

# Analisis Stabilitas Lereng Tebing *Inlet* Terowongan Menggunakan Program *Software Geostudio* pada Proyek Pembangunan Bendungan Bagong, Trenggalek

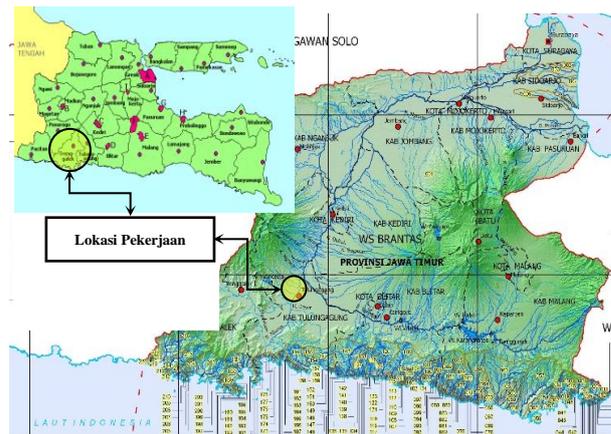
Tasya Azizah Salsabilla Margiart, Kuntjoro, dan Mohamad Khoiri  
Departemen Teknik Infrastruktur Sipil, Institut Teknologi Sepuluh Nopember (ITS)  
e-mail: kuntjoro\_rivers@yahoo.co.id

**Abstrak**—Bangunan pengelak adalah konstruksi berupa terowongan yang berfungsi untuk mengalihkan air sungai untuk sementara waktu sehingga kegiatan konstruksi *main dam* dapat berlangsung. *Inlet* terowongan Bendungan Bagong memiliki tebing-tebing terjal. Adanya getaran tanah akibat gempa karena tidak bisa diperhitungkan waktu dan besarnya, maka hal tersebut perlu ditinjau. Pada tebing *inlet* terowongan perlu dianalisis stabilitas lerengnya serta perkuatan berupa *rockbolt* yang dibutuhkan guna mencegah terjadinya kelongsoran pada tebing *inlet* terowongan. Dalam studi ini, dilakukan analisis stabilitas lereng dengan dan tanpa perkuatan. Perhitungan stabilitas lereng yang digunakan adalah perhitungan manual dengan menggunakan metode Fellenius dan perhitungan *software* dengan menggunakan *Geostudio*. Analisis yang dilakukan untuk potongan memanjang, melintang P2, dan melintang P3 pada kondisi kosong, muka air normal (MAN), muka air banjir (MAB), muka air banjir *cofferdam* (MAB *cofferdam*), *dead storage*, dan *rapid draw down*. Hasil dari studi ini, dalam keadaan tanpa perkuatan dengan kondisi kosong menggunakan perhitungan manual, untuk masing-masing potongan didapatkan nilai *safety factor* sebesar 5,22; 5,52; dan 5,15. Sedangkan dalam keadaan adanya perkuatan *rockbolt* menggunakan *Geostudio*, untuk masing-masing potongan didapatkan nilai *safety factor* sebesar 5,49; 5,86; dan 5,50. Kemudian, dalam keadaan tanpa perkuatan dengan kondisi muka air banjir menggunakan perhitungan manual, untuk masing-masing potongan didapatkan nilai *safety factor* sebesar 7,49; 8,60; dan 7,99. Sedangkan dalam keadaan adanya perkuatan *rockbolt* menggunakan *Geostudio*, untuk masing-masing potongan didapatkan nilai *safety factor* sebesar 7,74; 8,95; dan 8,46.

**Kata Kunci**—*Inlet* Terowongan, *Rockbolt*, Stabilitas Lereng.

## I. PENDAHULUAN

**B**ENDUNGAN Bagong masuk dalam daftar Proyek Strategis Nasional (PSN) sesuai Perpres Nomor 56 Tahun 2018 untuk menambah jumlah tampungan air dalam rangka mendukung program ketahanan pangan dan air. Bendungan Bagong memiliki potensi multiguna sebagai waduk yang menampung air untuk penyediaan air baku, irigasi dan konservasi sumber daya air serta sebagai tempat wisata. Dalam perencanaannya, bendungan Bagong memiliki tampungan waduk sebesar  $17.4 \times 10^6 \text{ m}^3$  pada kondisi Muka Air Normal (MAN). Setelah konstruksi bendungan dimulai, bangunan pengelak adalah salah satu struktur pertama yang harus diselesaikan. Secara sederhana, bangunan pengelak adalah konstruksi berupa terowongan yang berfungsi untuk mengalihkan atau memindahkan air sungai untuk sementara waktu sehingga dapat berlangsung kegiatan konstruksi



Gambar 1. Lokasi Pekerjaan Bendungan Bagong sebagai Lokasi Studi.

lainnya seperti *main dam* atau konstruksi lainnya. *Inlet* terowongan Bendungan Bagong memiliki tebing-tebing terjal dimana pekerjaan perkuatan lereng tebing direncanakan. Terjadinya batuan patah pada *inlet* terowongan dapat disebabkan oleh geseran tanah maupun getaran akibat gempa. Jikalau terjadi longsor pada *inlet* terowongan, maka akan berakibat fatal. Dalam studi ini akan dianalisis stabilitas lereng *inlet* terowongan serta perkuatan yang dibutuhkan guna mencegah terjadinya kelongsoran akibat beban gempa pada tebing *inlet* terowongan. Analisis stabilitas lereng *inlet* terowongan akan dilakukan dengan perhitungan manual dan dengan bantuan program *software Geostudio*. Rumusan masalah pada studi ini adalah:

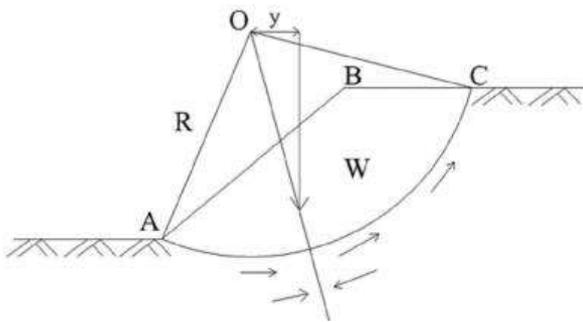
1. Stabilitas *inlet* terowongan tanpa adanya perkuatan.
2. Stabilitas *inlet* terowongan dengan adanya perkuatan menggunakan *rockbolt*.

Lokasi studi yaitu berada pada Bendungan Bagong yang terletak pada Desa Semurup dan Desa Sengon, Kecamatan Bendungan, Kabupaten Trenggalek, Provinsi Jawa Timur. Tepatnya pada posisi  $7^{\circ} 59' 51,60'' \text{ LS}$ ;  $111^{\circ} 41' 33,48'' \text{ BT}$ . Peta dari lokasi studi dapat dilihat pada Gambar 1.

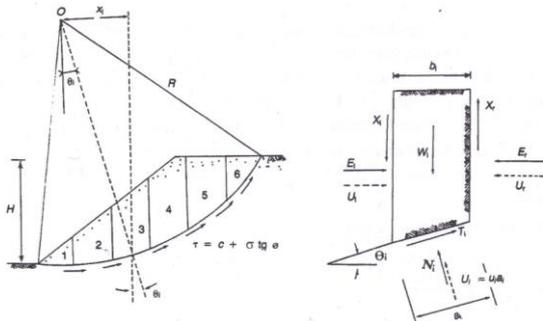
## II. METODE

### A. Stabilitas Lereng

Lereng merupakan bagian dari permukaan bumi yang berbentuk miring. Sedangkan kestabilan lereng merupakan suatu kondisi atau keadaan yang mantap/stabil terhadap suatu bentuk dan dimensi lereng [1]. Pada permukaan tanah yang tidak horizontal, komponen gravitasi cenderung menarik tanah ke bawah. Ketika komponen gravitasi semakin besar

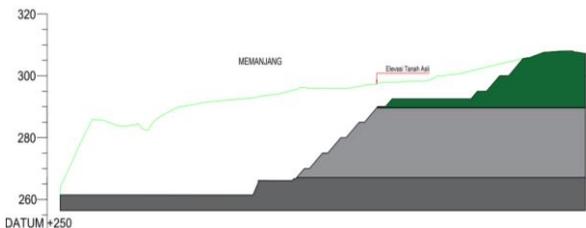


Gambar 2. Gaya pada Analisis Stabilitas Lereng.



Gambar 3. Gaya-Gaya yang Bekerja pada Metode Fellenius.

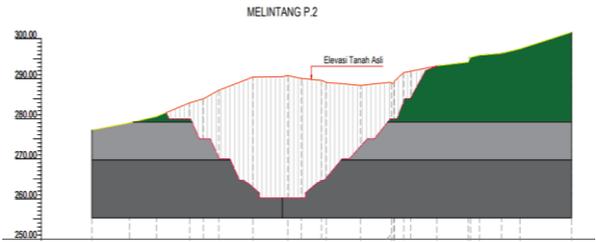
- Dimana,
- $X_i, X_r$  = Gaya geser efektif di sepanjang sisi irisan
  - $E_i, E_r$  = Gaya normal efektif di sepanjang sisi irisan
  - $T_i$  = Resultan gaya geser efektif yang bekerja sepanjang dasar irisan
  - $N_i$  = Resultan gaya normal efektif yang bekerja sepanjang dasar irisan
  - $U_i, U_r$  = Tekanan air pori yang bekerja di kedua sisi irisan
  - $U_i$  = Tekanan air pori di dasar irisan



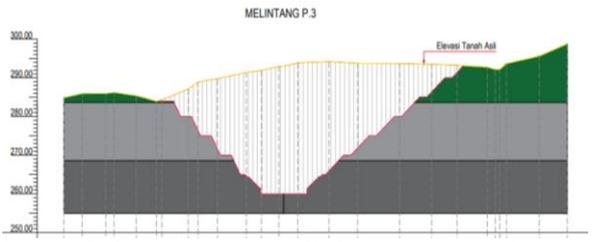
Gambar 4. Potongan Memanjang Inlet Terowongan Bendungan Bagong.

sehingga melampaui gaya penahan yang diberikan oleh tanah, maka terjadi kelongsoran lereng. Bentuk umum analisis stabilitas lereng adalah dengan mencari nilai faktor keamanan atau *safety factor* dengan membandingkan besaran momen yang terjadi akibat gaya yang bekerja.

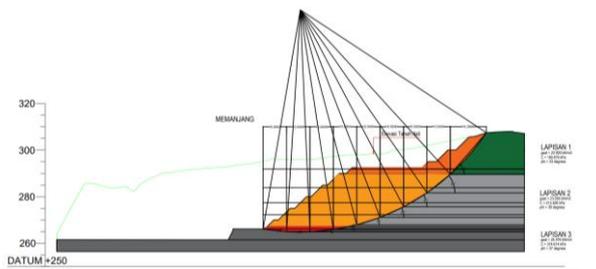
Dalam perhitungan stabilitas lereng terdapat beberapa faktor beban yang memengaruhinya, salah satunya yaitu beban gempa. Beban gempa adalah beban yang bekerja pada struktur akibat pergerakan tanah yang disebabkan oleh getaran gempa. Secara umum terdapat dua metode dalam menganalisis beban gempa yaitu analisis statik dan analisis dinamik. Metode Pseudostatik adalah merubah gaya yang timbul akibat beban gempa yang berbentuk dinamik menjadi statik dengan menerapkan gaya lateral yang bekerja melalui pusat massa, bertindak ke arah luar lereng. Pada metode ini gempa arah vertikal diabaikan. Hal ini karena gaya pseudostatik vertikal yang bekerja pada massa geser biasanya memiliki lebih sedikit efek pada stabilitas lereng. Selain itu, sebagian gempa bumi menghasilkan percepatan vertikal puncak yang kurang dari percepatan horizontal puncak, dan karenanya  $k_v$  lebih kecil dari  $k_h$  [2]. Sedangkan Metode



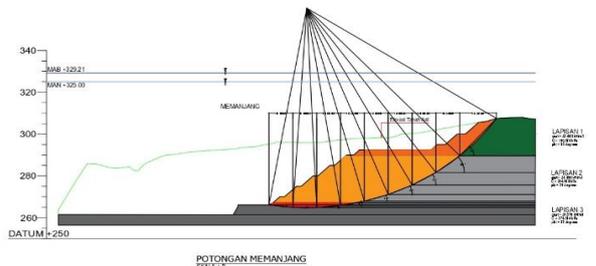
Gambar 5. Potongan Melintang P2 Inlet Terowongan Bendungan Bagong



Gambar 6. Potongan Melintang P3 Inlet Terowongan Bendungan Bagong.



Gambar 7. Perhitungan Manual dengan Metode Fellenius Tanpa Perkuatan pada Potongan Memanjang Kondisi Tanpa Muka Air (Kosong).



Gambar 8. Perhitungan Manual dengan Metode Fellenius Tanpa Perkuatan pada Potongan Memanjang Kondisi Terendam (Muka Air Normal dan Muka Air Banjir).

Dinamik adalah beban yang besar intensitasnya berubah-ubah menurut waktu. Analisis dinamik dipakai untuk memperoleh hasil evaluasi yang lebih akurat dari gaya gempa. Tegangan-tegangan tersebut menghasilkan tegangan normal dinamik dan tegangan geser sepanjang daerah yang berpotensi longsor.

**B. Analisis Stabilitas Lereng**

Bentuk umum untuk perhitungan stabilitas lereng adalah dengan mencari nilai angka aman (*SF*) dengan membandingkan momen-momen yang terjadi akibat gaya yang bekerja. Analisis stabilitas lereng pada lereng batuan dengan kondisi permanen direncanakan dengan faktor keamanan 1.5 sesuai dengan Rekomendasi Nilai Faktor Keamanan untuk Lereng Batuan pada SNI 8460-2017 [3]. Ilustasi dari gaya pada analisis stabilitas lereng dapat dilihat pada Gambar 2. Faktor keamanan dinyatakan melalui persamaan 1.

Tabel 1.  
Data Parameter Tanah

Lap	Ket.	$\gamma_{sat}$ kN/m <sup>3</sup>	$\gamma_{eff}$ kN/m <sup>3</sup>	C kPa	$\phi$ °	$W_c$	K
1	Lanau-Pasir Halus	22.00	12.19	160.88	33	0.14	0.00001
2	Breksi Abu	23.06	13.25	214.50	39	0.02	0.00036
3	Batu Pasir Breksian	24.58	14.77	374.61	37	0.02	0.00013

Tabel 2.  
Perhitungan Manual Metode Fellenius pada Potongan Memanjang Kondisi Tanpa Muka Air

No Slice	L	x	Luas	Sudut (a)	rad	sin a	Cos a	Wt	Wt sin a	Wt cos a	SF
1	23.49	22.00	96.96	49	0.855	0.755	0.656	2133.062	1609.842	1399.415	
2	12.75	22.40	113.37	38	0.663	0.616	0.788	2539.044	1563.191	2000.794	
3	11.67	22.83	142.13	31	0.541	0.515	0.857	3244.812	1671.201	2781.346	
4	10.97	22.90	192.62	24	0.419	0.407	0.914	4410.946	1794.094	4029.600	
5	10.50	22.93	231.07	18	0.314	0.309	0.951	5297.467	1637.007	5038.190	5.22
6	10.21	23.04	237.14	12	0.209	0.208	0.978	5462.857	1135.792	5343.480	
7	10.05	23.20	185.23	6	0.105	0.105	0.995	4298.191	449.283	4274.645	
8	10.00	23.57	147.41	1	0.017	0.017	1.000	3473.977	60.629	3473.448	
9	10.07	23.76	48.53	7	0.122	0.122	0.993	1153.031	140.519	1144.436	
Jumlah	109.713		1394.453						10061.559	29485.355	

Tabel 3.  
Perhitungan Manual Metode Fellenius pada Potongan Memanjang Kondisi Terendam (Muka Air Normal dan Muka Air Banjir)

No Slice	L	x	Luas	Sudut (a)	rad	sin a	Cos a	Wt	w sin a	wcos a	SF
1	23.49	12.19	96.96	49	0.855	0.755	0.656	1182.204	892.220	775.595	
2	12.75	12.59	113.37	38	0.663	0.616	0.788	1427.181	878.660	1124.634	
3	11.67	13.02	142.13	31	0.541	0.515	0.857	1850.962	953.316	1586.584	
4	10.97	13.09	192.62	24	0.419	0.407	0.914	2521.934	1025.763	2303.901	
5	10.50	13.12	231.07	18	0.314	0.309	0.951	3031.367	936.744	2883.002	7.49
6	10.21	13.23	237.14	12	0.209	0.208	0.978	3137.247	652.270	3068.691	
7	10.05	13.40	185.23	6	0.105	0.105	0.995	2481.651	259.403	2468.057	
8	10.00	13.76	147.41	1	0.017	0.017	1.000	2028.325	35.399	2028.016	
9	10.07	13.95	48.53	7	0.122	0.122	0.993	677.120	82.520	672.072	
Jumlah	109.713								5716.296	16910.552	

$$F = \frac{\text{Momen penahan}}{\text{Momen penggerak}} = \frac{R_c \cdot L}{W \cdot y} \tag{1}$$

Dimana,

- F = Faktor keamanan
- W = Berat tanah yang akan longsor
- L = Panjang lengkung
- c = Kohesi tanah aktif
- R = Jari-jari bidang longsor yang ditinjau
- y = Jarak pusat berat W terhadap O

Secara umum faktor keamanan suatu lereng merupakan perbandingan nilai rata-rata kuat geser tanah atau batuan di sepanjang bidang keruntuhan kritisnya terhadap beban yang diterima lereng di sepanjang bidang keruntuhannya. Hal yang perlu dipertimbangkan dalam penentuan kriteria faktor keamanan adalah resiko yang dihadapi, kondisi beban dan parameter yang digunakan dalam melakukan analisa stabilitas lereng.

### C. Analisis Stabilitas Lereng Metode Fellenius

Dalam perhitungan stabilitas lereng, terdapat beberapa metode yang dapat digunakan, salah satunya metode Fellenius. Metode Fellenius (*Ordinary Method of Slice*) diperkenalkan pertama oleh Fellenius (1927,1936). Fellenius menyatakan bahwa metodenya dengan mengasumsikan keruntuhan terjadi melalui rotasi dari suatu blok tanah pada permukaan longsor berbentuk lingkaran (sirkuler) dengan titik O sebagai titik pusat rotasi. Selain itu, diasumsikan juga gaya normal P bekerja ditengah-tengah. Ilustrasi gaya pada metode Fellenius dapat dilihat pada Gambar 3.

Diasumsikan juga bahwa resultan gaya-gaya antar irisan pada tiap irisan adalah sama dengan nol, atau dengan kata lain bahwa resultan gaya-gaya antar irisan diabaikan. Sehingga

keimbangan arah vertikalnya seperti pada persamaan 2. Untuk faktor keamanannya didefinisikan dengan persamaan (3).

$$N_i + U_i = W_i \cos \theta_i \tag{2}$$

$$SF = \frac{\sum M_r}{\sum M_d} = \frac{\sum_{i=1}^{i=n} (ca_i + N_i \tan \phi)}{R \sum_{i=1}^{i=n} W_i \sin \theta_i} = \frac{\text{jumlah momen tahanan geser}}{\text{jumlah momen berat massa tanah}} \tag{3}$$

Sehingga, rumus faktor keamanan untuk metode Fellenius dapat dihitung seperti pada persamaan 4.

$$SF = \frac{\sum_{i=1}^{i=n} ca_i + (W_i \cos \theta_i) \tan \phi}{\sum_{i=1}^{i=n} W_i \sin \theta_i} \tag{4}$$

Dimana:

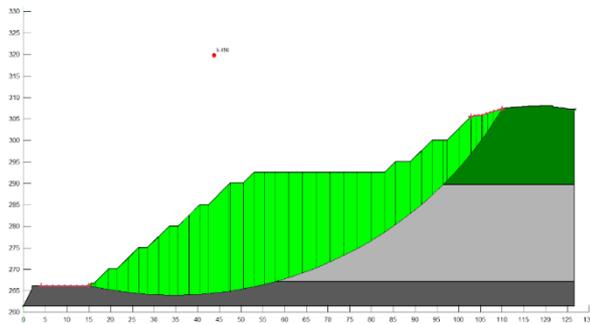
- SF = Faktor keamanan
- $\phi$  = Sudut gesek dalam tanah (o)
- $W_i$  = Berat irisan tanah ke-i (kN)
- c = Kohesi (kN/m<sup>2</sup>)
- $a_i$  = Lengkungan irisan ke-i (m)
- $\theta_i$  = Sudut antara jari-jari lingkaran dengan garis kerja massa tanah

### D. Software Geostudio

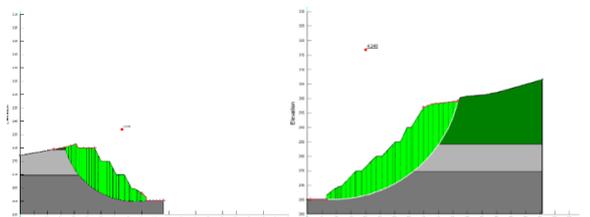
*Geostudio* adalah suatu *software* yang membantu insinyur dalam menyelesaikan suatu permasalahan terutama yang berhubungan dengan tanah. *Geostudio* terdiri dari beberapa bagian sub program yang kesemuanya dapat diintegrasikan satu dengan yang lainnya jika dibutuhkan. Sub program *Geostudio* yang digunakan dalam studi ini adalah *Slope/W* untuk memodelkan kondisi tanpa muka air (kosong), muka air normal (MAN), muka air banjir (MAB), muka air banjir *cofferdam* (MAB *cofferdam*), dan muka air *dead storage*.

Tabel 4.  
Hasil Perhitungan Manual Metode Fellenius pada Kondisi Terendam (Muka Air Normal dan Muka Air Banjir)

Potongan	Kondisi	SF	Kategori
Memanjang	Kosong	5.22	AMAN
	MAN	7.49	AMAN
	MAB	7.49	AMAN
P2 Kanan	MAB Cofferdam	4.29	AMAN
	Kosong	3.68	AMAN
	MAN	5.68	AMAN
P2 Kiri	MAB	5.68	AMAN
	MAB Cofferdam	2.93	AMAN
	Kosong	5.52	AMAN
P3 Kanan	MAN	8.60	AMAN
	MAB	8.60	AMAN
	MAB Cofferdam	8.60	AMAN
P3 Kiri	Kosong	4.22	AMAN
	MAN	6.51	AMAN
	MAB	6.51	AMAN
P3 Kiri	MAB Cofferdam	3.66	AMAN
	Kosong	5.15	AMAN
	MAN	7.99	AMAN
P3 Kiri	MAB	7.99	AMAN
	MAB Cofferdam	7.99	AMAN



Gambar 9. Hasil *Running Geostudio* Tanpa Perkuatan pada Potongan Memanjang Kondisi Tanpa Muka Air (Kosong)



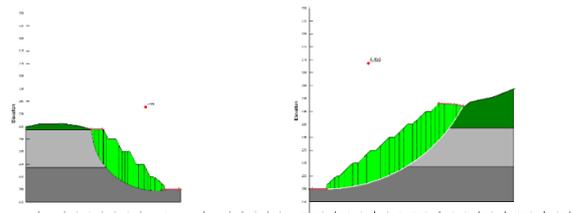
Gambar 10. Hasil *Running Geostudio* Tanpa Perkuatan pada Potongan Melintang P2 Kondisi Tanpa Muka Air (Kosong).

Dan *Seep/W* untuk memodelkan kondisi muka air *rapid draw down*. Analisis dilakukan untuk potongan memanjang, melintang P2, dan melintang P3. Gambar masing-masing potongan, dapat dilihat pada Gambar 4, Gambar 5, dan Gambar 6. Data parameter lapisan tanah dapat dilihat pada Tabel 1.

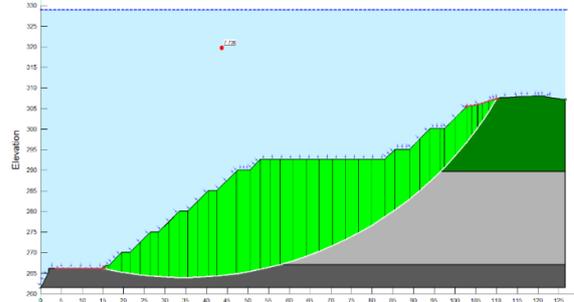
### III. HASIL DAN PEMBAHASAN

#### A. Analisis Stabilitas Lereng Tanpa Perkuatan

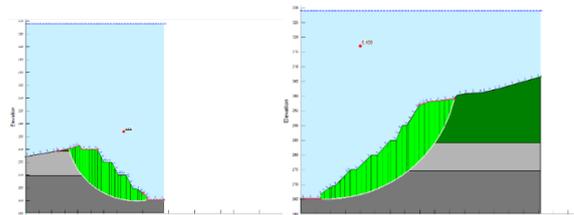
Pada analisis stabilitas lereng tanpa perkuatan dengan perhitungan manual ini, dilakukan dengan menggunakan metode Fellenius. Analisis dilakukan di setiap potongan berdasarkan kondisi tanpa muka air, kondisi lereng terendam (Muka Air Normal dan Muka Air Banjir), dan Muka Air Banjir *Cofferdam*. Perhitungan analisis stabilitas lereng tanpa perkuatan dengan metode Fellenius pada kondisi tanpa muka air (kosong) dapat dilihat pada Gambar 7 untuk potongan memanjang. Dari Gambar 7, kemudian dilakukan



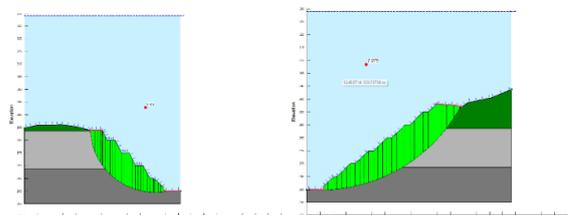
Gambar 11. Hasil *Running Geostudio* Tanpa Perkuatan pada Potongan Melintang P3 Kondisi Tanpa Muka Air (Kosong)



Gambar 12. Hasil *Running Geostudio* Tanpa Perkuatan pada Potongan Memanjang Kondisi Muka Air Banjir (MAB Banjir).



Gambar 13. Hasil *Running Geostudio* Tanpa Perkuatan pada Potongan Melintang P2 Kondisi Muka Air Banjir (MAB Banjir).



Gambar 14. Hasil *Running Geostudio* Tanpa Perkuatan pada Potongan Melintang P3 Kondisi Muka Air Banjir (MAB Banjir).

perhitungan untuk didapatkan nilai *safety factor*. Perhitungan tersebut dapat dilihat pada Tabel 2.

Perhitungan analisis stabilitas lereng tanpa perkuatan dengan metode Fellenius pada kondisi lereng terendam (Muka Air Normal dan Muka Air Banjir) dapat dilihat pada Gambar 8 untuk potongan memanjang.

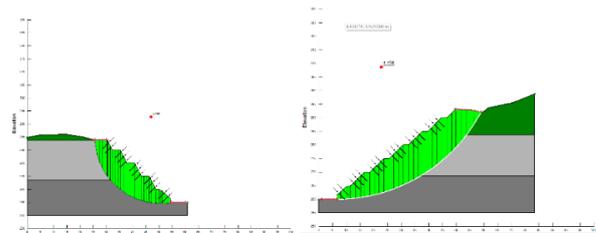
Dari Gambar 8, kemudian dilakukan perhitungan untuk didapatkan nilai *safety factor*. Perhitungan tersebut dapat dilihat pada Tabel 3.

Hasil analisis stabilitas lereng tanpa perkuatan dengan metode Fellenius didapatkan nilai *safety factor* pada masing-masing potongan dan kondisi muka air. Hasil dari analisis stabilitas lereng tanpa perkuatan dengan perhitungan manual metode Fellenius dapat dilihat pada Tabel 4.

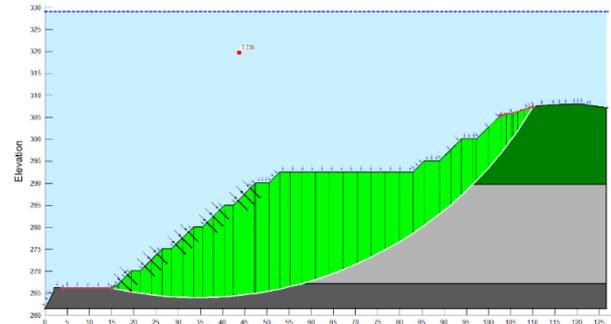
Hasil dari analisis stabilitas lereng tanpa perkuatan dilakukan menggunakan *software Geostudio* Sub program *Slope/W*, pada kondisi tanpa muka air (kosong); Muka Air *Dead Storage* yaitu pada elevasi +295.00 dan Muka Air Normal (MAN) yaitu pada elevasi +325.00, yang didapatkan dari data perencanaan Bendungan Bagong; dan Muka Air Banjir (MAB) dan Muka Air Banjir *Cofferdam* (MAB

Tabel 5.  
Nilai *Safety Factor* pada Kondisi Tanpa Perkuatan

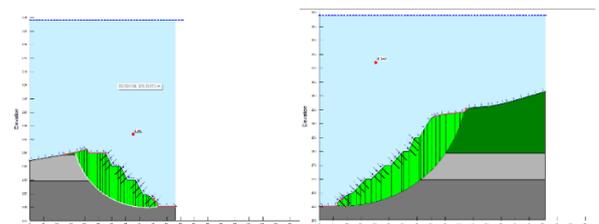
Potongan	Kondisi	SF	Kategori
Memanjang	Kosong	5.49	AMAN
	MAN	7.74	AMAN
	MAB	7.74	AMAN
	MAB Cofferdam	5.53	AMAN
	Dead Storage	6.95	AMAN
P2 Kanan	Rapid Drow Down	6.94	AMAN
	Kosong	4.25	AMAN
	MAN	6.46	AMAN
	MAB	6.46	AMAN
	MAB Cofferdam	4.98	AMAN
P2 Kiri	Dead Storage	5.99	AMAN
	Rapid Drow Down	6.49	AMAN
	Kosong	5.86	AMAN
	MAN	8.95	AMAN
	MAB	8.95	AMAN
P3 Kanan	MAB Cofferdam	8.95	AMAN
	Dead Storage	8.94	AMAN
	Rapid Drow Down	8.95	AMAN
	Kosong	4.46	AMAN
	MAN	6.69	AMAN
P3 Kiri	MAB	6.69	AMAN
	MAB Cofferdam	5.23	AMAN
	Dead Storage	6.69	AMAN
	Rapid Drow Down	6.98	AMAN
	Kosong	5.50	AMAN
MAB Banjir	MAN	8.46	AMAN
	MAB	8.46	AMAN
	MAB Cofferdam	8.46	AMAN
	Dead Storage	8.47	AMAN
	Rapid Drow Down	8.46	AMAN



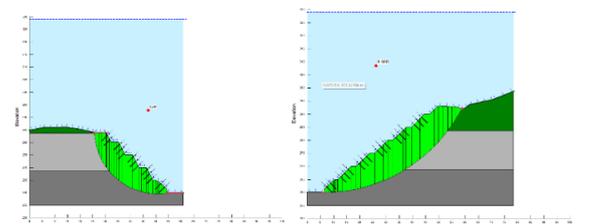
Gambar 17. Hasil *Running Geostudio* dengan Adanya Perkuatan *Rockbolt* pada Potongan Melintang P3 Kondisi Tanpa Muka Air (Kosong)



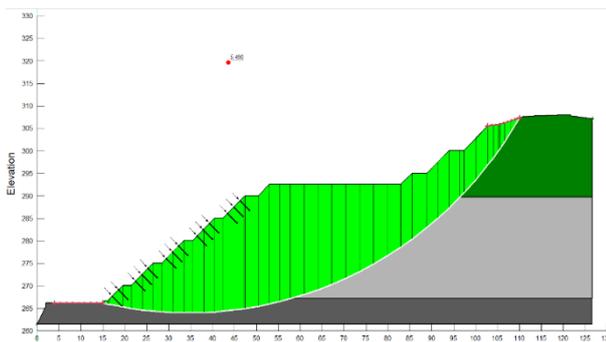
Gambar 18. Hasil *Running Geostudio* dengan Adanya Perkuatan *Rockbolt* pada Potongan Memanjang Kondisi Muka Air Banjir (MAB Banjir)



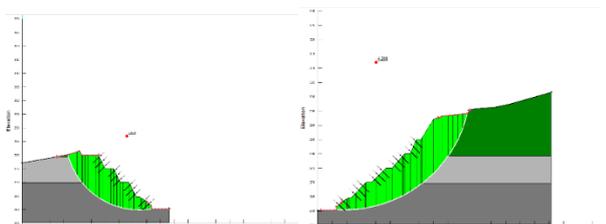
Gambar 19. Hasil *Running Geostudio* dengan Adanya Perkuatan *Rockbolt* pada Potongan Melintang P2 Kondisi Muka Air Banjir (MAB Banjir)



Gambar 20. Hasil *Running Geostudio* dengan Adanya Perkuatan *Rockbolt* pada Potongan Melintang P3 Kondisi Muka Air Banjir (MAB Banjir)



Gambar 15. Hasil *Running Geostudio* dengan Adanya Perkuatan *Rockbolt* pada Potongan Memanjang Kondisi Tanpa Muka Air (Kosong)



Gambar 16. Hasil *Running Geostudio* Tanpa Perkuatan pada Potongan Melintang P2 Kondisi Tanpa Muka Air (Kosong)

*Cofferdam*) berdasarkan hasil analisis hidrologi yang telah penulis lakukan yaitu pada elevasi +329.21 dan +280.48. Dan *Seep/W* untuk memodelkan kondisi muka air *rapid drow down*. Hasil analisis stabilitas lereng tanpa perkuatan pada kondisi tanpa muka air (kosong) dapat dilihat pada Gambar 9 Untuk potongan memanjang, Gambar 10 untuk potongan melintang P2 Kiri dan Kanan, Gambar 11 untuk potongan melintang P3 Kiri dan Kanan.

Hasil analisis stabilitas lereng tanpa perkuatan pada kondisi Muka Air Banjir (MAB) dapat dilihat pada Gambar 12 Untuk potongan memanjang, Gambar 13 untuk potongan

melintang P2 Kiri dan Kanan, Gambar 14 untuk potongan melintang P3 Kiri dan Kanan.

Hasil analisis stabilitas lereng tanpa perkuatan menggunakan Sub program *Slope/W* dan *Seep/W* didapatkan nilai *safety factor* pada masing-masing potongan dan kondisi muka air. Hasil dari analisis stabilitas lereng tanpa perkuatan dengan program *Geostudio* dapat dilihat pada Tabel 5.

Berdasarkan hasil analisis stabilitas tanpa perkuatan pada seluruh kondisi muka air memiliki nilai *safety factor* yang sudah memenuhi lebih dari 1,5 sehingga seluruh lereng dinyatakan dalam kondisi aman.

### B. Analisis Stabilitas Lereng dengan Adanya Perkuatan *Rockbolt*

Hasil dari analisis stabilitas lereng dengan adanya perkuatan dilakukan menggunakan software *Geostudio* Sub program *Slope/W*, pada kondisi tanpa muka air (kosong); Muka Air *Dead Storage* yaitu pada elevasi +295.00 dan

Tabel 6.  
 Nilai *Safety Factor* pada Kondisi dengan Adanya Perkuatan menggunakan *Rockbolt*

Potongan	Kondisi	SF	Kategori
Memanjang	Kosong	5.49	AMAN
	MAN	7.74	AMAN
	MAB	7.74	AMAN
	MAB <i>Cofferdam</i>	5.53	AMAN
	<i>Dead Storage</i>	6.95	AMAN
	<i>Rapid Drow Down</i>	6.94	AMAN
P2 Kanan	Kosong	4.29	AMAN
	MAN	6.54	AMAN
	MAB	6.54	AMAN
	MAB <i>Cofferdam</i>	5.02	AMAN
	<i>Dead Storage</i>	6.54	AMAN
	<i>Rapid Drow Down</i>	6.54	AMAN
P2 Kiri	Kosong	5.86	AMAN
	MAN	8.95	AMAN
	MAB	8.95	AMAN
P2 Kiri	MAB <i>Cofferdam</i>	9.03	AMAN
	<i>Dead Storage</i>	8.94	AMAN
	<i>Rapid Drow Down</i>	8.95	AMAN
	Kosong	4.46	AMAN
P3 Kanan	MAN	6.69	AMAN
	MAB	6.69	AMAN
	MAB <i>Cofferdam</i>	5.23	AMAN
	<i>Dead Storage</i>	6.69	AMAN
	<i>Rapid Drow Down</i>	7.28	AMAN
	Kosong	5.50	AMAN
P3 Kiri	MAN	8.46	AMAN
	MAB	8.46	AMAN
	MAB <i>Cofferdam</i>	8.46	AMAN
	<i>Dead Storage</i>	8.47	AMAN
	<i>Rapid Drow Down</i>	8.46	AMAN

Muka Air Normal (MAN) yaitu pada elevasi +325.00, yang didapatkan dari data perencanaan Bendungan Bagong; dan Muka Air Banjir (MAB) dan Muka Air Banjir *Cofferdam* (MAB *Cofferdam*) berdasarkan hasil analisis hidrologi yang telah penulis lakukan yaitu pada elevasi +329.21 dan +280.48. Dan *Seep/W* untuk memodelkan kondisi muka air *rapid drow down*. Hasil analisis stabilitas lereng dengan adanya perkuatan *rockbolt* pada kondisi tanpa muka air (kosong) dapat dilihat pada Gambar 15 Untuk potongan memanjang, Gambar 16 untuk potongan melintang P2 Kiri dan Kanan, Gambar 17 untuk potongan melintang P3 Kiri dan Kanan.

Hasil analisis stabilitas lereng dengan adanya perkuatan *rockbolt* pada kondisi Muka Air Banjir (MAB) dapat dilihat pada Gambar 18 Untuk potongan memanjang, Gambar 19 untuk potongan melintang P2 Kiri dan Kanan, Gambar 20 untuk potongan melintang P3 Kiri dan Kanan.

Hasil analisis stabilitas lereng dengan adanya perkuatan *rockbolt* menggunakan Sub program *Slope/W* dan *Seep/W* didapatkan nilai *safety factor* pada masing-masing potongan dan kondisi muka air. Hasil dari analisis stabilitas lereng tanpa perkuatan dengan program *Geostudio* dapat dilihat pada Tabel 6.

Berdasarkan hasil analisis stabilitas tanpa perkuatan pada seluruh kondisi muka air memiliki nilai *safety factor* yang sudah memenuhi lebih dari 1,5 sehingga seluruh lereng dinyatakan dalam kondisi aman.

Dari hasil analisis ini, secara keseluruhan lereng *inlet* terowongan dalam keadaan aman, baik dengan perkuatan maupun tidak. Walaupun pada kondisi tanpa perkuatan lereng sudah dinyatakan aman, penulis tetap melakukan perencanaan perkuatan dengan *rockbolt*. Hal ini dikarenakan pada analisis Proyek Akhir ini, untuk tipe bidang longsor yang digunakan ialah longsoran dalam atau *deep slide*.

Sedangkan dengan material tanah berupa batuan, pelapukan atau retak batuan dapat terjadi pada permukaan lereng atau kelongsoran dangkal. Hal ini dapat disebabkan karena adanya fenomena yang dapat memicu terjadinya kelongsoran seperti perbuahan iklim, perubahan kondisi tanah akibat perubahan suhu, kelembaban, atau aktivitas air, dan lain sebagainya. Sehingga, keberadaan *rockbolt* disini ditujukan untuk menyatukan dan memperkuat pada area permukaan sehingga dapat mengantisipasi terjadinya kelongsoran.

Setelah itu, penulis juga menganalisis stabilitas lereng dengan adanya penambahan beban gempa. Analisis ini dilakukan menggunakan program *Geostudio* dengan di seluruh potongan dan seluruh kondisi muka air baik dengan perkuatan maupun tanpa perkuatan. Beban gempa yang digunakan adalah gempa dengan probabilitas 2% dalam 50 tahun (koef. Gempa =0,4) dan gempa probabilitas 2% dalam 100 tahun (koef gempa = 0,5) yang didapatkan dari Pusat Studi Gempabumi Nasional (PuSGeN) [4]. Hasil analisis stabilitas lereng dengan dengan penambahan beban gempa dengan program *Geostudio* dapat dilihat pada Tabel 7.

#### IV. KESIMPULAN

Dari perhitungan dan pembahasan yang telah dilakukan, berikut adalah hasil yang dapat diambil sebagai kesimpulan dari studi mengenai analisis stabilitas lereng dengan dan tanpa perkuatan.

Analisis stabilitas lereng tanpa perkuatan di setiap potongan, didapatkan hasil sebagai berikut: faktor keamanan (*safety factor*) untuk potongan memanjang dari perhitungan manual dan perhitungan program *Geostudio*, pada kondisi tanpa muka air (kosong) adalah 5,22 dan 5,49; pada kondisi lereng terendam (MAN dan MAB) adalah 7,49 dan 7,74; pada kondisi MAB *cofferdam* (+280.48 m) adalah 4,29 dan 5,53;

Tabel 7.  
 Nilai *Safety Factor* Analisis Stabilitas Lereng dengan Adanya Penambahan Beban Gempa

Potongan	Kondisi	Perhitungan <i>Geostudio</i>			
		Tanpa Gempa	Gempa 2% dalam 50 Th	Gempa 2% dalam 100 Th	
MJ	Kosong	Tanpa Perkuatan	5.49	2.51	2.20
		Dengan Perkuatan	5.49	2.51	2.20
	MAN	Tanpa Perkuatan	7.74	2.51	2.12
		Dengan Perkuatan	7.74	2.51	2.12
	MAB	Tanpa Perkuatan	7.74	2.51	2.12
		Dengan Perkuatan	7.74	2.51	2.12
	MAB <i>Cofferdam</i>	Tanpa Perkuatan	5.53	2.37	2.04
		Dengan Perkuatan	5.53	2.37	2.05
	DS	Tanpa Perkuatan	6.95	2.44	2.08
		Dengan Perkuatan	6.95	2.44	2.08
	RD	Tanpa Perkuatan	6.94	2.43	2.07
		Dengan Perkuatan	6.94	2.43	2.07
P2 Kanan	Kosong	Tanpa Perkuatan	4.25	2.67	2.43
		Dengan Perkuatan	4.29	2.69	2.44
	MAN	Tanpa Perkuatan	6.46	3.21	2.82
		Dengan Perkuatan	6.54	3.23	2.84
	MAB	Tanpa Perkuatan	6.46	3.21	2.82
		Dengan Perkuatan	6.54	3.23	2.84
	MAB <i>Cofferdam</i>	Tanpa Perkuatan	4.98	2.83	2.53
		Dengan Perkuatan	5.02	2.85	2.55
	DS	Tanpa Perkuatan	5.99	3.21	2.82
		Dengan Perkuatan	6.54	3.23	2.84
	RD	Tanpa Perkuatan	6.49	3.22	2.83
		Dengan Perkuatan	6.54	3.23	2.84
P2 Kiri	Kosong	Tanpa Perkuatan	5.86	3.72	3.39
		Dengan Perkuatan	5.86	3.73	3.40
	MAN	Tanpa Perkuatan	8.95	4.59	4.05
		Dengan Perkuatan	8.95	4.61	4.07
	MAB	Tanpa Perkuatan	8.95	4.59	4.05
		Dengan Perkuatan	8.95	4.61	4.07
	MAB <i>Cofferdam</i>	Tanpa Perkuatan	8.95	4.42	3.89
		Dengan Perkuatan	9.03	4.42	3.89
	DS	Tanpa Perkuatan	8.94	4.59	4.05
		Dengan Perkuatan	8.94	4.61	4.07
	RD	Tanpa Perkuatan	8.95	4.34	3.82
		Dengan Perkuatan	8.95	4.34	3.82
P3 Kanan	Kosong	Tanpa Perkuatan	4.46	2.58	2.32
		Dengan Perkuatan	4.46	2.58	2.32
	MAN	Tanpa Perkuatan	6.69	2.98	2.59
		Dengan Perkuatan	6.69	3.07	2.59
	MAB	Tanpa Perkuatan	6.69	2.98	2.59
		Dengan Perkuatan	6.69	3.07	2.59
	MAB <i>Cofferdam</i>	Tanpa Perkuatan	5.23	2.71	2.40
		Dengan Perkuatan	5.23	2.71	2.40
	DS	Tanpa Perkuatan	6.69	2.98	2.59
		Dengan Perkuatan	6.69	2.98	2.59
	RD	Tanpa Perkuatan	6.98	2.98	2.59
		Dengan Perkuatan	7.28	3.07	2.67
P3 Kiri	Kosong	Tanpa Perkuatan	5.50	3.47	3.17
		Dengan Perkuatan	5.50	3.56	3.26
	MAN	Tanpa Perkuatan	8.46	4.29	3.80
		Dengan Perkuatan	8.46	4.41	3.91
	MAB	Tanpa Perkuatan	8.46	4.29	3.80
		Dengan Perkuatan	8.46	4.41	3.91
	MAB <i>Cofferdam</i>	Tanpa Perkuatan	8.46	4.12	3.67
		Dengan Perkuatan	8.46	4.12	3.67
	DS	Tanpa Perkuatan	8.47	4.42	3.92
		Dengan Perkuatan	8.47	4.42	3.92
	RD	Tanpa Perkuatan	8.46	4.41	3.91
		Dengan Perkuatan	8.46	4.41	3.91

pada kondisi *dead storage* (+295.00 m) adalah 6,95; dan pada kondisi *rapid drow down* adalah 6,94. Faktor keamanan (*safety factor*) untuk potongan melintang P2 lereng kanan dari perhitungan manual dan perhitungan program *Geostudio*, pada kondisi tanpa muka air (kosong) adalah 3,68 dan 4,25; pada kondisi lereng terendam (MAN dan MAB) adalah 5,68 dan 6,46; pada kondisi MAB *cofferdam* (+280.48 m) adalah 2,93 dan 4,98; pada kondisi *dead storage* (+295.00 m) adalah 5,99; dan pada kondisi *rapid drow down* adalah 6,49. Sedangkan untuk potongan melintang P2 lereng kiri

dari perhitungan manual dan perhitungan program *Geostudio*, pada kondisi tanpa muka air (kosong) adalah 5,52 dan 5,86; pada kondisi lereng terendam (MAN dan MAB) adalah 8,60 dan 8,95; pada kondisi MAB *cofferdam* (+280.48 m) adalah 8,60 dan 8,95; pada kondisi *dead storage* (+295.00 m) adalah 8,94; dan pada kondisi *rapid drow down* adalah 8,95.

Faktor keamanan (*safety factor*) untuk potongan melintang P3 lereng kanan dari perhitungan manual dan perhitungan program *Geostudio*, pada kondisi tanpa muka air (kosong)

adalah 4,22 dan 4,46; pada kondisi lereng terendam (MAN dan MAB) adalah 6,51 dan 6,69; pada kondisi MAB *cofferdam* (+280.48 m) adalah 3,66 dan 5,23; pada kondisi *dead storage* (+295.00 m) adalah 6,69; dan pada kondisi *rapid drow down* adalah 6,98. Sedangkan untuk potongan melintang P3 lereng kiri dari perhitungan manual dan perhitungan program *Geostudio*, pada kondisi tanpa muka air (kosong) adalah 5,15 dan 5,50; pada kondisi lereng terendam (MAN dan MAB) adalah 7,99 dan 8,46; pada kondisi MAB *cofferdam* (+280.48 m) adalah 7,99 dan 8,46; pada kondisi *dead storage* (+295.00 m) adalah 8,47; dan pada kondisi *rapid drow down* adalah 8,46.

Analisis stabilitas lereng dengan adanya perkuatan *rockbolt* di setiap potongan, didapatkan hasil sebagai berikut: faktor keamanan (*safety factor*) untuk potongan memanjang dari perhitungan program *Geostudio*, pada kondisi tanpa muka air (kosong) adalah 5,49; pada kondisi lereng terendam (MAN dan MAB) adalah 7,74; pada kondisi MAB *cofferdam* (+280.48 m) adalah 5,53; pada kondisi *dead storage* (+295.00 m) adalah 6,95; dan pada kondisi *rapid drow down* adalah 6,94.

Faktor keamanan (*safety factor*) untuk potongan melintang P2 lereng kanan dari perhitungan program *Geostudio*, pada kondisi tanpa muka air (kosong) adalah 4,29; pada kondisi lereng terendam (MAN dan MAB) adalah 6,54; pada kondisi MAB *cofferdam* (+280.48 m) adalah 5,02; pada kondisi *dead storage* (+295.00 m) adalah 6,54; dan pada kondisi *rapid drow down* adalah 6,54. Sedangkan untuk potongan melintang P2 lereng kiri dari perhitungan program *Geostudio*,

pada kondisi tanpa muka air (kosong) adalah 5,86; pada kondisi lereng terendam (MAN dan MAB) adalah 8,95; pada kondisi MAB *cofferdam* (+280.48 m) adalah 9,03; pada kondisi *dead storage* (+295.00 m) adalah 8,94; dan pada kondisi *rapid drow down* adalah 8,95.

Faktor keamanan (*safety factor*) untuk potongan melintang P3 lereng kanan dari perhitungan program *Geostudio*, pada kondisi tanpa muka air (kosong) adalah 4,46; pada kondisi lereng terendam (MAN dan MAB) adalah 6,69; pada kondisi MAB *cofferdam* (+280.48 m) adalah 5,23; pada kondisi *dead storage* (+295.00 m) adalah 6,69; dan pada kondisi *rapid drow down* adalah 7,28. Sedangkan untuk potongan melintang P3 lereng kiri dari perhitungan program *Geostudio*, pada kondisi tanpa muka air (kosong) adalah 5,50; pada kondisi lereng terendam (MAN dan MAB) adalah 8,46; pada kondisi MAB *cofferdam* (+280.48 m) adalah 8,46; pada kondisi *dead storage* (+295.00 m) adalah 8,47; dan pada kondisi *rapid drow down* adalah 8,46.

#### DAFTAR PUSTAKA

- [1] J. M. Duncan, S. G. Wright, and T. L. Brandon, *Soil Strength and Slope Stability*. New Jersey: John Wiley & Sons, 2014. ISBN: 9781118651650.
- [2] T. Wardani, "Pengaruh Penggunaan Peta Gempa 2010 Terhadap Analisis Dinamik Stabilitas Lereng Bendungan Keuliling Aceh," Departemen Teknik Sipil: Universitas Komputer Indonesia, 2014.
- [3] SNI, *Persyaratan Perencanaan Geoteknik*. Jakarta: Badan Standardisasi Nasional, 2017.
- [4] Tim Pusat Studi Gempa Nasional, *Peta Sumber dan Bahaya Gempa Bumi Indonesia Tahun 2017*. Jakarta: Kementerian Pekerjaan Umum dan Perumahan Rakyat, 2017. ISBN: 9786025489013.