

ANALISIS PERKUATAN *SOIL NAILING* SEBAGAI METODE PERBAIKAN STABILITAS LERENG

Fawwaz Hanif¹⁾ Bambang Setiawan²⁾ Harya Dananjaya H. I.³⁾

¹⁾ Mahasiswa, Jurusan Teknik Sipil, Universitas Sebelas Maret Surakarta

^{2) 3)} Dosen, Jurusan Teknik Sipil, Universitas Sebelas Maret Surakarta

Jalan Ir.Sutami No.36A Surakarta 57126. Telp.0271647069. Email : efhanif.94@gmail.com

ABSTRAK

Perbaikan stabilitas lereng dapat mengurangi resiko kelongsoran yang mungkin terjadi. Permasalahan yang sering dijumpai adalah terbatasnya lahan, biaya konstruksi, dan durasi pekerjaan. Salah satu metode untuk perkuatan lereng adalah *soil nailing*. Metode ini sudah banyak digunakan pada beberapa kasus perbaikan stabilitas lereng. Analisis SF menggunakan metode Fellenius dengan bantuan metode kesetimbangan batas kemudian diperiksa stabilitas internal dan eksternalnya. Penelitian ditujukan untuk menganalisis pengaruh sudut kemiringan lereng, panjang *nail*, dan bentuk lereng terhadap nilai *safety factor* (SF) lereng sehingga didapat desain yang efisien. Kondisi efisien ditentukan dari variasi dengan kebutuhan jumlah tulangan paling sedikit namun tetap memenuhi stabilitas internal maupun eksternal. Hasil penelitian didapat bahwa perubahan sudut kemiringan lereng dari 60° menjadi 90° dapat menurunkan SF sebesar 52,6%. Pertambahan panjang *nail* dari 8 m menjadi 10 m meningkatkan SF rata-rata sekitar 14,8% sedangkan dari 10 m menjadi 12 m meningkat sebesar 11,3%. Pertambahan panjang *nail* dari 8 m menjadi 12 m meningkatkan SF rata-rata sekitar 27,9%. Perubahan bentuk lereng dari tanpa trap menjadi satu trap dengan *bench* selebar 4 m pada setengah tinggi lereng dapat meningkatkan SF sekitar 23,2%. Perubahan bentuk lereng ini juga dapat memperlebar bidang longsor kritis di bawah lereng dan menurunkan stabilitas internal tulangan.

Kata Kunci: *soil nailing*, *safety factor*, Fellenius, trap

ABSTRACT

Slope stability improvement could decrease the landslide risk that may occur. In slope reinforcement work, the general problems encountered are limited site availability, construction cost and duration. One of slope reinforcement method is soil nailing. This method has been used for some slope stability improvement cases. Fellenius stability method is calculated to analyze the safety factor using limit equilibrium method and then be checked the internal and external stability. The purpose of this research is to analyze the effect of the slope angle, nail length, and slope shape against the slope safety factor to find the efficient design. The efficient design showed by the variation with less nail used but meet the minimum standard of internal and external safety factor. The result show that the increase of slope angle from 60° to 90° will decrease the safety factor by 52,6%. The increase of nail length used from 8 m to 10 m will increase the safety factor approximately by 14,8% while the increase from 10 m to 12 m increased the safety factor by 11,3%. The increase of nail length used from 8 m to 12 m will increase the safety factor approximately by 27,9%. The slope shape transformation with bench width 4 m at half of total slope height will increase the safety factor by 23,2%. This slope shape transformation also widen the critical slip surface below the slope and decrease the internal stability of the nail bar.

Keywords: *soil nailing*, *safety factor*, Fellenius, *benching*

1. PENDAHULUAN

Indonesia merupakan negara dengan kondisi topografi yang tidak rata dimana kestabilan lereng menjadi salah satu hal yang sangat diperhitungkan, terutama pada beberapa daerah perbukitan. Permasalahan yang umumnya dihadapi dalam pekerjaan perkuatan lereng adalah minimnya ketersediaan lahan. Faktor biaya dan lamanya durasi pekerjaan juga menjadi hal penting untuk dipertimbangkan. Salah satu metode perbaikan lereng yang telah banyak diterapkan saat ini adalah *soil nailing*. Metode perkuatan ini dilakukan dengan cara memasukkan tulangan-tulangan baja ke dalam tanah. Tujuan penelitian ini adalah untuk menemukan salah satu desain konstruksi *soil nailing* yang efisien dari variasi kemiringan lereng, panjang *nail*, dan bentuk lereng yang dianalisis dengan metode Fellenius. Selain efisien, konstruksi juga harus memenuhi faktor aman stabilitas internal maupun eksternal.

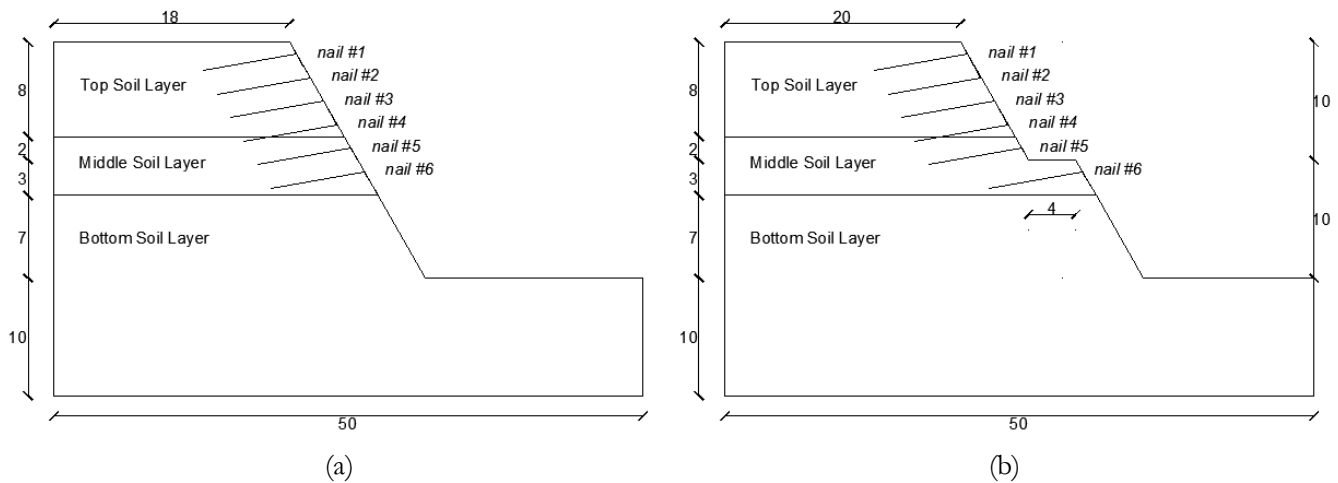
2. TINJAUAN PUSTAKA

Penelitian tentang kekuatan *soil nailing* telah banyak dilakukan dengan pemodelan menggunakan , salah satunya adalah penelitian Kumalasari, (2012) menganalisis stabilitas lereng dengan kekuatan *soil nailing* menggunakan metode kesetimbangan batas. Hasil dari penelitian didapat bahwa semakin bertambahnya sudut kemiringan lereng maka nilai *safety factor* (*SF*) akan turun. Hal serupa juga terjadi bila sudut *nail* bertambah maka nilai *SF* semakin turun. Pertambahan jarak antar *nail* menjadi semakin renggang juga menyebabkan penurunan angka keamanan lereng. Pengaruh pertambahan panjang *nail* juga telah diteliti lebih lanjut oleh Aza, (2012) yang melakukan studi analisis tegangan-perpindahan dan faktor keamanan (*SF*) pada lereng miring dengan kekuatan *soil nailing* dengan menggunakan metode elemen hingga. Hasil penelitian mengungkapkan bahwa penambahan panjang *nail* akan meningkatkan nilai *SF*.

Soil nailing telah banyak direkomendasikan untuk mengatasi masalah kelongsoran di Indonesia. Ketika musim hujan tiba, daerah perbukitan menjadi daerah yang rawan terjadi longsor. Curah hujan yang tinggi akan berdampak pada penurunan angka stabilitas lereng. Penelitian Hendra, (2014) membuktikan bahwa kekuatan *soil nailing* dapat meningkatkan nilai *safety factor* lereng dari keruntuhan. *Soil nailing* menawarkan alternatif dari sudut pandang kelayakan teknis, biaya konstruksi, dan durasi konstruksi. Studi dilakukan pada kasus longsoran yang terjadi di ruas jalan Manado-Tomohon, Sulawesi Utara. Penggunaan *soil nailing* dengan kombinasi anker dinilai aplikatif, praktis, dan ekonomis untuk mengatasi masalah longsor di daerah tersebut.

3. METODE PENELITIAN

Penelitian menggunakan parameter tanah dan *soil nailing* yang didapat dari data sekunder. Data parameter tanah didapat dari hasil pengujian bor dalam di daerah Selo, Jawa Tengah. Data parameter *soil nailing* berupa data diameter tulangan, diameter bor, sudut kemiringan *nail* dan kapasitas beban aksial tulangan. Pemodelan lereng pada penelitian ini divariasikan menurut tiga variabel. Variabel penelitian ini meliputi variasi sudut kemiringan lereng, panjang *nail*, dan bentuk lereng. Variabel sudut lereng yang digunakan adalah sudut kemiringan 60° dan 90°. Panjang *nail* yang digunakan ditetapkan tiga variasi yaitu 8 m, 10 m, dan 12 m. Bentuk lereng yang dianalisis pada penelitian ini yaitu lereng tanpa trap dan satu trap. Ketiga jenis variabel dikombinasikan sehingga didapat 16 variasi kekuatan *soil nailing*.



Gambar 1 Variabel lereng: (a) tanpa trap, (b) satu trap

Analisis dilakukan dengan metode kesetimbangan batas selanjutnya dipilih variasi dengan yang aman dengan nilai *safety factor* (*SF*) lebih dari 1,25 (Bowles, 1989). Variasi dihitung stabilitas internal yang meliputi faktor aman terhadap putus dan cabut tulangan. Desain yang memenuhi stabilitas internal akan dibandingkan dan dicari desain efisien yang memerlukan tulangan paling sedikit untuk mencapai angka aman.

Desain efisien yang didapat dari hasil analisis stabilitas internal selanjutnya dihitung stabilitas eksternalnya. Perhitungan stabilitas eksternal menganggap struktur kekuatan pasif sebagai sebuah blok padat yang berfungsi menahan gaya-gaya penyebab longsor yang berada di blok aktif. Analisis stabilitas eksternal meliputi faktor aman terhadap pergeseran, penggulingan, dan kegagalan daya dukung tanah dasar.

4. ANALISIS DAN PEMBAHASAN

4.1 Analisis menggunakan metode kesetimbangan batas

Perhitungan analisis lereng dengan perkuatan *soil nailing* pada metode kesetimbangan batas menggunakan metode Fellenius. Salah satu contoh adalah variasi 3 dengan sudut kemiringan lereng 60 derajat *single decker* dan panjang *nail* 10 m. Terdapat 6 *nail* sama panjang dengan sudut kemiringan pemasangan 10 derajat. Jarak antar *nail* adalah 2 m sedangkan jarak ke tepi lereng adalah 1 m. Hasil analisis dengan metode Fellenius didapat angka keamanan sebesar 1,295. Angka keamanan ini jauh lebih besar dibandingkan kondisi lereng tanpa perkuatan yang hanya 0,696. Hasil

perhitungan untuk 16 variasi disajikan dalam Tabel 1.

Tabel 1 Hasil analisis dengan metode kesetimbangan batas

Variasi	Kemiringan Lereng	Panjang <i>Nail</i>	<i>SF</i>	Keterangan
1	60 Tanpa trap	(Tanpa Perkuatan)	0,696	Tidak aman
2		8 m	1,113	Tidak aman
3		10 m	1,295	Aman
4		12 m	1,445	Aman
5	90 Tanpa trap	(Tanpa Perkuatan)	0,330	Tidak aman
6		8 m	0,759	Tidak aman
7		10 m	0,889	Tidak aman
8		12 m	1,050	Tidak aman
9	60 Satu trap	(Tanpa Perkuatan)	0,786	Tidak aman
10		8 m	1,318	Aman
11		10 m	1,518	Aman
12		12 m	1,746	Aman
13	90 Satu trap	(Tanpa Perkuatan)	0,372	Tidak aman
14		8 m	1,116	Tidak aman
15		10 m	1,234	Tidak aman
16		12 m	1,239	Tidak aman

4.2 Analisis perhitungan manual stabilitas internal

Hasil metode kesetimbangan batas berupa nilai *SF* dan setelah selesai analisis diketahui bahwa terdapat variasi yang memiliki nilai $SF \geq 1,25$. Beberapa variasi tersebut adalah Variasi 3, Variasi 4, Variasi 10, Variasi 11, dan Variasi 12. Kelima variasi ini selanjutnya akan dihitung stabilitas internal untuk mengetahui faktor aman terhadap putus tulangan maupun cabut tulangan. Hasil perhitungan stabilitas internal dapat dilihat pada Tabel 2.

Tabel 2 Hasil perhitungan stabilitas internal

Tulangan ke-		#1	#2	#3	#4	#5	#6
Variasi 3 ($L_{nail} = 10$ m)	F_r	7.64	5.23	4.17	1.94	1.58	1.33
	F_p	5.07	3.20	2.59	1.37	1.40	1.61
Variasi 4 ($L_{nail} = 12$ m)	F_r	6.97	5.04	4.0	1.87	1.53	1.30
	F_p	7.26	4.98	3.96	2.02	1.93	2.06
Variasi 10 ($L_{nail} = 8$ m)	F_r	8.52	5.47	4.40	2.02	1.63	1.37
	F_p	0.56	0.34	0.56	0.55	0.86	0.69
Variasi 11 ($L_{nail} = 10$ m)	F_r	7.64	5.23	4.17	1.94	1.58	1.33
	F_p	2.00	1.38	1.39	0.94	1.19	1.03
Variasi 12 ($L_{nail} = 12$ m)	F_r	6.97	5.04	3.96	1.87	1.53	1.29
	F_p	9.35	6.26	4.84	2.40	2.22	1.66

dengan: F_r = faktor aman terhadap putus tulangan $\geq 1,20$
 F_p = faktor aman terhadap cabut tulangan $\geq 1,50$ (Hardiyatmo, 2006)

Hasil perhitungan stabilitas internal kelima variasi menunjukkan hasil yang berbeda-beda. Hasil perhitungan stabilitas internal menunjukkan bahwa variasi 3 memiliki faktor keamanan yang cukup baik, namun perlu adanya penambahan panjang tulangan terutama pada *nail* ke-4 dan ke-5. Penambahan panjang tulangan ini dimaksudkan untuk menambah faktor keamanan terhadap tercabutnya tulangan (F_p).

Variasi 4 diketahui keseluruhan angka faktor aman memenuhi standar minimal yang ditetapkan. Variasi ini menggunakan 6 buah tulangan baja sepanjang 12 meter. Lereng pada variasi ini memiliki sudut kemiringan 60° dan merupakan lereng tanpa trap. Keseluruhan tulangan dapat dikatakan aman terhadap bahaya putus tulangan dan juga terhindar dari resiko tercabutnya tulangan.

Kondisi berbeda ditunjukkan pada variasi 10. Variasi ini memiliki bentuk berbeda yakni lereng satu trap dengan sudut 60° . Tulangan yang digunakan sejumlah 6 buah dengan panjang masing-masing tulangan adalah 8 m. Tulangan yang dipasang memiliki kekuatan yang cukup sehingga aman dari resiko putus, akan tetapi keseluruhan tulangan beresiko tercabut karena memiliki F_p kurang dari 1,50. Bidang longsor menjadi lebih lebar daripada lereng tanpa trap dengan kemiringan yang sama. Hal ini dapat menurunkan nilai stabilitas internal setiap tulangan.

Variasi 11 memiliki kondisi yang mirip dengan variasi 3. Panjang *nail* yang digunakan adalah sama yaitu 10 meter dengan jumlah tulangan adalah 6 buah. Perbedaan terdapat pada bentuk lereng variasi 11 adalah satu trap. Hasil perhitungan variasi 11 menunjukkan bahwa terdapat 4 tulangan yang beresiko tercabut dari tempatnya, yaitu *nail* ke-2 sampai *nail* ke-6. Variasi 11 membutuhkan penambahan panjang tulangan yang lebih banyak dibandingkan dengan variasi 3. Variasi 12 memiliki faktor keamanan yang paling baik. Lereng pada variasi ini merupakan lereng satu trap dengan sudut kemiringan 60° . Seluruh tulangan aman dari resiko putus dan juga terhindar dari resiko tercabut.

Hasil perhitungan stabilitas internal kelima variasi menunjukkan bahwa terdapat beberapa variasi yang berpotensi menjadi desain yang efisien, yaitu variasi 3, variasi 4 dan variasi 12. Proses analisis lebih lanjut perlu dilakukan untuk mengetahui kemungkinan variasi 3 menjadi desain yang paling efisien. *Trial* dilakukan dengan cara menambah panjang *nail* yang beresiko tercabut dari tempatnya, yaitu *nail* ke-4 dan *nail* ke-5. Untuk variasi 4 dan variasi 12 tidak dilakukan *trial* lebih lanjut dikarenakan keseluruhan *nail* telah mencapai faktor aman stabilitas internal.

4.2.1 Perbaikan stabilitas internal variasi 3

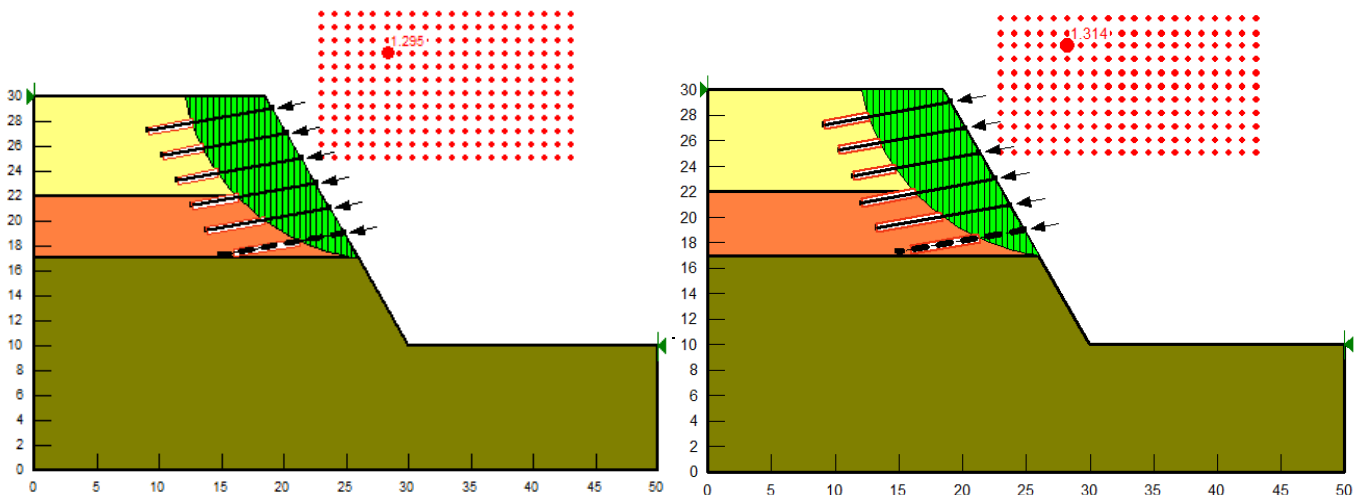
Berdasarkan hasil analisis stabilitas internal pada variasi 3, terdapat tulangan yang beresiko tercabut dari tempatnya yaitu *nail* ke-4 dan ke-5. Kedua tulangan ini harus diberi perbaikan berupa penambahan panjang sehingga dapat menembus bidang longsor lebih dalam. Hasil perhitungan F_p disajikan pada Tabel 3.

Tabel 3 Perbaikan variasi 3

<i>Nail</i>	L_o (m)	L_{p0} (m)	ΔL_p (m)	L_{p1} (m)	L_l (m)	F_p
<i>nail</i> ke-4	10	3,731	0,55	4,281	10,55	1,51
<i>nail</i> ke-5	10	4,682	0,52	5,202	10,52	1,50

dengan:

- L_o = Panjang awal tulangan
- L_{p0} = Panjang awal tulangan di belakang bidang longsor
- ΔL_p = Pertambahan panjang
- L_{p1} = Panjang akhir tulangan di belakang bidang longsor
- L_l = Panjang akhir tulangan



(a)

(b)

Gambar 2 (a) Analisis variasi 3 sebelum perbaikan; (b) Analisis variasi 3 setelah perbaikan

Hasil perbaikan menyatakan faktor aman terhadap cabut tulangan pada *nail* ke-4 meningkat menjadi 1,51 setelah tulangan diperpanjang 0,55 m sedangkan faktor aman *nail* ke-5 meningkat menjadi 1,50 setelah diberi pertambahan panjang tulangan sebesar 0,52 m. Pertambahan panjang tulangan juga memberikan dampak positif terhadap stabilitas lereng secara keseluruhan. Berdasarkan perhitungan metode kesetimbangan batas, nilai *safety factor* meningkat dari 1,295 menjadi 1,314.

Ketiga variasi telah mencapai standar faktor aman stabilitas internal. Keseluruhan tulangan telah memenuhi standar minimum faktor aman terhadap putus tulangan maupun terhadap tercabutnya tulangan. Ketiga variasi akan ditinjau dari aspek kebutuhan material tulangan baja. Aspek ini yang menentukan manakah desain *soil nailing* yang aman dan membutuhkan material paling sedikit. Perbandingan kebutuhan material tulangan baja setiap variasi adalah sebagai berikut:

Tabel 4 Perbandingan kebutuhan material tulangan baja

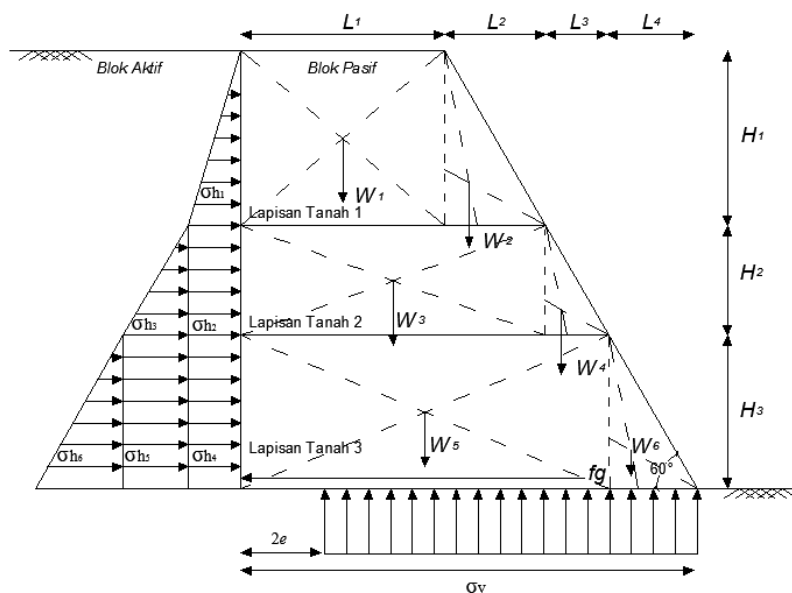
Variasi	SF	Panjang tulangan ke- (m)						Total (m)
		# 1	# 2	# 3	# 4	# 5	# 6	
Variasi 3 ^{*)}	1,314	10	10	10	10,55	10,52	10	61,07
Variasi 4	1,518	12	12	12	12	12	12	72
Variasi 12	1,746	12	12	12	12	12	12	72

^{*)} Variasi 3 setelah perbaikan

Tabel 4 menunjukkan bahwa variasi 3 merupakan desain yang membutuhkan material tulangan baja paling sedikit dibandingkan dengan variasi 4 maupun variasi 12.

4.3 Analisis perhitungan manual stabilitas eksternal

Tegangan horizontal dipengaruhi oleh gaya-gaya penyebab longsor pada blok aktif. Gaya penahan pada blok pasif dipengaruhi oleh berat sendiri struktur. Besarnya stabilitas eksternal bergantung pada kemampuan massa tanah bertulang untuk menahan beban-beban luar dengan tanpa adanya resiko keruntuhan struktur. Gaya-gaya yang bekerja pada lereng dapat dilihat pada Gambar 3 berikut.

**Gambar 3** Gaya-gaya pada lereng

Perhitungan stabilitas eksternal menganggap kontribusi tulangan baja adalah sebagai penentuan lebar dinding bertulang. Lebar ini dihitung dengan memproyeksikan tulangan yang dipasang dengan sudut kemiringan tertentu terhadap arah horizontal. Tulangan yang dijadikan acuan adalah tulangan yang terletak dibagian paling atas dari lereng tersebut. Hasil perhitungan stabilitas eksternal disajikan pada Tabel 5 berikut.

Tabel 5 Perhitungan faktor aman stabilitas eksternal

Parameter	Faktor aman	Syarat	Keterangan
Faktor aman terhadap penggeseran (F_{gs})	2,87	$\geq 1,5$	Aman
Faktor aman terhadap penggulingan (F_{gl})	10,6	$\geq 1,5$	Aman
Faktor aman terhadap kegagalan daya dukung tanah dasar (F)	25,45	$\geq 2,0$	Aman

Dari hasil perhitungan stabilitas eksternal maka variasi 3 tergolong stabil karena memenuhi angka aman minimum.

5. KESIMPULAN

Kesimpulan yang diperoleh dari penelitian ini adalah:

- Perubahan sudut kemiringan lereng dari 60° menjadi 90° dapat menurunkan nilai *safety factor* sebesar 52,6%.
- Pertambahan panjang *nail* dari 8 m ke 10 m dapat meningkatkan *safety factor* rata-rata sebesar 14,8%. Pertambahan panjang *nail* dari 10 m ke 12 m rata-rata meningkatkan *safety factor* sebesar 11,3%. Pertambahan panjang *nail* dari 8 m ke 12 m rata-rata meningkatkan *safety factor* sebesar 27,9%.
- Perubahan bentuk lereng dari tanpa trap menjadi satu trap dengan *bench* selebar 4m di $\frac{1}{2}$ tinggi lereng keseluruhan dapat meningkatkan nilai *safety factor* sebesar 23,2 %.
- Perubahan bentuk lereng menjadi satu trap dapat memperlebar bidang longsor kritis dibawah lereng dan menurunkan stabilitas internal.
- Lereng tanpa trap dengan kemiringan 60° dan panjang *nail* setelah perbaikan merupakan desain paling efisien, dengan nilai SF putus tulangan tiap nail $> 1,20$; SF cabut tulangan $> 1,50$; SF geser 2,87; SF guling 10,6; SF kapasitas dukung tanah 25,45.

6. DAFTAR PUSTAKA

- FHWA, 2015. *Soil Nail Walls Reference Manual*. Washington, D. C, U.S. Department of Transportation, Federal Highway Administration.
- Prashant A. and Mukherjee M., 2010. *Soil Nailing for Stabilization of Steep Slopes Near Railway Tracks*. Department of Civil Engineering, Indian Institute of Technology Kanpur.
- Hardiyatmo, C. H., 2006. *Teknik Fondasi 1*. Edisi Ketiga. Bulaksumur, Yogyakarta : Gajah Mada University Press.
- Hardiyatmo, C. H., 2010. *Mekanika Tanah 2*. Edisi Kelima. Bulaksumur, Yogyakarta : Gajah Mada University Press.
- Fauzi, A. N., 2012, Analisis Tegangan-Perpindahan dan Faktor Keamanan (SF) pada Lereng Miring dengan Perkuatan *Soil Nailing* Menggunakan Plaxis 8.2, Surakarta, Universitas Sebelas Maret.
- Kumalasari, V., 2012. *Analisis Stabilitas Lereng dengan Perkuatan Soil Nailing menggunakan Metode kesetimbangan batas*. Skripsi S1. Surakarta : Jurusan Teknik Sipil, Fakultas Teknik, Universitas Sebelas Maret.
- Nindyantika, E., 2012. *Simulasi Analisis Stabilitas Lereng dengan Perkuatan Geotekstil menggunakan Plaxis 2D v8.2*. Skripsi S1. Surakarta : Jurusan Teknik Sipil, Fakultas Teknik, Universitas Sebelas Maret.
- Hartono, A., 2012. *Analisis Stabilitas Lereng dengan Perkuatan Soil Nailing*. Skripsi S1. Surakarta : Jurusan Teknik Sipil, Fakultas Teknik, Universitas Sebelas Maret.
- Riogilang, H., 2014. *Soil Nailing dan Anchor sebagai Solusi Aplikatif Penahan Tanah untuk Potensi Longsor di Sta 7+250 Ruas Jalan Manado-Tomohon*. Manado : Jurnal Ilmiah. Jurusan Teknik Sipil, Fakultas Teknik, Universitas Sam Ratulangi