

Analisis Stabilitas Lereng Dengan Perkuatan Soil Nailing Menggunakan Program Slope/W Dan Geostructural

Enricho R. B. Imbar¹, Agnes T. Mandagi², Steeva G. Rondonuwu³

Teknik Sipil Universitas Sam Ratulangi Manado, Jl. Kampus Bahu-Unsrat Manado, 95115

¹rayditya22@gmail.com; ²atmandagi@gmail.com; ³steeva_rondonuwu@unsrat.ac.id

Abstrak - Pada kasus lereng yang tidak stabil perlu dilakukan peningkatan pada stabilitasnya. Ada beberapa metode peningkatan stabilitas lereng salah satunya adalah perkuatan dengan soil nailing. Soil nailing merupakan jenis perkuatan pasif pada tanah dengan menancapkan potongan-potongan baja (nails) yang kemudian di-grout. Penelitian ini dimodelkan dengan program Slope/W dan Geostructural. Analisis pengujian data tanah dilakukan untuk mengetahui nilai parameter tanah, didapatkan nilai $c = 35.81 \text{ t/m}^2$, $\phi = 9.61^\circ$, dan $\gamma = 16.09 \text{ kN/m}^3$. Pada hasil penelitian diperoleh bahwa lereng dalam kondisi kritis sehingga diberi perkuatan soil nailing, variasi nail paling efisien didapatkan pada diameter baja ulir 0.043 m, diameter lubang bor 0.15 m, jumlah nail 10 dengan panjang masing-masing 8 m, kemiringan nail 17.5° , spasi jarak nail vertikal 1 m, dan horizontal 1 m. Dari hasil analisis setelah diberi perkuatan diperoleh desain tersebut mampu menahan kelongsoran dengan angka keamanan sebesar 1.659 pada perhitungan secara manual, sedangkan pada program Slope/W mendapatkan angka keamanan sebesar 1.534 dan pada program Geostructural mendapatkan angka keamanan sebesar 1.53.

Kata kunci — stabilitas lereng, soil nailing, Bishop, slope/w, geostructural

I. PENDAHULUAN

A. Latar Belakang

Indonesia merupakan Negara yang memiliki kondisi geografis dan geologis yang khususnya pada dataran tinggi di Minahasa, banyak bukit dan lereng yang digunakan masyarakat sekitar untuk dibuat pemukiman maupun jalan raya untuk mempermudah transportasi. Stabilitas tanah pada lereng dapat terganggu oleh berbagai akibat seperti akibat pengaruh manusia, iklim, ataupun alam itu sendiri. Karena ketidakseimbangan gaya yang bekerja pada lereng atau gaya

dorong lereng lebih besar dari gaya penahan lereng tersebut sehingga terjadi longsor. Kerusakan yang ditimbulkan longsor ini bukan hanya fasilitas umum atau lahan pertanian saja, tetapi juga melumpuhkan kegiatan perekonomian dan pembangunan warga sekitar dan yang lebih para lagi memakan korban jiwa.

Ruas Jalan Trans Sulawesi tepatnya di Desa Lelema, Kecamatan Tumpa, Kabupaten Minahasa Selatan pada Desember 2018 lalu terjadi longsor yang mengakibatkan kemacetan panjang yang merugikan pengguna jalan baik itu dalam aspek ekonomi, social, budaya, politik, keamanan, ataupun keselamatan masyarakat. Pada awal tahun 2019 dilakukan solusi dengan pembuatan dinding penahan tanah setinggi 2 meter dan lereng bagian atas dari dinding penahan yang setinggi 12 meter hanya dilakukan cutting atau dikeruk dengan kemiringan lereng yang cukup curam tanpa adanya perkuatan. Solusi diatas sangat mengkhawatirkan karena memungkinkan lereng tersebut longsor kembali dalam kondisi hujan dan tidak menutup kemungkinan akan ada korban.

Demi mencegah hal-hal yang tidak diinginkan maka perlu dilakukannya pemeriksaan kestabilan lereng lagi pada lokasi tersebut sekaligus melakukan upaya perkuatan pada lereng juga. Sudah banyak alternatif perkuatan lereng yang ada pada saat ini, namun di Indonesia khususnya di Sulawesi Utara jarang diberikan perkuatan seperti soil nailing karena biaya yang mahal. Tapi jika dibandingkan dengan solusi-solusi pada umumnya seperti mengurangi kecuraman lereng dengan meng-cutting nya dengan alat berat (excavator) yang dikhawatirkan akan kembali terjadi longsor justru lebih besar dan memakan waktu dalam perbaikan maupun perawatan sehingga menghambat arus lalu-lintas.

Dalam penelitian ini akan membahas analisis kestabilan lereng dan pengaruh dari penggunaan soil nailing pada lereng. Penelitian ini juga akan dihitung dengan dua program yaitu Slope/W dan Geostructural.

B. Rumusan Masalah

Dari uraian di atas maka diambil rumusan masalah untuk penelitian ini yaitu untuk melakukan analisis stabilitas lereng pada lokasi penelitian untuk mendapatkan nilai faktor kemannya, yang apabila tidak memenuhi maka dilakukan perkuatan dengan soil nailing yang akan dihitung secara

Enricho R. B. Imbar adalah mahasiswa tingkat akhir jurusan Teknik Sipil Fakultas Teknik Universitas Sam Ratulangi Manado pada bidang Geoteknik (email : rayditya22@gmail.com);

Agnes T. Mandagi adalah dosen jurusan Teknik Sipil Fakultas Teknik Universitas Sam Ratulangi pada bidang Geoteknik (email : atmandagi@gmail.com)

Steeva G. Rondonuwu adalah dosen jurusan Teknik Sipil Fakultas Teknik Universitas Sam Ratulangi pada bidang Geoteknik (email : steeva_rondonuwu@unsrat.ac.id)

manual ataupun menggunakan program Slope/W dan Geosturctural.

C. Batasan Masalah

Agar penelitian ini tidak terlalu melebar dan lebih terarah maka perlu adanya batasan masalah, penelitian ini dibatasi oleh hal-hal sebagai berikut :

1. Pengambilan data tanah dilakukan di Desa Lelema, Kecamatan Tumpa, Kabupaten Minahasa Selatan.
2. Faktor keamanan akan dihitung menggunakan metode Bishop.
3. Tanah dianggap 1 lapisan.
4. Pengaruh gempa tidak diperhitungkan.
5. Dimensi nail disesuaikan dengan kebutuhan lapangan.
6. Analisis stabilitas lereng menggunakan bantuan program Slope/W dan Geosturctural.

D. Tujuan Penelitian

1. Mengetahui berapa besar nilai faktor keamanan lereng sebelum perkuatan secara manual dan dengan menggunakan program Slope/W dan Geosturctural.
2. Mengetahui nilai faktor keamanan lereng setelah perkuatan dengan soil nailing secara manual dan dengan menggunakan program Slope/W dan Geosturctural.
3. Hubungan variasi nail (panjang nail dan sudut pemasangan nail) terhadap besarnya nilai faktor keamanan.

E. Manfaat Penelitian

Manfaat dari penelitian ini adalah :

1. Dapat menjadi sumber referensi mengenai stabilitas lereng dengan perkuatan soil nailing.
2. Dapat mengaplikasikan program komputer dalam menganalisis stabilitas lereng.
3. Dapat menjadi bahan pertimbangan dalam perencanaan bangunan sipil.

II. METODOLOGI PENELITIAN

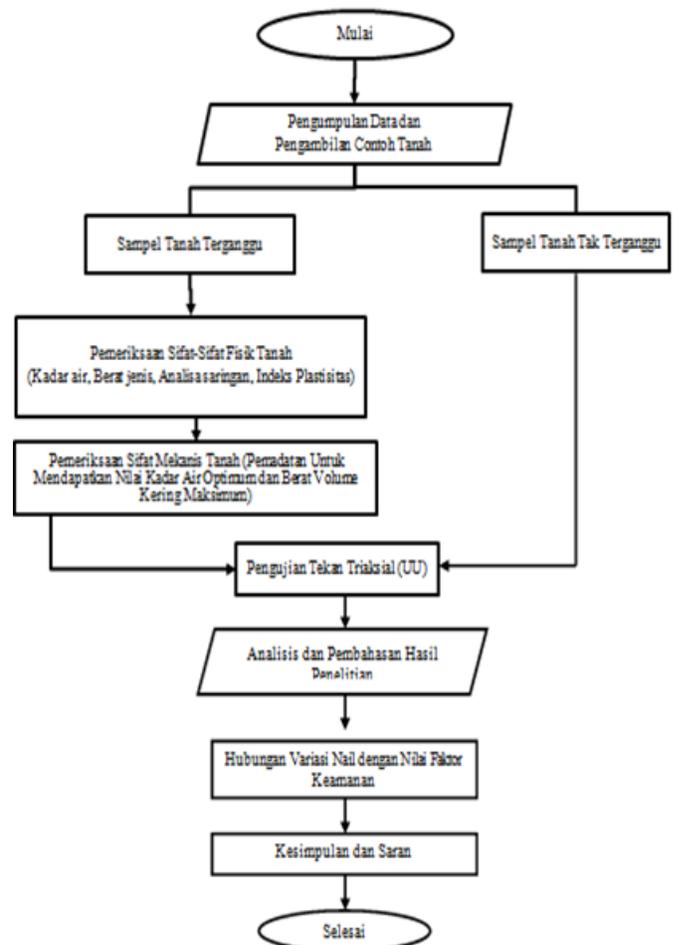
A. Bagan Alir Penelitian

Kegiatan penelitian ini mengikuti bagan alir seperti pada Gambar 1.

B. Metode Penelitian

Langkah-langkah yang dilakukan dalam penelitian ini adalah sebagai berikut :

1. Studi literatur
2. Pengumpulan data yang meliputi :
 - survei lokasi dan pengambilan sampel tanah : diambil di Desa Lelema, Kecamatan Tumpa, Kabupaten Minahasa Selatan
 - pengujian laboratorium, meliputi pengujian/pemeriksaan : kadar air tanah asli, berat jenis tanah, analisa saringan, batas-batas Atterberg, pemadatan dan triaksial tipe *unconsolidated undrained* (UU)
3. Analisis data dan pembahasan
4. Kesimpulan dan saran



Gambar 1. Bagan Alir Penelitian

III. HASIL DAN PEMBAHASAN

A. Sifat Fisik dan Mekanis Tanah

Berikut ini adalah hasil pemeriksaan sifat fisik dan mekanis tanah :

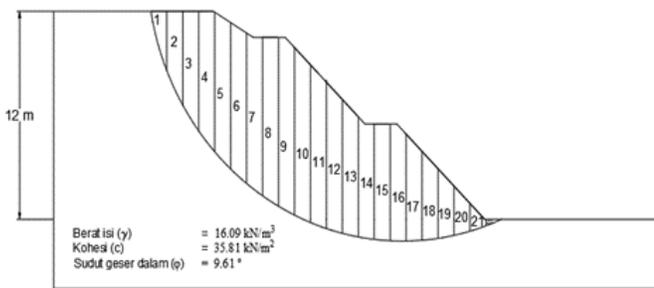
- Kadar Air = 4.588 %
- Berat Jenis = 2.638
- Batas Cair (LL) = 50.50 %
- Batas Plastis (PL) = 31.87 %
- Indeks Plastisitas (IP) = 18.63 %
- Analisa Saringan = 7.26 % (lolos no. 200)
- Koef. Keseragaman, C_u = 1.0
- Koef. Gradasi, C_c = 15.9
- Klasifikasi Tanah = SW-SM
- Kadar Air Optimum, w_{opt} = 26.71 %
- Berat Kering Maks., γ_{dmax} = 1.44 t/m³
- Kohesi, c = 3.65 t/m²
- Sudut Geser Dalam, ϕ = 9.61°
- Berat isi, γ_{wet} = 1.64 gr/cm³

B. Data Parameter Tanah Dan Geometri Lereng

Berikut adalah data-data yang didapatkan dari peneleitian lab maupun instansi yang meneliti lereng lokasi penelitian :

- Berat isi tanah kering (γ_d) = 1.44 t/m³
= 14.13 kN/m³
- Berat isi tanah basah (γ_{wet}) = 1.64 gr/cm³
= 16.09 kN/m³
- Kohesi (c) = 3.65 t/m²
= 35.81 kN/m²
- Sudut Geser Dalam (ϕ) = 9.61°
- Tinggi Lereng = 12 m
- Kemiringan Lereng = 45°

Untuk data parameter geser tanah didapatkan dari penelitian penulis sedangkan geometri lereng didapatkan dari instansi yang meneliti di lokasi penelitian. Data ini akan dipakai untuk analisis stabilitas lereng secara manual menggunakan metode Bishop dan juga akan dianalisis menggunakan program Slope/W dan Geotechnical.



Gambar 2. Pemodelan Lereng

C. Analisis Stabilitas Lereng Secara Manual Tanpa Perkuatan

Analisis stabilitas lereng dilakukan pada stabilitas terhadap kelongsoran lereng. Analisis secara manual ini dihitung dengan menggunakan metode Bishop, dengan tinjauan perhitungan pada slice selebar 1 m bidang gambar sesuai Gambar 2.

Dari hasil coba-coba agar nilai FK (ruas kiri) sama dengan nilai FK (ruas kanan) didapatkan pada trial ke-3 (Tabel 2) dengan hasil sebagai berikut :

$$FK = \frac{\sum_{i=1}^{i=n} \left(\frac{[c b_i + W_i (1 - r_u) \text{tg } \phi]}{\cos \theta_i (1 + \frac{\text{tg } \theta_i \text{tg } \phi}{F_s})} \right)}{\sum_{i=1}^{i=n} W_i \sin \theta_i}$$

$$= \frac{1285.793}{912.015}$$

$$= 1.410 < 1.5 \text{ (False)}$$

Karena nilai FK dalam kondisi kritis dengan nilai 1.410 yang berarti kurang dari faktor keamanan yang dibutuhkan yaitu 1.5 (nilai FK dalam praktek, sehingga lereng harus diperkuat). Untuk perkuatan yang dipakai saat ini yaitu menggunakan perkuatan *Soil Nailing*.

TABEL 1. HASIL PERHITUNGAN METODE BISHOP

Slice	A (m ²)	W (kN)	θ	b	b.c	hw (m)	u (kN/m ²)	h(m)	yh	ru
	(1)	(2)	(3)	(4)	(5)	(6)	(7)	(8)	(9)	(10)
1	1.951	31.392	73	1	35.807	3.939	63.372	2.058	33.110	1.914
2	4.480	72.078	63	1	35.807	3.793	61.023	4.508	72.527	0.841
3	6.193	99.634	56	1	35.807	3.596	57.854	6.214	99.973	0.579
4	7.524	121.043	50	1	35.807	3.354	53.960	7.536	121.242	0.445
5	8.264	132.958	45	1	35.807	3.073	49.440	8.271	133.067	0.372
6	8.576	137.981	40	1	35.807	2.749	44.227	8.582	138.071	0.320
7	8.852	142.406	36	1	35.807	1.924	30.954	8.805	141.658	0.219
8	9.456	152.130	31	1	35.807	1.436	23.103	9.46	152.196	0.152
9	9.840	158.315	27	1	35.807	0.887	14.270	9.929	159.742	0.089
10	9.393	151.123	23	1	35.807	0.279	4.489	9.399	151.215	0.030
11	8.780	141.256	19	1	35.807	0	0	8.774	141.160	0
12	8.092	130.191	16	1	35.807	0	0	8.095	130.236	0
13	7.335	118.000	12	1	35.807	0	0	7.337	118.041	0
14	6.681	107.493	8	1	35.807	0	0	6.598	106.151	0
15	6.707	107.898	5	1	35.807	0	0	6.709	107.937	0
16	6.583	105.908	1	1	35.807	0	0	6.671	107.326	0
17	5.654	90.964	2	1	35.807	0	0	5.657	91.012	0
18	4.576	73.627	6	1	35.807	0	0	4.58	73.685	0
19	3.435	55.265	10	1	35.807	0	0	3.438	55.312	0
20	2.228	35.850	13	1	35.807	0	0	2.145	34.510	0
21	0.957	15.398	17	1	35.807	0	0	1.324	21.301	0
22	0.192	3.094	21	1	35.807	0	0	0.204	3.282	0

Lanjutan

Slice	W.(1-ru)tg ϕ	cos θ	tg θ	tg ϕ	(5) + (11)	W.sin θ
	(11)	(12)	(13)	(14)	(15)	(16)
1	-4.858	0.292	0.956	0.169	30.948	30.020
2	1.936	0.454	0.891	0.169	37.742	64.222
3	7.107	0.559	0.829	0.169	42.914	82.600
4	11.373	0.643	0.766	0.169	47.180	92.724
5	14.148	0.707	0.707	0.169	49.954	94.015
6	15.879	0.766	0.643	0.169	51.685	88.692
7	18.843	0.809	0.588	0.169	54.650	83.704
8	21.848	0.857	0.515	0.169	57.655	78.353
9	24.411	0.891	0.454	0.169	60.217	71.873
10	24.828	0.921	0.391	0.169	60.635	59.049
11	23.917	0.946	0.326	0.169	59.724	45.989
12	22.043	0.961	0.276	0.169	57.850	35.885
13	19.979	0.978	0.208	0.169	55.786	24.534
14	18.200	0.990	0.139	0.169	54.007	14.960
15	18.269	0.996	0.087	0.169	54.076	9.404
16	17.932	1.000	0.017	0.169	53.739	1.848
17	15.402	0.999	0.035	0.169	51.208	3.175
18	12.466	0.995	0.105	0.169	48.273	7.696
19	9.357	0.985	0.174	0.169	45.164	9.597
20	6.070	0.974	0.225	0.169	41.876	8.064
21	2.607	0.956	0.292	0.169	38.414	4.502
22	0.524	0.934	0.358	0.169	36.330	1.109

D. Analisis Stabilitas Lereng Secara Manual Dengan Perkuatan

Untuk perhitungan manualnya mengadopsi perhitungan dalam metode baji (wedge) dan kemiringan bidang longsor kritis dihitung dengan *trial and error* dengan $\alpha = 29^\circ$ (selalu sama agar variasi kemiringan nail selalu sama) untuk sudut kemiringan lereng (β) = 45° dan kemiringan nail (i) = 15°. Dari perhitungan mendapatkan hasil sebagai berikut :

$$FK = \frac{c \cdot Lf + (W + Q) \cos \alpha \cdot \tan \phi + (\sum Ti \sin(\alpha + i) - \sum Vi \cos(\alpha + i)) \tan \phi}{(W + Q) \sin \alpha - \sum Ti \cos(\alpha + i) - (\sum Vi \sin(\alpha + i))}$$

$$= 2.076$$

Dari hasil itu didapat bahwa faktor keamanan dari lereng setelah adanya perkuatan meningkat dengan nilai 2.076 dari hasil sebelum adanya perkuatan yang hanya sebesar 1.410. Angka tersebut menunjukkan bahwa lereng telah stabil ($FK = 2.076 > 1.5$).

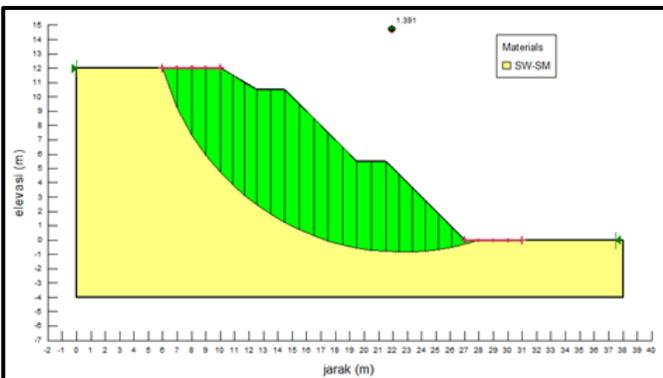
TABEL 2. HASIL PERHITUNGAN PADA PERCOBAAN KE-3

Slice	cosθ	tgθ	tgφ	W.sinθ	c.b+W(1-ru).tgφ	Fs	M	(6) / (8)
	(2)	(3)	(4)	(5)	(6)	(7)	(8)	(9)
1	0.292	0.956	0.169	30.020	30.948	1.410	0.326	94.950
2	0.454	0.891	0.169	64.222	37.742	1.410	0.503	75.099
3	0.559	0.829	0.169	82.600	42.914	1.410	0.615	69.794
4	0.643	0.766	0.169	92.724	47.180	1.410	0.702	67.216
5	0.707	0.707	0.169	94.015	49.954	1.410	0.767	65.117
6	0.766	0.643	0.169	88.692	51.685	1.410	0.825	62.636
7	0.809	0.588	0.169	83.704	54.650	1.410	0.866	63.097
8	0.857	0.515	0.169	78.353	57.655	1.410	0.910	63.344
9	0.891	0.454	0.169	71.873	60.217	1.410	0.940	64.090
10	0.921	0.391	0.169	59.049	60.635	1.410	0.964	62.919
11	0.946	0.326	0.169	45.989	59.724	1.410	0.982	60.788
12	0.961	0.276	0.169	35.885	57.850	1.410	0.993	58.253
13	0.978	0.208	0.169	24.534	55.786	1.410	1.003	55.643
14	0.990	0.139	0.169	14.960	54.007	1.410	1.007	53.641
15	0.996	0.087	0.169	9.404	54.076	1.410	1.007	53.720
16	1.000	0.017	0.169	1.848	53.739	1.410	1.002	53.634
17	0.999	0.035	0.169	3.175	51.208	1.410	1.004	51.026
18	0.995	0.105	0.169	7.696	48.273	1.410	1.007	47.937
19	0.985	0.174	0.169	9.597	45.164	1.410	1.005	44.924
20	0.974	0.225	0.169	8.064	41.876	1.410	1.001	41.848
21	0.956	0.292	0.169	4.502	38.414	1.410	0.990	38.806
22	0.934	0.358	0.169	1.109	36.330	1.410	0.974	37.310
Σ W.sinθ =				912.015	Σ Fs =		1285.793	

E. Analisis Stabilitas Lereng Dengan Program Slope/W Sebelum Dan Sesudah Perkuatan

1. Analisis Sebelum Ada Perkuatan

Dalam analisis menggunakan program Slope/W didapatkan faktor keamanan pada kondisi kritis sebesar 1.391 dengan metode yang sama seperti perhitungan manual.

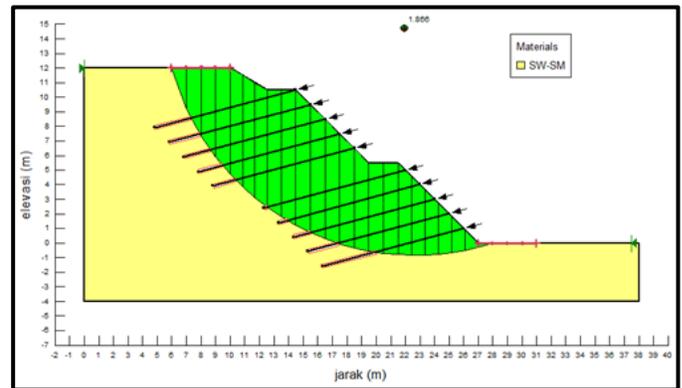


Gambar 3. Hasil Analisis Pada Lereng Menggunakan Program Slope/W

2. Analisis Setelah Ada Perkuatan

Dari analisis stabilitas lereng secara manual dan dengan program Slope/W menggunakan metode Bishop, didapat hasil faktor keamanan dengan kondisi kritis. Sehingga untuk meminimalisir bencana kelongsoran pada lereng tersebut, diperlukan perencanaan perkuatan, dan yang dipakai pada permasalahan ini adalah perkuatan soil nailing. Analisis

menggunakan perkuatan soil nailing dengan program Slope/W ditampilkan pada Gambar 4.



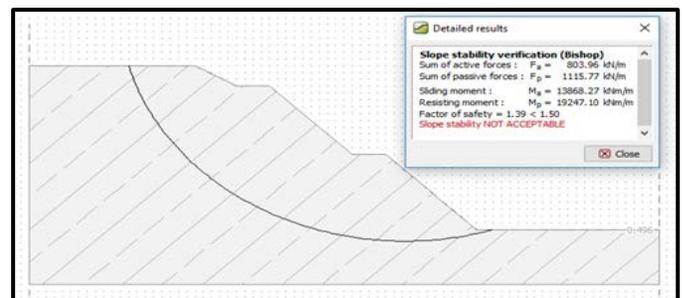
Gambar 4. Hasil Analisis Setelah Ada Perkuatan Dari Program Slope/W

Dari hasil analisis ini didapatkan nilai faktor keamanan sebesar 1.866 yang artinya meningkat dari analisis sebelumnya tanpa perkuatan yang hanya mendapat nilai faktor keamanan sebesar 1.391. Angka tersebut menunjukkan bahwa lereng telah stabil ($FK= 1.866 > 1.5$).

F. Analisis Stabilitas Lereng Dengan Program Geostructural Sebelum Dan Sesudah Perkuatan

1. Analisis Sebelum Ada Perkuatan

Dalam analisis menggunakan program Geostructural didapatkan nilai faktor keamanan sebesar 1.39 dengan metode yang sama seperti perhitungan manual (Gambar 5).

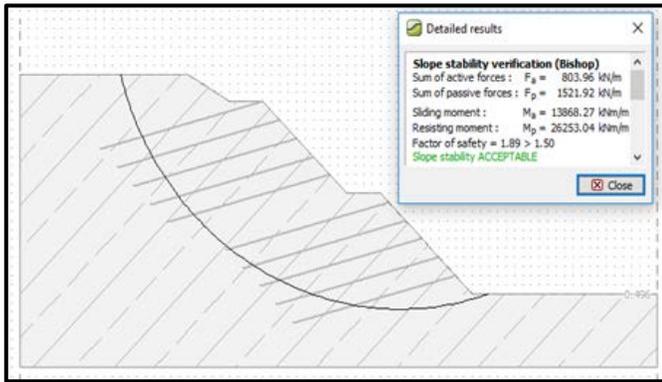


Gambar 5. Hasil Analisis Pada Lereng Menggunakan Program Geostructural

2. Analisis Sesudah Ada Perkuatan

Dari analisis stabilitas lereng secara manual dan dengan program Geostructural menggunakan metode Bishop, didapat hasil faktor keamanan dengan kondisi kritis. Sehingga untuk meminimalisir bencana kelongsoran pada lereng tersebut, diperlukan perencanaan perkuatan, dan yang dipakai pada permasalahan ini adalah perkuatan soil nailing. Hasil analisis menggunakan perkuatan soil nailing dengan program Geostructural ditampilkan pada Gambar 6.

Dari hasil analisis ini didapatkan nilai faktor keamanan sebesar 1.89 yang artinya meningkat dari analisis sebelumnya tanpa perkuatan yang hanya mendapat nilai faktor keamanan sebesar 1.39. Angka tersebut menunjukkan bahwa lereng telah stabil ($FK= 1.89 > 1.5$).



Gambar 6. Hasil Analisis Setelah Ada Perkuatan Menggunakan Program Geostructural

G. Hubungan Variasi Nail Dengan Faktor Keamanan

Dari analisis stabilitas lereng menggunakan perkuatan soil nailing dapat dilihat bahwa sudut nail sangat berpengaruh terhadap angka faktor keamanan lereng. Hal ini ditunjukkan dari hasil analisis faktor keamanan menggunakan program Slope/W yang ditunjukkan pada Tabel 3 sd. Tabel 7.

TABEL 3. HUBUNGAN PANJANG NAIL VS FK PADA SUDUT INKLINASI NAIL = 10°

Variasi	Panjang Nail (m)	FK
1	6	1.391
2	7	1.391
3	8	1.413
4	9	1.504
5	10	1.682

TABEL 4. HUBUNGAN PANJANG NAIL VS FK PADA SUDUT INKLINASI NAIL = 12.5 °

Variasi	Panjang Nail (m)	FK
1	6	1.391
2	7	1.396
3	8	1.447
4	9	1.573
5	10	1.772

TABEL 5. HUBUNGAN PANJANG NAIL VS FK PADA SUDUT INKLINASI NAIL = 15°

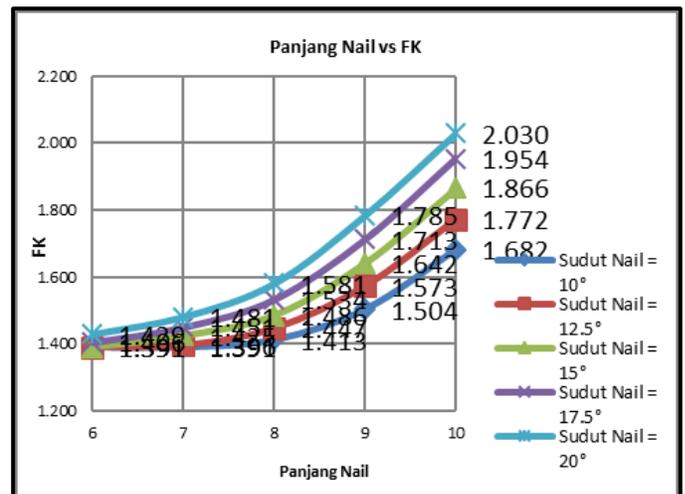
Variasi	Panjang Nail (m)	FK
1	6	1.391
2	7	1.425
3	8	1.486
4	9	1.642
5	10	1.866

TABEL 6. HUBUNGAN PANJANG NAIL VS FK PADA SUDUT INKLINASI NAIL = 17.5°

Variasi	Panjang Nail (m)	FK
1	6	1.406
2	7	1.451
3	8	1.534
4	9	1.713
5	10	1.954

TABEL 7. HUBUNGAN PANJANG NAIL VS FK PADA SUDUT INKLINASI NAIL = 20°

Variasi	Panjang Nail (m)	FK
1	6	1.429
2	7	1.481
3	8	1.581
4	9	1.785
5	10	2.030



Gambar 7. Grafik Hubungan Panjang Nail vs FK Pada Sudut Inklinali Nail = 10°, 12.5°, 15°, 17.5°, 20°

Dari grafik diatas dapat dilihat bahwa nilai faktor keamanan meningkat seiring bertambahnya sudut nail dan panjang nail. Dapat dilihat juga untuk faktor keamanan paling tinggi didapatkan pada sudut nail 20° panjang nail 10 m dengan nilai FK = 2.030, dan untuk variasi yang paling efisien didapatkan pada sudut nail 17.5° panjang nail 8m dengan nilai FK = 1.534.

H. Rekapitulasi Hasil Penelitian Untuk Faktor Keamanan

TABEL 8. REKAPITULASI NILAI FAKTOR KEAMANAN

	Manual	Program	
		Slope/W	Geostructural
Sebelum Perkuatan	1.410	1.391	1.39
Setelah Perkuatan	2.076	1.866	1.89

Hasil perhitungan di atas digunakan sebagai dasar dari pemodelan nail. Selanjutnya dilakukan variasi sudut kemiringan nail dan panjang nail pada perhitungan manual, program Slope/W dan Geostructural. Didapatkan hasil yang efisien pada spesifikasi sudut inklinasi nail 17.5° dengan panjang 8 m. Hasil perhitungan faktor keamanan setelah dilakukan variasi ditampilkan pada Tabel 9.

TABEL 9. REKAPITULASI NILAI FAKTOR KEAMANAN SETELAH VARIASI

	Manual	Program	
		Slope/W	Geostructural
Setelah Perkuatan	1.659	1.534	1.53

IV. KESIMPULAN DAN SARAN

A. Kesimpulan

Berdasarkan pembahasan di atas, diperoleh kesimpulan sebagai berikut :

1. Dari hasil analisis stabilitas lereng menggunakan metode Bishop pada perhitungan manual didapatkan nilai faktor keamanan $FK = 1.410$, pada program Slope/W $FK = 1.391$, pada program Geostructural $FK = 1.39$. Artinya lereng dalam keadaan kritis sehingga harus diberi perkuatan.
2. Hasil dari analisis pada lereng secara manual setelah diberi perkuatan soil nailing dengan diameter baja ulir 0.043 m, lubang bor 0.15 m, jumlah nail 10 dengan panjang masing-masing 10 m dengan kemiringan 15° didapatkan nilai faktor keamanan naik 32.08% menjadi 2.076, pada program Slope/W naik 25.46% menjadi 1.866, dan pada program Geostructural naik 26.46% menjadi 1.89 yang berarti lereng sudah dalam keadaan stabil. Dari hasil analisis untuk kedua program mendapatkan hasil yang hampir sama, namun dari segi kemudahan pemodelan lebih mudah menggunakan Slope/W apalagi dalam memodelkan panjang dan sudut nail.
3. Angka faktor keamanan yang paling efisien didapat pada variasi sudut nail 17.5° panjang nail 8 m dengan nilai $FK = 1.659$ pada perhitungan manual, pada program Slope/W mendapatkan $FK=1.534$, dan pada program Geostructural

mendapatkan $FK=1.53$. Dari hasil penelitian ini dapat disimpulkan bahwa semakin besar sudut inklinasi nail maka semakin besar pula nilai faktor keamanan, begitu juga dengan panjang nail.

B. Saran

1. Sebaiknya untuk penelitian selanjutnya lebih divariasikan lagi jarak antar nail, jumlah nail dan spesifikasi nail untuk mendapatkan variasi yang paling efisien.
2. Untuk perhitungan stabilitas eksternal dan internal soil nailing juga bisa lebih dijelaskan lagi pada penelitian selanjutnya.

V. KUTIPAN

A. Buku

- [1] ASTM D2487
- [2] Joseph E. Bowles, *Sifat-sifat Fisis dan Geoteknis Tanah (Mekanika Tanah)*. Jakarta: Erlangga, 1991.
- [3] Braja M. Das, *Mekanika Tanah – Prinsip-prinsip Rekayasa Geoteknis Jilid 1*. Jakarta : Erlangga, 1998.
- [4] Braja M. Das, *Mekanika Tanah – Prinsip-prinsip Rekayasa Geoteknis Jilid 2*. Jakarta: Erlangga, 1998.
- [5] Hardy C. Hardiyatmo, *Mekanika Tanah II*. Yogyakarta: Gadjah Mada University Press, 2006.
- [6] Jie Han, *Principles And Practice of Ground Improvement*. New Jersey: John Wiley & Sons, 2010.

B. Jurnal

- [7] Melania Kalalo, Jack H. Tico, Agnes T. Mandagi, "Analisis Stabilitas Dinding Penahan Tanah (Studi Kasus: Sekitar Areal PT. Trakindo, Desa Maumbi, Kabupaten Minahasa Utara)," dalam Jurnal Sipil Statik Vol. 5, No. 5, 2017.
- [8] Thyac Korah, Arens E. Turangan, Sartje Monintja, "Analisis Kestabilan Lereng Dengan Metode Janbu (Studi Kasus: Kawasan Citraland)," dalam Jurnal Sipil Statik Vol. 2, No. 1, 2014.
- [9] Octovian C. P. Rajaguguk, Arens E. Turangan, Saartje Monintja, "Analisis Kestabilan Lereng Dengan Metode Bishop (Studi Kasus: Kawasan Citraland Sta. 1000 m)," dalam Jurnal Sipil Statik Vol. 2, No. 3, 2014.
- [10] Violetta G. M. Pangemanan, Arens E. Turangan, O. B. A. Sompie. "Analisis Kestabilan Lereng Dengan Metode Fellenius (Studi Kasus: Kawasan Citraland)." dalam Jurnal Sipil Statik Vol. 2, No.1, 2014.
- [11] Gideon A. Takwin, Arens E. Turangan, Steeva G. Rondonuwu, "Analisis Kestabilan Lereng Metode Morgenstern-Price (Studi Kasus: Diamond Hill Citraland)." dalam Jurnal Tekno Vol. 15, No. 67, 2017.