

STUDI METODE PERKUATAN LERENG MENGGUNAKAN GEOMAT, *SHOTCRETE*, DAN *SOIL NAILING* (Studi Kasus: Lereng *Spillway* Bendungan Sadarwana Paket II Subang)

Sahal Priyono Putra¹⁾, Abdul Rochim^{2,*}, Sumirin²⁾

¹⁾Magister Teknik Sipil, Universitas Islam Sultan Agung
Jl. Raya km. 4 Semarang, Jawa Tengah, Indonesia, 50112

²⁾Teknik Sipil, Fakultas Teknik, Universitas Islam Sultan Agung
Jl. Raya km. 4 Semarang, Jawa Tengah, Indonesia, 50112

^{*)}Correspondent Author: abdulrochim@unissula.ac.id

Abstract

The landslide of the upper slope in the excavation work of the spillway Sadawarna Dam Package II Subang occurred after rain, precisely at the STA location from 0+500 to 0+520. The purpose of the study was to compare soil reinforcement on the previous spillway slope using geomat and shotcrete with soil reinforcement using soil nailing. Based on soil data the spillway slope consists of two types of slopes, the upper slope consists of CL (BS:03) while the lower consists of ML (BS:04). The shear strength parameters C and Phi of both slope soils are quite high. Using Plaxis V.21, Slope/W and Seep/W, with C and Phi the slopes were found to be stable. However, in reality there was a landslide on the upper slope. Therefore, back analysis was performed by lowering the strength parameters of the top soil adjacent to the slope until the landslide was realized. The reinforcement used on the two slopes was different, the upper slope used geomat while the lower slope used shotcrete, then the geomat was changed to soil nailing. Two seasonal models were applied to all reinforcements. The results showed that the factor of safety values from the back analysis modeling in the wet season using geomat and shotcrete were less than 1 (Unstable). However, reinforcement using soil nailing has a Safety Factor higher than 1.5. Based on these results, soil nailing can be a solution to minimize landslides on the spillway slope.

Keywords: *landslide, slope, reinforcement, safety factor*

PENDAHULUAN

Dalam proses pelaksanaan proyek pembangunan Bendungan Sadawarna Paket II Subang terjadi kendala kelongsoran saat pekerjaan penggalian bangunan *spillway* bendungan. Longsor pada dua lereng galian bagian atas *spillway* tepatnya di lokasi sepanjang STA 0+500 s.d 0+520 terjadi setelah hujan. Terjadinya *sliding* tanah pada dua lereng bagian atas galian disebabkan oleh gerusan air

hujan, musim penghujan selama pekerjaan berlangsung mempengaruhi tingginya jumlah intensitas curah hujan terhadap kejenuhan air dalam tanah yang menginfiltrasi lereng selama hujan. Selain itu, pengaruh musim kering yang berkepanjangan juga bisa menyebabkan munculnya pori-pori atau rongga tanah sehingga terjadinya rekahan dan retakan pada tanah permukaan. Ketika intensitas curah hujan mengalami peningkatan, air akan

masuk melalui bagian tanah yang mengalami retakan dan akan terakumulasi di bagian lereng kemudian menimbulkan gerakan lateral.

Menurut (Karnawati, 2010) dalam (Atikah et al., 2017) terdapat dua tipe hujan pomicu terjadinya kelongsoran, yaitu tipe hujan deras dan tipe hujan normal namun berlangsung lama. Tipe hujan deras yaitu hujan dengan intensitas 70 mm per jam atau lebih dari 100 mm per hari, hujan deras efektif menyebabkan longsor pada lereng yang mudah menyerap air seperti jenis tanah lempung pasir dan tanah pasir. Kemudian tipe hujan normal yaitu hujan dengan intensitas kurang dari 20 mm per hari namun berlangsung secara lama, hujan seperti ini menyebabkan longsor pada lereng tanah yang kedap air seperti tanah lempung.

Berdasarkan hasil penelitian dari (Sinarta, 2016) faktor tegangan air pori negatif atau *suction* mempengaruhi terjadinya kelongsoran lereng. *Suction* maksimum terjadi dekat permukaan tanah pada akhir musim kering sehingga kapasitas infiltrasi maksimum terjadi didekat permukaan tanah selama kering, sebaliknya *suction* minimum terjadi pada akhir musim penghujan sehingga keruntuhan lereng sering terjadi pada saat itu karena kapasitas infiltrasinya mencapai minimum. Upaya perkuatan untuk mengatasi terjadinya longsor terhadap lereng selama berlangsungnya pekerjaan penggalian *spillway* dari pihak kontraktor menggunakan metode perkuatan geomat pada 2 lereng bagian

atas dan *shotcrete* pada 4 lereng bagian bawah. Pengaplikasian metode tersebut dilakukan mulai dari STA 0+520 s.d 0+600 serta mengkombinasikan vegetasi yang ditanam diatas permukaan geomat.

Penelitian ini bertujuan untuk mengetahui nilai faktor keamanan (*safety factor*) lereng eksisting dan nilai faktor keamanan lereng setelah diberikan perkuatan geomat pada 2 galian lereng bagian atas dan *shotcrete* pada 4 galian lereng bagian bawah. Selain itu, analisis penambahan *soil nailing* pada 2 lereng bagian atas juga dilakukan sebagai alternatif penambahan perkuatan pada lereng yang terjadi longsor.

METODE PENELITIAN

Lokasi penelitian terletak di Bendungan Sadawarna Paket II, Songgom, Tanjung, Surian, Kabupaten Sumedang, Jawa Barat 45393 tepatnya pada bangunan *spillway* STA 0+500 s.d 0+520. Bahan penelitian yang digunakan berasal dari data primer dan data sekunder. Data primer diperoleh melalui observasi lapangan dan wawancara secara langsung dengan pihak kontraktor yaitu PT. Adhi Karya, data-data tersebut yaitu:

- 1) Dokumentasi kelongsoran lereng
- 2) Pengamatan pekerjaan perkuatan dengan metode geomat dan *shotcrete*
- 3) Mencatat pertimbangan pemilihan metode perkuatan

Kemudian data-data sekunder diperoleh dari PT. Adhi Karya dan studi literatur, data sekunder dari kontraktor meliputi:

- 1) Layout pemasangan geomat dan shotcrete di lokasi 0+520 – 0+600
- 2) Cross section di lokasi STA 0+540 galian tanah spillway
- 3) Penyelidikan geologi teknik di lokasi tapak spillway
- 4) Trial Mix beton K-225 wet shotcrete
- 5) Spesifikasi bahan geomat (Machmat Hs New Type).

Kelongsoran galian lereng *spillway* dan aplikasi metode perkuatan geomat pada dua *slope* bagian atas serta shotcrete pada empat *slope* bagian bawah lereng akan ditampilkan pada Gambar 1 dan Gambar 2.



Gambar 1. Kelongsoran lereng bagian atas *spillway*



Gambar 2. Pengaplikasian Metode Geomat dan *Shotcrete*

Alat penelitian ini menggunakan bantuan aplikasi geoteknik yaitu Plaxis V.21, serta Slope/W dan Seep/W dari Geostudio 2012 dalam tahapan analisis. Analisis stabilitas lereng dengan bantuan Plaxis V.21 menggunakan metode FEM atau metode elemen hingga dalam pemodelan dua dimensi untuk menganalisis deformasi, stabilitas air, dan aliran air tanah dalam bidang

geoteknik. Hasil analisis stabilitas lereng adalah nilai faktor keamanan dan letak bidang longsor yang akan dibandingkan antar kondisinya (Fauzi & Hamdhan, 2019).

Analisis stabilitas lereng juga dilakukan dengan bantuan Slope/W dan Seep/W untuk memperkuat hasil perhitungan nilai faktor keamanan sebelumnya dan rembesan air hujan yang terjadi didalam lereng. Metode

Limit Equilibrium atau prinsip kesetimbangan gaya menggunakan bantuan program Slope/W untuk mencari faktor keamanan, dengan memilih salah satu dari delapan metode kesetimbangan batas untuk berbagai permukaan tanah yang miring, tekanan air pori, sifat tanah, dan beban terkonsentrasi dalam analisis stabilitas lereng (Hermawan et al., 2017). Kemudian Seep/W adalah rangkaian produk dari Geostudio yang digunakan untuk menganalisis rembesan air dan masalah disipasi tekanan air pori berlebih dalam tanah dan batuan dengan formulasinya yang komprehensif memungkinkan untuk analisis sederhana mulai kondisi jenuh *study-state* sampai kondisi jenuh atau tidak jenuh yang tergantung pada waktu (Ardiansyah et al., 2014).

Penelitian dilakukan dengan beberapa tahap dimulai dari analisis lereng eksisting, *slope stability back analysis*, dan analisis lereng perkuatan. Tahap pertama analisis lereng eksisting, analisis pemodelan lereng dengan layer tanah penuh menggunakan jenis tanah CL (B5:03) dan lereng layer tanah sebagian menggunakan jenis tanah ML (B5:04) merujuk dalam Tabel 1, tujuan analisis untuk mengetahui nilai *safety factor* pada setiap eksisting lereng.

Kemudian tahap kedua *slope stability back analysis* merupakan metode pendekatan kelongsoran pada 2 slope galian bagian atas lereng akibat infiltrasi air hujan. Meninjau hasil analisis sebelumnya menggunakan

Plaxis V.21 dan Slope/W diketahui stabilitas lereng memenuhi angka keamanan namun ternyata terjadi kelongsoran di lapangan tepatnya pada 2 slope bagian atas akibat hujan. Oleh karena itu, dilakukan *back analysis* pada lereng tersebut sampai terjadi kelongsoran ($SF < 1$). Pemodelan dilakukan beberapa kali dengan menarik 10 m dari dekat sisi lereng pada 2 slope bagian atas saja setelah itu, menurunkan parameter data tanah C dan Phi (*Trial and Error*) hanya dibagian tanah tersebut sampai terjadi kelongsoran dan hasilnya diambil 3 sampel untuk variabel pengujian. Tujuan analisis untuk mengetahui nilai *safety factor* pada lereng saat terjadi kelongsoran.

Tahap terakhir analisis lereng perkuatan dilakukan pemodelan geomat pada 2 slope bagian atas dan shotcrete pada 4 slope bagian bawah dari variabel analisis sebelumnya. Tujuan analisis untuk mengetahui nilai *safety factor* lereng setelah diberikan perkuatan. Namun, dalam penelitian juga dilakukan analisis alternatif perkuatan lain yaitu menggunakan soil nailing untuk mengetahui bagaimana hasil penambahan perkuatan tersebut terhadap stabilitas lereng setelah dimodelkan. Analisis dilakukan secara kuantitatif komparatif dalam mengambil kesimpulan penelitian. Berikut adalah hasil uji laboratorium untuk *spillway* pada Bendungan Sadawarna yang digunakan sebagai input data dalam tahap analisis, seperti yang ditampilkan pada Tabel 1.

Tabel 1. Ringkasan Hasil Tes Lab *Spillway* Bendungan Sadawarna

RINGKASAN HASIL TES LABORATORIUM SPILLWAY BENDUNGAN SADAWARNA																		
No	Bor	Kedalaman	USCS	Gs	Penentuan Berat Satuan dari Berat Jenis Kering dan Kadar Air			Atterberg Limits			Analisis Distribusi Ukuran Partikel (ASTM D 422)				Direct Shear		Permeabilitas	
					Wn	γ_m	γ_d	wL	wP	IP	Kerikil	Pasir	Lanau	Lempung	c	ϕ		
					%	mg/m ³	mg/m ³	%	%	%	%	%	%	%	kg/cm ²	(°)		cm/sec
1	B5 : 01	12,80	ML	2,5654	25,43	1,728	1,377	33,19	23,98	9,21	0,00	10,17	59,07	30,76	1,04	46,23	2,198647E-05	
2	B5 : 03	20,64	CL	2,5760	26,94	1,624	1,279	41,98	25,33	16,65	0,00	11,23	59,17	29,60	0,86	43,29	1,947783E-05	
3	B5 : 04	22,25	ML	2,5685	20,81	1,622	1,342	29,21	28,18	1,03	0,00	10,89	57,50	31,61	1,12	49,41	3,605720E-05	
4	B5 : 05	20,23	ML	2,5589	29,85	1,681	1,295	34,64	27,97	6,65	0,00	9,71	62,33	27,96	0,97	47,26	3,299477E-05	
5	BS : 06	21,00	ML	2,5691	24,85	1,873	1,500	29,20	23,08	6,12	0,00	11,24	58,97	29,79	1,018	48,75	2,204005E-05	

Sumber : Dok Nindya-Adhi KSO 2021

Pemodelan analisis menggunakan data CL (BS:03) untuk dua lereng bagian atas dan ML (BS:04) untuk empat lereng bagian bawah dari *summary of laboratory test spillway for Bendungan Sadawarna* (Tabel 1) sesuai dengan *layer* tanah dimana terjadinya kelongsoran dalam pekerjaan penggalian lereng *spillway*. Meninjau dari hasil lab *Direct Shear* BS 03 diketahui nilai kohesi $c = 0,86 \text{ kg/cm}^2$ atau 86 kN/m^2 dan nilai sudut geser dalam tanah $\phi = 43,29^\circ$.

Berdasarkan data tersebut disimpulkan bahwa parameter jenis tanah lanau di lapangan melebihi rata-rata jenis tanah lanau dalam penelitian

stabilitas lereng terdahulu seperti (Pratama et al., 2014) dengan tanah lanau memiliki $c = 15 \text{ kPa}$ dan $\phi = 20^\circ$; (Hermawan et al., 2017) dengan tanah lanaunya memiliki $c = 35,81 \text{ kPa}$ dan $\phi = 9,61^\circ$; (Atikah et al., 2017) yang tanah lanaunya memiliki $c = 15 \text{ kPa}$ dan $\phi = 9^\circ$. Setelah merata-rata data penelitian tersebut nilai kohesi $c = 20$ dan nilai sudut geser dalam tanah $\phi = 14^\circ$. Data tanah lereng tersebut seharusnya tidak terjadi kelongsoran, kemungkinan terjadi kesalahan dalam penyelidikan data tanah atau faktor X dari luar yang menyebabkan kelongsoran pada lereng *spillway*.

Tabel 2. Variasi Analisis Stabilitas Tanah *Spillway* Bendungan Sadawarna Berdasarkan Direct Shear

No	Analisa Stabilitas Lereng	Jenis Tanah	E (kN/m ²)	γ (kN/m ³)	γ' (kN/m ³)	c (kN/m ²)	ϕ (°)
1	Eksisting 1	Lanau	1,15E+04	15,926	12,543	84,337	43,29
		Batu Pasir Tufan	1,9E+04	15,906	13,161	109,835	49,41
2	Eksisting 2	Lanau	-	-	-	-	-
		Batu Pasir Tufan	1,9E+04	15,906	13,161	109,835	49,41
3	Infiltrasi 1	Lanau Drop	1,15E+04	15,926	15,926	14,5*	2*
		Lanau Asli	1,15E+04	15,926	12,543	84,337	43,29
		Batu Pasir Tufan	1,9E+04	15,906	15,906	109,835	49,41
4	Infiltrasi 2	Lanau Drop	1,15E+04	15,926	15,926	5,5*	10*
		Lanau Asli	1,15E+04	15,926	12,543	84,337	43,29
		Batu Pasir Tufan	1,9E+04	15,906	15,906	109,835	49,41
5	Infiltrasi 3	Lanau Drop	1,15E+04	15,926	15,926	10*	7*
		Lanau Asli	1,15E+04	15,926	12,543	84,337	43,29
		Batu Pasir Tufan	1,9E+04	15,906	15,906	109,835	49,41

No	Analisa Stabilitas Lereng	Jenis Tanah	E (kN/m ²)	γ (kN/m ³)	γ' (kN/m ³)	c (kN/m ²)	ϕ (°)
6	Perkuatan 1	Lanau Drop	1,15E+04	15,926	15,926	14,5*	2*
		Lanau Asli	1,15E+04	15,926	12,543	84,337	43,29
		Batu Pasir Tufan	1,9E+04	15,906	15,906	109,835	49,41
7	Perkuatan 2	Lanau Drop	1,15E+04	15,926	15,926	5,5*	10*
		Lanau Asli	1,15E+04	15,926	12,543	84,337	43,29
		Batu Pasir Tufan	1,9E+04	15,906	15,906	109,835	49,41
8	Perkuatan 3	Lanau Drop	1,15E+04	15,926	15,926	10*	7*
		Lanau Asli	1,15E+04	15,926	12,543	84,337	43,29
		Batu Pasir Tufan	1,9E+04	15,906	15,906	109,835	49,41
9	Perkuatan Lereng Bawah	Lanau Drop	-	-	-	-	-
		Lanau Asli	-	-	-	-	-
		Batu Pasir Tufan	1,9E+04	15,906	15,906	109,835	49,41
10	Perkuatan Soil Nailing	Lanau Drop	1,15E+04	15,926	15,926	10*	7*
		Lanau Asli	1,15E+04	15,926	12,543	84,337	43,29
		Batu Pasir Tufan	1,9E+04	15,906	15,906	109,835	49,41

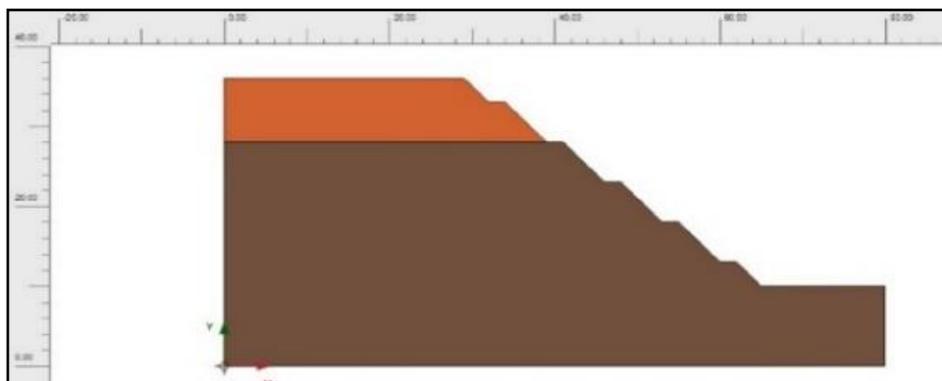
Keterangan (*): Penurunan angka parameter (Trial and error) sampai terjadi longsor

HASIL DAN PEMBAHASAN

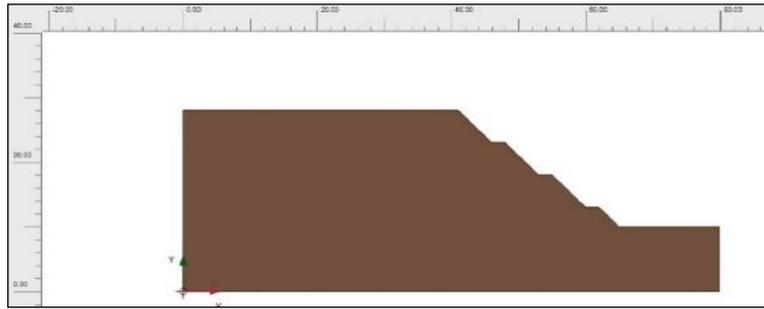
Stabilitas lereng eksisting dengan pemodelan Eksisting 1 untuk pemodelan utuh lereng dan Eksisting 2 untuk pemodelan sebagian lereng ditampilkan pada Gambar 3 dan Gambar 5. Dari hasil analisis menggunakan Plaxis V.21 dan Slope/W dari Geostudio 2012 dihasilkan nilai *safety factor* dari Plaxis V.21 untuk Eksisting 1 yaitu 3,54 dan Eksisting 2 yaitu 4,49.

Sedangkan dari pemodelan menggunakan Slope/W dihasilkan nilai SF untuk pemodelan Eksisting 1 yaitu 4,83 dan Eksisting 2 yaitu 5,86.

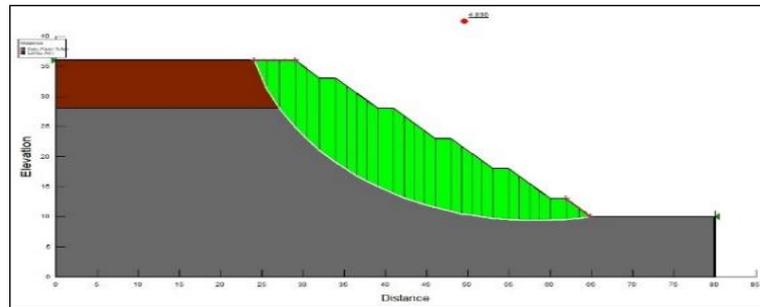
Berdasarkan hasil analisis pemodelan lereng eksisting pada Gambar 3 dan 4, diketahui lereng dalam kondisi aman baik secara keseluruhan maupun sebagian layer tanahnya ditunjukkan dari nilai *safety factor* nya > 1,5. Gambar 5 s.d Gambar 6 menampilkan geometri dan output analisis eksisting lereng menggunakan Geostudio 2012. Berdasarkan hasil analisis pemodelan lereng eksisting tersebut, diketahui lereng dalam kondisi aman baik secara keseluruhan maupun sebagian layer tanahnya. Ini disimpulkan dari hasil output nilai *safety factor* nya > 1,5.



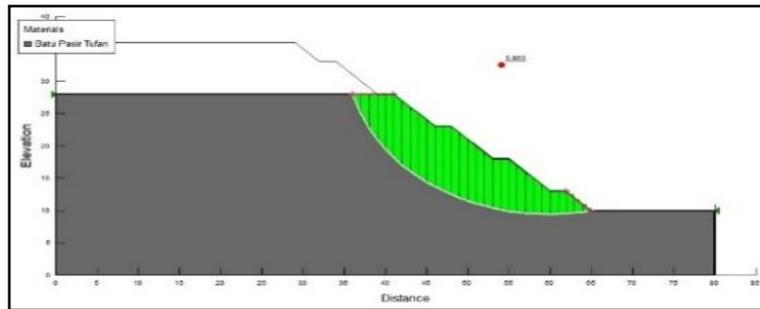
Gambar 3. Modelling Eksisting 1 (SF = 3,54)



Gambar 4. Modelling Eksisting 2 ($SF = 4,49$)



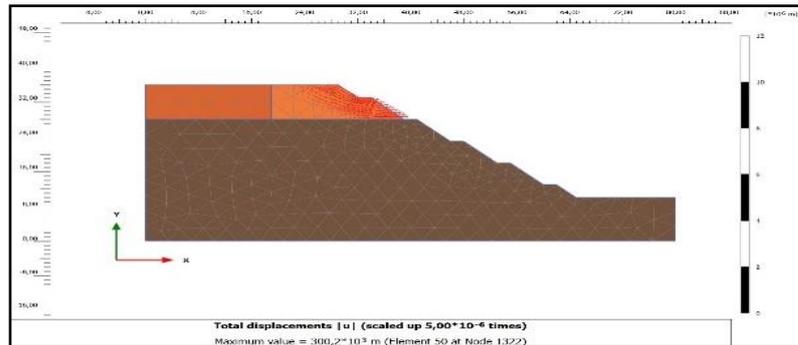
Gambar 5. Safety Factor Eksisting 1 ($SF=4,83$)



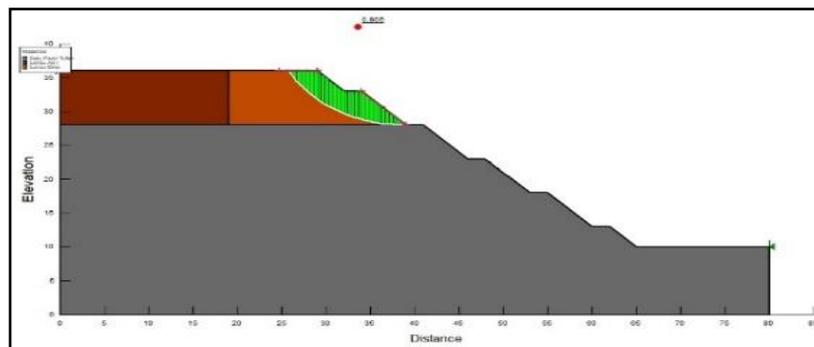
Gambar 6. Safety Factor Eksisting 2 ($SF = 5,86$)

Tahap kedua, *slope stability back analysis* yaitu pemodelan kelongsoran pada dua lereng atas *spillway* akibat infiltrasi air hujan. Berdasarkan pemodelan Infiltrasi 1, Infiltrasi 2, dan Infiltrasi 3 (Tabel 2) menggunakan Plaxis V.21 diketahui nilai *safety factor* lereng tersebut yaitu 0,96; 1,18; 1,16 masing-masing. Sedangkan pemodelan menggunakan Slope/W dan Seep/W dari Geostudio diketahui nilai *safety factor* lereng yaitu 0,91; 1,07; 0,81. Gambar 7

adalah output Plaxis V.21, berdasarkan output tersebut diketahui 2 lereng atas dalam kondisi tidak aman hal tersebut bisa ditunjukkan dari gambar dengan nilai *safety factor* $< 1,5$. Selanjutnya Gambar 8 menampilkan pemodelan dan hasil *slope stability back analysis* menggunakan Seepage/W dan Slope/W dari Geostudio 2012. Output dalam gambar tersebut juga menunjukkan lereng tidak aman atau terjadi kelongsoran dengan besarnya nilai *safety factor* $< 1,5$.



Gambar 7. Modelling Infiltrasi 1 ($SF = 0,96$)



Gambar 8. Safety Factor Infiltrasi 1 ($SF = 0,91$)

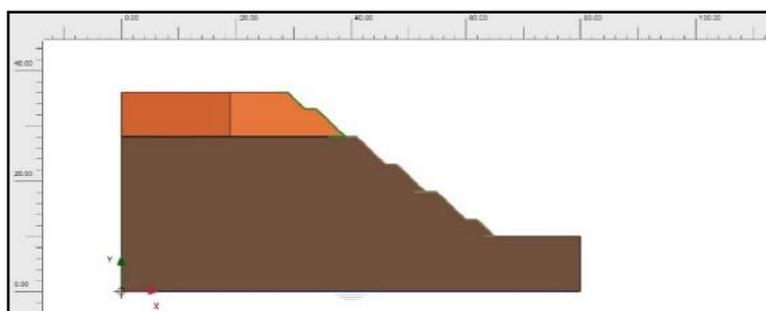
Tahap ketiga, analisis perkuatan lereng menggunakan geomat pada 2 slope bagian atas dan *shotcrete* pada 4 slope bagian bawah. Berdasarkan laporan pengujian laboratorium geosintetik material geosintetik dengan tipe Geomat Macmat EM diketahui bahwa *Max Tensile Strength (Machine Direction)* sebesar 5,10 kN/m dan *Max Tensile Strength (Transverse Direction)* sebesar 3,68 kN/m. Dalam pemodelan perkuatan nilai yang digunakan yaitu *Machine Direction* dengan asumsi kuat tarik tertinggi bahan terhadap pergerakan tanah jenuh air/kelongsoran sesuai pada jenis lereng tanah lanau. Kemudian material *wet shotcrete* menggunakan *mix design* beton K-225

sebagai bahan perkuatan pada jenis lereng tanah batu pasir tufan.

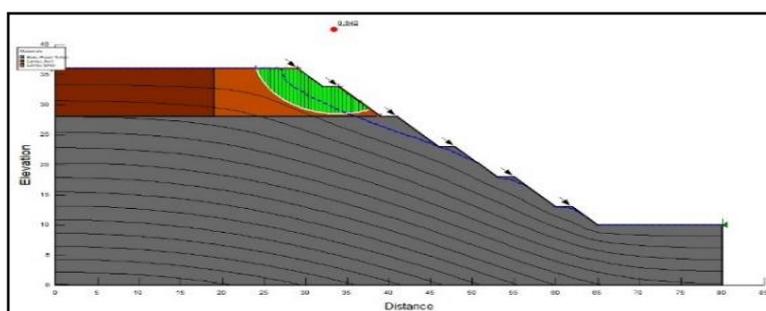
Pemodelan analisis perkuatan menggunakan hasil tahap *slope stability back analysis*, berdasarkan hasil pemodelan analisis Perkuatan 1, Perkuatan 2, dan Perkuatan 3 diketahui nilai *safety factor* lerengnya dalam Plaxis V.21 yaitu 0,94; 1,16; 1,14. Sedangkan hasil analisis menggunakan Slope/W dari Geostudio 2012 diketahui nilai *safety factor* lereng adalah 0,94; 1,06; 0,83. Gambar 9 adalah salah satu output model menggunakan Plaxis V.21, berdasarkan output gambar tersebut dilihat masih terjadi longsor pada 2 slope bagian atas meskipun sudah diberikannya perkuatan menggunakan Geomat dan ditinjau hasil nilai *safety*

factor nya masih $< 1,5$. Kemudian Gambar 10 merupakan salah satu pemodelan dan hasil analisis lereng perkuatan menggunakan Slope/W dari Geostudio 2012. Pada output tersebut juga disimpulkan bahwa 2 *slope* bagian

atas masih belum aman meskipun sudah menggunakan perkuatan Geomat, hal tersebut dilihat dari hasil nilai *safety factor* nya yang masih $< 1,5$.



Gambar 9. Modelling Perkuatan 1 ($SF = 0,94$)



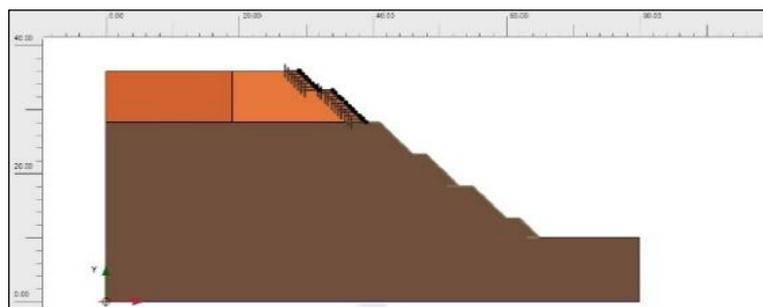
Gambar 10. Safety Factor Atas ($SF = 0,94$)

Meninjau dari hasil analisis perkuatan yang digunakan pada lereng atas *spillway* diketahui nilai *safety factor* dibawah persyaratan lereng aman ($SF < 1,5$) atau masih rawan terjadinya kelongsoran. Peneliti kemudian melakukan alternatif penambahan metode perkuatan menggunakan *soil nailing* terhadap 2 lereng atas *spillway* dengan parameter data pada Tabel 3. Berikut merupakan pemodelan dan hasil analisis penambahan perkuatan *soil nailing* pada 2 *slope* bagian atas lereng menggunakan Plaxis V.21 (Tabel 2), seperti yang ditampilkan pada Gambar

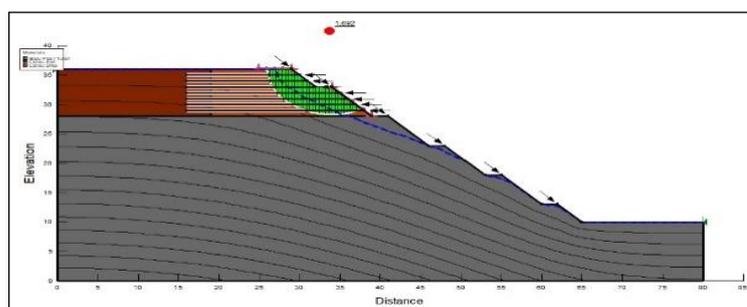
11. Kemudian berikut merupakan pemodelan dan hasil analisis penambahan perkuatan *soil nailing* menggunakan Slope/W (Tabel 2), seperti yang ditampilkan pada Gambar 12. Berdasarkan hasil analisis terhadap lereng *spillway* menggunakan bantuan aplikasi Plaxis V.21 dan Geostudio 2012 diketahui mulai tahap analisis lereng eksisting atau lereng sebelum terjadinya longsor keseluruhan mempunyai nilai *Safety Factor* diatas persyaratan lereng aman ($SF > 1,5$) atau bisa dikatakan bahwa lereng aman.

Tabel 3. Resume Analisis Stabilitas Lereng Menggunakan Plaxis V.21

No	KeyIn	Value	Unit
1	Nail Spacing	2	m
2	Direction	10H:2V	-
3	Bond Diameter	0,31831	m
4	Bond Skin Friction	100	kN/m ²
5	Bond Safety Factor	1,5	-
6	Bar Capacity	300	kN
7	Bar Safety Factor	1,5	-



Gambar 11. Modelling Soil Nailing 1 ($SF = 1,66$)



Gambar 12. Safety Factor Atas ($SF = 1,69$)

Kemudian untuk mengetahui longsornya lereng pada dua *slope* bagian atas *Spillway* Bendungan Sadawarna dilakukan *slope stability back analysis*, dengan pemodelan kelongsoran akibat infiltrasi air hujan terhadap lereng diketahui dari analisis pemodelan Infiltrasi 1, Infiltrasi 2, dan Infiltrasi 3 dibuat dengan nilai *safety factor* dibawah 1 agar terjadi kelongsoran seperti kejadian di lapangan.

Terakhir untuk mengetahui bagaimana pengaruh perkuatan yang

digunakan dalam menanggulangi kelongsoran menggunakan geomat pada 2 *slope* bagian atas lereng dan *shotcrete* pada 4 *slope* bagian bawah lereng dilakukan pemodelan Perkuatan 1, Perkuatan 2, dan Perkuatan 3 secara keseluruhan meningkatkan stabilitas lereng terhadap penurunan geser tanah dalam lereng akibat infiltrasi air hujan. Namun, besarnya kekuatan perkuatan yang digunakan belum memenuhi persyaratan lereng stabil ($SF > 1,5$).

Oleh karena itu, peneliti melakukan percobaan alternatif pemodelan penambahan perkuatan *soil nailing* terhadap 2 *slope* bagian atas tujuannya untuk meningkatkan nilai *safety factor* lereng agar lebih stabil, berdasarkan hasil percobaan pemodelan diketahui bahwa lereng mempunyai nilai *safety factor* diatas persyaratan lereng stabil ($SF > 1,5$).

Resume keseluruhan hasil analisis stabilitas lereng *spillway* Bendungan Sadawarna menggunakan

Plaxis V.21 dan Slope/W ditampilkan pada Tabel 4 dan Tabel 5. Dalam hasil analisis stabilitas lereng yang sudah dilakukan diketahui terdapat sedikit perbedaan pada hasil dari kedua *output* aplikasi, hal itu disebabkan oleh perhitungan faktor tegangan air pori negatif atau *suction* dianalisis menggunakan Seep/W dari Geostudio. Namun selisih nilai hasil analisis dari keduanya tidak terlalu banyak dan masih bisa untuk ditoleransi.

Tabel 4. Resume Analisis Stabilitas Lereng Menggunakan Plaxis V.21

No	Analisa Stabilitas Lereng	Jenis Tanah	E (kN/m ²)	γ (kN/m ³)	γ' (kN/m ³)	c (kN/m ²)	ϕ (°)	Safety Factor	Keterangan
1	Eksisting 1	Lanau	1,15E+04	15,926	12,543	84,337	43,29	3,54	Aman
		Batu Pasir Tufan	1,9E+04	15,906	13,161	109,835	49,41		
2	Eksisting 2	Lanau	-	-	-	-	-	4,49	Aman
		Batu Pasir Tufan	1,9E+04	15,906	13,161	109,835	49,41		
3	Infiltrasi 1	Lanau Drop	1,15E+04	15,926	15,926	14,5*	2*	0,96	Longsor
		Lanau Asli	1,15E+04	15,926	12,543	84,337	43,29		
		Batu Pasir Tufan	1,9E+04	15,906	15,906	109,835	49,41		
		Lanau Drop	1,15E+04	15,926	15,926	5,5*	10*		
4	Infiltrasi 2	Lanau Asli	1,15E+04	15,926	12,543	84,337	43,29	1,18	Longsor
		Batu Pasir Tufan	1,9E+04	15,906	15,906	109,835	49,41		
		Lanau Drop	1,15E+04	15,926	15,926	10*	7*		
		Lanau Asli	1,15E+04	15,926	12,543	84,337	43,29		
5	Infiltrasi 3	Batu Pasir Tufan	1,9E+04	15,906	15,906	109,835	49,41	1,16	Longsor
		Lanau Drop	1,15E+04	15,926	15,926	10*	7*		
		Lanau Asli	1,15E+04	15,926	12,543	84,337	43,29		
		Batu Pasir Tufan	1,9E+04	15,906	15,906	109,835	49,41		
6	Perkuatan 1	Lanau Drop	1,15E+04	15,926	15,926	14,5*	2*	0,94	Rawan Longsor
		Lanau Asli	1,15E+04	15,926	12,543	84,337	43,29		
		Batu Pasir Tufan	1,9E+04	15,906	15,906	109,835	49,41		
		Lanau Drop	1,15E+04	15,926	15,926	5,5*	10*		
7	Perkuatan 2	Lanau Asli	1,15E+04	15,926	12,543	84,337	43,29	1,16	Rawan Longsor
		Batu Pasir Tufan	1,9E+04	15,906	15,906	109,835	49,41		
		Lanau Drop	1,15E+04	15,926	15,926	10*	7*		
		Lanau Asli	1,15E+04	15,926	12,543	84,337	43,29		
8	Perkuatan 3	Batu Pasir Tufan	1,9E+04	15,906	15,906	109,835	49,41	1,14	Rawan Longsor
		Lanau Drop	-	-	-	-	-		
		Lanau Asli	-	-	-	-	-		
		Batu Pasir Tufan	1,9E+04	15,906	15,906	109,835	49,41		
9	Perkuatan Lereng Bawah	Lanau Drop	-	-	-	-	-	6,76	Aman
		Lanau Asli	-	-	-	-	-		
		Batu Pasir Tufan	1,9E+04	15,906	15,906	109,835	49,41		
		Lanau Drop	1,15E+04	15,926	15,926	10*	7*		
10	Perkuatan Soil Nailing	Lanau Asli	1,15E+04	15,926	12,543	84,337	43,29	1,66	Aman
		Batu Pasir Tufan	1,9E+04	15,906	15,906	109,835	49,41		

Keterangan (*): Penurunan angka parameter (Trial and Error) sampai terjadi longsor

Tabel 5. Resume Analisis Stabilitas Lereng Menggunakan Slope/W

No	Analisa Stabilitas Lereng	Jenis Tanah	E (kN/m ²)	γ (kN/m ³)	γ' (kN/m ³)	c (kN/m ²)	ϕ (°)	Safety Factor	Keterangan
1	Eksisting 1	Lanau	1,15E+04	15,926	12,543	84,337	43,29	4,83	Aman
		Batu Pasir Tufan	1,9E+04	15,906	13,161	109,835	49,41		
2	Eksisting 2	Lanau	-	-	-	-	-	5,86	Aman
		Batu Pasir Tufan	1,9E+04	15,906	13,161	109,835	49,41		
3	Infiltrasi 1	Lanau Drop	1,15E+04	15,926	15,926	14,5*	2*	0,91	Longsor
		Lanau Asli	1,15E+04	15,926	12,543	84,337	43,29		
		Batu Pasir Tufan	1,9E+04	15,906	15,906	109,835	49,41		
		Lanau Drop	1,15E+04	15,926	15,926	5,5*	10*		
4	Infiltrasi 2	Lanau Asli	1,15E+04	15,926	12,543	84,337	43,29	1,07	Longsor
		Lanau Asli	1,15E+04	15,926	12,543	84,337	43,29		

No	Analisa Stabilitas Lereng	Jenis Tanah	E (kN/m ²)	γ (kN/m ²)	γ' (kN/m ³)	c (kN/m ²)	ϕ (°)	Safety Factor	Keterangan
5	Infiltrasi 3	Batu Pasir Tufan	1,9E+04	15,906	15,906	109,835	49,41	0,81	Longsor
		Lanau Drop	1,15E+04	15,926	15,926	10*	7*		
		Lanau Asli	1,15E+04	15,926	12,543	84,337	43,29		
6	Perkuatan 1	Batu Pasir Tufan	1,9E+04	15,906	15,906	109,835	49,41	0,94	Longsor
		Lanau Drop	1,15E+04	15,926	15,926	14,5*	2*		
		Lanau Asli	1,15E+04	15,926	12,543	84,337	43,29		
7	Perkuatan 2	Batu Pasir Tufan	1,9E+04	15,906	15,906	109,835	49,41	1,06	Rawan Longsor
		Lanau Drop	1,15E+04	15,926	15,926	5,5*	10*		
		Lanau Asli	1,15E+04	15,926	12,543	84,337	43,29		
8	Perkuatan 3	Batu Pasir Tufan	1,9E+04	15,906	15,906	109,835	49,41	0,83	Longsor
		Lanau Drop	1,15E+04	15,926	15,926	10*	7*		
		Lanau Asli	1,15E+04	15,926	12,543	84,337	43,29		
9	Perkuatan Lereng Bawah	Batu Pasir Tufan	1,9E+04	15,906	15,906	109,835	49,41	4,19	Aman
		Lanau Drop	-	-	-	-	-		
		Lanau Asli	-	-	-	-	-		
10	Perkuatan Soil Nailing	Batu Pasir Tufan	1,9E+04	15,906	15,906	109,835	49,41	1,69	Aman
		Lanau Drop	1,15E+04	15,926	15,926	10*	7*		
		Lanau Asli	1,15E+04	15,926	12,543	84,337	43,29		
		Batu Pasir Tufan	1,9E+04	15,906	15,906	109,835	49,41		

Keterangan (*): Penurunan angka parameter (Trial and Error) sampai terjadi longsor

SIMPULAN

Berdasarkan hasil analisa dan pembahasan dapat disimpulkan bahwa lereng bangunan *spillway* Bendungan Sadawarna sebelum terjadinya kelongsoran (lereng eksisting) adalah aman, namun akibat pengaruh infiltrasi air hujan terhadap lereng mengakibatkan terjadinya kelongsoran. Setelah diberikan perkuatan menggunakan metode geomat pada 2 *slope* bagian atas dan *shotcrete* pada 4 *slope* bagian bawah, lereng tersebut menjadi lebih stabil terhadap infiltrasi air hujan. Namun, meninjau dari hasil analisis nilai *Safety Factor*, dua lereng bagian atas *spillway* masih rawan terjadinya kembali kelongsoran pada saat kondisi tanah jenuh air karena besar nilai *Safety Factor* masih dibawah persyaratan lereng stabil ($SF < 1,5$). Alternatif peningkatan stabilitas lereng dengan penambahan perkuatan salah satunya yaitu mengkombinasikan *soil nailing* pada 2 *slope* bagian atas untuk meningkatkan nilai *safety factor* (stabilitas lereng) pada lereng *spillway*.

UCAPAN TERIMA KASIH

Tulisan ini merupakan bagian dari laporan Tesis penulis di Program Studi Magister Teknik Sipil, Fakultas Teknik, Universitas Islam Sultan Agung, tahun 2022).

Penulis mengucapkan terima kasih kepada pimpinan serta para staff PT. Adhi Karya dalam proyek pembangunan Bendungan Sadawarna Paket II Subang yang telah mengizinkan dan mendukung peneliti dalam memperoleh data-data yang dibutuhkan dalam penelitian. Penulis juga mengucapkan terima kasih kepada para Dosen Pembimbing serta para staff Sekretariat Magister Teknik Sipil Universitas Islam Sultan Agung Semarang yang telah memberikan bimbingan dan bantuan segala kebutuhan dan administrasi selama pelaksanaan penelitian.

DAFTAR PUSTAKA

Ardiansyah, R.H., Sobriyah, & Wahyudi, A.H., 2014, Pengaruh Fluktuasi Muka Air Waduk Terhadap Debit Rembesan

- Menggunakan Model Seep/W (Studi Kasus di Bendungan Benel, Kabupaten Jembrana, Bali). *Jurnal Matriks Teknik Sipil*, September, 471–476
- Atikah, D., Juwono, P.T., & Hendrawan, A.P., 2017, Pengaruh Hujan Pada Stabilitas Lereng Di Jalan Tol Gempol – Pandaan. *Jurnal Teknik Pengairan*, 008 (01), 79–88
- Fauzi, I.M., & Hamdhan, I.N., 2019, Analisis Stabilitas Lereng Dengan Perkuatan Geotekstil Woven Akibat Pengaruh Termal Menggunakan Metode Elemen Hingga. *RekaRacana: Jurnal Teknil Sipil*, 5 (2), 61–72
- Hermawan, R.B., Surjandari, N.S., & Dananjaya, R.H., 2017, Analisis Stabilitas Lereng Dengan Perkuatan Soil Nailing Menggunakan Program Komputer (Studi Kasus: Desa Tambakmerang, Kecamatan Girimarto, Kabupaten Wonogiri). *E-Jurnal MATRIKS TEKNIK SIPIL*, 395–401
- Pratama, R.B., Muhibbi, I.M., A.I.D., & Hardiyati, S., 2014, Analisis Stabilitas Lereng Dan Alternatif Penanganannya (Studi Kasus Longsoran Jalan Alternatif Tawangmangu STA. 3+150 s/d STA. 3+200, Karanganyar). *Jurnal Karya Teknik Sipil*, 3 (3), 573–585
- Sinarta, I.N., 2016, Tegangan Pori Negatif Sebagai Parameter Stabilitas Lereng Tanah Tak Jenuh (Soil Mechanics On Unsaturated Soil). *Paduraksa*, 5 (1), 31–42