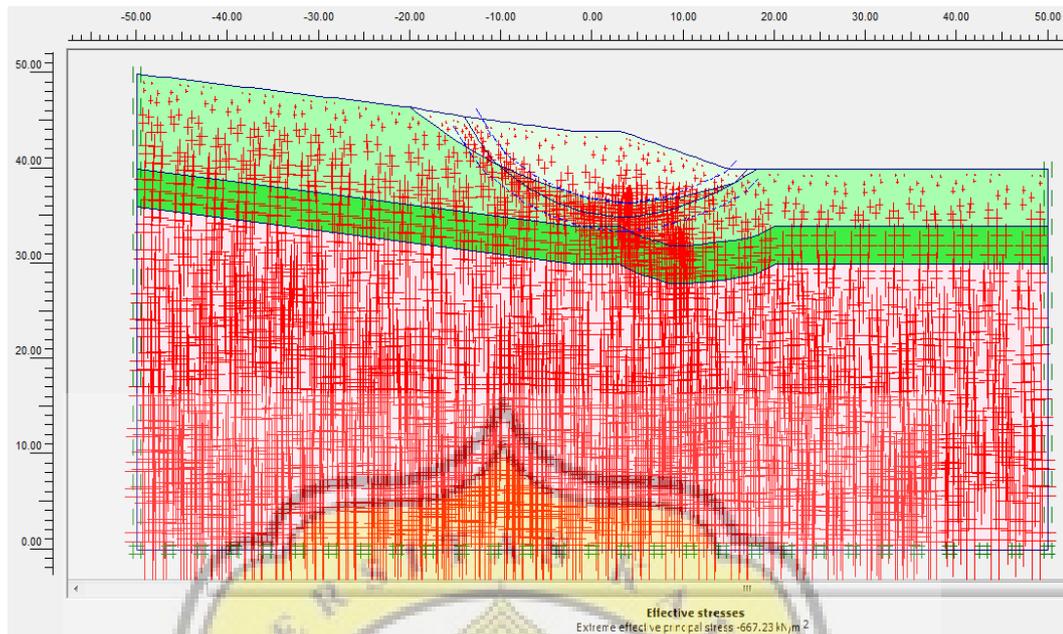
Kondisi awal terdiri dari kondisi awal untuk tekanan air pori awal dan kondisi awal untuk tegangan tanah baik tegangan tanah normal maupun tegangan tanah efektif. Lereng di Jalan Burangrang Raya terdapat muka air tanah di kedalaman 16 meter dari permukaan Jalan Burangrang Raya. Berat jenis air untuk air tanah tersebut sebesar 10 kN/m^3 . *Input* muka air tanah pada lereng yang ditinjau dapat dilihat pada Gambar 4.8.

Pembuatan kondisi awal lereng ini diperoleh besarnya nilai tekanan air pori serta tegangan normal dan efektif tanah pada kondisi *initial*. Tekanan air pori *initial* yang terjadi akibat muka air tanah sebesar $-337,45 \text{ kN/m}^2$ yang ditunjukkan pada Gambar 4.9. Tegangan normal dan efektif tanah kondisi *initial* secara berurutan sebesar -1.000 kN/m^2 dan $-667,23 \text{ kN/m}^2$ yang ditunjukkan pada Gambar 4.10 dan Gambar 4.11.



Gambar 4.8 Penggambaran Muka Air Tanah Lereng Asli

Gambar 4.9 Tekanan Air Pori Lereng Asli Kondisi *Initial*Gambar 4.10 Tegangan Tanah Normal Lereng Asli Kondisi *Initial*

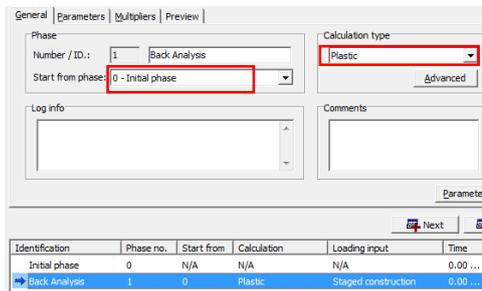


Gambar 4.11 Tegangan Tanah Efektif Lereng Asli Kondisi *Initial*

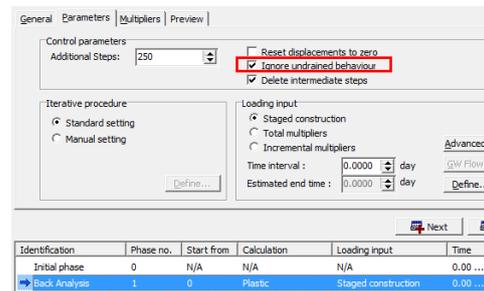
5. Pengaturan kalkulasi *back analysis*

Kalkulasi dilakukan dengan cara *back analysis* yaitu menganalisis lereng dengan mengurangi kuat geser tanah sehingga kelongsoran lereng dapat dimodelkan. Pengurangan kuat geser tanah dilakukan dengan *tool interface* pada saat mengatur parameter tanah. Nilai R_{inter} dari *interface* tanah diubah sehingga lereng yang dianalisis menunjukkan kondisi runtuh dengan melihat nilai *safety faktor* lereng. Pengubahan nilai R_{inter} dilakukan dengan cara coba-coba sehingga diperoleh kondisi lereng longsor berdasarkan nilai tersebut. Nilai R_{inter} tanah pada penelitian ini setelah dilakukan coba-coba diperoleh nilai sebesar 0,05.

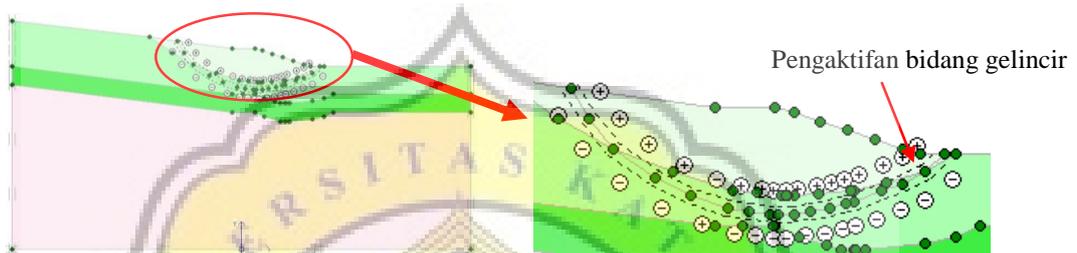
Tahap kalkulasi *back analysis* selain mengatur nilai R_{inter} juga perlu mengatur pengaktifan bidang gelincir lereng. Bidang gelincir tersebut perlu diaktifkan terlebih dahulu sebelum kalkulasi dapat dilakukan. Pengaktifan bidang gelincir dilakukan dengan tahapan seperti pada Gambar 4.12. Pengaktifan tersebut berfungsi agar kelongsoran pada saat analisis terjadi pada bidang longsor yang berada di atas bidang gelincir.



(a) Pengaturan Tipe Kalkulasi dan Tahapan Sebelumnya



(b) Pengaturan Kondisi *Undrained*

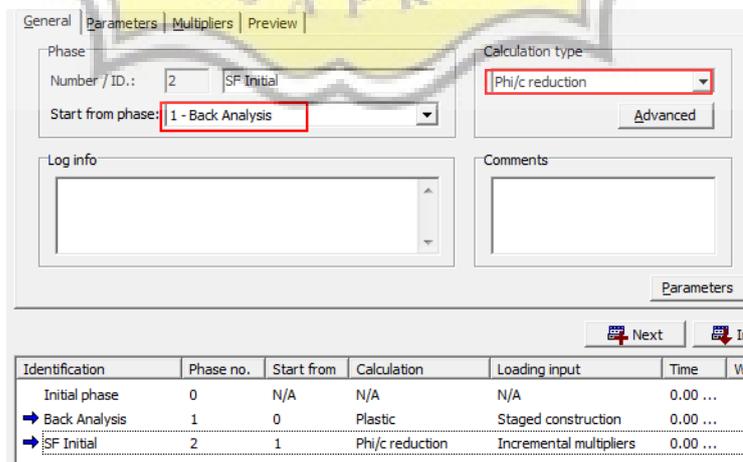


(c) Pengaktifan Bidang Gelincir

Gambar 4.12 Pengaturan Kalkulasi *Back Analysis* Lereng Asli

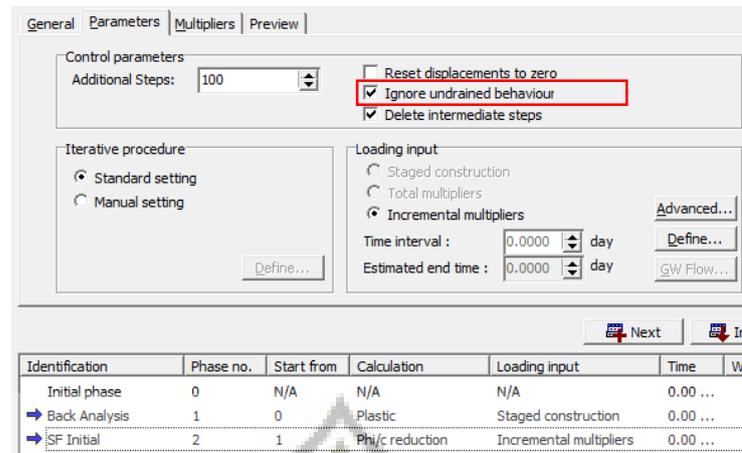
6. Pengaturan kalkulasi faktor keamanan

Nilai faktor keamanan diperoleh dengan menggunakan tipe kalkulasi *phi/c reduction*. Tipe ini menggunakan metode SSR dalam menentukan besarnya nilai faktor keamanan. Pengaturan kalkulasi faktor keamanan lereng dilakukan dengan mengatur tipe kalkulasi, tahapan yang hendak dicari nilai faktor keamanannya, dan kondisi *undrained*. Gambar 4.13 menunjukkan pengaturan kalkulasi faktor keamanan.



(a) Pengaturan Tipe Kalkulasi dan Tahapan Sebelumnya

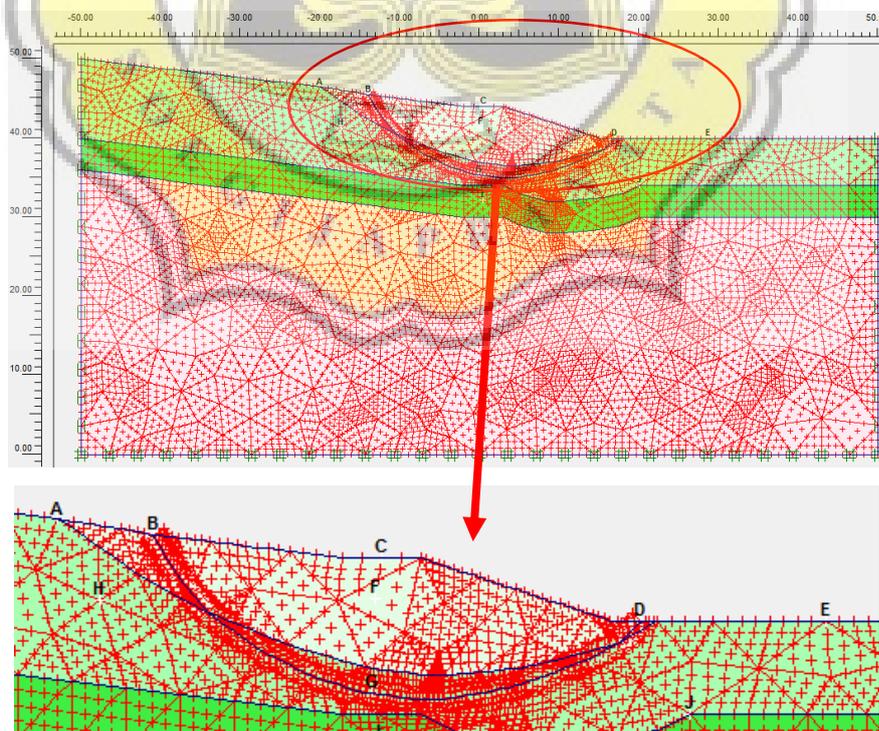
Gambar 4.13 Pengaturan Kalkulasi Faktor Keamanan Lereng Asli

(b) Pengaturan Kondisi *Undrained*

Gambar 4.13 Pengaturan Kalkulasi Faktor Keamanan Lereng Asli (Lanjutan)

7. Penentuan titik tinjau

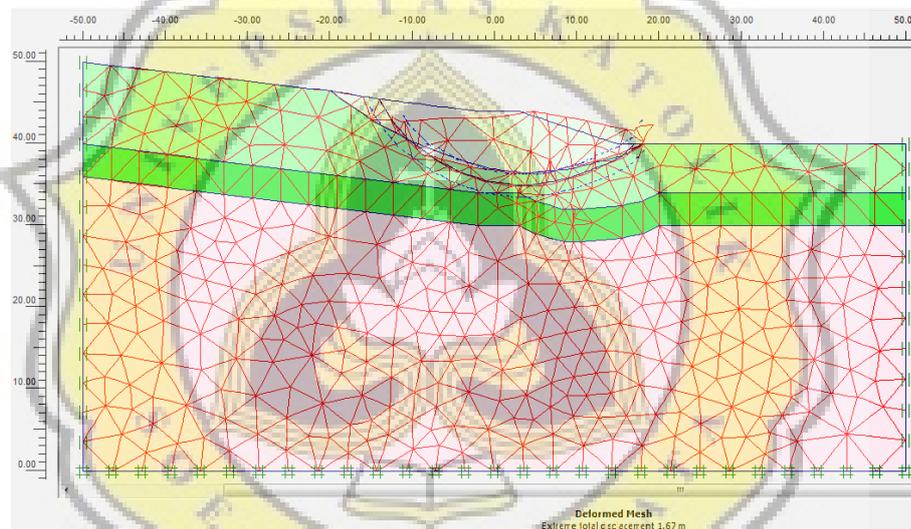
Titik tinjau akan membantu dalam melihat hasil analisis yang dilakukan. Titik tinjau untuk model lereng berjumlah 10 titik. Titik tinjau yang dipilih yaitu terletak pada bidang gelincir lereng, dalam dan luar bidang longsor baik pada permukaan lereng maupun di bawah permukaan lereng. Peletakan titik tinjau dapat dilihat pada Gambar 4.14.



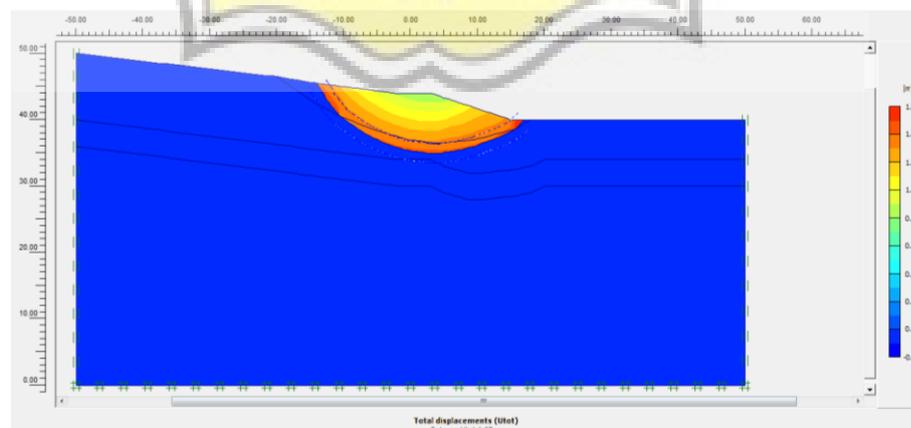
Gambar 4.14 Peletakan Titik Tinjau Lereng Asli

4.2.2 Output dan pembahasan lereng asli

Kalkulasi analisis stabilitas lereng asli dengan nilai R_{inter} 0,05 memperoleh hasil berupa perpindahan yang terjadi pada lereng sebesar 1,67 m dengan nilai faktor keamanan sebesar 1,0585. Perpindahan yang terjadi pada bidang longsor mengakibatkan lereng mengalami deformasi seperti yang ditunjukkan pada Gambar 4.15 dan memberikan pola keruntuhan lereng yang dapat dilihat pada Gambar 4.16. Pola keruntuhan yang ditampilkan dengan skala warna dari warna biru hingga merah. Skala warna biru menunjukkan bidang lereng yang mengalami perpindahan yang kecil dan semakin menuju ke skala warna merah maka bidang lereng mengalami perpindahan yang semakin besar.



Gambar 4.15 Jaring Elemen Lereng Asli Terdeformasi



Gambar 4.16 Pola Keruntuhan Lereng Asli

4.3 Analisis Stabilitas Lereng dengan Perkuatan *Soil Nailing*

Lereng pada Jalan Burangrang mengalami kelongsoran sehingga perlu diperkuat. Salah satu perkuatan yang dapat digunakan yaitu *soil nailing*. Stabilitas lereng yang diperkuat *soil nailing* juga perlu dianalisis untuk mengetahui kondisi lereng dan *soil nailing* dalam mengatasi kelongsoran yang terjadi. Analisis stabilitas lereng dengan perkuatan *soil nailing* dilakukan untuk jangka pendek dan jangka panjang. Pada penelitian ini, analisis stabilitas lereng dengan perkuatan *soil nailing* dilakukan sebanyak 3 kali yaitu untuk model yang dipasang *soil nailing* sebanyak 2 baris, 3 baris, dan 5 baris.

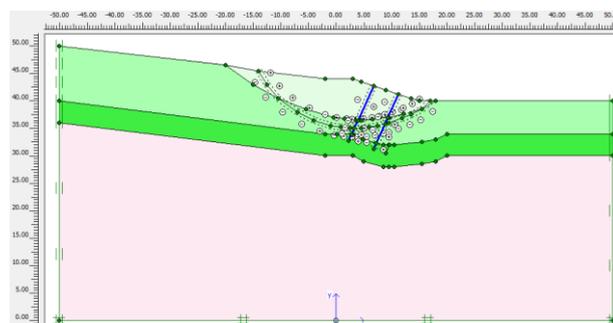
Subbab ini akan menjelaskan mengenai pembuatan model untuk kondisi lereng pada Jalan Burangrang Raya yang diperkuat *soil nailing*. Pengaturan kalkulasi juga turut dijelaskan agar model yang dibuat dapat dianalisis oleh *PLAXIS*. Hasil kalkulasi tersebut akan ditampilkan dan dibahas juga pada subbab ini.

4.3.1 Pemodelan dan pengaturan kalkulasi lereng yang diperkuat *soil nailing*

Pembuatan model dan pengaturan kalkulasi lereng yang diperkuat dengan 2 baris, 3 baris, dan 5 baris *soil nailing* memiliki tahapan yang sama. Berikut ini tahapan untuk pemodelan dan pengaturan kalkulasi lereng dengan 2 baris *soil nailing*:

1. Penggambaran model

Penggambaran model lereng sama seperti pada analisis lereng asli, namun ada penambahan penggambaran untuk *soil nailing*. *Soil nailing* digambar dengan *tool plate*. Penelitian ini menggunakan data *soil nailing* sesuai dengan Tabel 4.4. Pemodelan lereng yang diperkuat *soil nailing* dapat dilihat pada Gambar 4.17.



Gambar 4.17 Pemodelan Lereng dengan Perkuatan *Soil Nailing*

2. *Input parameter tanah dan soil nailing*

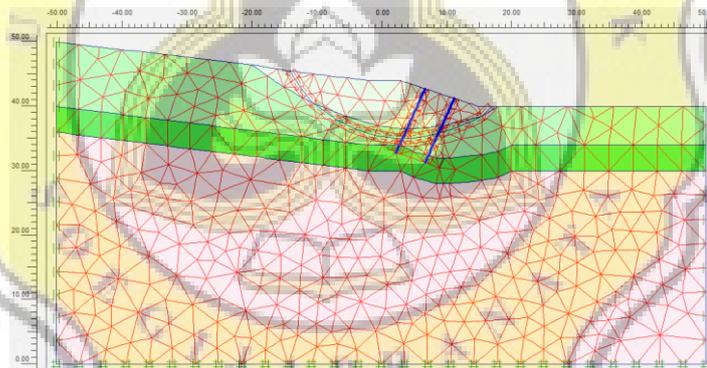
Parameter tanah sama seperti pada pemodelan lereng asli, sedangkan parameter *soil nailing* sesuai dengan Tabel 4.4 dengan nilai R_{inter} sama seperti waktu tahap *back analysis* lereng asli. *Input parameter soil nailing* ditunjukkan pada Gambar 4.18.

Material set		Properties	
Identification:	Soil Nailing	EA :	1.301E+05 kN/m
Material type:	Elastic	EI :	81.290 kNm ² /m
Comments		d :	0.087 m
		w :	0.094 kN/m/m
		v :	0.200

Gambar 4.18 *Input Parameter Soil Nailing*

3. Pembuatan jaring elemen atau *Finite Element Model (FEM)*

Pembuatan jaring elemen pada lereng yang diperkuat *soil nailing* sama seperti pada analisis lereng asli. Jaring elemen untuk pemodelan lereng Jalan Burangrang Raya diperlihatkan pada Gambar 4.19.



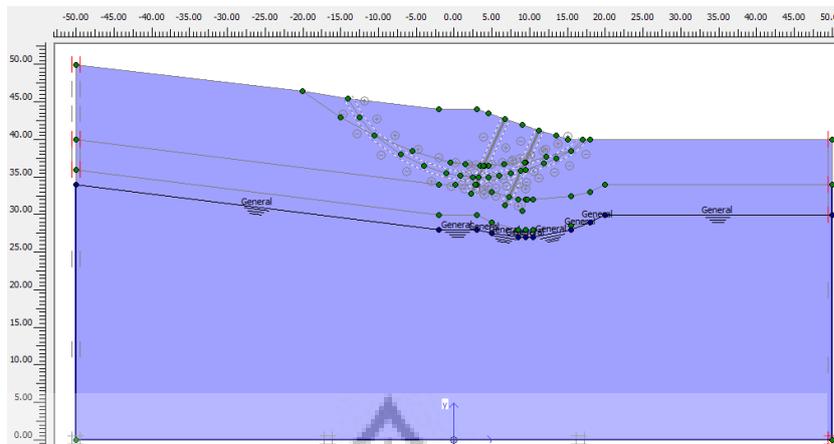
Gambar 4.19 *Jaring Elemen Lereng dengan Perkuatan Soil Nailing*

4. Pembuatan kondisi awal lereng

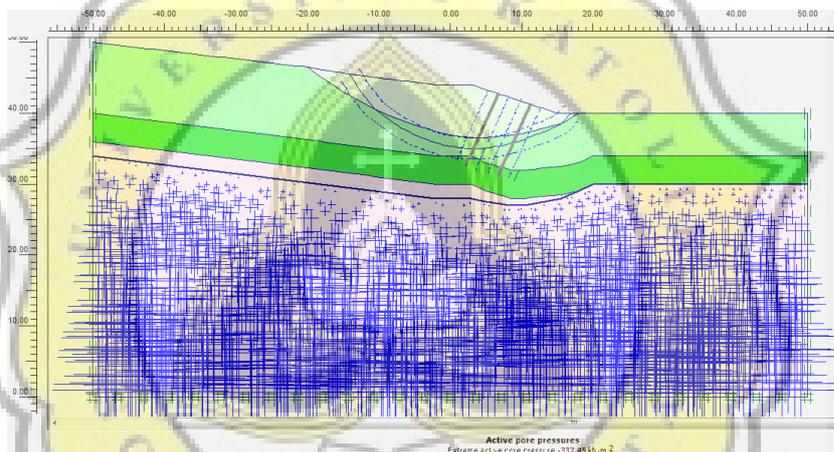
Kondisi awal lereng yang diperkuat *soil nailing* sama seperti pada pemodelan lereng asli. *Input muka air tanah* pada lereng yang ditinjau dapat dilihat pada Gambar 4.20. Pembuatan kondisi awal lereng ini diperoleh besarnya nilai tekanan air pori serta tegangan normal dan efektif tanah pada kondisi *initial*. Tekanan air pori *initial* yang terjadi akibat muka air tanah pada lereng sebesar $-337,45 \text{ kN/m}^2$ yang ditunjukkan pada Gambar 4.21. Tegangan normal dan efektif tanah kondisi *initial* secara berurutan sebesar -1.000 kN/m^2 dan $-667,23 \text{ kN/m}^2$ yang ditunjukkan pada Gambar 4.22 dan Gambar 4.23.

Tugas Akhir

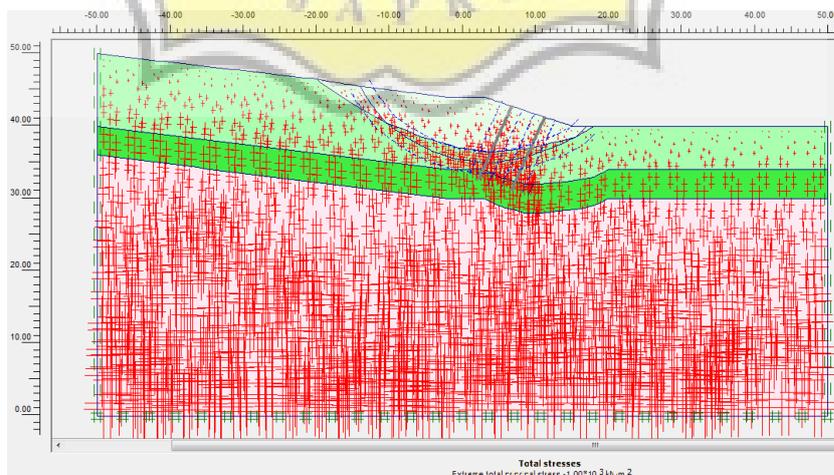
Peningkatan Stabilitas Lereng dengan *Soil Nailing* Menggunakan Aplikasi *PLAXIS*
(Studi Kasus di Jl. Burangrang Raya, Kel. Jangli, Kec. Tembalang, Kota Semarang)



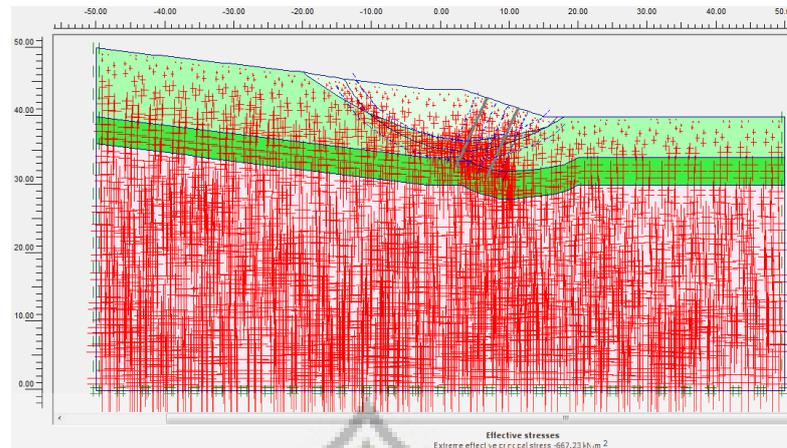
Gambar 4.20 Penggambaran Muka Air Tanah Lereng dengan Perkuatan *Soil Nailing*



Gambar 4.21 Tekanan Air Pori Lereng dengan Perkuatan *Soil Nailing* Kondisi *Initial*

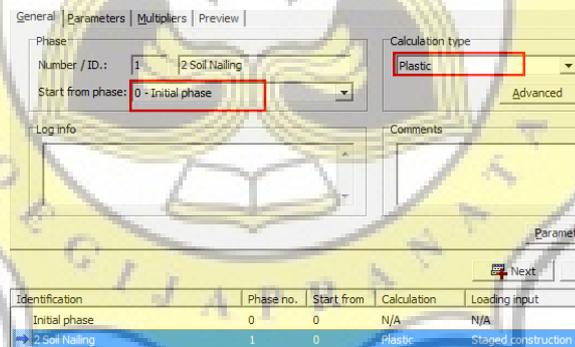


Gambar 4.22 Tegangan Tanah Normal Lereng dengan Perkuatan *Soil Nailing* Kondisi *Initial*

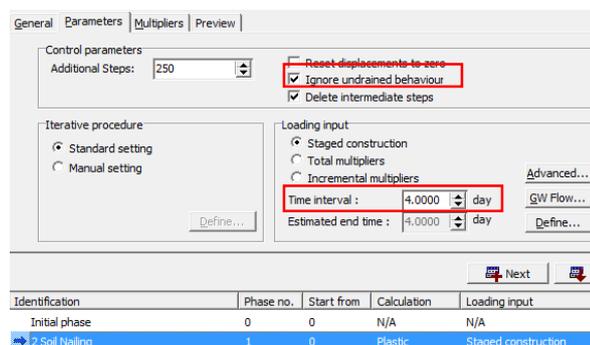


Gambar 4.23 Tegangan Tanah Efektif Lereng dengan Perkuatan *Soil Nailing* Kondisi *Initial*

5. Pengaturan kalkulasi *soil nailing* serta *back analysis* untuk jangka pendek
Pengaturan kalkulasi *soil nailing* dilakukan dengan mengaktifkan *soil nailing* yang telah digambar sesuai jumlah baris *soil nailing* yang hendak dipasang. Tahapan untuk pengaturan kalkulasi *soil nailing* ditunjukkan pada Gambar 4.24.

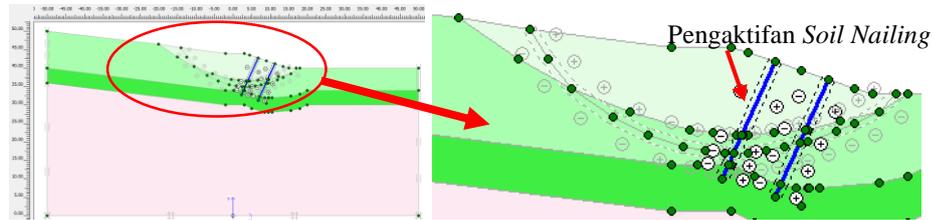


(a) Pengaturan Tipe Kalkulasi dan Tahapan Sebelumnya



(b) Pengaturan Kondisi *Undrained* dan Lama Waktu Konstruksi

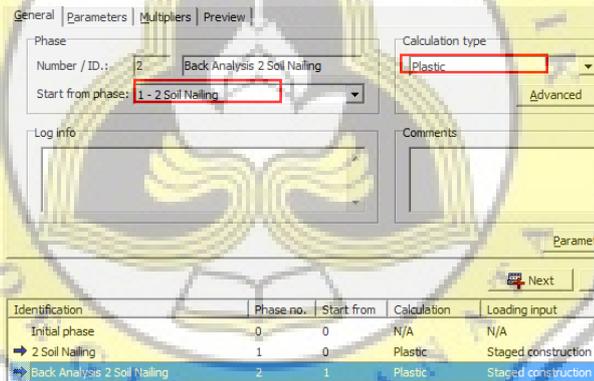
Gambar 4.24 Tahapan Pengaturan Kalkulasi *Soil Nailing*



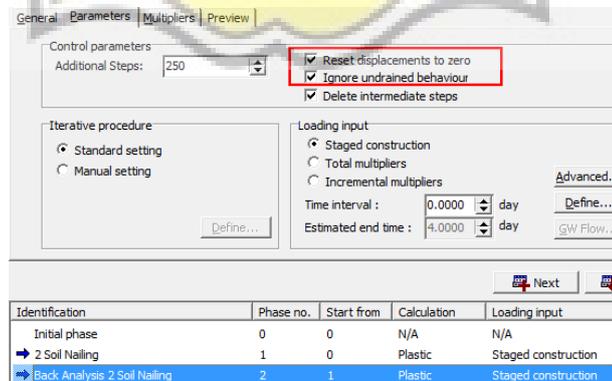
(c) Pengaktifan *Soil Nailing*

Gambar 4.24 Tahapan Pengaturan Kalkulasi *Soil Nailing* (Lanjutan)

Kalkulasi *back analysis* pada lereng yang diperkuat *soil nailing* dilakukan setelah tahap konstruksi (tahap pemasangan *soil nailing*) berakhir. Kalkulasi tersebut dilakukan dengan menggunakan nilai R_{inter} seperti pada pemodelan lereng asli yaitu 0,05. Bidang gelincir lereng diaktifkan melalui tahapan konstruksi *PLAXIS* agar kelongsoran yang dianalisis terjadi pada bidang longsor yang telah ditentukan. Gambar 4.25 menunjukkan tahap pengaturan *back analysis* dari lereng dengan perkuatan *soil nailing*.

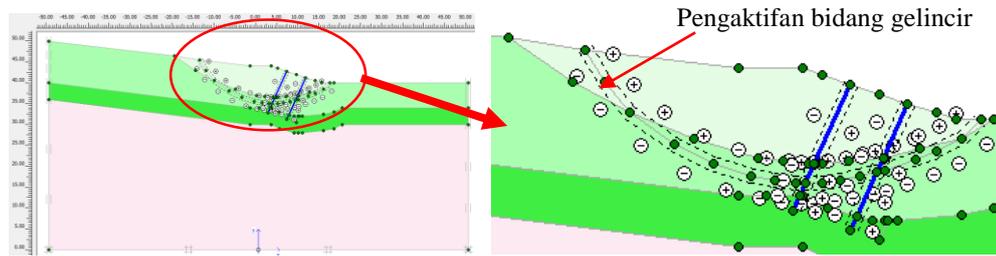


(a) Pengaturan Tipe Kalkulasi dan Tahapan Sebelumnya



(b) Pengaturan *Reset Displacement* dan Kondisi *Undrained*

Gambar 4.25 Pengaturan Kalkulasi *Back Analysis*
 Lereng dengan Perkuatan *Soil Nailing*

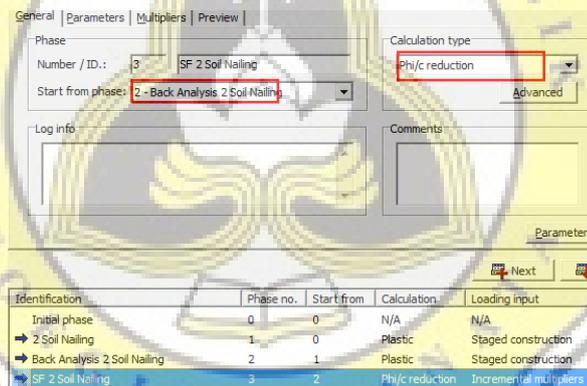


(c) Pengaktifan Bidang Gelincir

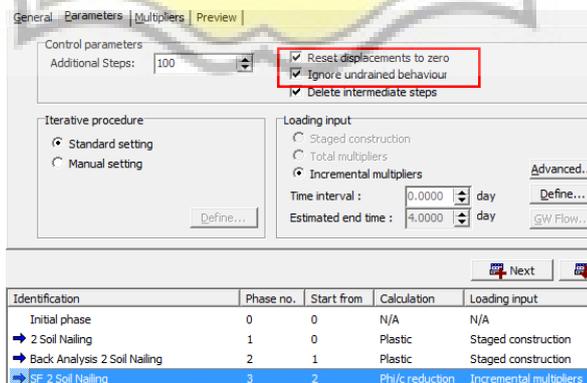
Gambar 4.25 Pengaturan Kalkulasi *Back Analysis* Lereng dengan Perkuatan *Soil Nailing* (Lanjutan)

6. Pengaturan kalkulasi faktor keamanan untuk jangka pendek

Pengaturan kalkulasi faktor keamanan sama seperti saat pemodelan lereng asli. Pengaturan dilakukan dengan memilih tahapan yang akan dikalkulasi, tipe kalkulasi yaitu tipe kalkulasi *phi/c reduction*, dan kondisi *undrained* bila material model berupa *undrained*. Gambar 4.26 menunjukkan pengaturan kalkulasi faktor keamanan lereng dengan perkuatan *soil nailing*.



(a) Pengaturan Tipe Kalkulasi dan Tahapan Sebelumnya



(b) Pengaturan Kondisi *Undrained*

Gambar 4.26 Pengaturan Kalkulasi Faktor Keamanan Lereng dengan Perkuatan *Soil Nailing*

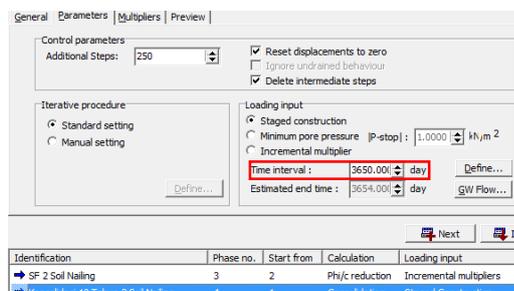
7. Pengaturan kalkulasi lereng dengan *soil nailing* untuk jangka panjang

Tahap kalkulasi lereng dengan *soil nailing* untuk jangka panjang dilakukan setelah analisis untuk jangka pendek selesai dilakukan. Tipe kalkulasi untuk analisis menggunakan tipe konsolidasi. Analisis konsolidasi dilakukan untuk jangka waktu 10 tahun dengan memperkirakan adanya penurunan kuat geser tanah sebesar 20% sebagai akibat adanya pelapukan yang terjadi. Akibat penurunan kuat geser tanah tersebut, nilai kohesi dan sudut geser dalam dapat dilihat pada Tabel 4.5.

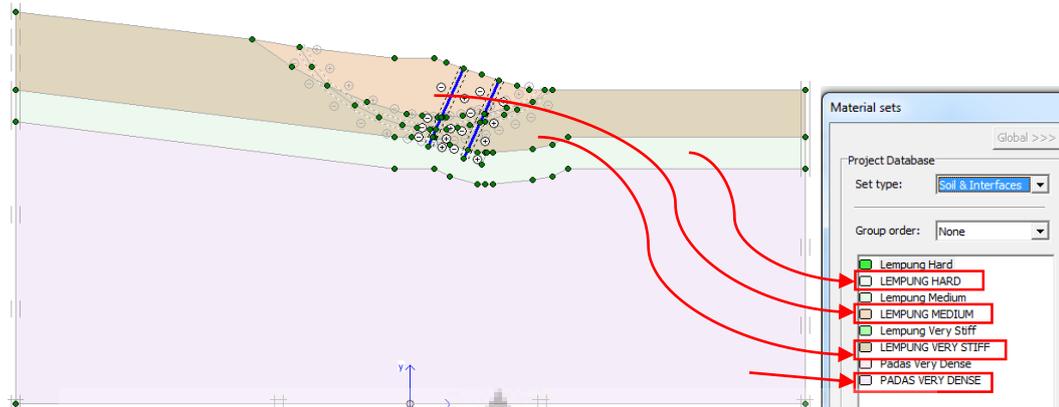
Tabel 4.5 Nilai Kohesi dan Sudut Geser Dalam Akibat Penurunan Kuat Geser Tanah 20%

Jenis Tanah	Konsistensi	Tipe Material	Kohesi, c' (kN/m ²)	Sudut Geser Dalam, ϕ' (°)
Lempung	Medium	Drained	12	15
Lempung	Very Stiff	Drained	60	18
Lempung	Hard	Drained	144	20
Padas	Very Hard	Drained	4	33

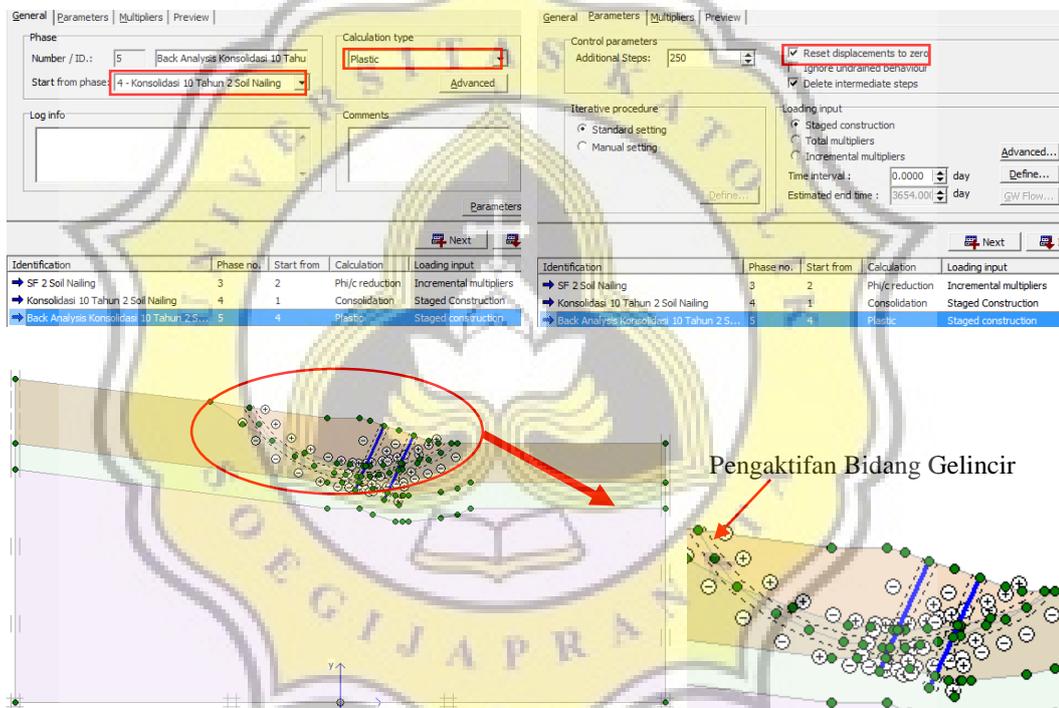
Pengaturan kalkulasi konsolidasi pada penelitian ini dilakukan untuk waktu 10 tahun. Gambar 4.27 menunjukkan pengaturan kalkulasi konsolidasi beserta *back analysis* untuk konsolidasi 10 tahun.



Gambar 4.27 Pengaturan Kalkulasi Konsolidasi 10 Tahun serta *Back Analysis*



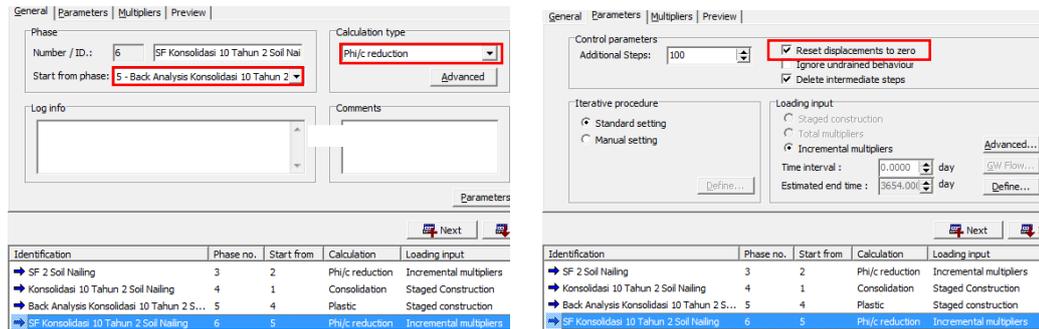
(c) Mengubah Material Tanah dengan Material untuk Konsolidasi



(d) Pengaturan *Back Analysis* Konsolidasi

Gambar 4.27 Pengaturan Kalkulasi Konsolidasi 10 Tahun serta *Back Analysis* (Lanjutan)

8. Pengaturan faktor keamanan lereng dengan *soil nailing* untuk jangka panjang
 Pengaturan kalkulasi untuk memperoleh faktor keamanan lereng dengan *soil nailing* dalam jangka panjang sama seperti ketika mengatur faktor keamanan lereng dengan *soil nailing* dalam jangka pendek. Gambar 4.28 menunjukkan pengaturan kalkulasi faktor keamanan konsolidasi 10 tahun.



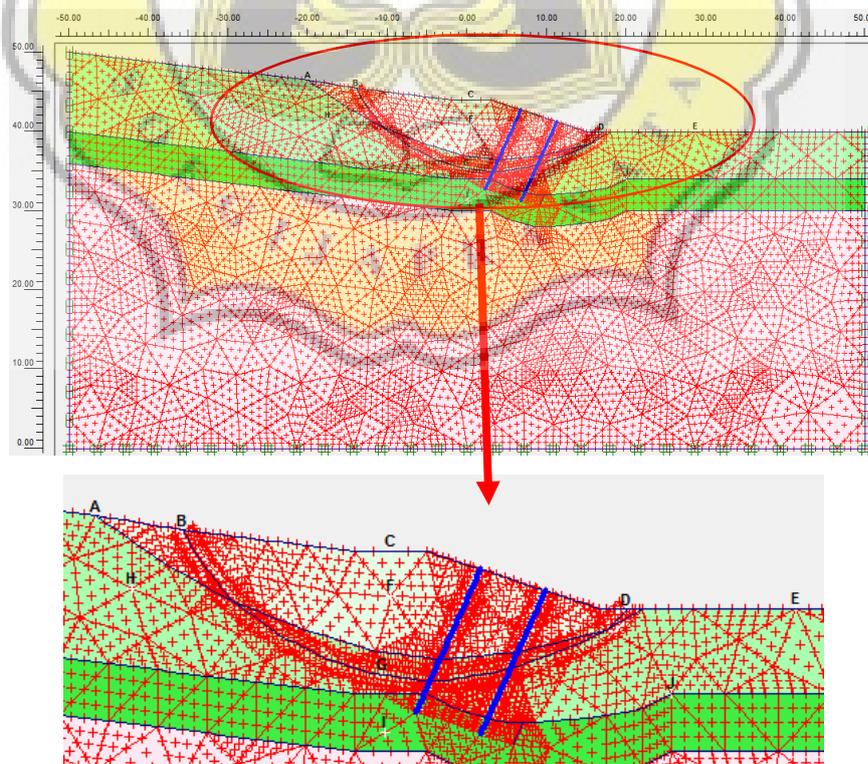
(a) Pengaturan Tipe Kalkulasi dan Tahapan Sebelumnya

(b) Pengaturan Kondisi *Reset Displacement*

Gambar 4.28 Pengaturan Kalkulasi Faktor Keamanan Konsolidasi 10 Tahun

9. Penentuan titik tinjau

Titik tinjau akan membantu dalam melihat hasil analisis yang dilakukan. Sama seperti pada pemodelan lereng asli, titik tinjau pada pemodelan lereng dengan *soil nailing* ini berjumlah 10 titik. Titik tinjau yang dipilih yaitu terletak pada bidang gelincir lereng, dalam dan luar bidang longsor baik pada permukaan lereng maupun di bawah permukaan lereng. Peletakan titik tinjau dapat dilihat pada Gambar 4.29.

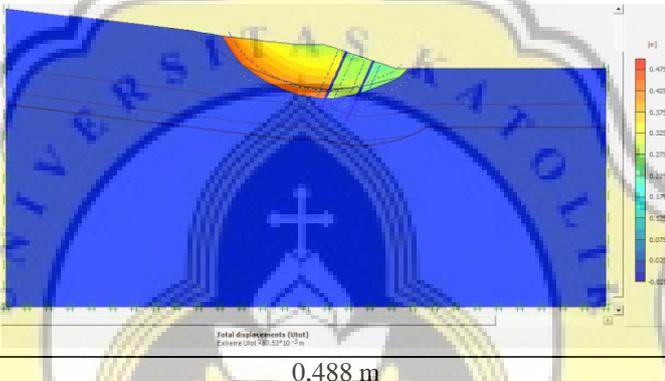
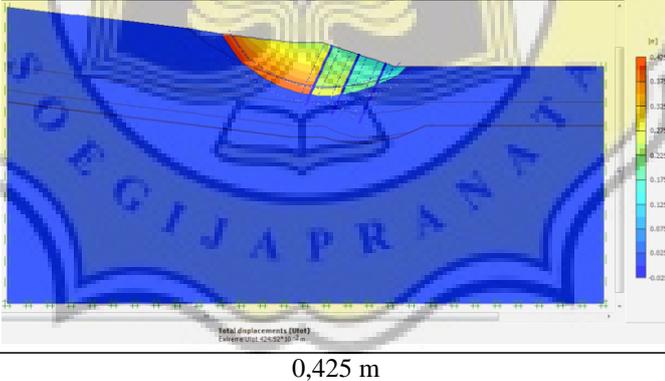
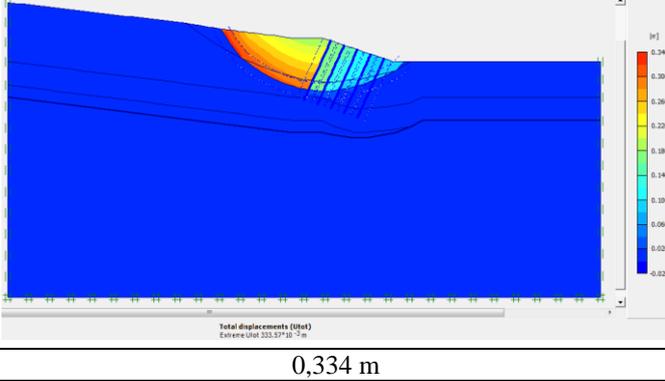


Gambar 4.29 Peletakan Titik Tinjau Lereng dengan Perkuatan *Soil Nailing*

4.3.2 Output dan pembahasan lereng yang diperkuat *soil nailing*

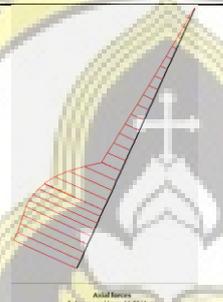
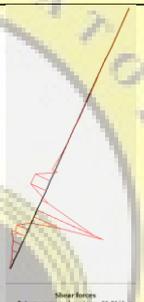
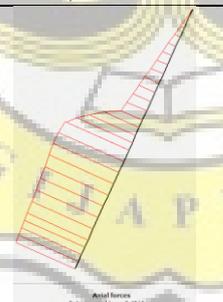
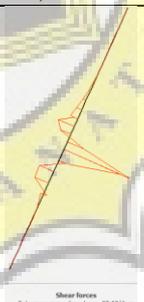
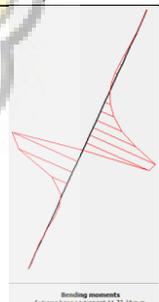
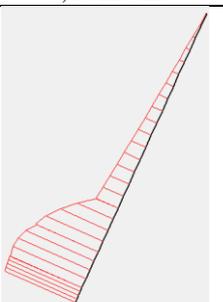
Hasil kalkulasi lereng dengan perkuatan *soil nailing* untuk jangka pendek dan jangka panjang akan dibahas dalam subbab ini. Hasil kalkulasi lereng dengan perkuatan *soil nailing* untuk jangka pendek yang berupa besarnya perpindahan, pola keruntuhan dan nilai faktor keamanan yang dapat dilihat pada Tabel 4.6.

Tabel 4.6 Perpindahan dan Faktor Keamanan Lereng dengan *Soil Nailing* untuk Jangka Pendek

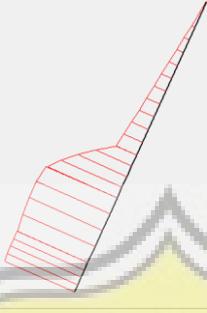
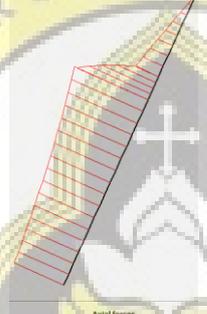
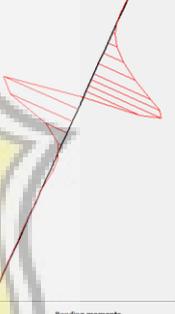
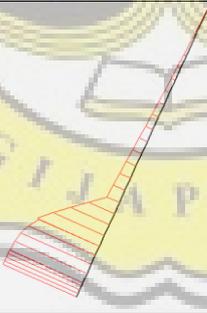
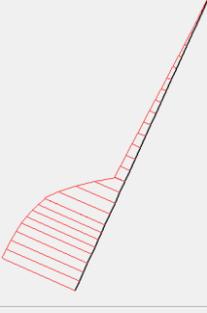
Jumlah Baris <i>Soil Nailing</i>	Perpindahan	Faktor Keamanan
2	 <p>Total displacements (U041) Extreme U041 380,53110^-3 m</p> <p>0,488 m</p>	3,1819
3	 <p>Total displacements (U041) Extreme U041 324,50710^-3 m</p> <p>0,425 m</p>	3,2747
5	 <p>Total displacements (U041) Extreme U041 333,57110^-3 m</p> <p>0,334 m</p>	3,4275

Gaya yang harus ditahan *soil nailing* pada analisis jangka pendek dapat dilihat pada Tabel 4.7. Gaya yang timbul akibat interaksi *soil nailing* dengan tanah berupa gaya aksial tarik, gaya geser, dan momen. Gaya aksial tarik harus mampu ditahan sehingga tidak menyebabkan *soil nailing* tercabut serta *nail* tidak putus. Ujung *soil nailing* harus terjepit agar mampu menahan gaya aksial tarik. Kondisi *soil nailing* yang terjepit dapat diketahui dari adanya perpindahan momen yang terjadi pada *soil nailing* dari yang semula positif ke negatif maupun sebaliknya.

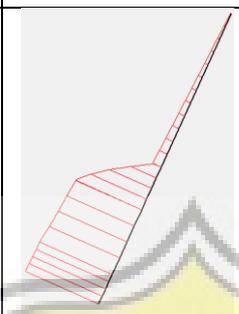
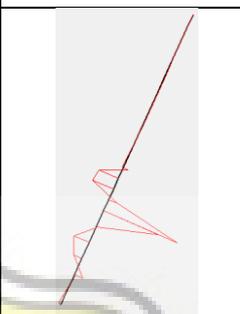
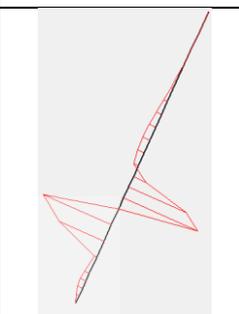
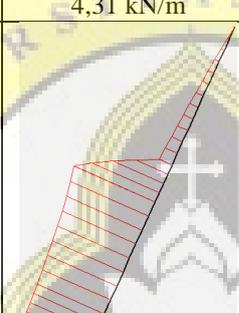
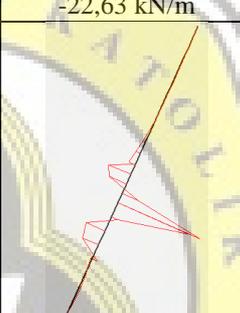
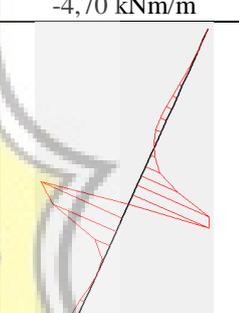
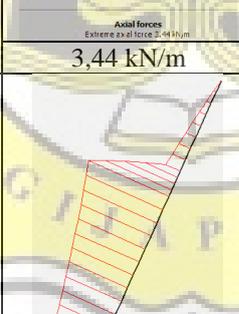
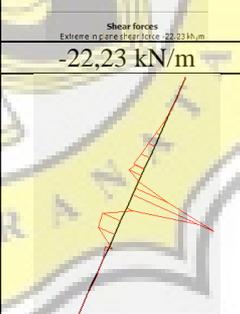
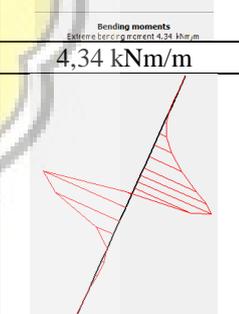
Tabel 4.7 Gaya pada *Soil Nailing* untuk Jangka Pendek

Jumlah Baris <i>Soil Nailing</i>	Penomoran <i>Soil Nailing</i> (Mulai dari Atas)	<i>Axial Force</i>	<i>Shear Force</i>	<i>Bending Moment</i>
2	1			
	2	11,50 kN/m	-96,86 kN/m	-20,91 kNm/m
3	2			
	1	7,45 kN/m	-57,63 kN/m	11,72 kNm/m
3	3			
	1	8,51 kN/m	-93,42 kN/m	-19,93 kNm/m

Tabel 4.7 Gaya pada *Soil Nailing* untuk Jangka Pendek (Lanjutan)

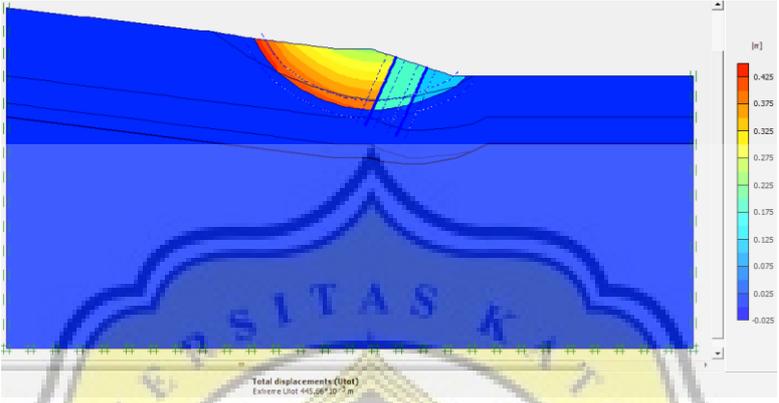
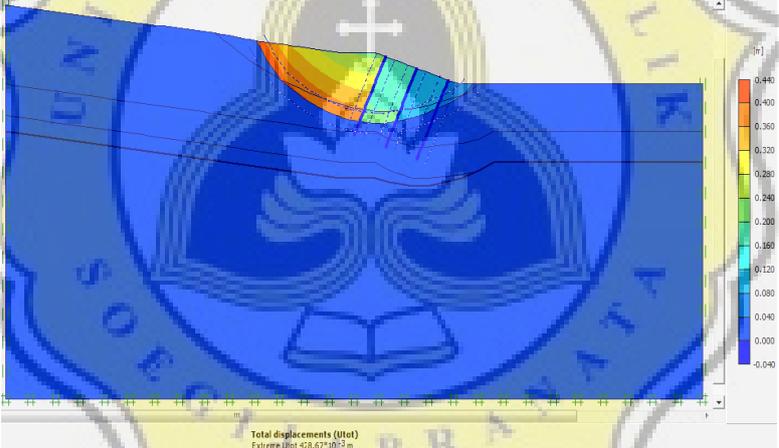
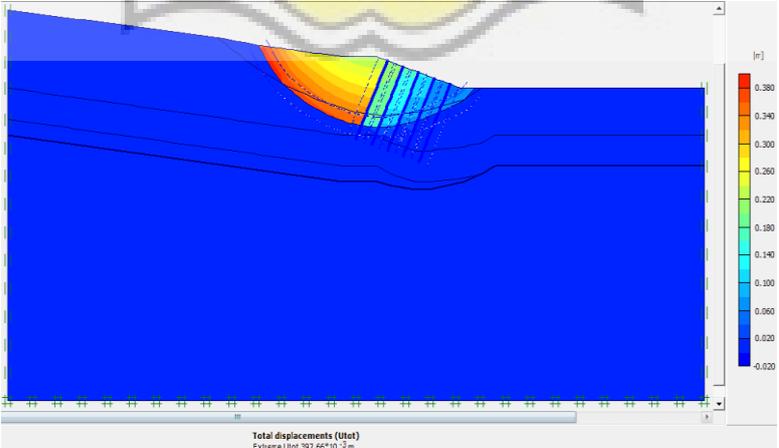
Jumlah Baris <i>Soil Nailing</i>	Penomoran <i>Soil Nailing</i> (Mulai dari Atas)	<i>Axial Force</i>	<i>Shear Force</i>	<i>Bending Moment</i>
3	2			
		7,50 kN/m	-47,13 kN/m	-10,75 kNm/m
	3			
		3,84 kN/m	-32,11 kN/m	6,40 kNm/m
5	1			
		9,27 kN/m	-78,34 kN/m	-15,65 kNm/m
	2			
		6,02 kN/m	-39,70 kN/m	-7,87 kNm/m

Tabel 4.7 Gaya pada *Soil Nailing* untuk Jangka Pendek (Lanjutan)

Jumlah Baris <i>Soil Nailing</i>	Penomoran <i>Soil Nailing</i> (Mulai dari Atas)	<i>Axial Force</i>	<i>Shear Force</i>	<i>Bending Moment</i>
5	3	 Axial forces Extreme axial force: 4,31 kN/m	 Shear forces Extreme in-plane shear force: -22,63 kN/m	 Bending moments Extreme bending moment: -4,70 kNm/m
	4	 Axial forces Extreme axial force: 3,44 kN/m	 Shear forces Extreme in-plane shear force: -22,23 kN/m	 Bending moments Extreme bending moment: 4,34 kNm/m
	5	 Axial forces Extreme axial force: 3,11 kN/m	 Shear forces Extreme in-plane shear force: -23,30 kN/m	 Bending moments Extreme bending moment: 4,50 kNm/m

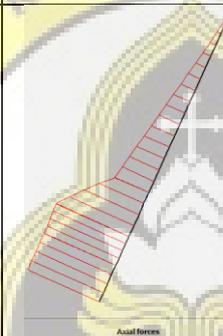
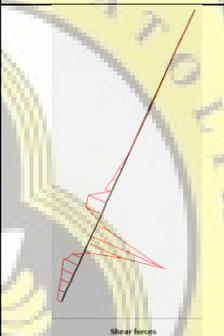
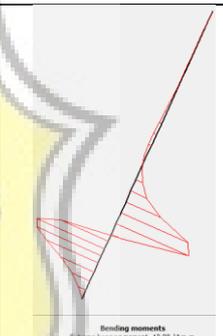
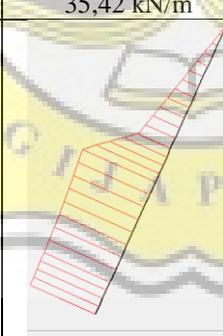
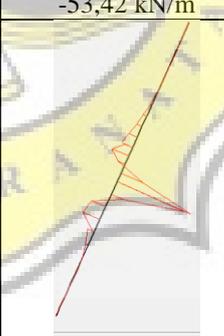
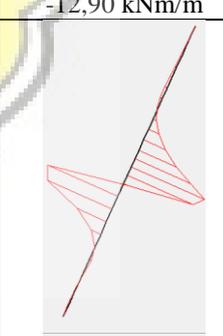
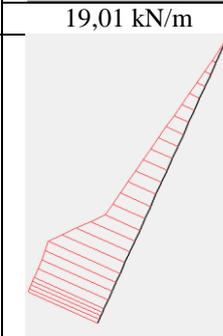
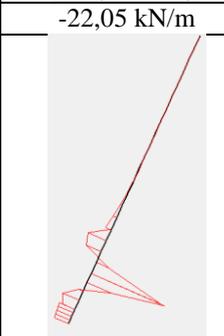
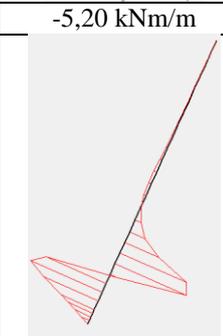
Kalkulasi lereng dengan perkuatan *soil nailing* untuk jangka panjang dalam kurun waktu 10 tahun menghasilkan perpindahan, pola keruntuhan dan nilai faktor keamanan yang dapat dilihat pada Tabel 4.8. Hasil analisis tersebut hanya menunjukkan sebuah perkiraan besarnya perpindahan, pola keruntuhan, dan faktor keamanan lereng yang akan terjadi dalam kurun waktu 10 tahun sesudah konstruksi.

Tabel 4.8 Perpindahan dan Faktor Keamanan Lereng dengan *Soil Nailing* untuk Jangka Panjang

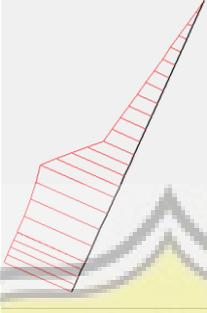
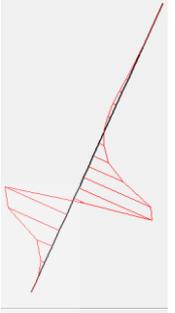
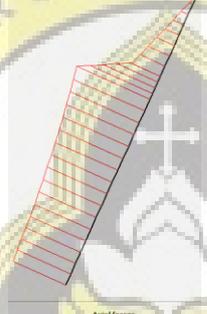
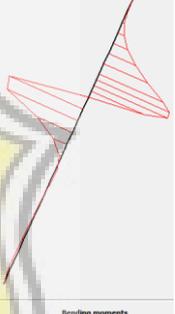
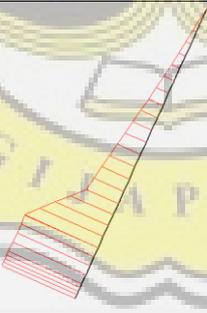
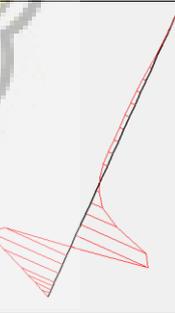
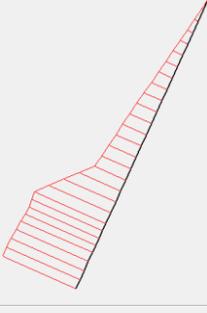
Jumlah Baris <i>Soil Nailing</i>	Perpindahan	Faktor Keamanan
2	 <p>Total displacements (Utot) Extreme Utot 445,66*10⁻³ m 0,446 m</p>	2,3115
3	 <p>Total displacements (Utot) Extreme Utot 429,67*10⁻³ m 0,429 m</p>	2,6206
5	 <p>Total displacements (Utot) Extreme Utot 397,66*10⁻³ m 0,398 m</p>	2,7605

Soil nailing juga harus mampu menahan gaya yang terjadi untuk jangka panjang. Gaya yang harus ditahan *soil nailing* pada analisi jangka panjang dapat dilihat pada Tabel 4.9. Gaya aksial tarik dan gaya geser harus mampu ditahan oleh *soil nailing* sehingga tidak menyebabkan *soil nailing* putus maupun tercabut. Ujung *soil nailing* harus terjepit agar mampu menahan gaya aksial tarik. Kondisi *soil nailing* yang terjepit dapat diketahui dari adanya perpindahan momen yang terjadi pada *soil nailing* dari yang semula positif ke negatif maupun sebaliknya.

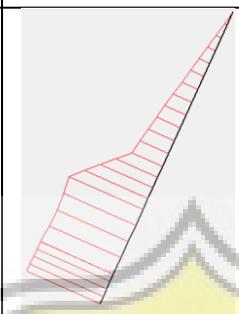
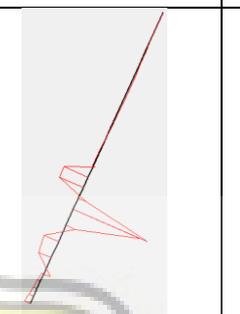
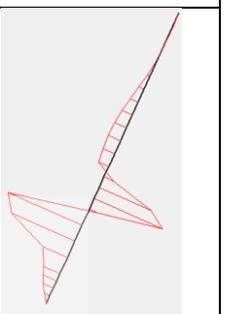
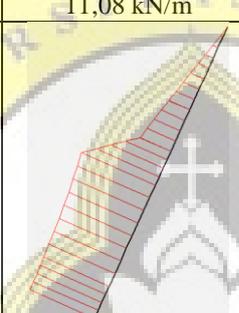
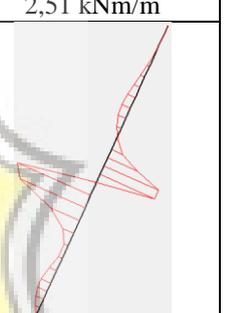
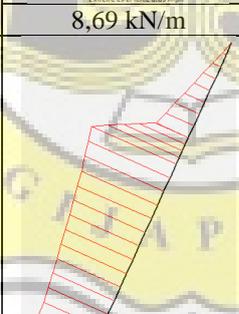
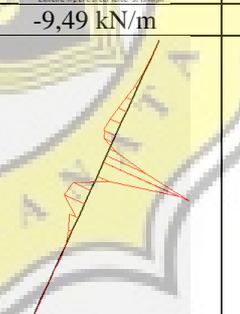
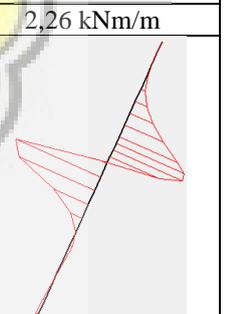
Tabel 4.9 Gaya pada *Soil Nailing* untuk Jangka Panjang

Jumlah Baris <i>Soil Nailing</i>	Penomoran <i>Soil Nailing</i> (Mulai dari Atas)	<i>Axial Force</i>	<i>Shear Force</i>	<i>Bending Moment</i>
2	1	 Extreme axial force: 35,42 kN/m	 Extreme negative shear force: -53,42 kN/m	 Extreme bending moment: -12,90 kNm/m
	2	 Extreme axial force: 19,01 kN/m	 Extreme negative shear force: -22,05 kN/m	 Extreme bending moment: -5,20 kNm/m
3	1	 Extreme axial force: 27,34 kN/m	 Extreme negative shear force: -58,18 kN/m	 Extreme bending moment: 13,86 kNm/m

Tabel 4.9 Gaya pada *Soil Nailing* untuk Jangka Panjang (Lanjutan)

Jumlah Baris <i>Soil Nailing</i>	Penomoran <i>Soil Nailing</i> (Mulai dari Atas)	<i>Axial Force</i>	<i>Shear Force</i>	<i>Bending Moment</i>
3	2			
		20,94 kN/m	-21,08 kN/m	-5,49 kNm/m
	3			
		7,22 kN/m	-9,91 kN/m	2,19 kNm/m
5	1			
		28,03 kN/m	-54,80 kN/m	12,76 kNm/m
	2			
		15,95 kN/m	-21,35 kN/m	5,06 kNm/m

Tabel 4.9 Gaya pada *Soil Nailing* untuk Jangka Panjang (Lanjutan)

Jumlah Baris <i>Soil Nailing</i>	Penomoran <i>Soil Nailing</i> (Mulai dari Atas)	<i>Axial Force</i>	<i>Shear Force</i>	<i>Bending Moment</i>
5	3	 Extreme axial force 11,08 kN/m	 Extreme in-plane shear force -9,96 kN/m	 Extreme bending moment 2,51 kNm/m
	4	 Extreme axial force 8,69 kN/m	 Extreme in-plane shear force -9,49 kN/m	 Extreme bending moment 2,26 kNm/m
	5	 Extreme axial force 6,81 kN/m	 Extreme in-plane shear force -9,61 kN/m	 Extreme bending moment 2,23 kNm/m

4.3.3 Cek Kapasitas *Soil Nailing*

Kapasitas *soil nailing* dianalisis terhadap kuat tarik material *soil nailing* dan kuat cabut *soil nailing* sebagai berikut:

1. Kuat tarik material *soil nailing*

Kuat tarik material *soil nailing* merupakan kemampuan material *soil nailing*

(baja tulangan) dalam menahan gaya tarik aksial yang terjadi sehingga baja tulangan tidak putus. Gaya tarik aksial *soil nailing* terbesar terjadi pada baris *soil nailing* paling atas ketika analisis lereng jangka panjang dengan pemasangan *soil nailing* sebanyak 2 baris. Baja tulangan harus mampu menahan gaya tarik aksial terbesar yang terjadi pada *soil nailing* yaitu sebesar 35,42 kN/m atau sebesar 70,84 kN karena jarak antar *soil nailing* horisontal sebesar 2 m. Kekuatan tarik yang dapat ditahan oleh *soil nailing* agar baja tulangan tidak putus dapat dihitung dengan Persamaan 2.16 sebagai berikut:

$$\begin{aligned} T_d &= \phi_k \phi_n \phi_t f_y A_p \\ &= 0,85 \times 1,0 \times 0,9 \times 390 \times 0,25 \times \pi \times 25^2 \\ &= 146452 \text{ N} \\ &= 146 \text{ kN} \end{aligned}$$

Nilai T_d lebih besar dari gaya tarik yang terjadi, maka baja tulangan *soil nailing* tidak putus.

2. Kuat cabut *soil nailing*

Kuat cabut *soil nailing* merupakan kemampuan *soil nailing* dalam menahan gaya cabut yang berupa gaya tarik aksial. Kemampuan *soil nailing* dalam menahan gaya cabut dipengaruhi oleh adanya gesekan antara *grouting* dari *soil nailing* dengan tanah di sekeliling *soil nailing*. Gaya cabut yang harus ditahan *soil nailing* berupa gaya tarik aksial terbesar yang nilainya sama seperti saat menghitung kuat tarik material *soil nailing* yaitu sebesar 35,42 kN/m atau 70,84 kN karena jarak antar *soil nailing* horisontal sebesar 2 m.

Soil nailing dengan gaya tarik aksial terbesar melalui 2 lapisan tanah di luar bidang longsor seperti yang terlihat pada Gambar 4.25c. Panjang *soil nailing* pada lapisan yang satu dengan yang lain berbeda. *Soil nailing* pada lapisan lempung *very stiff* memiliki panjang sebesar 2,80 m, sedangkan pada lapisan lempung *hard* memiliki panjang sebesar 1,35 m.

Nilai $L_f \tau_u$ *soil nailing* untuk menghitung kapasitas cabut berasal dari penjumlahan nilai $L_f \tau_u$ pada lapisan lempung *very stiff* ($L_{f1} \tau_{u1}$) dan nilai $L_f \tau_u$ pada lapisan lempung *hard* ($L_{f2} \tau_{u2}$). Nilai τ_u dipengaruhi oleh nilai c , nilai σ ,

dan nilai ϕ . Berikut ini nilai σ_1 , nilai σ_2 , dan nilai $L_f \tau_u$ *soil nailing* :

$$\begin{aligned}\sigma_1 &= (\gamma \times \text{tebal lapisan})_{\text{lempung medium}} + (\gamma \times \text{tebal lapisan})_{\text{lempung very stiff}} \\ &= (17 \text{ kN/m}^3 \times 7,5 \text{ m}) + (18 \text{ kN/m}^3 \times 2,5 \text{ m}) \\ &= 172,5 \text{ kN/m}^2\end{aligned}$$

$$\begin{aligned}\sigma_2 &= (\gamma \times \text{tebal lapisan})_{\text{lempung medium}} + (\gamma \times \text{tebal lapisan})_{\text{lempung very stiff}} + (\gamma \times \\ &\quad \text{tebal lapisan})_{\text{lempung hard}} \\ &= (17 \text{ kN/m}^3 \times 7,5 \text{ m}) + (18 \text{ kN/m}^3 \times 2,5 \text{ m}) + (19 \text{ kN/m}^3 \times 1,25 \text{ m}) \\ &= 196,25 \text{ kN/m}^2\end{aligned}$$

$$\begin{aligned}L_f \tau_u &= L_{f1} \tau_{u1} + L_{f2} \tau_{u2} \\ &= L_{f1} (c_1 + \sigma_1 \text{tg } \phi_1) + L_{f2} (c_2 + \sigma_2 \text{tg } \phi_2) \\ &= 2,80 \times (60 + 172,5 \text{tg } 18^\circ) + 1,35 \times (144 + 196,25 \text{tg } 20^\circ) \\ &= 615,77 \text{ kN/m}\end{aligned}$$

Kapasitas cabut *soil nailing* dapat dihitung dengan menggunakan Persamaan 2.17 sebagai berikut:

$$\begin{aligned}T^* &= \phi_n \phi_b \pi d L_f \tau_u \\ &= 1,0 \times 0,7 \times \pi \times 0,1 \times 615,77 \\ &= 135,41 \text{ kN}\end{aligned}$$

Nilai T^* lebih besar dari gaya cabut yang terjadi, maka *soil nailing* mampu menahan gaya cabut yang terjadi. Berdasarkan perhitungan di atas, dapat disimpulkan bahwa *soil nailing* yang dipasang pada lereng Jalan Burangrang Raya kuat menahan gaya yang terjadi sehingga *soil nailing* tidak terputus maupun tercabut.

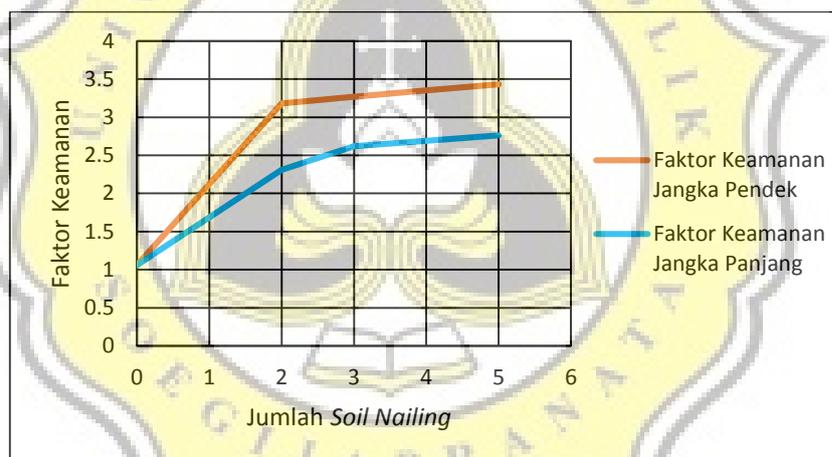
4.4 Perbandingan Hasil Analisis Stabilitas Lereng Asli dan Lereng dengan Perkuatan *Soil Nailing*

Pemasangan *soil nailing* pada lereng Jalan Burangrang Raya untuk jangka pendek dapat meningkatkan nilai faktor keamanan lereng dari yang awalnya 1,06 menjadi lebih dari 3 atau lebih dari 200% dari nilai faktor keamanan semula. Jumlah *soil nailing* yang dipasang mempengaruhi besarnya nilai faktor keamanan. Semakin banyak *soil nailing* terpasang, maka semakin besar juga nilai faktor keamanan yang

lereng. Lereng yang dipasang *soil nailing* cukup stabil selama kurun waktu 10 tahun (jangka panjang) dengan nilai faktor keamanan lebih dari 2 atau meningkat lebih dari 100% dari nilai faktor keamanan lereng asli. Tabel 4.10 menunjukkan perbandingan faktor keamanan antara lereng asli dan lereng dengan *soil nailing*. Peningkatan faktor keamanan lereng berdasarkan jumlah *soil nailing* dapat dilihat pada Gambar 4.30.

Tabel 4.10 Perbandingan Faktor Keamanan Lereng Asli dan Lereng dengan Perkuatan *Soil Nailing*

Kondisi Lereng	Faktor Keamanan	
	Jangka Pendek	Jangka Panjang
Asli (Tanpa <i>Soil Nailing</i>)	1,06	-
2 Baris <i>Soil Nailing</i>	3,18	2,31
3 Baris <i>Soil Nailing</i>	3,27	2,62
5 Baris <i>Soil Nailing</i>	3,43	2,76

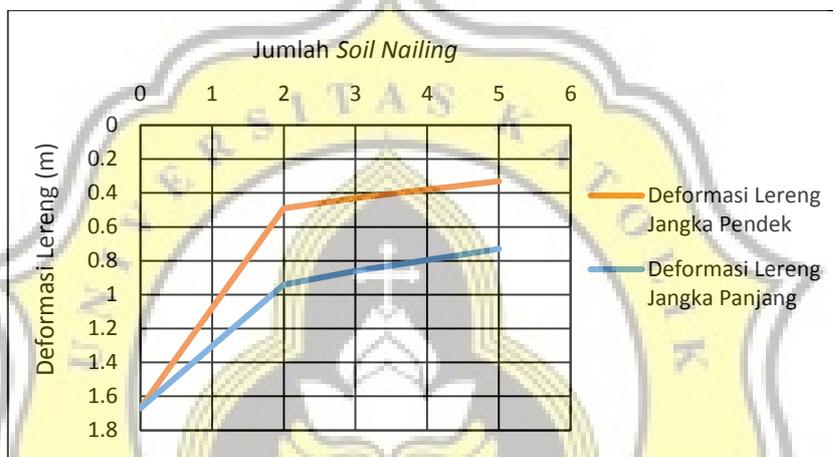


Gambar 4.30 Grafik Peningkatan Faktor Keamanan Lereng Berdasarkan Jumlah *Soil Nailing*

Pemasangan *soil nailing* pada lereng selain meningkatkan nilai faktor keamanan juga mengurangi deformasi lereng dari yang semula 1,67 m menjadi kurang dari 1 m atau berkurang lebih dari 55% dari deformasi lereng asli. Penambahan jumlah *soil nailing* yang dipasang diikuti dengan pengurangan deformasi pada lereng. Semakin banyak *soil nailing* terpasang maka deformasi lereng semakin kecil. Tabel 4.11 menunjukkan perbandingan deformasi antara lereng asli dan deformasi lereng dengan *soil nailing*. Pengurangan deformasi lereng berdasarkan jumlah *soil nailing* dapat dilihat pada Gambar 4.31.

Tabel 4.11 Perbandingan Deformasi Lereng Asli dan Lereng dengan Perkuatan *Soil Nailing*

Kondisi Lereng	Deformasi (m)		
	Jangka Pendek (Selama Konstruksi)	Jangka Panjang (Mulai Akhir Konstruksi Hingga 10 Tahun)	Selama Konstruksi hingga 10 Tahun Setelah Akhir Konstruksi
Asli (Tanpa <i>Soil Nailing</i>)	1,67	-	-
2 Baris <i>Soil Nailing</i>	0,49	0,45	0,94
3 Baris <i>Soil Nailing</i>	0,43	0,43	0,86
5 Baris <i>Soil Nailing</i>	0,33	0,40	0,73

Gambar 4.31 Grafik Pengurangan Deformasi Lereng Berdasarkan Jumlah *Soil Nailing*