

Pemodelan Stabilitas Lereng Dengan Perkuatan *Soil nailing* Pada Proyek Jalan Tol Padang-Sicincin Menggunakan Model 3D

Bima Rakhajayadi Setiawan¹, Indra Noer Hamdhan²

1. Mahasiswa, Program Studi Teknik Sipil, Fakultas Teknik Sipil dan Perencanaan (Institut Teknologi Nasional Bandung)
2. Dosen, Program Studi Teknik Sipil, Fakultas Teknik Sipil dan Perencanaan (Institut Teknologi Nasional Bandung)

Email : naondei88@yahoo.com

Abstrak

Pulau Sumatera dipenuhi oleh dataran perbukitan sehingga pembangunannya sering berada di lereng dataran tinggi. Hal ini menyebabkan perencanaannya sering melibatkan pekerjaan galian dan timbunan. Dikarenakan tinggi lereng mencapai 28,48 m, maka diperlukan perkuatan lereng agar tidak terjadi longsor baik pada saat pembangunan maupun saat tol sudah memasuki layanan salah satunya yaitu soil nailing. Penelitian ini bertujuan untuk mengetahui pengaruh nilai faktor keamanan lereng baik sebelum dan sesudah dipasang soil nailing dengan melakukan kombinasi sudut pemasangan, kedalaman, jarak antar soil nailing, dan pola pemasangan soil nailing dengan menggunakan bantuan PLAXIS 3D. Hasil pemodelan menunjukkan bahwa faktor keamanan pada lereng sebesar 1,207. Namun, setelah diperkuat dengan soil nailing, faktor keamanan lereng meningkat hingga 2,858 atau naik sebesar 136,76 %.

Kata Kunci: Lereng, Faktor Keamanan, Soil nailing

1. PENDAHULUAN

Sistem transportasi adalah salah satu penunjang ekonomi sebuah negara. Sistem transportasi yang tidak lancar atau bermasalah, akan menimbulkan kerugian bagi sebuah negara. Negara Indonesia dalam bidang transportasi, harus membuat suatu sistem agar transportasi tidak terhambat atau bahkan harus lebih lancar agar dapat mempercepat waktu tempuh transportasi agar dapat memutar roda perekonomian agar perekonomian semakin maju. Untuk bisa menunjang hal tersebut, maka pemerintah melakukan pembangunan jalan tol trans Sumatera.

Jalan tol trans Sumatera direncanakan oleh pemerintah melalui Peraturan Presiden No. 100 Tahun 2014 yang kemudian diubah dengan Peraturan Presiden No. 117 Tahun 2015. Pembangunan jalan tol ini menjadi salah satu upaya untuk meminimalisir waktu tempuh antar

kota di Pulau Sumatera serta upaya untuk mendukung ekonomi antar daerah di Sumatera. Ruas jalan tol yang akan ditinjau pada penelitian ini adalah ruas Tol Padang-Sicincin.

Namun, Pulau Sumatera dipenuhi oleh dataran perbukitan sehingga pembangunannya sering berada di lereng dataran tinggi. Hal ini menyebabkan perencanaannya sering melibatkan pekerjaan galian dan timbunan. Tinggi galian dan timbunan yang direncanakan memiliki tinggi timbunan dan kedalaman galian yang bervariasi, mulai dari 10,85 m hingga 28,48 m. Dikarenakan tinggi lereng mencapai 28,48 m, maka diperlukan perkuatan lereng agar tidak terjadi longsor baik pada saat pembangunan maupun saat tol sudah memasuki layanan.

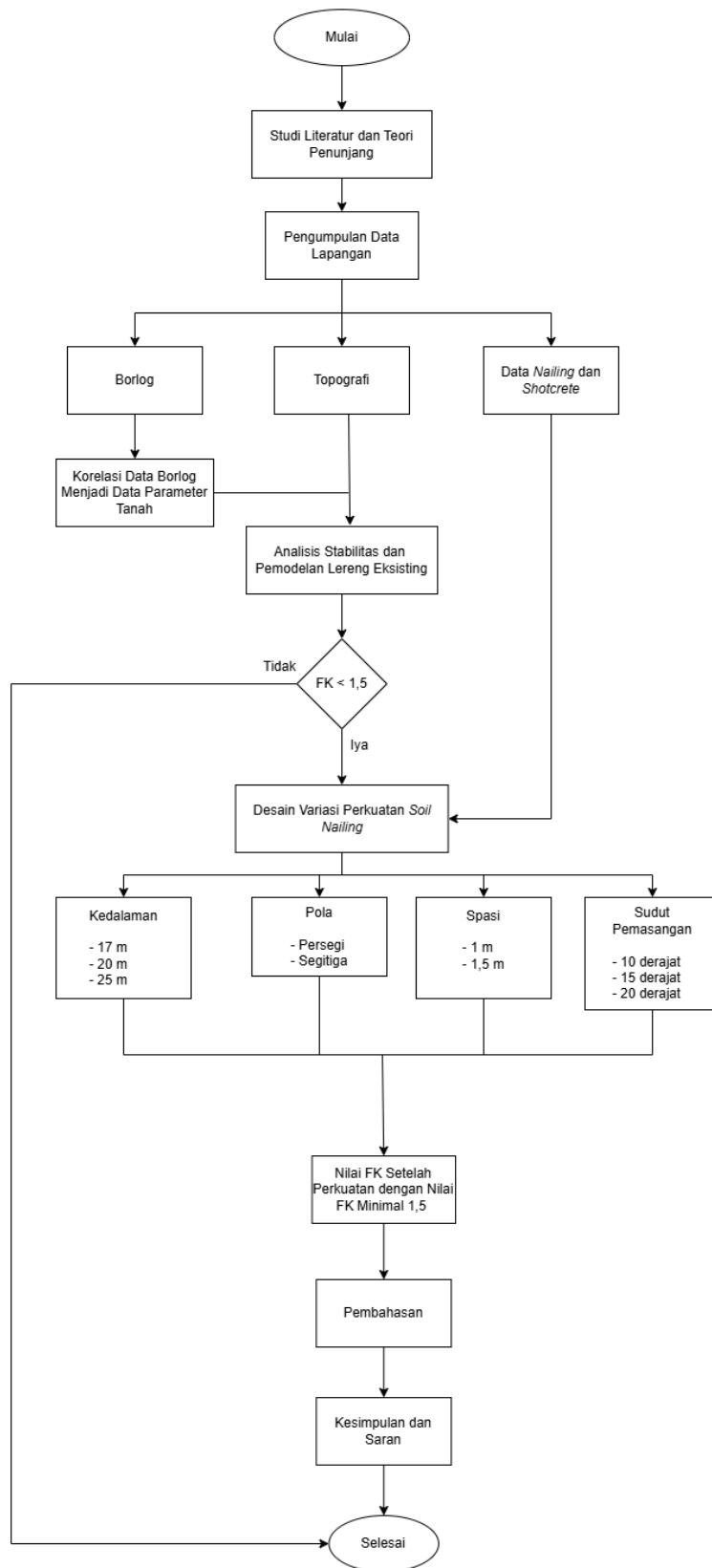
Perkuatan lereng, memiliki beberapa opsi metode perkuatan seperti *Soil nailing*, *Shotcrete*, geosintetik, *Ground anchor*, *Replacement*, tiang beton, dll. Metode – metode tersebut memiliki keunggulan dan kelemahan, contohnya *Replacement*. *Replacement* membutuhkan ruang kerja yang cukup luas karena akan mengganti tanah yang rawan longsor dengan tanah yang lebih baik. Karena lokasi tol memiliki lahan yang sangat terbatas, maka perkuatan yang dipilih adalah *Soil nailing*.

2. METODE PENELITIAN

Langkah pertama adalah pengumpulan data. Data yang akan digunakan pada penelitian ini adalah data sekunder proyek jalan tol Padang-Sicincin. Data yang akan digunakan adalah data borlog dan geometri perencanaan konstruksi yang akan diteliti pada penelitian ini. Data sekunder tersebut kemudian diolah dengan metode korelasi yang nantinya akan dimasukkan ke dalam pemodelan PLAXIS 3D. PLAXIS 3D yang berbasis elemen hingga dalam upaya analisis dan perhitungan stabilitas lereng. Versi yang akan digunakan dalam penelitian ini adalah versi 2024.

Langkah selanjutnya adalah memodelkan kondisi sebelum perkuatan terlebih dahulu ke dalam PLAXIS 3D agar dapat menganalisis kestabilan lereng apakah lereng tersebut aman atau tidak. Setelah melakukan pemodelan awal, selanjutnya akan dilakukan pemodelan *soil nailing*.

Pemodelan *soil nailing* adalah upaya melakukan analisis perkuatan lereng menggunakan PLAXIS 3D. Pemodelan *soil nailing* yang akan dilakukan meliputi jarak antar nail, kedalaman nail, pola pemasangan, dan sudut pemasangan. Pola pemasangan *soil nailing* yang akan digunakan adalah persegi dan triangular (segitiga). Kombinasi jarak yang akan digunakan adalah 1 dan 1,5 m. Kombinasi kedalaman yang akan digunakan adalah 17 m, 20 m, 25 m. Kombinasi sudut pemasangan yang akan digunakan adalah 10, 15, dan 20 derajat.



Gambar 1 Bagan Alir Penelitian

3. HASIL DAN PEMBAHASAN

Parameter tanah dan *soil nailing* yang digunakan pada penelitian ini terlihat pada tabel 1 dan tabel 2.

Tabel 1 Parameter Tanah yang Dipakai

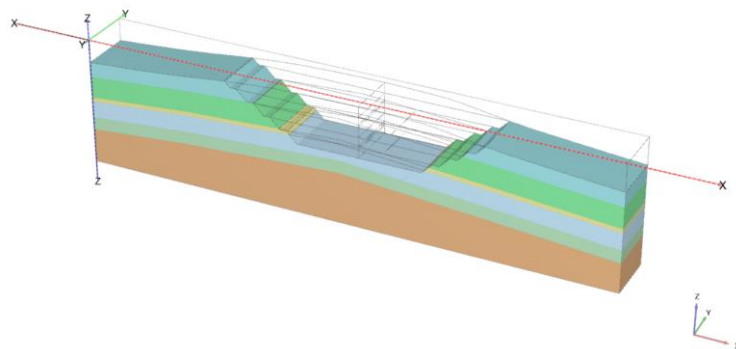
Elv.	Tipe Tanah	N SPT	Drainage Type	Cu (kN/m ²)	ϕ (°)	γ	γ_{sat}	E (kN/m ²)
0 – 7	Soft Clay	3	Undrained B	18,5	1	15	16	2000
7 – 17	Medium Clay	5	Undrained B	31,25	1	17	18	4000
17 - 19	Stiff Clay	9	Undrained B	57,14	1	17	18	4000
19 - 27	Medium Sand	16	Drained	1	31,76	19	20	14725
27 – 33	Dense Sand	40	Drained	1	38,24	20	21	26125
33 - 60	V Dense Sand	60	Drained	1	43,16	21	22	35625

Tabel 2 Parameter *Soil nailing*

<i>Soil nailing</i>	E (kN/m ²)	γ (kN/m ³)	Diameter (m)
	21×10^7	24	0,013

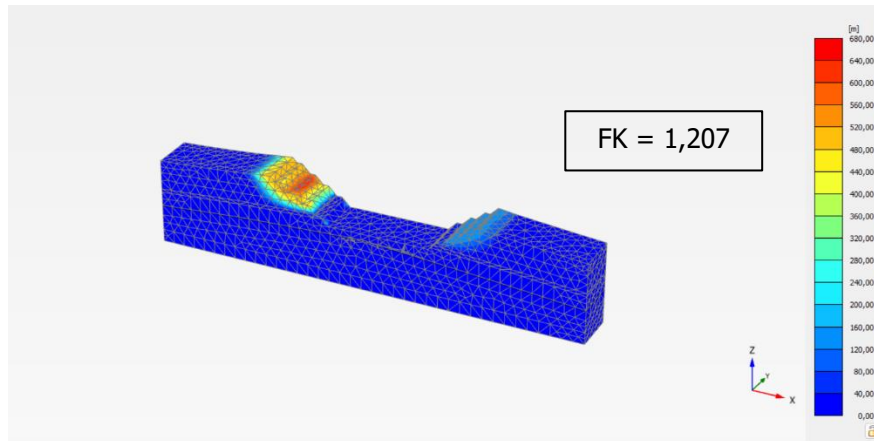
3.1 Analisis Galian Tanpa Perkuatan

Setelah didapatkan data-data yang dibutuhkan untuk penelitian yaitu data tanah untuk menentukan parameter tanah yang ditunjukkan pada Tabel 1 dan parameter *soil nailing* yang ditunjukkan pada tabel 2, dilanjutkan dengan melakukan pemodelan galian rencana tanpa perkuatan yang ditunjukkan pada Gambar 2.



Gambar 2 Pemodelan 3D Tanpa Perkuatan

Setelah dilakukan pemodelan, maka dilanjutkan dengan perhitungan program PLAXIS 3D agar mendapat nilai faktor keamanan lereng tanpa perkuatan yang hasilnya seperti yang ditunjukkan pada Gambar 3.



Gambar 3 Analisis Lereng Tanpa Perkuatan

Berdasarkan hasil analisis menggunakan program PLAXIS 3D, didapatkan hasil faktor keamanan sebesar 1,207 seperti yang ditunjukkan pada Gambar 3. Nilai ini masih dibawah faktor keamanan rencana yaitu 1,5. Maka dari itu, dibutuhkan metode perkuatan agar dapat meningkatkan nilai faktor keamanan galian rencana. Pada penelitian ini, akan diberikan metode perkuatan menggunakan *soil nailing*.

3.2 Analisis Galian Rencana Dengan *Soil nailing*

Setelah mengetahui bahwa faktor keamanan pada lereng eksisting kurang dari 1,5 , maka diperlukan perkuatan galian rencana menggunakan *soil nailing*. Kombinasi yang akan diteliti pada penelitian ini adalah kombinasi pola pemasangan, spasi, kemiringan *soil nailing*, dan kedalaman. Kombinasi pola pemasangan, meliputi pola persegi dan segi tiga. Kombinasi spasi yang digunakan adalah 1 m dan 1,5 m. Kombinasi sudut pemasangan yang digunakan adalah 10°, 15°, dan 20°. Kombinasi kedalaman *soil nailing* yang digunakan adalah 17 m, 20 m, dan 25 m. Rekapitulasi hasil analisis dapat terlihat pada Tabel 3.

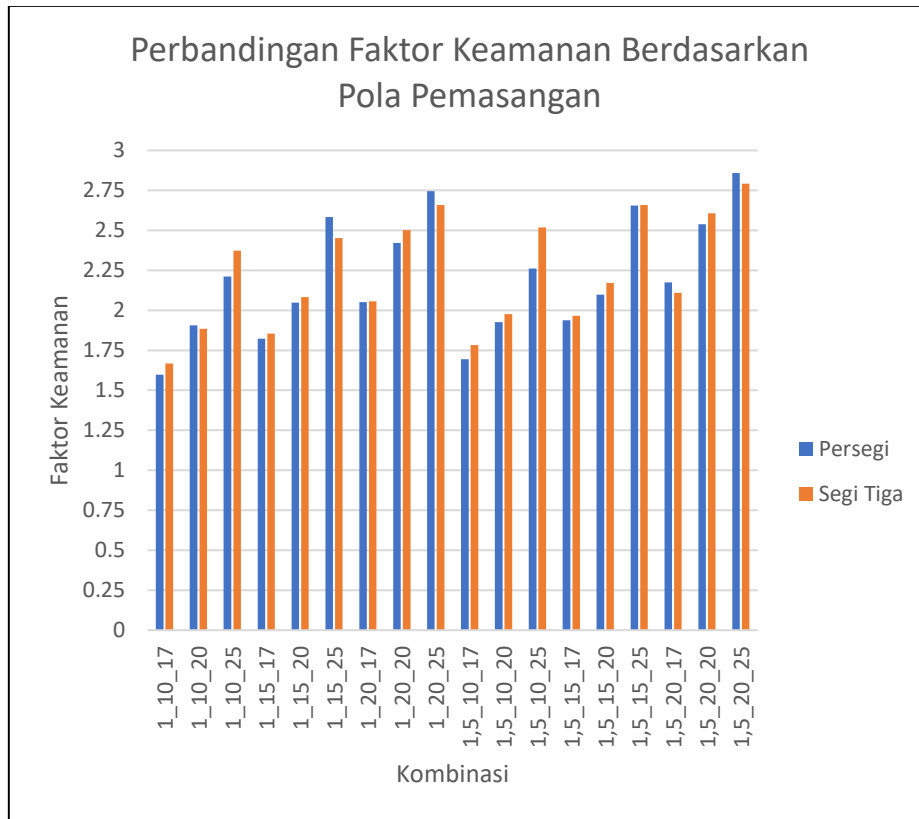
Tabel 3 Rekapitulasi Hasil Analisis Kombinasi *Soil nailing*

pola	spasi	sudut	Kedalaman	Faktor keamanan	Kenaikan (%)
persegi	1	10	17	1,597	32,31
			20	1,906	57,91
			25	2,211	83,18
		15	17	1,822	50,95
			20	2,048	69,68
			25	2,584	114,08

	20	17	2,051	69,93	
		20	2,422	100,66	
		25	2,745	127,42	
	1.5	10	17	1,694	40,35
			20	1,926	59,57
			25	2,262	87,41
		15	17	1,938	60,56
			20	2,098	73,82
			25	2,656	120,05
20		17	2,174	80,12	
		20	2,539	110,36	
		25	2,858	136,79	
segi tiga	1	10	17	1,667	38,11
			20	1,885	56,17
			25	2,373	96,60
		15	17	1,854	53,60
			20	2,083	72,58
			25	2,451	103,07
		20	17	2,057	70,42
			20	2,501	107,21
			25	2,659	120,30
	1.5	10	17	1,782	47,64
			20	1,977	63,79
			25	2,518	108,62
		15	17	1,966	62,88
			20	2,172	79,95
			25	2,658	120,22
		20	17	2,11	74,81
			20	2,607	115,99
			25	2,792	131,32

3.3.1 Analisis Perbandingan Pola Pemasangan

Setelah faktor keamanan berhasil dihitung, maka dilakukan perbandingan pola pemasangan *soil nailing*. Hasil perbandingan nilai faktor keamanan dapat dilihat pada Gambar 4. Pada sumbu x, format penamaan kombinasi adalah "Spasi_Sudut_Kedalaman". Sebagai contoh, untuk nama "1_10_17" itu berarti kombinasi "Spasi 1 m, sudut pemasangan 10°, dan kedalaman 17 m".



Gambar 4 Grafik Perbandingan Faktor Keamanan Berdasarkan Pola Pemasangan

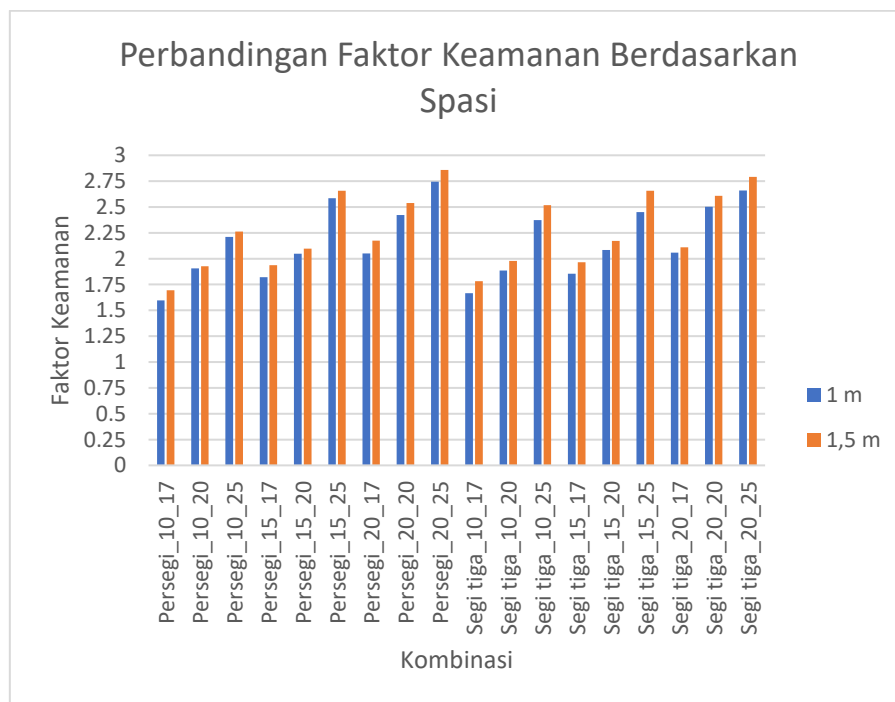
Tabel 4 Rekapitulasi Kenaikan Nilai Faktor Keamanan Terhadap Pola Pemasangan

Kombinasi	Segi Tiga	Persegi	Kenaikan
1_10_17	1.667	1.597	-4.20
1_10_20	1.885	1.906	1.11
1_10_25	2.373	2.211	-6.83
1_15_17	1.854	1.822	-1.73
1_15_20	2.083	2.048	-1.68
1_15_25	2.451	2.584	5.43
1_20_17	2.057	2.051	-0.29
1_20_20	2.501	2.422	-3.16
1_20_25	2.659	2.745	3.23
1,5_10_17	1.782	1.694	-4.94
1,5_10_20	1.977	1.926	-2.58
1,5_10_25	2.518	2.262	-10.17
1,5_15_17	1.966	1.938	-1.42
1,5_15_20	2.172	2.098	-3.41
1,5_15_25	2.658	2.656	-0.08
1,5_20_17	2.11	2.174	3.03
1,5_20_20	2.607	2.539	-2.61
1,5_20_25	2.792	2.858	2.36

Tabel 4 menunjukkan peningkatan nilai FK terhadap pola pemasangan dari pola segi tiga ke pola persegi. Berdasarkan grafik perbandingan, perbedaan pola pemasangan persegi dengan segi tiga tidak terlalu berpengaruh. Pada Gambar 4 dan Tabel 4, pada kombinasi tertentu, pola pemasangan persegi bisa menghasilkan nilai faktor keamanan yang lebih tinggi dibandingkan dengan pola pemasangan segi tiga. Namun, ada pula kombinasi dimana pemasangan pola segi tiga lebih dapat meningkatkan faktor keamanan dibanding dengan pola persegi. Maka dari itu, pola pemasangan persegi dan segi tiga bukan pengaruh mutlak yang dapat meningkatkan faktor keamanan pada suatu lereng.

3.3.2 Analisis Perbandingan Spasi Pemasangan

Setelah faktor keamanan berhasil dihitung, maka dilakukan perbandingan spasi pemasangan *soil nailing*. Hasil perbandingan nilai faktor keamanan dapat dilihat pada Gambar 5. Pada sumbu x, format penamaan kombinasi adalah "Pola_Sudut_Kedalaman". Sebagai contoh, untuk nama "Persegi_10_17" itu berarti kombinasi "pola persegi, sudut pemasangan 10°, dan kedalaman 17 m".



Gambar 5 Grafik Perbandingan Faktor Kemanan Berdasarkan Spasi

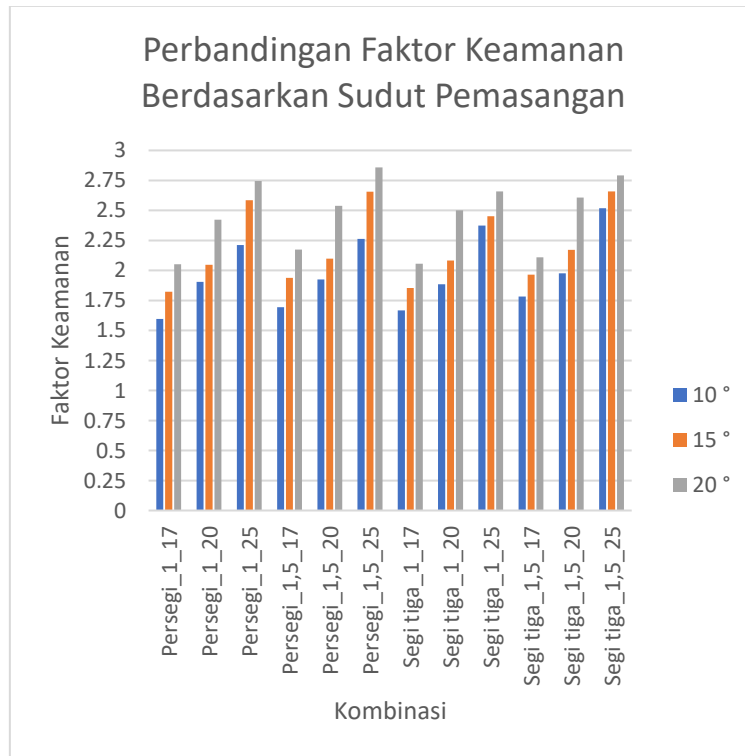
Tabel 5 Rekapitulasi Kenaikan Nilai Faktor Keamanan Terhadap Spasi

Kombinasi	1 m	1,5 m	Kenaikan
Persegi_10_17	1.597	1.694	6.074
Persegi_10_20	1.906	1.926	1.049
Persegi_10_25	2.211	2.262	2.307
Persegi_15_17	1.822	1.938	6.367
Persegi_15_20	2.048	2.098	2.441
Persegi_15_25	2.584	2.656	2.786
Persegi_20_17	2.051	2.174	5.997
Persegi_20_20	2.422	2.539	4.831
Persegi_20_25	2.745	2.858	4.117
Segi tiga_10_17	1.667	1.782	6.899
Segi tiga_10_20	1.885	1.977	4.881
Segi tiga_10_25	2.373	2.518	6.110
Segi tiga_15_17	1.854	1.966	6.041
Segi tiga_15_20	2.083	2.172	4.273
Segi tiga_15_25	2.451	2.658	8.446
Segi tiga_20_17	2.057	2.11	2.577
Segi tiga_20_20	2.501	2.607	4.238
Segi tiga_20_25	2.659	2.792	5.002

Tabel 5 menunjukkan kenaikan nilai FK berdasarkan spasi dari 1 m ke 1,5 m. Berdasarkan Gambar 5 dan Tabel 5, pada perhitungan PLAXIS 3D, pengaruh spasi pada pemasangan *soil nailing* memberikan pengaruh pada kenaikan nilai faktor keamanan. Semakin kecil atau sempit spasi antar *soil nailing*, maka nilai faktor keamanan akan semakin meningkat. Hal tersebut dapat dibuktikan dengan nilai faktor keamanan dari 1,5 m ke 1 m yang meningkat semua.

3.3.3 Analisis Perbandingan Sudut

Setelah faktor keamanan berhasil dihitung, maka dilakukan perbandingan sudut pemasangan *soil nailing*. Hasil perbandingan nilai faktor keamanan dapat dilihat pada Gambar 6. Pada sumbu x, format penamaan kombinasi adalah "Pola_Spasi_Kedalaman". Sebagai contoh, untuk nama "Persegi_1_17" itu berarti kombinasi "pola persegi, spasi 1 m, dan kedalaman 17 m".



Gambar 6 Grafik Perbandingan Faktor Keamanan Berdasarkan Sudut Pemasangan

Tabel 6 Rekapitulasi Kenaikan Nilai Faktor Keamanan Berdasarkan Sudut 10° ke 15°

Kombinasi	10 °	15 °	Kenaikan (%)
Persegi_1_17	1.597	1.822	12.35
Persegi_1_20	1.906	2.048	6.93
Persegi_1_25	2.211	2.584	14.43
Persegi_1,5_17	1.694	1.938	12.59
Persegi_1,5_20	1.926	2.098	8.20
Persegi_1,5_25	2.262	2.656	14.83
Segi tiga_1_17	1.667	1.854	10.09
Segi tiga_1_20	1.885	2.083	9.51
Segi tiga_1_25	2.373	2.451	3.18
Segi tiga_1,5_17	1.782	1.966	9.36
Segi tiga_1,5_20	1.977	2.172	8.98
Segi tiga_1,5_25	2.518	2.658	5.27

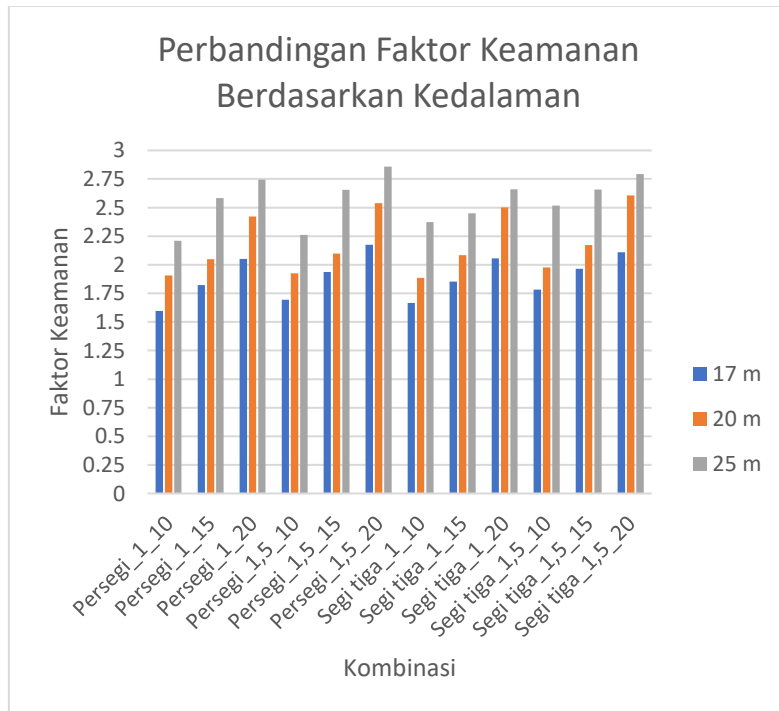
Tabel 7 Rekapitulasi Kenaikan Nilai Faktor Keamanan Berdasarkan Sudut 15° ke 20°

Kombinasi	15 °	20 °	Kenaikan (%)
Persegi_1_17	1.822	2.051	11.17
Persegi_1_20	2.048	2.422	15.44
Persegi_1_25	2.584	2.745	5.87
Persegi_1,5_17	1.938	2.174	10.86
Persegi_1,5_20	2.098	2.539	17.37
Persegi_1,5_25	2.656	2.858	7.07
Segi tiga_1_17	1.854	2.057	9.87
Segi tiga_1_20	2.083	2.501	16.71
Segi tiga_1_25	2.451	2.659	7.82
Segi tiga_1,5_17	1.966	2.11	6.82
Segi tiga_1,5_20	2.172	2.607	16.69
Segi tiga_1,5_25	2.658	2.792	4.80

Pada Tabel 6, menunjukkan kenaikan nilai faktor keamanan 10° ke 15°. Pada Tabel 7, menunjukkan kenaikan nilai faktor keamanan 15° ke 20°. Berdasarkan Gambar 6, Tabel 6 dan Tabel 7, terlihat bahwa semakin besar sudut pemasangan, maka nilai faktor keamanan menjadi lebih besar.

3.4 Analisis Kedalaman *Soil nailing*

Setelah faktor keamanan berhasil dihitung, maka dilakukan perbandingan kedalaman *soil nailing*. Hasil perbandingan nilai faktor keamanan dapat dilihat pada Gambar 7. Pada sumbu x, format penamaan kombinasi adalah "Pola_Spasi_Sudut". Sebagai contoh, untuk nama "Persegi_1_10" itu berarti kombinasi "pola persegi, spasi 1 m, dan sudut pemasangan 10°".



Gambar 7 Grafik Perbandingan Faktor Keamanan Berdasarkan Kedalaman

Tabel 8 Rekapitulasi Kenaikan Nilai Faktor Keamanan Berdasarkan Kedalaman

Kombinasi	17 m	20 m	Kenaikan (%)
Persegi_1,5_10	1.597	1.906	16.21
Persegi_1,5_25	1.822	2.048	11.04
Persegi_1,5_45	2.051	2.422	15.32
Persegi_3_10	1.694	1.926	12.05
Persegi_3_25	1.938	2.098	7.63
Persegi_3_45	2.174	2.539	14.38
Segi Tiga_1,5_10	1.667	1.885	11.56
Segi Tiga_1,5_25	1.854	2.083	10.99
Segi Tiga_1,5_45	2.057	2.501	17.75
Segi Tiga_3_10	1.782	1.977	9.86
Segi Tiga_3_25	1.966	2.172	9.48
Segi Tiga_3_45	2.11	2.607	19.06

Tabel 9 Rekapitulasi Kenaikan Nilai Faktor Keamanan Berdasarkan Kedalaman

Kombinasi	20 m	25 m	Kenaikan (%)
Persegi_1,5_10	1.906	2.211	13.79
Persegi_1,5_25	2.048	2.584	20.74

Persegi_1,5_45	2.422	2.745	11.77
Persegi_3_10	1.926	2.262	14.85
Persegi_3_25	2.098	2.656	21.01
Persegi_3_45	2.539	2.858	11.16
Segi Tiga_1,5_10	1.885	2.373	20.56
Segi Tiga_1,5_25	2.083	2.451	15.01
Segi Tiga_1,5_45	2.501	2.659	5.94
Segi Tiga_3_10	1.977	2.518	21.49
Segi Tiga_3_25	2.172	2.658	18.28
Segi Tiga_3_45	2.607	2.792	6.63

Pada Tabel 8, menunjukkan kenaikan nilai faktor keamanan dari 17 m ke 20 m. Pada Tabel 9, menunjukkan kenaikan nilai faktor keamanan dari 20 m ke 25 m. Berdasarkan Gambar 7, Tabel 8, dan Tabel 9, terlihat bahwa semakin besar kedalaman *soil nailing*, maka nilai faktor keamanan akan semakin besar.

4. KESIMPULAN DAN SARAN

4.1 Kesimpulan

Setelah dilakukan analisis stabilitas pada lereng galian rencana, baik yang belum diberi perkuatan maupun yang sudah diberi perkuatan *soil nailing*, maka dapat disimpulkan bahwa:

- a. Pemodelan lereng pada galian rencana memiliki nilai faktor keamanan sebesar 1,128. Nilai ini masih dibawah nilai minimal yang ditetapkan pada SNI 8460:2017 yaitu sebesar 1,5.
- b. Analisis faktor keamanan setelah diberikan perkuatan *soil nailing*, terdapat kenaikan nilai faktor keamanan yang nilainya bergantung pada kombinasi yang sudah ditentukan.
- c. Pengaruh pola tidak terlalu berpengaruh pada kenaikan nilai faktor keamanan lereng.
- d. Pengaruh spasi *soil nailing* pada analisis 3D, memberikan pengaruh yang signifikan pada perhitungan ini. Semakin kecil atau sempit spasi *soil nailing*, maka nilai faktor keamanan akan semakin besar.
- e. Pengaruh sudut pemasangan *soil nailing* memberikan kontribusi kenaikan nilai faktor keamanan yang signifikan. Semakin besar sudut pemasangan *soil nailing*, maka semakin besar nilai faktor keamanan yang dihasilkan.

- f. Pengaruh kedalaman *soil nailing* memberikan kontribusi kenaikan nilai faktor keamanan yang signifikan. Semakin besar kedalaman *soil nailing*, maka semakin besar nilai faktor keamanan yang dihasilkan.

4.2 Saran

Dari hasil penelitian ini terdapat beberapa saran, yaitu:

- a. Perlunya variasi lain untuk mengetahui hasil yang lebih optimal pada analisis *soil nailing* selanjutnya.
- b. Perlu adanya metode perkuatan lain agar dapat memperkuat lereng secara efektif. Contohnya membandingkan perkuatan *soil nailing* dengan *ground anchor*.
- c. Perlu adanya pemodelan lereng yang lebih lengkap agar hasil perhitungan dapat lebih akurat sesuai dengan kondisi nyata.

Ucapan Terima Kasih

Terima kasih kepada PT. Maratama Cipta Mandiri yang sudah memberikan dukungan berupa data tanah pada proyek jalan tol Trans Sumatera. Tanpa dukungannya saya tidak dapat membuat penelitian ini.

Daftar Rujukan

- Badan, S. N. (2017). *Persyaratan Perancangan Geoteknik*. Jakarta: Badan Standardisasi Nasional.
- Carlos A. Lazarte, P. P. (2003, Maret). *GEOTECHNICAL ENGINEERING CIRCULAR NO. 7*. Columbia: GeoSyntec Consultants.
- Das, B. M. (2016). *Principles of Foundation Engineering*. Boston: Cengage Learning.
- Jay Ameratunga, N. S. (2016). *Correlations of Soil and Rock Properties in Geotechnical Engineering*. Ney York: Springer.
- Look, B. (2007). *Hand Book of Geotechnical Investigation and Design Table*. London: Taylor & Francis.