

Artikel

Pengaruh Kombinasi Panjang, Diameter dan Jumlah Nail Terhadap Stabilitas Lereng Zona Penyangga Situs Gunung Padang

Novitryawati Adis Pratiwi Mansyurdin¹ dan Fatin Adriati^{1,*}¹Program Studi Teknik Sipil, Fakultas Teknik dan Ilmu Komputer, Universitas Bakrie, Jl. H. R. Rasuna Said, Kuningan, DKI Jakarta, 12940, Indonesia

* Korespondensi: fatin.adriati@bakrie.ac.id

Abstrak

Situs Gunung Padang adalah salah satu situs prasejarah Megalitikum yang terletak di daerah Cianjur, Jawa Barat yang berupa punden berundak. Diketahui bahwa pernah terjadi longsor di lereng bagian timur dan barat pada zona penyangga situs tersebut. Analisis stabilitas lereng dilakukan untuk memastikan keamanan dari lereng tersebut. Usaha untuk peningkatan stabilitas lereng memiliki banyak cara, salah satunya adalah perkuatan soil nailing. Perkuatan soil nailing digunakan untuk mengetahui stabilitas lereng agar lereng dapat lebih stabil dan aman. Penelitian dilakukan untuk mencari tahu stabilitas lereng zona penyangga situs Gunung Padang, pengaruh kombinasi soil nail dan perilaku soil nail terhadap stabilitas lereng. Hasil analisis menggunakan program Plaxis 2D versi 8.6 membandingkan 9 (sembilan) kombinasi dan kemudian menentukan yang paling efektif. Variasi soil nail yang digunakan yaitu panjang (25 m, 28 m dan 32 m), diameter (25 mm, 29 mm, dan 32 mm) dan jumlah nail (9 buah, 10 buah, dan 12 buah) dengan sudut kemiringan nail yang digunakan adalah 15°. Dari hasil penelitian ini diperoleh bahwa semakin banyak jumlah, semakin panjang dan semakin besar diameter nail yang digunakan maka nilai SF akan semakin besar. Hal tersebut dibuktikan dengan kenaikan nilai SF sebesar rata-rata 30% terhadap lereng tanpa perkuatan.

Kata kunci: Plaxis, stabilitas lereng, *soil nailing*

1 Pendahuluan

Setiap kawasan memiliki morfologi alam yang berbeda-beda, ada yang berbidang datar dan ada yang memiliki perbedaan elevasi yang membentuk suatu lereng (Sinarta, 2014). Adanya perbedaan elevasi tersebut dapat menyebabkan terjadinya kelongsoran. Kelongsoran dapat menimbulkan berbagai macam dampak negatif, yaitu rusaknya infrastruktur, melemahnya mata pencaharian di daerah sekitar kelongsoran dan lain-lain. Oleh karena itu untuk mencegah hal tersebut dapat dilakukan beberapa perbaikan tanah. Salah satu lokasi yang memiliki lereng adalah Gunung Padang, Cianjur, Jawa Barat. Di Gunung Padang terdapat sebuah situs yang merupakan situs prasejarah peninggalan kebudayaan megalitikum di Jawa Barat. Belum lama ini zona penyangga situs tersebut mengalami kelongsoran di lereng sebelah timur yang berjarak 100 m dari Situs Gunung Padang. Selain itu menurut Balai Pelestarian Cagar Budaya (BPCB) Kabupaten Cianjur, Jawa Barat, bahwa ada tiga titik area di gunung padang yang rawan terjadi longsor yaitu lereng sebelah timur, sebelah tenggara dan sebelah barat. Kelongsoran pada daerah tersebut dipengaruhi oleh beberapa faktor yaitu, curah hujan daerah tersebut, vegetasi, morfologi, batuan/tanah maupun situasi setempat (Anwar dan Kesumadharma, 1991; Himawan, 1994). Untuk itu dibutuhkan suatu analisis stabilitas lereng

untuk mengetahui tingkat keamanan lereng. Problema stabilitas lereng umumnya terjadi bila terdapat gangguan pada stabilitas lereng tersebut. Stabilitas lereng dapat dianalisis melalui perhitungan faktor keamanan atau safety factor (SF) lereng dengan melibatkan data sifat fisik tanah, mekanika tanah (geoteknis tanah) dan bentuk geometri lereng (Pangular, 1985). Semakin tingginya nilai SF, potensi lereng mengalami kelongsoran pun semakin kecil. Namun apabila nilai SF rendah maka potensi terjadinya kelongsoran pun semakin besar. Untuk mengatasi stabilitas lereng yang rendah terdapat beberapa metode perkuatan lereng, antara lain metode geotekstil, metode cerucuk, metode pemakuan tanah (soil nailing) dan lain-lain. Soil nailing merupakan teknik untuk stabilitas lereng yang paling ekonomis karena sistem pengerjaannya yang cepat dan tidak memerlukan tempat yang luas. Selain itu pelaksanaan soil nailing cukup menggunakan alat-alat yang mudah dipindah dan diubah sesuai kebutuhan dan kondisi lapangan yang nantinya akan disesuaikan dengan sudut kemiringan lereng. Metode soil nailing telah banyak direkomendasikan oleh beberapa peneliti untuk mengatasi masalah kelongsoran di Indonesia. Penelitian Hendra (2014), membuktikan bahwa perkuatan soil nailing dapat meningkatkan safety factor lereng. Dalam penelitian tersebut didapatkan bahwa metode ini menawarkan alternatif dari sudut pandang kelayakan teknis, biaya konstruksi, dan durasi konstruksi. Selain itu penelitian ini juga menyatakan bahwa

semakin banyak jumlah nail dan semakin baik sistem drainase di sekitar lereng tersebut maka metode ini hasilnya akan lebih maksimal. Penelitian tentang perkuatan tanah dengan metode soil nailing juga sebelumnya telah banyak dilakukan dengan berbagai permodelan, salah satunya adalah penelitian Kumalasari (2012) yang menganalisa stabilitas lereng dengan perkuatan soil nailing untuk kemiringan lereng yang berbeda dan sudut kemiringan nail yang berbeda. Hasil dari penelitian tersebut mendapatkan bahwa semakin bertambahnya sudut kemiringan lereng maka nilai safety factor (SF) akan turun. Hal serupa juga dapat terjadi apabila sudut nail bertambah maka nilai SF semakin turun. Penambahan jarak antara nail ke nail juga dapat berpengaruh, semakin renggang jarak antar nail maka nilai SF suatu lereng pun akan semakin menurun. Selain itu pengaruh pertambahan panjang nail juga telah diteliti oleh Aza (2012) yang melakukan studi analisa tegangan-perpindahan dan faktor keamanan (SF) pada lereng miring dengan perkuatan soil nailing menggunakan metode elemen. Dari penelitian tersebut didapat bahwa penambahan panjang nail akan meningkatkan nilai SF suatu lereng. Berdasarkan hasil dari beberapa penelitian terdahulu dan bentuk geometri lereng Gunung Padang, serta data yang didapatkan, maka penelitian ini menganalisis perkuatan stabilitas lereng menggunakan soil nailing dengan kombinasi variabel panjang, diameter dan jumlah soil nail. Dalam analisis stabilitas lereng baik tanpa perkuatan maupun dengan perkuatan digunakan software Plaxis. Plaxis merupakan salah satu aplikasi yang dapat menganalisis kestabilan suatu lereng berdasarkan data-data tanah yang didapat. Aplikasi ini dapat menghitung safety factor (SF) secara akurat dengan waktu yang relatif singkat.

2 Metode

Pada penelitian ini, observasi lapangan menghasilkan data geometri lereng dan pengujian di laboratorium menghasilkan data parameter tanah, baik fisik maupun mekanis.

2.1 Geometri Lereng

Data geometri lereng didapatkan dengan cara penelusuran langsung ke area longsor yang berada di lereng sebelah timur Gunung Padang, Cianjur, Jawa Barat. Data diambil menggunakan Global Positioning System (GPS) yang berupa titik-titik koordinat yang dimulai dari puncak lereng (Titik 1), titik awal kelongsoran (Titik 2) hingga dasar lereng (Titik 3) yang merupakan titik akhir kelongsoran. Data GPS tersebut di export ke software Google Earth untuk menentukan elevasi dari tiap-tiap titik (Lihat **Gambar 1** dan **Gambar 2**). Data yang berupa titik-titik koordinat dan elevasi kemudian di plot ke dalam software AutoCad. Setelah didapat gambaran kasar dari geometri lereng, lereng dimodelkan menggunakan software Plaxis. Untuk menentukan geometri lereng seperti yang disajikan pada **Gambar 3**. Permodelan lereng akan difokuskan pada titik 2 dan titik 3 dimana terjadinya kelongsoran lereng.

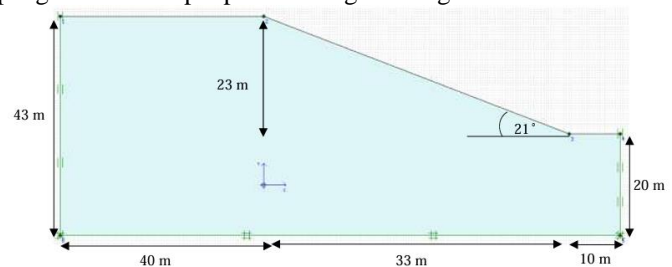


Gambar 1. Titik-Titik Pengambilan Data GPS



Gambar 2. Elevasi Lereng Timur Gunung Padang (Google Earth)

Pada jarak dari titik 2 ke titik 3 dimana terjadinya kelongsoran, untuk pengambilan sampel tanah dibagi menjadi 3 titik, yaitu (Titik A) yang berada di ujung atas lereng, (Titik B) yang berada di tengah lereng, dan (Titik C) yang berada di ujung bawah dasar lereng. Untuk pengambilan sampel tanah di ketiga titik tersebut digunakan metode *hand boring*. Kedalaman galian pada saat pengambilan sampel pada masing-masing titik sebesar 130 cm.



Gambar 3. Geometri Lereng untuk Permodelan

2.2 Parameter Tanah

Pengambilan sampel tanah menggunakan hand boring dilakukan di 3 titik, di titik awal kelongsoran (A), tengah (B) dan titik akhir kelongsoran (C). Sampel tanah, kemudian diuji di laboratorium untuk menentukan parameter fisik dan mekanis tanah. Parameter fisik tanah yang diperoleh antara lain:

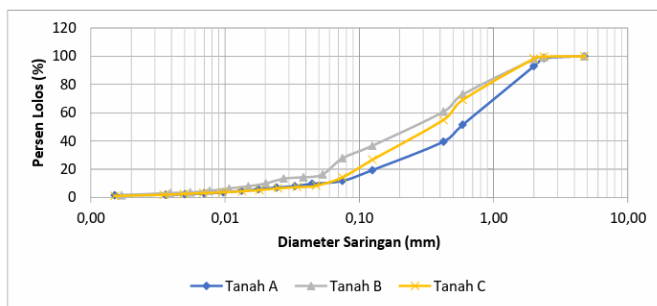
- Berat volume (γ) diperoleh melalui tes berat volume berdasarkan ASTM D-2049.
- Kadar air (w_c) diperoleh melalui tes kadar air berdasarkan ASTM D2216-92 (1996).
- Berat Jenis (G_s) diperoleh melalui tes Specific Gravity berdasarkan ASTM D 854, AASHTO T 100 dan SNI 1964:2008.
- Batas-batas Atterberg:
 - Liquid Limits (LL) diperoleh melalui tes Liquid Limits berdasarkan ASTM D 4318, AASHTO T 89 dan SNI 1967:2008.
 - Plastic Limits (PL) diperoleh melalui tes Plastic Limits berdasarkan ASTM D 4318, AASHTO T 90 dan SNI 1966:2008.

- e. Analisis saringan diperoleh melalui tes Sieve Analysis berdasarkan ASTM D 421, ASTM D 422, AASHTO T 88 dan SNI 3423:2008.
- f. Analisis pembagian butir yang lolos saringan No.200 diperoleh melalui tes Hydrometer berdasarkan ASTM D 421, ASTM D 422, AASHTO T 88 dan SNI 3423:2008.

Tabel 1 merupakan parameter fisik dan mekanis tanah yang telah didapatkan setelah melakukan beberapa pengujian di laboratorium. Sementara itu, untuk grafik distribusi butiran disajikan dalam **Gambar 4.**

Tabel 1. Parameter Fisik Tanah

Parameter	Satuan	Tanah		
		A	B	C
Kadar Air (w_c)	%	45,38	45,52	45,95
Berat Jenis (G_s)	gram/cm ³	2,45	2,19	2,38
$\gamma_{saturated}$ (γ_{sat})	kN/m ³	18		
$\gamma_{unsaturated}$ (γ_{unsat})	kN/m ³	13		
a. Batas Cair (LL)	%	66,70	52,07	40,97
b. Batas Plastis (PL)	%	39,92	32,27	35,71
c. Indeks Plastisitas (PI)	%	17,49	14,79	5,26



Gambar 4. Grafik Distribusi Butiran Tanah

Berdasarkan klasifikasi Unified Soil Classification System (USCS), sampel tanah termasuk tanah pasir berlempung atau tanah campuran pasir lempung (SC). Hal tersebut dikarenakan lebih dari setengah material tanah tidak lolos saringan No. 200. Lebih dari setengah fraksi kasar sampel tanah lolos saringan No. 4. Selain itu hasil tersebut juga diperkuat dengan nilai PI dari sampel tanah sebesar 12,5%. Sampel tanah memiliki nilai kepadatan relatif sebesar 57%, sehingga sampel tanah termasuk kedalam kepadatan tanah agak kompak.

2.3 Matriks Variabel

Pada penelitian ini, lereng diasumsikan menggunakan muka air tanah yang tingginya setara dengan permukaan tanah. Kombinasi yang digunakan dalam penelitian ini adalah kombinasi variabel diameter, panjang dan jumlah nail dalam analisis stabilitas lereng (lihat **Tabel 2**). Variasi diameter nail yang digunakan dalam penelitian ini adalah 25, 29, dan 32 mm yang diambil berdasarkan ASTM 615 dengan daya dukung tariknya sebesar 525 MPa. Untuk variasi panjang nail yang digunakan dalam penelitian ini adalah 25, 28, dan 30 m yang diambil berdasarkan panjang bidang gelincir. Sedangkan untuk jumlah nail diambil berdasarkan penelitian-penelitian terdahulu. Sudut kemiringan yang digunakan adalah 15°, hal

tersebut dilihat berdasarkan SNI 8460-2017 yang mengatakan bahwa sudut kemiringan nail berkisar antara 10 - 20 terhadap bidang horisontal apabila kemiringan nail.

Tabel 2. Variasi Kombinasi Panjang, Diameter dan Jumlah Nail

Parameter	Variabel								
	Panjang (m)			Diameter nail (mm)			Jumlah nail		
	25	28	30	25	29	32	9	10	12
Panjang	25			4					
	28				5				
	30					6			
Diameter nail	25						7		
	29							8	
	32								9
Jumlah nail	9	1							
	10		2						
	12			3					

Berdasarkan **Tabel 2**, terdapat 9 (sembilan) kombinasi yang digunakan. Kombinasi 1 adalah kombinasi panjang nail sepanjang 25 m dan jumlah nail sebanyak 9 buah. Untuk kombinasi 2 digunakan panjang nail sepanjang 28 m dengan jumlah nail sebanyak 10 buah. Kombinasi 3 yaitu kombinasi panjang nail sepanjang 30 m dengan jumlah nail sebanyak 12 buah. Kombinasi 1 sampai kombinasi 3 menggunakan diameter nail yang sama, yaitu 32 mm. Untuk kombinasi 4 digunakan kombinasi antara diameter nail dan panjang nail, dimana diameter nail sebesar 25 mm dengan panjang nail sepanjang 25 m. Kombinasi 5 menggunakan diameter nail sebesar 29 mm dengan panjang nail sepanjang 28 m. Kombinasi 6 menggunakan diameter nail sebesar 32 mm dengan panjang nail sepanjang 30 m. Kombinasi 4 hingga 6 menggunakan jumlah nail yang sama yaitu 12 buah. Untuk kombinasi 7 digunakan kombinasi antara jumlah dan diameter, dimana untuk diameter nail sebesar 25 mm dan jumlah nail sebanyak 9 buah. Kombinasi 8 menggunakan diameter nail sebesar 29 mm dan jumlah nail sebanyak 10 buah. Untuk kombinasi 9 menggunakan diameter sebesar 32 mm dengan jumlah nail sebanyak 12 buah. Kombinasi 7 hingga 9 menggunakan panjang nail yang sama yaitu 25 m.

2.4 Permodelan

Dalam proses pemodelan, data yang digunakan terdiri dari data material tanah yang telah diuji sebelumnya di laboratorium dan data material pile, yaitu terdapat pada **Tabel 3**, **Tabel 4**, dan **Tabel 5**.

1. Data Material Tanah

Data material tanah yang digunakan dapat dilihat pada **Tabel 3**.

Tabel 3. Data Parameter untuk Tanah

Parameter	Nama	Nilai	Satuan
Jenis Tanah		Sand Clay	
Model material	Model	Mohr-Coulomb	-
Jenis perilaku material	Jenis	Drained	-
Berat isi tanah di atas garis freatik	γ_{unsat}	13	kN/m ³
Berat isi tanah di bawah garis freatik	γ_{sat}	18	kN/m ³
Permeabilitas arah horisontal	k_x	8,64	m/hari
Permeabilitas arah vertikal	k_y	8,64	m/hari
Modulus Young (konstan)	E_{ref}	20000	kN/m ²
Angka Poisson	μ	0,25	-
Kohesi (konstan)	C_{ref}	11,01	kN/m ²
Sudut geser	Φ	35	°
Sudut dilatasi	Ψ	0	°

2. Data Material Soil Nailing dan Plate

• Material Nail

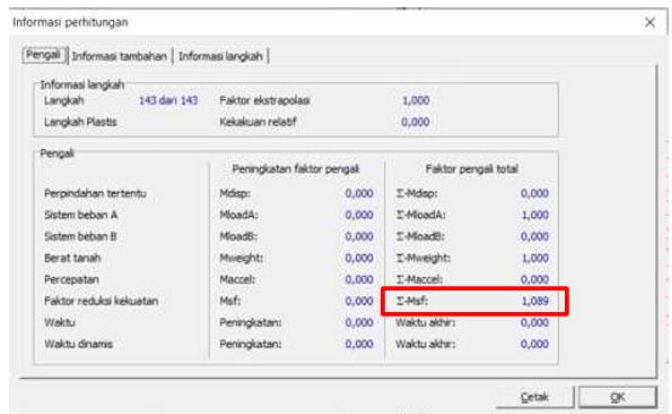
Tabel 4. Data Material Soil Nailing

Parameter	Notasi	Nilai	Satuan
Nailing type	-	Grouted	-
Simulation model	-	Plane strain	-
Element type	-	15-node	-
Daya Dukung Tarik Nails	Fy	525	MPa
Kekakuan nail Diameter 25	EA	49062,5	kN/m
Kekakuan nail Diameter 29	EA	66018,5	kN/m
Kekakuan nail Diameter 32	EA	80394	kN/m
Jarak antar nail	L _{spasi}	2	m
Kekakuan Grout	EA	2,2 x 10 ⁷	kN/m

• Material Plate

Tabel 5. Data Material Plate

Parameter	Notasi	Nilai	Satuan
Material model	-	Elastic	-
Normal stiffness	EA	4281903,782	kN/m
Flexural rigidity	EI	1177	kNm ² /m
Element Thickness	D	0,08	m
Compensate for overlap	W	1,74	m
Poisson's ratio	μ	0,17	-



(b)

Gambar 5. Hasil Analisis Tanpa Perkuatan (a) Bidang Longsor (b) Informasi Perhitungan

Dari Gambar 5, diketahui bahwa pada kondisi eksisting lereng sebelum diberi perkuatan menunjukkan faktor keamanan lereng yang rendah yaitu sebesar 1,026. Angka tersebut menunjukkan bahwa lereng tidak aman jika ditinjau dari faktor keamanan (F) yang ditinjau dari intensitas kelongsorannya pada Tabel 6.

Tabel 6. Hubungan Nilai Faktor Keamanan Lereng dan Intensitas Longsor

Nilai Faktor Kamanan	Kejadian Intensitas Longsor
F < 1,07	Longsor terjadi biasa / sering (lereng stabil)
F 1,07 – 1,25	Longsor pernah terjadi (lereng kritis)
F > 1,25	Longsor jarang terjadi (lereng relatif stabil)

Pada lereng tanpa perkuatan, didapat nilai angka deformasi yang tergolong kecil yaitu sebesar 0,00 cm yang mendandakan bahwa relatif tidak ada pergerakan dari lereng tersebut yang semakin membuktikan bahwa lereng tersebut tergolong aman.

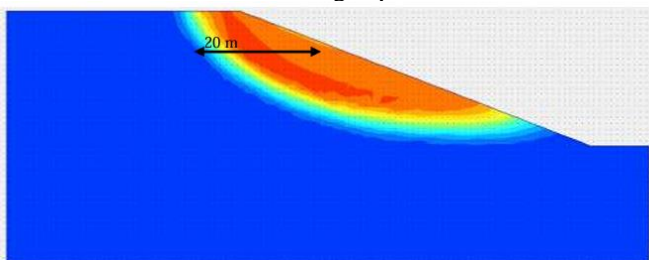
3 Hasil dan Pembahasan

3.1 Analisis Stabilitas Lereng

Analisis stabilitas lereng dilakukan dengan memodelkan 2 (dua) kondisi, yaitu sebelum diberi perkuatan dan sesudah diberi perkuatan soil nailing dengan menggunakan program Plaxis 2D versi 8.6. Selain untuk mengetahui peningkatan stabilitas lereng akibat perkuatan soil nailing, permodelan juga dilakukan untuk menentukan kombinasi variabel soil nailing yang menghasilkan faktor keamanan terbesar.

3.1.1 Analisis Stabilitas Lereng Tanpa Perkuatan

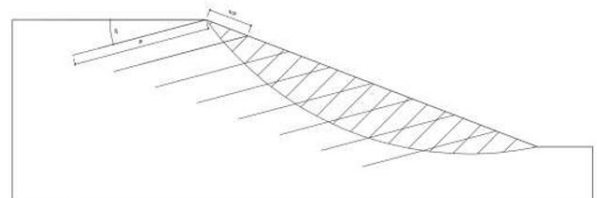
Analisis stabilitas lereng tanpa perkuatan dilakukan untuk mendapatkan nilai SF sebelum lereng diberikan perkuatan. Dengan menggunakan program Plaxis didapatkan bentuk bidang gelincir kritis yang mungkin terjadi di lereng tanpa perkuatan seperti yang terlihat pada Gambar 5 Bentuk bidang gelincir tersebut nantinya dijadikan sebagai pertimbangan untuk menentukan desain perkuatan lereng dengan soil nailing. Dalam penelitian ini lereng diasumsikan menggunakan muka air tanah selevel dengan permukaan tanah.



(a)

3.1.2 Analisis Stabilitas Lereng dengan Perkuatan Soil Nailing

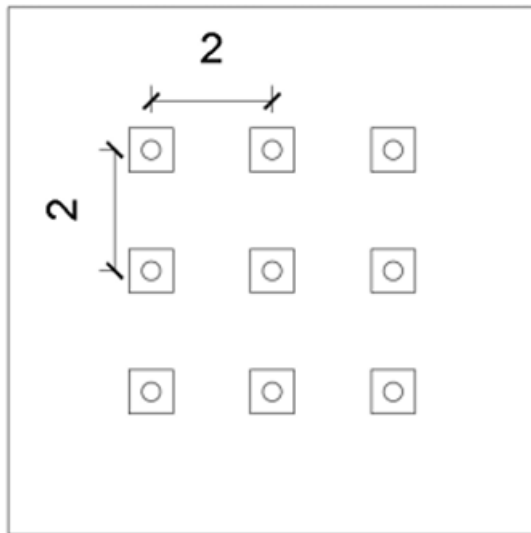
Desain perkuatan lereng yang digunakan dalam penelitian ini adalah desain perkuatan soil nailing, dengan beberapa kombinasi variabel soil nail yang nantinya dibandingkan hasilnya. Kombinasi variabel soil nail yang menghasilkan nilai SF paling optimum akan direkomendasikan untuk digunakan sebagai perkuatan lereng zona penyangga situs Gunung Padang. Visualisasi penempatan soil nail dapat dilihat pada Gambar 6.



Gambar 6. Visualisasi Tampak Samping Permodelan Perkuatan Soil Nailing

Dari bidang gelincir yang mungkin terjadi (lihat Gambar 5), diperoleh bidang gelincir yang cukup besar (daerah yang berwarna merah) yaitu sekitar 20 m horisontal dari permukaan lereng sehingga untuk memperkuat lereng panjang perkuatan minimal 20 m agar dapat memberikan pengaruh terhadap kenaikan faktor keamanan lereng.

Pada **Gambar 6**, dapat dilihat bahwa panjang soil nail melebihi bidang gelincir tanah. Hal tersebut dilakukan untuk menahan tanah agar tidak longsor dengan nail-nail yang telah tertancap. Apabila panjang nail tidak lebih melebihi bidang gelincir tanah maka nail akan terbawa sehingga tetap terjadi kelongsoran.



Gambar 7. Visualisasi Penampang Memanjang Permodelan Perkuatan Soil Nailing

Untuk SH (Spacing Horizontal) seperti yang dapat dilihat pada **Gambar 7** yang digunakan adalah 2m berdasarkan SNI 8460-2017. Yang menyatakan bahwa jarak spasi tipikal nail untuk drilled and grouted soil nail minimal sebesar 1,5 m, maka dari itu SH nail yang digunakan adalah 2 m. Berdasarkan hasil perhitungan Plaxis didapatkan nilai SF yang berbeda dari masing-masing kombinasi variabel soil nail. Nilai SF untuk masing-masing kombinasi variabel soil nail disajikan dalam **Tabel 7** dan grafik pada **Gambar 8**.

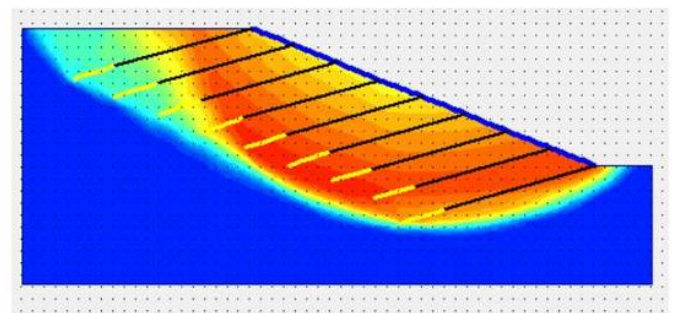
Tabel 7. Hasil Nilai SF Per-Kombinasi

Kombinasi	Faktor Kemananan	Peningkatan Nilai SF terhadap Lereng Tanpa Perkuatan (%)
Tanpa Perkuatan	1,089	0%
1	1,521	39,67%
2	1,576	44,72%
3	1,634	50,05%
4	1,528	40,31%
5	1,569	44,08%
6	1,591	46,10%
7	1,517	39,30%
8	1,546	41,97%
9	1,539	41,32%



Gambar 8. Grafik Perbandingan Nilai SF

Dari **Tabel 7**, terlihat bahwa setiap kombinasi perkuatan menyebabkan peningkatan stabilitas lereng dengan bertambahnya nilai SF. Peningkatan nilai SF lereng setelah diberi perkuatan soil nailing meningkat sebesar kurang lebih 43%, dari yang sebelumnya sebesar 1,089 meningkat menjadi rata-rata 1,5. Selain terlihat dari peningkatan nilai SF, peningkatan stabilitas lereng juga dapat dilihat melalui bidang gelincirnya.



Gambar 9. Bidang Gelincir dengan Perkuatan (Kombinasi 1)

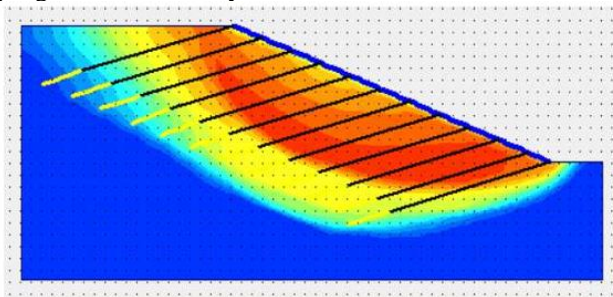
Pada **Gambar 9** terlihat bahwa bidang gelincir dari lereng yang telah diberi perkuatan mengalami perubahan warna, dari yang sebelumnya dominan berwarna merah (dapat dilihat pada **Gambar 5**) menjadi berwarna jingga ke kuningan.

Untuk perbandingan nilai SF lereng setelah diberi perkuatan, kombinasi 3 dinilai memiliki kombinasi variabel soil nailing yang paling optimum karena nilai SF yang diperoleh lebih besar daripada nilai SF kombinasi lain. Peningkatan nilai SF untuk setiap kombinasi berbeda-beda dengan rincian rincian sebagai berikut. Untuk kelompok pertama (panjang dan jumlah nail) kombinasi 1 mengalami peningkatan sebesar 39,67% terhadap SF lereng tanpa perkuatan, kombinasi 2 mengalami peningkatan sebesar 44,72% dan kombinasi 3 mengalami peningkatan sebesar 50,05%. Untuk kelompok pertama menggunakan variabel diameter yang sama yaitu 32 mm untuk setiap kombinasinya. Kombinasi 3 memiliki nilai SF terbesar karena memiliki jumlah nail lebih banyak daripada kombinasi 1 dan 2. Semakin banyak nail yang terpasang maka lereng akan semakin aman dan nilai SF pun akan semakin besar. Selain itu semakin panjang nail melewati bidang gelincir maka akan semakin besar nilai SF yang didapat. Hal tersebut dikarenakan panjang nail yang melewati bidang gelincir mengikat dan menahan pergerakan tanah ke arah horisontal sehingga laju pergerakan tanah semakin rendah.

Untuk kelompok kedua (diameter dan panjang nail) menggunakan variabel jumlah nail yang sama yaitu 12 buah. Kombinasi 4 mengalami peningkatan sebesar 40,31%

terhadap SF lereng tanpa perkuatan. Kombinasi 5 mengalami peningkatan nilai SF sebesar 44,08%. Sedangkan untuk kombinasi 6 mengalami peningkatan sebesar 46,10%. Dari kelompok kedua nilai SF terbesar terdapat pada kombinasi 6 yaitu sebesar 1,591. Hal tersebut dikarenakan kombinasi 6 menggunakan nail dengan diameter terbesar yaitu 32 mm, sehingga diperoleh bahwa semakin besar diameter maka akan semakin kuat nail menahan tanah dan dapat menanggung gaya yang semakin besar juga, seain itu semakin panjang nail melewati bidang gelincir maka semakin kuat juga nail menahan kelongsoran tanah.

Lalu, untuk kelompok ketiga (diameter dan jumlah nail) menggunakan variabel yang sama yaitu panjang nail sebesar 25 m. Kombinasi 7 memiliki peningkatan nilai SF sebesar 39,30% terhadap SF tanpa perkuatan. Kombinasi 8 mengalami peningkatan sebesar 41,97%. Kombinasi 9 mengalami peningkatan sebesar 41,32%. Untuk kelompok ketiga nilai SF tertinggi berada pada kombinasi 8, karena kombinasi 8 memiliki nilai perpindahan yang paling kecil bila dibandingkan dengan kombinasi 7 dan 9. Hal tersebut membuktikan bahwa apabila panjang nail yang digunakan pendek maka akan akan lebih baik menggunakan nail dengan diameter kecil dan jumlah yang tidak terlalu banyak.



Gambar 10. Bidang Gelincir Kombinasi 3

Informasi perhitungan			
Pengali			
Informasi tambahan			
Informasi langkah			
Langkah	3053 dari 3053	Faktor ekstrapolasi	1,000
Langkah Plastis		Kelakuan relatif	0,000
Pengali			
	Peningkatan Faktor pengali	Faktor pengali total	
Perpindahan tertentu	Mdsp: 0,000	I-Mdsp:	0,000
Sistem beban A	MoadA: 0,000	I-MoadA:	1,000
Sistem beban B	MoadB: 0,000	I-MoadB:	0,000
Berat tanah	Mweight: 0,000	I-Mweight:	1,000
Percepatan	Maccel: 0,000	I-Maccel:	0,000
Faktor reduksi kekuatan	Msf: 0,000	I-Msf:	1,634
Waktu	Mtime: 0,000	Waktu akhir:	0,000
Waktu dinamis	Mtime: 0,000	Waktu akhir:	0,000

Gambar 11. Informasi Perhitungan pada Kombinasi 3

Dari 9 (sembilan) kombinasi tersebut bila membandingkan dari segi nilai SF kombinasi 3 memiliki nilai SF tertinggi diantara kombinasi lainnya. Dapat dilihat juga pada Gambar 10 bahwa bidang gelincir semakin mengecil dan berwarna kebiruan dibandingkan dengan bidang gelincir lereng sebelum diberi perkuatan. Angka keamanan yang didapatkan pada kombinasi 3 sebesar 1,634 (lihat Gambar 11) yang memiliki kenaikan SF tertinggi dari kombinasi lain yaitu sebesar 50,05%. Sehingga dapat diambil kesimpulan bahwa semakin besar diameter, panjang nail dan semakin banyak jumlah nail, maka nilai SF dari lereng tersebut akan semakin besar. Dari ketiga kelompok variabel yang telah diuji, kelompok

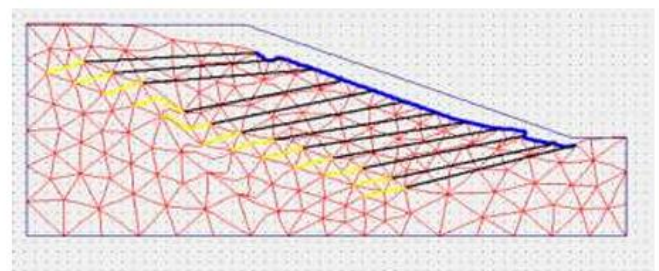
pertama (variabel panjang dan jumlah) dinilai paling optimum diantara kedua kelompok lainnya. Hal tersebut dikarenakan semakin banyak dan semakin dalam nail tertancap kedalam lereng maka akan semakin sedikit pula pergerakan lereng yang terjadi karena nail-nail yang mengikat partikel partikel tanah lereng.

3.2 Analisis Deformasi

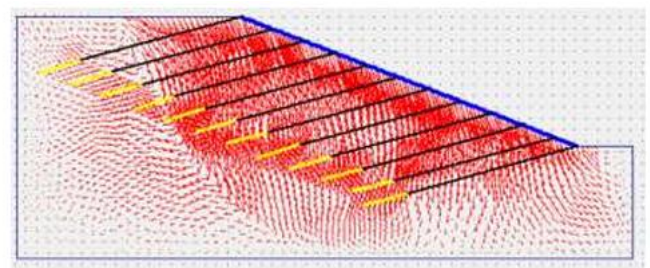
Deformasi lereng adalah perubahan bentuk yang terjadi pada lereng akibat adanya gaya-gaya yang tertumpu pada lereng. Analisis ini dilakukan untuk mengetahui peningkatan laju pergerakan lereng sebelum dan sesudah diberi perkuatan. Beberapa peneliti mengilustrasikan laju kritikal pergerakan lereng di antaranya adalah Broadbent dan Zavodni, 1984 menyatakan bahwa keruntuhan lereng dapat diprediksi ketika pergerakan massa batuan atau tanah mencapai 3 mm/hari dan keruntuhan dapat terjadi apabila laju pergerakan mencapai 200 mm/hari. Deformasi lereng yang terjadi terhadap setiap kombinasi dapat dilihat pada Tabel 8.

Tabel 8. Deformasi Lereng

Kombinasi	Deformasi Lereng (cm)
Tanpa Perkuatan	0,114
1	0,294
2	0,67
3	0,331
4	0,543
5	0,519
6	0,28
7	0,347
8	0,615
9	0,364



(a)



(b)

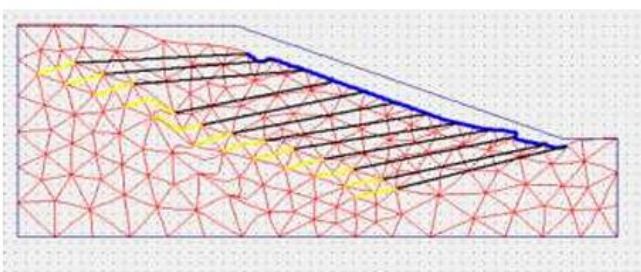
Gambar 11. Deformasi Lereng (a) Penurunan Lereng pada Kombinasi 3, (b) Arah Gerakan Lereng pada Kombinasi 3

Pada **Tabel 8**, didapatkan nilai estimasi deformasi lereng tanpa perkuatan sebesar 0,114 cm, yang berarti deformasi yang terjadi pada lereng tanpa perkuatan sangat kecil. Hal itu berarti karena adanya tegangan air maka terjadi perpindahan lereng yang menyebabkan lereng tergolong kritis. Deformasi lereng setelah diberi perkuatan bila dilihat pada **Tabel 8** terjadi peningkatan sebesar kurang lebih 1% terhadap deformasi lereng tanpa perkuatan. Hal tersebut dikarenakan adanya perubahan bentuk lereng yang terjadi akibat pemasangan soil nailing (lihat pada Gambar 4.8 (a)). Bila melihat trend deformasi yang terjadi pada lereng yang diberi perkuatan, penggunaan perkuatan soil nailing menyebabkan berubahnya arah pergerakan lereng, yang sebelumnya bergerak ke arah horizontal menjadi ke arah vertikal (lihat pada **Gambar 11 (b)**). Lalu, bila melihat berdasarkan pernyataan Broadbent dan Zavodni, 1984 deformasi yang terjadi pada lereng kurang dari 200 mm/hari sehingga lereng tergolong aman dari keruntuhan.

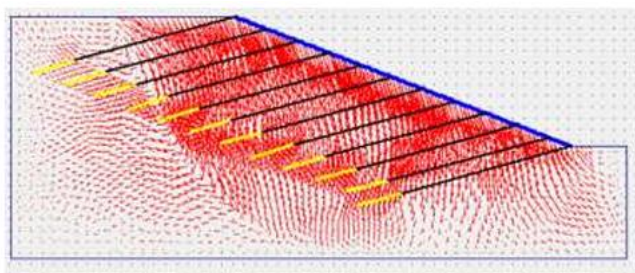
Untuk gaya deformasi terhadap nail dan shotcrete dapat dilihat pada **Tabel 9** dan **Tabel 10**.

Tabel 9. Deformasi terhadap nail

Deformasi nail (sebelum modifikasi) (cm)												
Komb	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12
1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	-	-	-
2	0,24	0,172	0,151	0,18	0,2	0,3	0,35	0,279	0,24	0,18	-	-
3	0,12	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
4	0,24	0,215	0,206	0,2	0,24	0,26	0,26	0,259	0,24	0,24	0,22	0,22
5	0,16	0,194	0,218	0,24	0,25	0,27	0,28	0,279	0,27	0,26	0,22	0,213
6	0,1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
7	0,14	0,11	0	0	0	0	0	0	0	0	-	-
8	0,26	0,219	0,243	0,29	0,33	0,39	0,35	0,355	0,27	0,21	-	-
9	0,14	0,16	0,109	0,12	0,15	0,12	0,13	0,144	0,15	0,17	0	0



(a)



(b)

Gambar 12. (a) Penurunan Tanah Kombinasi 3, (b) Pergerakan Nail pada Kombinasi 3

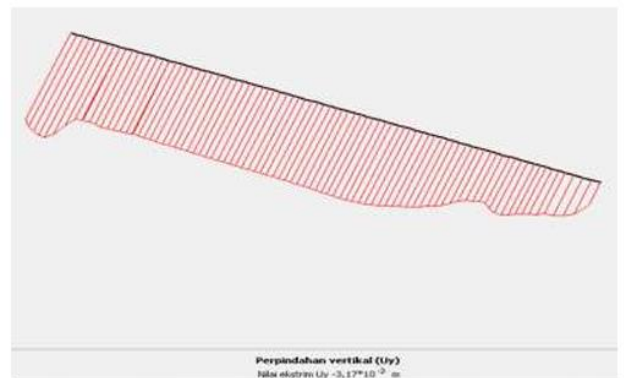
Nilai deformasi pada nail dapat mempengaruhi nilai deformasi lereng. Hal tersebut dibuktikan dengan semakin kecil nilai deformasi pada nail maka nilai deformasi lereng pun akan semakin kecil. Nilai deformasi pada nail berpengaruh karena apabila nail mengalami laju pergerakan yang besar maka partikel-partikel tanah lereng yang diikat oleh nail tersebut akan ikut mengalami pergerakan, sehingga perubahan bentuk lereng akan terjadi.

Pada **Tabel 9**, dapat dilihat bahwa nail kombinasi 3 rata-

rata memiliki deformasi yang cukup rendah dibandingkan dengan kombinasi lainnya. Hal tersebut terjadi karena pergerakan tanah pada kombinasi 3 terhalang oleh nail-nail yang ditancapkan ke lereng sehingga lereng stabil. Sedangkan, untuk deformasi yang terjadi pada shotcrete rata-rata memiliki penurunan yang sama, yaitu rata-rata sebesar 0,408 cm dari permukaan lereng. Hal tersebut menandakan bahwa terjadi sedikit penurunan pada shotcrete (lihat **Tabel 10** dan **Gambar 13**).

Tabel 10. Deformasi terhadap Shotcrete

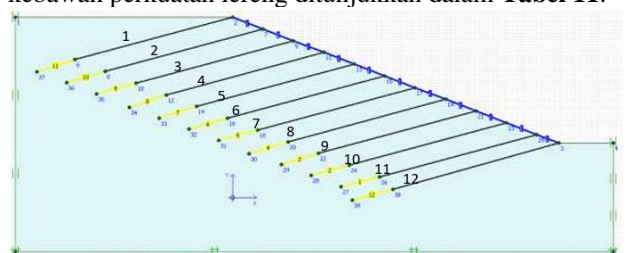
Kombinasi	Deformasi Shotcrete (cm)
1	0,284
2	0,56
3	0,317
4	0,489
5	0,468
6	0,362
7	0,328
8	0,519
9	0,347



Gambar 13. Deformasi terhadap Shotcrete pada Kombinasi 3

3.3 Analisis Stabilitas Internal Soil Nailing

Gaya aksial pada nail adalah gaya dalam yang bekerja tegak lurus terhadap penampang potong atau sejajar dengan sumbu batang nail. Gaya-gaya aksial maksimum yang bekerja pada setiap nail dengan penomoran nail (lihat **Gambar 14**) yang dimulai dari atas hingga kebawah perkuatan lereng ditunjukkan dalam **Tabel 11**.



Gambar 14 Perletakan Penomoran Nail pada Lereng

Tabel 11. Gaya Aksial Maksimum Nail Pada Setiap Kombinasi (kN)

Kombinasi	nail											
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12
1	0,22	0,26	0,166	0,03	0,1	0,2	0,3	0,367	0,6	-	-	-
2	0,22	0,27	0,319	0,18	0	0,1	0,2	0,29	0,4	0,5	-	-
3	0,07	0,19	0,153	0,53	0,5	0,4	0,3	0,096	0,3	0,5	0,3	0,75
4	0,17	0,16	0,198	0,14	0	0,1	0,1	0,167	0,2	0,2	0,3	0,385
5	0,19	0,18	0,261	0,21	0,1	0	0,1	0,181	0,2	0,3	0,4	0,48
6	0,25	0,19	0,28	0,2	0	0,1	0,1	0,215	0,3	0,3	0,4	0,56
7	0,17	0,17	0,139	0	0,1	0,1	0,2	0,25	0,4	-	-	-
8	0,22	0,23	0,261	0,12	0,1	0,1	0,2	0,262	0,3	0,5	-	-
9	0,17	0,24	0,234	0,25	0,3	0,2	0,1	0,08	0,3	0,4	0,3	0,56

Pada **Tabel 11**, dapat dilihat gaya maksimal yang terjadi pada nail adalah 0,75. Gaya tersebut tergolong kecil sehingga masih aman dan dapat menopang lereng sehingga tidak perlu ada perhitungan stabilitas internal soil nailing.

4 Kesimpulan

Pada hasil penelitian ini, terdapat kesimpulan pada hasil analisis stabilitas lereng tanpa adanya perkuatan memiliki nilai SF sebesar 1,084. Nilai tersebut termasuk aman karena persyaratan minimum nilai SF >1,25. Penambahan perkuatan soil nailing pada lereng terbukti dapat menambah nilai SF maksimal sebesar 50,05% (relatif besar kenaikannya) dari nilai SF lereng sebelum diberi perkuatan. Selain itu penambahan soil nailing pada lereng juga dapat memperkecil bidang longsor lereng.

Setelah dibandingkan dari ke 9 (sembilan) kombinasi, kombinasi 3 memiliki nilai SF yang terbesar yaitu 1,634 dengan deformasi terhadap lereng sebesar 0,329 cm. Variabel yang sangat mempengaruhi dalam perkuatan soil nailing adalah variabel panjang dan jumlah. Semakin banyak jumlah soil nail dan semakin panjang nail maka nilai SF akan semakin besar dan nilai total displacementnya pun semakin kecil, karena tanah tertahan nail.

Selain hal tersebut, perkuatan lereng dengan menggunakan *soil nailing* dapat menerima gaya aksial yang tergolong cukup besar namun gaya aksial yang terjadi pada permodelan lereng ini tergolong kecil dan masih dibawah batas maksimum gaya yang ditampung oleh nail.

Hal tersebut berbanding lurus dengan angka keamanan lereng yang sudah aman dan nilai deformasi yang cenderung kecil, sehingga pergerakan yang terjadi pada nail tidak terlalu besar.

Daftar Pustaka

- [1] Bowles, Joseph E. 1996. Foundation Analysis and Design. Singapore ; McGraw- Hill
- [2] Das, B. M. 1985. Mekanika Tanah (Prinsip-prinsip Rekayasa Geoteknis). Jakarta: Erlangga.
- [3] Fauzi, A. N. 2012. Analisis Tegangan-Perpindahan dan Faktor Keaman (SF) Pada Lereng Miring Dengan Perkuatan Soil Nailing Menggunakan Program Plaxis 8.2. Universitas Sebelas Maret, Fakultas Teknik, Surakarta.
- [4] FHWA. (1998). Manual for Design & Construction Monitoring of Soil Nail Walls. Federal Highway Administration, US Department of Transportation, USA.
- [5] FHWA. (2003). Geotechnical Circular No. 7 Soil Nail Walls. Publication FHWA- IF-03017, U.S. Department of Transportation, Federal Highway Administration, Washington, D.C.
- [6] G.L. Sivakumar Babu, V. P. 2009. Simulation of Soil Nail Structures using Plaxis 2D. Plaxis Bulletin.
- [7] Hardiyatmo, H. C., & Widodo, P. 1992. Mekanika Tanah. Gramedia Pustaka Utama, Jakarta.
- [8] Kumalasari, V. 2012. Analisis Stabilitas Lereng dengan Perkuatan Soil Nailing Menggunakan Program Geoslope (Studi Kasus: Lereng Desa Bantas, Kecamatan Selemadeg Timur, Kabupaten Tabanan, Bali).
- [9] Manual PLAXIS 8.6 2D version 8
- [10] Pangestu, E. C. 2018. Perencanaan Perkuatan Lereng dengan Metode Soil Nailing di Derah Bantul Yogyakarta.
- [11] Riogilang, H., Pontoring, C., & Mekel, A. 2014. Soil Nailing dan Anchor Sebagai Solusi Aplikatif Penahan Tanah Untuk Potensi Longsor di STA 7+250 Ruas Jalan Manado-Tomohon. Jurnal Ilmiah Media Engineering, 4 (2).