



Analisis Kestabilan *Embankment* Pada *Storage Facility Pyrite Concentrate* PT. Freeport Indonesia

Risa M. Wantalangi^{#a}, Roski R. I. Legrans^{#b}, Lanny D. K. Manaroinsong^{#c}

^{#a}Program Studi Teknik Sipil Universitas Sam Ratulangi, Manado, Indonesia
^amariawantalangi@one@gmail.com, ^blegransroski@unsrat.ac.id, ^clanny.manaroinsong@unsrat.ac.id

Abstrak

Embankment pada tempat penyimpanan (*storage facility*) tailing PT Freeport Indonesia merupakan *embankment* tipe urugan yang akan dibangun diluar aliran Sungai (*off stream*). Tempat penyimpanan tailing yang disebut *Pyrite Concentrate* (PCON) memiliki *embankment* tinggi sebesar 23.7 m dan lebar alas sebesar 156.2 m. Berdasarkan geometrik, *embankment* pada tempat penyimpanan ini termasuk dalam kategori bendungan besar (*large dam*) sehingga memerlukan analisis kestabilan untuk menghindari terjadinya kegagalan yang mungkin dapat terjadi. Tujuan dari penelitian ini adalah menganalisis kestabilan *embankment* terhadap daya dukung tanah, penurunan, rembesan, dan stabilitas lereng. Metode analisis yang digunakan adalah metode analitik dan numerik yang mengacu pada SNI 8460:2017, dan menggunakan data hasil uji SPT (*Standard Penetration Test*), serta data geometrik *embankment* yang diperoleh dari PT Freeport Indonesia. Hasil analisis menunjukkan bahwa daya dukung tanah terhadap *embankment* menggunakan metode Terzaghi (1943) menghasilkan Faktor keamanan sebesar 30.45 pada kondisi jangka panjang, dan 1.68 pada kondisi jangka pendek. Hasil analisis penurunan menunjukkan bahwa penurunan terbesar adalah 124 mm. Hasil analisis rembesan menunjukkan jumlah debit rembesan lebih besar pada kondisi *embankment* tanpa *core* yaitu 0.00015966. Hasil analisis stabilitas lereng pada beberapa kondisi menunjukkan bahwa nilai Faktor keamanan lebih kecil pada kondisi *embankment* tanpa *core* baik pada kondisi statis dan dinamis. Berdasarkan hasil analisis yang telah dilakukan secara bertahap dapat disimpulkan bahwa *embankment* pada *storage facility pyrite concentrate* PT Freeport Indonesia memiliki kestabilan yang aman terhadap daya dukung, penurunan, rembesan, dan stabilitas lereng.

Kata kunci: *embankment, core, large dam, daya dukung tanah, penurunan, rembesan, stabilitas lereng*

1. Pendahuluan

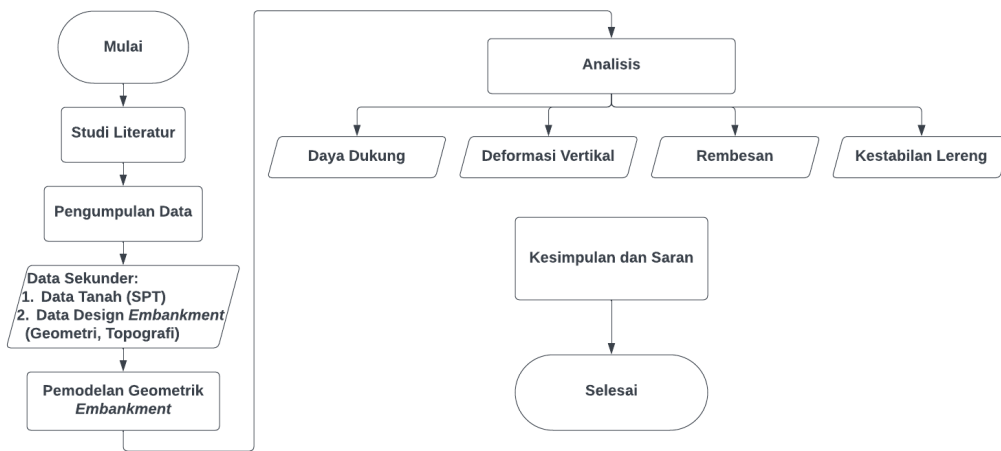
Kegiatan operasional pertambangan tidak terlepas dari sisa hasil pengolahan biji tambang tersebut, yaitu Tailing. Tailing yang dihasilkan melalui pengolahan biji tambang di *mill* kemudian dialirkan menggunakan sistem *rivering* menuju area pengelolaan tailing yang telah disetujui oleh Pemerintah di dataran. Area pengelolaan Tailing ini adalah area yang terbuka pada ujung bagian selatan dimana aliran keluar menuju Laut Arafura. Upaya pengoptimalan dalam pengelolaan sisa hasil pengolahan biji tambang selalu dilakukan dengan baik oleh PT Freeport Indonesia dengan memanfaatkan tailing kedalam berbagai macam fungsi. Adapun salah satu langkah yang dilakukan oleh PT Freeport Indonesia untuk mengikuti peraturan lingkungan dan rehabilitasi adalah membangun suatu tempat penyimpanan (*storage facility*) yang akan disebut PCON (*Pyrite Concentrate*). Untuk memberi performa yang optimal dalam mencegah dampak kegagalan (*failure*) pada konstruksi maka diperlukan desain, konstruksi, dan manajemen penyimpanan yang baik dengan memepertimbangkan keadaan lingkungan dan karakteristik tanah di daerah tersebut. Oleh karena itu, dilakukan analisis kestabilan terhadap *embankment* untuk mengetahui daya dukung tanah, penurunan, rembesan, dan stabilitas lereng pada tempat penyimpanan (*storage facility*) PCON ini.

2. Tahapan Analisis

Tahapan analisis diawali dengan pengumpulan data. Data yang tersedia adalah data sekunder berupa data hasil uji SPT, dan pradesain *embankment*. Dari data tersebut dilakukan studi literatur mengenai korelasi N-SPT terhadap parameter-parameter tanah yang akan digunakan dalam analisis kestabilan, dan teori kestabilan yang meliputi kestabilan daya dukung, kestabilan lereng, kestabilan terhadap rembesan dan deformasi penurunan *embankment*.



Gambar 1. Lokasi Tempat Penyimpanan (PCON)
(Sumber: *Permit Design PCON*)



Gambar 2. Bagan Alir Penelitian

Berikut ini adalah analisis yang dilakukan secara bertahap terhadap kestabilan *embankment* pada *storage facility pyrite concentrate*.

- **Tahap 1** : menghitung tegangan vertikal akibat pembebanan timbunan dengan persamaan

$$\Delta\sigma = \frac{q_0}{\pi} \left[\left(\frac{B_1+B_2}{B_2} \right) (\alpha_1 + \alpha_2) - \frac{B_1}{B_2} (\alpha_2) \right] \quad (\text{sumber : Principles of Geotechnical Engineering 9th Edition})$$

- **Tahap 2** : menghitung daya dukung tanah menggunakan metode *Terzaghi (1943)* dengan persamaan

$$q_{ult} = C_u N_c \text{ (Short term)} \quad (\text{sumber : Principles of Geotechnical Engineering 9th Edition})$$

dan

$$q_{ult} = 0.5\gamma B N_\gamma \text{ (Long term)} \quad (\text{sumber : Principles of Geotechnical Engineering 9th Edition})$$

- **Tahap 3** : menghitung penurunan menggunakan metode *elastic settlement* dan bantuan perangkat lunak *Settle3D*, dengan persamaan :

$$S_e = H \times \Delta\sigma_z \times M_v \quad (\text{sumber : Principles of Geotechnical Engineering 9th Edition})$$

- **Tahap 5** : menghitung debit rembesan menggunakan perangkat lunak *Slide*
- **Tahap 6** : menghitung stabilitas lereng pada beberapa kondisi menggunakan Metode *Bishop Simplified (1955)*, dengan persamaan:

$$N = \frac{W - \frac{(c' L \sin \alpha - u L \sin \alpha \tan \phi)}{F}}{\cos \alpha + \frac{\sin \alpha \tan \phi}{F}} \quad (\text{sumber : Principles of Geotechnical Engineering 9th Edition})$$

3. Hasil dan Pembahasan

3.1. Koreksi Data SPT dan Korelasi Parameter Tanah

Nilai SPT yang didapatkan diolah menggunakan korelasi dengan parameter-parameter yang dibutuhkan kemudian digunakan pada perhitungan-perhitungan selanjutnya. Hasil koreksi data SPT dan korelasi parameter tanah dapat dilihat pada Tabel 1.

Tabel 1. Koreksi Data N-SPT dan Korelasi Parameter Tanah

Parameter Tanah							
No.	z (m)	Jenis Tanah	N60	c _u (kN/m ²)	γ (kN/m ³)	φ'	E (kN/m ²)
1	2.5	Gravel Formation	13.31	79.85	17.90	30.83	13309
2	7		31.33	187.96	17.61	35.33	31327
3	8.5		29.01	174.04	20.25	34.75	29006
4	10		6.48	38.90	15.76	29.07	6484
5	13	Gravel Sand Formation	31.12	186.73	17.56	35.28	31122
6	16	Gravel Formation	35.49	212.94	18.59	36.37	35490
7	17.5		12.29	73.71	14.56	30.57	12285
8	19		23.21	139.23	19.38	33.30	23205
9	22	Gravel Clay Formation	20.48	122.85	18.97	32.62	20475
10	23.5	Clay Gravel Formation	24.57	147.42	19.59	33.64	24570
11	25		16.38	98.28	18.36	31.60	16380
12	28		9.56	57.33	17.80	31.63	9555
13	29.5		21.84	131.04	19.18	32.96	21840
14	31	Sand, Clay, Gravel Formation	19.11	114.66	18.77	32.28	19110
15	32.5	Gravel Clay Formation	12.29	73.71	14.56	30.57	12285

3.2. Perhitungan Tegangan Vertikal Akibat Pembebanan Timbunan

Berikut ini hasil perhitungan tegangan efektif akibat pembebanan timbunan yang terjadi ditunjukkan pada Tabel 2.

Tabel 2. Perhitungan Tegangan vertikal Akibat Pembebanan Timbunan

No.	z (m)	γ (kN/m ³)	q ₀ (kN/m ²)	α1	α2	I2	Δσz
1	1.25	17.90	474	0.66	0.11	0.28	264.77
2	4.75	17.61		0.20	0.03	0.08	79.60
3	7.75	20.25		0.13	0.02	0.05	49.16
4	9.25	15.76		0.11	0.01	0.04	41.25
5	11.5	17.56		0.08	0.01	0.04	33.22
6	14.5	18.59		0.07	0.01	0.03	26.36

3.3. Perhitungan Daya Dukung Tanah

Berikut resume hasil perhitungan daya dukung tanah yang dilakukan pada kondisi jangka panjang dan jangka pendek menggunakan metode Terzaghi (1943) ditunjukkan pada Tabel 3.

Tabel 3. Perhitungan Daya Dukung Tanah

DAYA DUKUNG TANAH (BEARING CAPACITY)							
Short-term Condition				Long-term Condition			
qult	qall	Pmax	Fku	qult	qall	Pmax	Fku
823.6416	549.0944	489	1.68	14892.19	9928.129	489	30.45
Kontrol: Fku ≥ SF 1.68 ≥ 1.5 ...OK				Kontrol: Fku ≥ SF 30.45 ≥ 1.5 ...OK			

3.4. Perhitungan Penurunan

$$\begin{aligned} \text{Tinggi total} &= 23.7 \text{ m} \\ B_{\text{Atas}} &= 8,5 \text{ m} \\ B_{\text{Bawah}} &= 24 \text{ kN/m}^3 \\ \gamma_m &= 2,5 \\ H &= 1.25 \\ \Delta\sigma_z &= 264,77 \\ m\nu &= \frac{(1 + \mu)(1 - 2\mu)}{E(1 - \mu)} = 2.73504E - 05 \\ S_e &= m\nu \times \Delta\sigma_z \times H \\ S_e &= (2.73504E - 05)(264,77)(1,25) \\ S_e &= 0,009 \text{ m} \end{aligned}$$

Resume hasil perhitungan penurunan ditunjukkan pada Tabel 4.

Tabel 4. Perhitungan Kapasitas Aksial Uplift Tiang Tunggal (kN)

Penurunan (Settlement)					
No. Layer	H (tebal layer)	E	$\Delta\sigma_z$	$m\nu$	S_e
1	1.25	13309	264.77	2.73504E-05	0.009
2	4.75	31327	79.60	1.16195E-05	0.004
3	7.75	29006	49.16	1.2549E-05	0.005
4	9.25	6484	41.25	5.61404E-05	0.021
5	11.5	31122	33.22	1.16959E-05	0.004
6	14.5	35490	26.36	1.02564E-05	0.004
					0.048 meter
					ΣSe = 4.80 cm
					-48.04 mm

Adapun perhitungan empiris untuk memperkirakan penurunan pada *embankment* tipe urugan sebagai berikut (*Engineering Manual for Irrigation and Drainage No.3, Fill Dam, The Japan Institute of Irrigation and Drainage, March 1988*):

$$S = 0.001 \times H^{3/2}$$

dimana:

S = Penurunan total (m)

H = Tinggi *embankment*

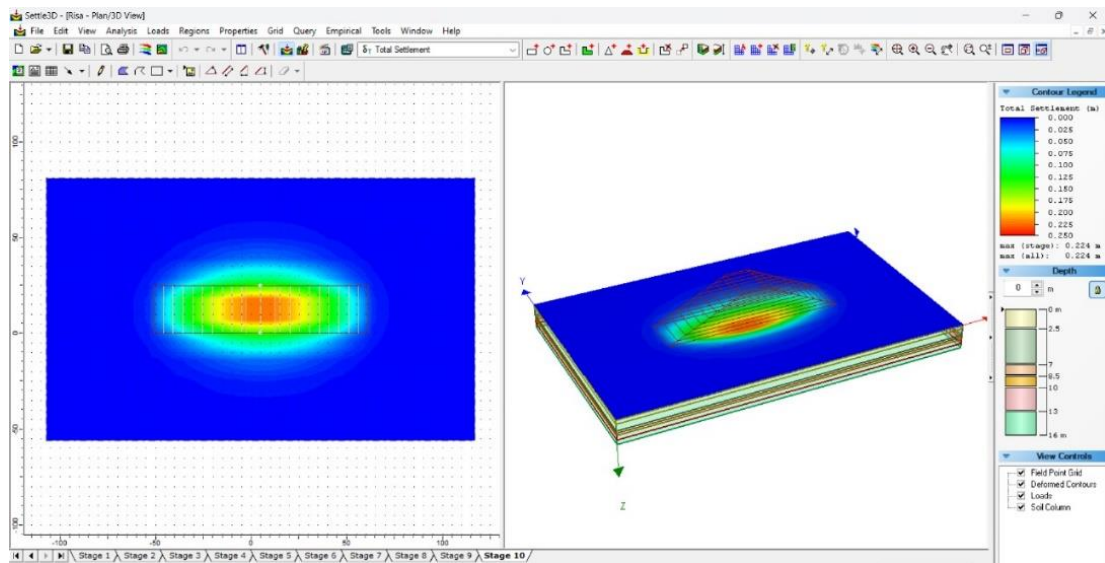
$$= 23.7 \text{ m}$$

$$S = 0.001 \times 23.7^{3/2}$$

$$S = 35.55 \text{ mm}$$

3.5. Perhitungan Penurunan menggunakan perangkat lunak *Settle3D*

Perhitungan pada perangkat lunak *Settle3D* dilakukan secara bertahap menggunakan 10 *stages*, dimana setiap *stages* memiliki tinggi 2.5 m dengan tinggi keseluruhan pada semua *stages* yaitu 23.7 m. Perhitungan dilakukan menggunakan 2 metode, yaitu penurunan segera dan penurunan konsolidasi.



Gambar 3. Penurunan Segera (*Immediate Settlement*)
(Sumber: Hasil Analisis)

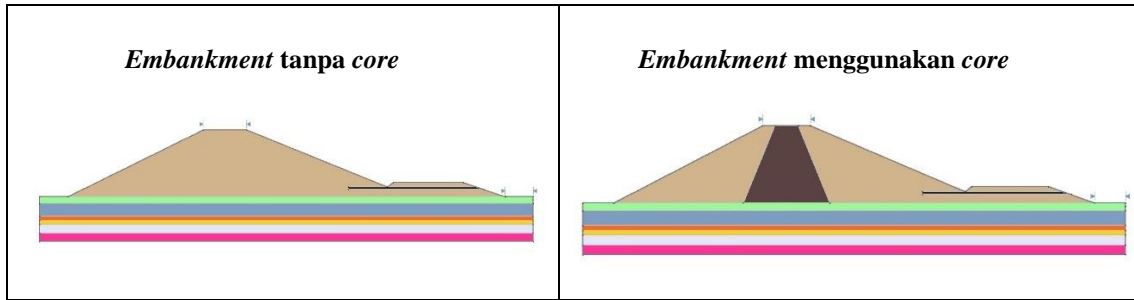
Resume perhitungan penurunan yang dilakukan pada semua metode ditunjukkan pada Tabel 5.

Tabel 5. Perbandingan Hasil Perhitungan Penurunan

Penurunan (<i>Settlement</i>)					
H (m)	Tegangan	Perhitungan Empiris (mm)	Menggunakan <i>Settle3D</i> (mm)		(Engineering Manual for Irrigation and Drainage No.3, Fill Dam, The Japan Institute of Irrigation and Drainage, March 1988): (mm)
			P. Segera (Se)	P. Konsolidasi (Se)	
0	0	0	0	0	0
2.5	50	45.78	35	12.8	3.75
5.0	100	48.72	67.9	24.7	7.5
7.5	150	50.97	98.5	35.8	11.25
10.0	200	52.52	127	46.1	15
12.5	250	53.34	152	55.4	18.75
15.0	300	53.45	175	63.6	22.5
17.5	350	52.81	194	70.7	26.25
20.0	400	51.44	210	76.4	30
22.5	450	49.32	221	80.3	33.75
23.7	474	48.04	224	81.6	35.55

3.6. Perhitungan Debit Rembesan menggunakan Perangkat Lunak

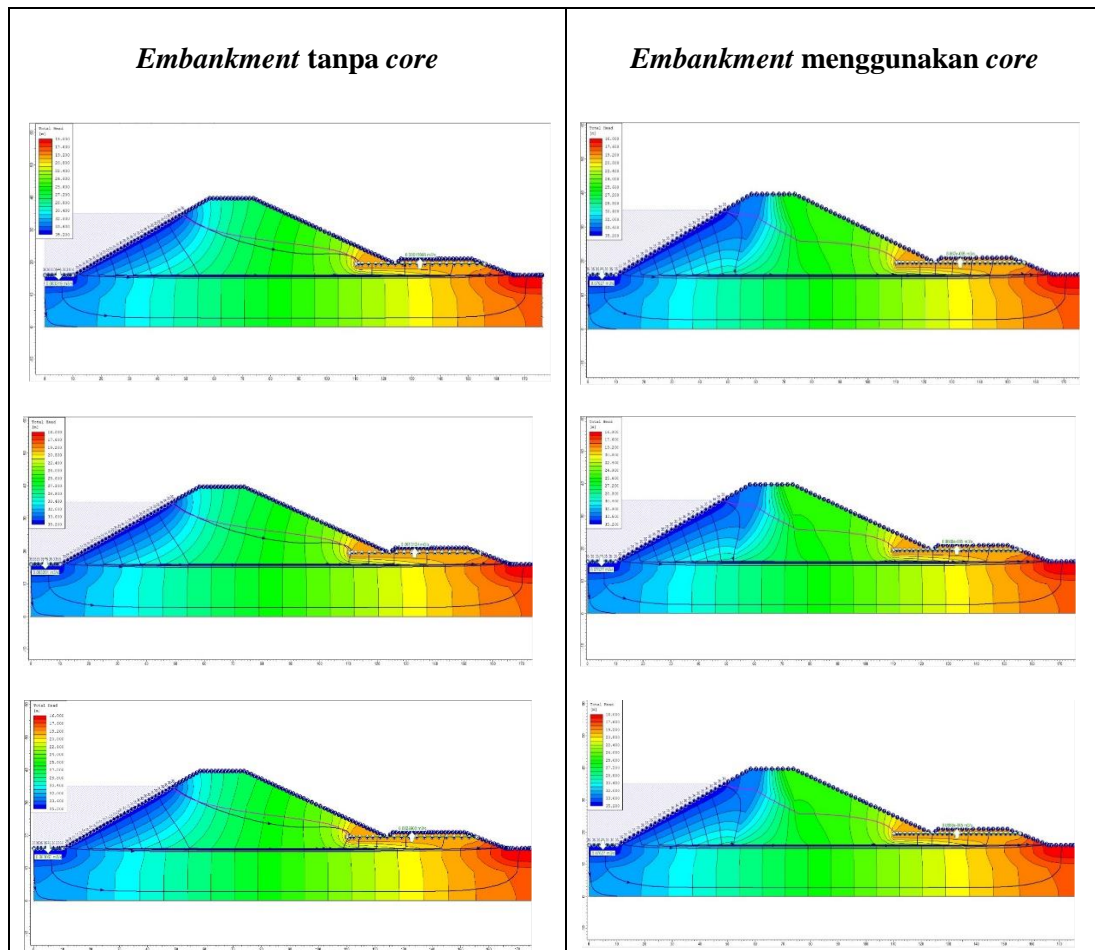
Kondisi tanah *embankment* diasumsikan homogen dengan kondisi *storage facility* yang telah terisi penuh dengan cairan pirit didalamnya. Berdasarkan data pradesain yang ada diketahui bahwa debit *inflow* tahunan pada *storage facility* adalah 750 ltr/dtk. Perhitungan menggunakan pemodelan tambahan pada desain *embankment*, yaitu *core* dan filter seperti pada Gambar 4. Material pada *embankment* dan material pada *core* diasumsikan memiliki 3 variasi nilai koefisien permeabilitas (*k*) ditunjukkan pada Tabel 6.



Gambar 4. Geometrik *Embankment*
(Sumber: Slide)

Tabel 6. Variasi Koefisien Permeabilitas (k)

Variasi Koefisien Permeabilitas (k)			
	k1	k2	k3
<i>Embankment</i>	1.00E-03 (cm/s)	5.00E-03 (cm/s)	9.00E-03 (cm/s)
Variasi Koefisien Permeabilitas (k)			
	k1	k2	k3
<i>Core (inti)</i>	5.00E-06 (cm/s)	5.00E-07 (cm/s)	5.00E-08 (cm/s)



Gambar 5. Hasil Perhitungan Debit Rembesan
(Sumber: Slide)

Resume hasil perhitungan debit rembesan yang dilakukan pada kedua kondisi ditunjukkan pada Tabel 7.

Tabel 7. Hasil Perhitungan Debit Rembesan

Rembesan (Inflow)			
	k1	k2	k3
No Core	0.00015966	0.0013124	0.0023803
	ltr/dtk k1	ltr/dtk k2	ltr/dtk k3
With Core	0.00008867	0.000088668	0.000088668
	ltr/dtk	ltr/dtk	ltr/dtk

Selanjutnya menghitung kontrol terhadap rembesan dan *piping*. Debit inflow tahunan rata-rata:

$$Q_i = 750 \text{ ltr/dtk}$$

$$Q_r = 0.00015966 \text{ ltr/dtk}$$

$$Q_i = \frac{0.00015966 \text{ ltr/dtk}}{750 \text{ ltr/dtk}}$$

$$Q_i = 0.02 \% < 2 \% \dots \text{AMAN}$$

Faktor keamanan terhadap *piping* dengan nilai *vertical hydraulic gradien* diperoleh dari hasil analisis menggunakan *Slide*.

$$I_y = 0.350$$

$$I_c = \frac{\gamma'}{\gamma_w} = \frac{G_s - 1}{1 + e}$$

$$I_c = \frac{20 - 9.81}{9.81}$$

$$I_c = 1.0387, \text{ maka}$$

$$FK_{piping} = \frac{I_c}{I_y} = \frac{1.0387}{0.350} = 2.97 > 2 \dots \text{AMAN}$$

Resume hasil perhitungan debit rembesan yang dilakukan pada kedua kondisi ditunjukkan pada Tabel 8.

Tabel 8. Kontrol terhadap Rembesan dan *Piping*

Kontrol terhadap Rembesan:			
	FK Hitung	FK maks.	Keterangan
Embankment tanpa core			
K1	0.02%	2%	Aman
K2	0.17%	2%	Aman
K3	0.25%	2%	Aman
Embankment menggunakan core			
K1	0.01%	2%	Aman
K2	0.01%	2%	Aman
K3	0.01%	2%	Aman
Kontrol terhadap <i>piping</i> :			
	FK Hitung	FK min.	Keterangan
Embankment tanpa core			
K1	2.97	2	Aman
K2	2.97	2	Aman
K3	2.97	2	Aman
Embankment menggunakan core			

K1	5.19	2	Aman
K2	5.19	2	Aman
K3	5.19	2	Aman

3.7. Perhitungan Stabilitas Lereng menggunakan perangkat lunak Slide

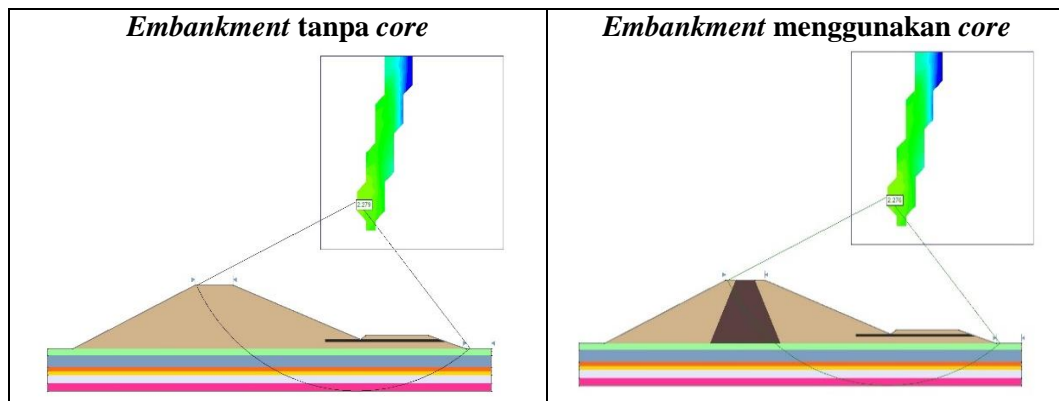
Perhitungan dilakukan pada 3 kondisi yaitu:

1. Kondisi Setelah Selesai Konstruksi (*End of Construction*)
2. Kondisi Aliran Langgeng (*Steady State*)
3. Kondisi Pasca-Gempa (*Post-Earthquake Stability*)

Berikut hasil perhitungan yang telah dilakukan pada setiap kondisi:

1. Kondisi Setelah Selesai Konstruksi (*End of Construction*)

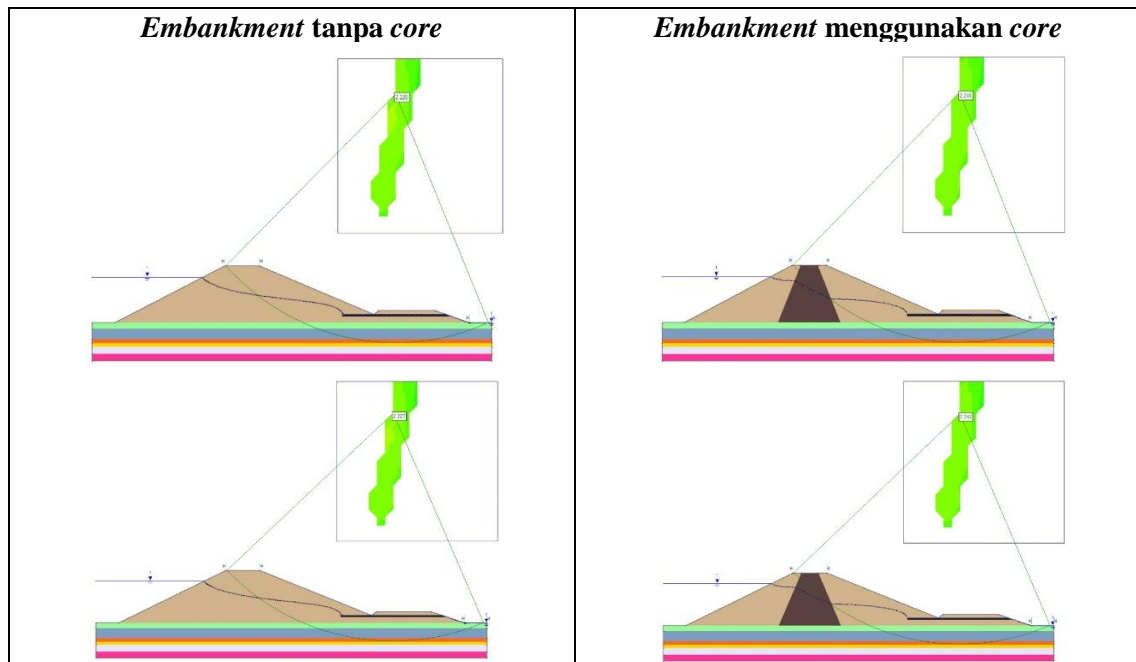
Kondisi ini merupakan kondisi dimana setelah pembangunan dengan asumsi bahwa *storage facility* belum terisi dan masih dalam keadaan kosong. Hasil pada Gambar 6 menunjukkan bahwa nilai $FK > 1.5$ yang berarti lereng pada kondisi tersebut aman.

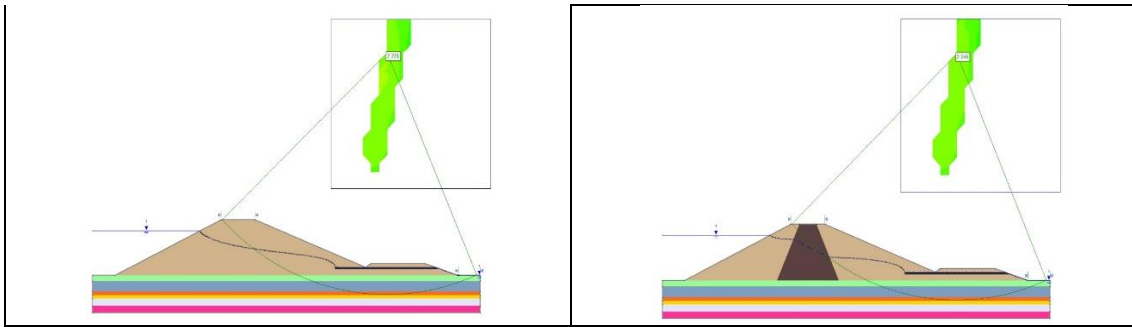


Gambar 6. Kondisi Setelah Konstruksi (*End of Construction*)
(Sumber: Hasil Analisis)

2. Kondisi Aliran Langgeng (*Steady State*)

Kondisi ini merupakan kondisi dimana *storage facility* telah terisi penuh sehingga terdapat aliran rembesan. Hasil pada Gambar 7 menunjukkan bahwa nilai $FK > 1.5$ yang berarti lereng pada kondisi tersebut aman.

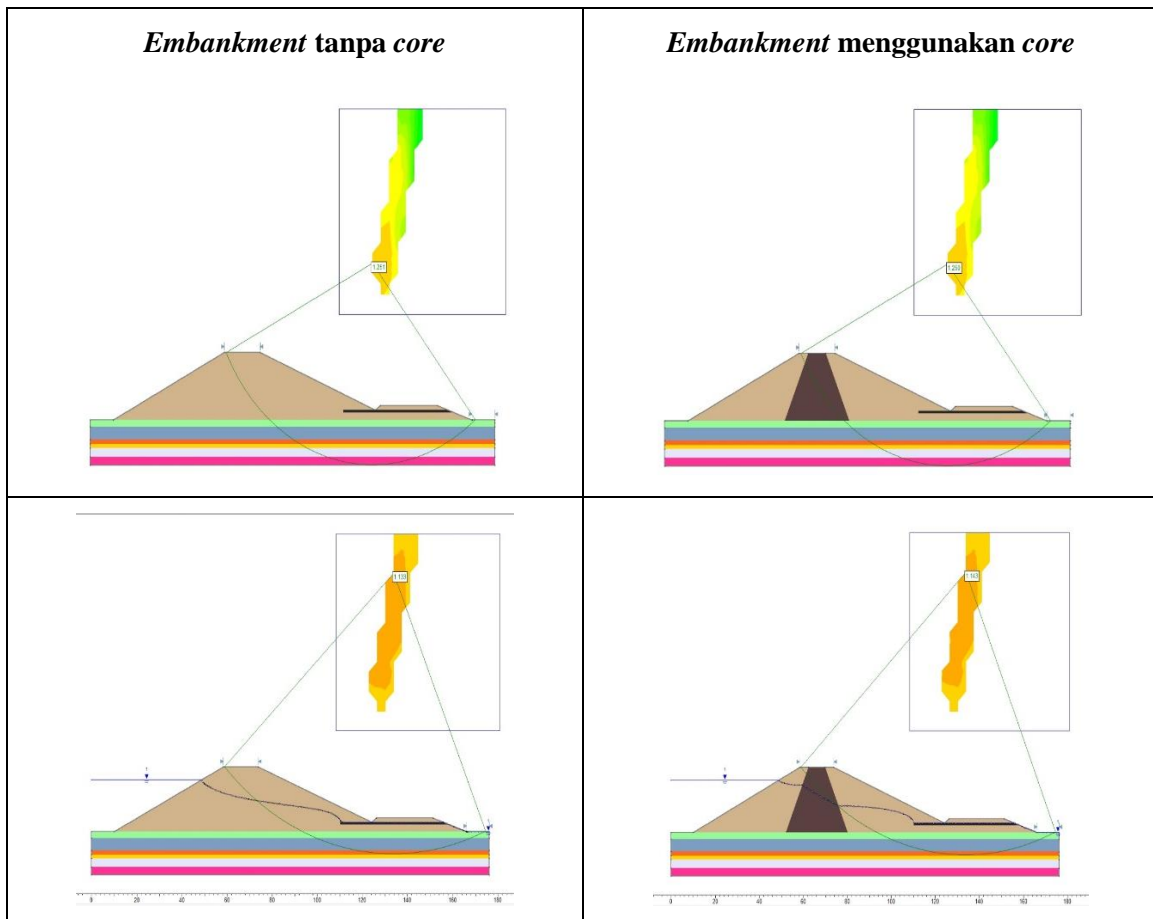


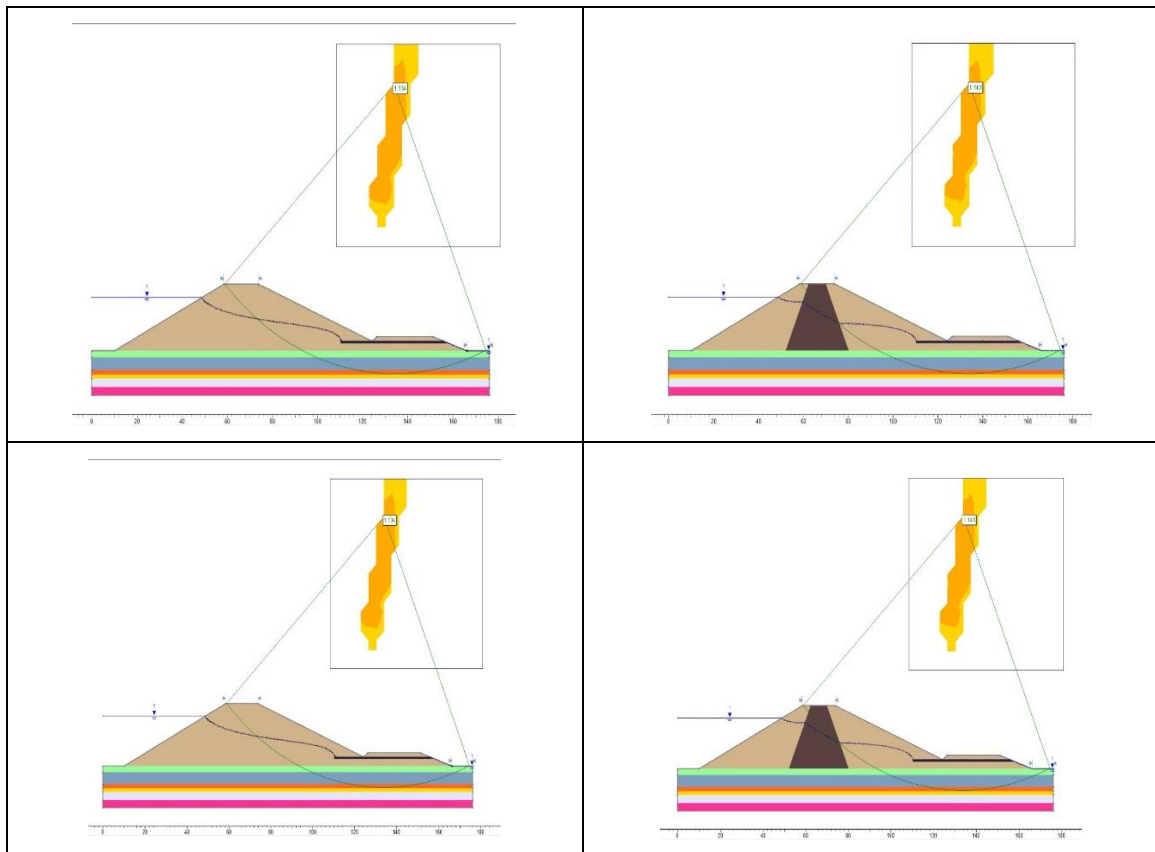


Gambar 7. Kondisi Aliran Langueng (*Steady State*)
(*Sumber: Hasil Analisis*)

3. Kondisi Pasca-Gempa (*Post-Earthquake Stability*)

Pada kondisi pasca-gempa dengan koefisien beban gempa (PGA) = 0.21 yang diperoleh dari peta MCEg dengan disesuaikan pada lokasi penelitian. Kondisi ini memperhitungkan kestabilan lereng pasca-gempa dengan nilai FK minimum 1.1. Hasil pada Gambar 8 menunjukkan bahwa lereng memiliki nilai FK > 1.1 yang berarti lereng pada kondisi tersebut aman.





Gambar 8. Kondisi Pasca-gempa (*Post-Earthquake Stability*)
(*Sumber: Hasil Analisis*)

Resume hasil perhitungan stabilitas lereng yang dilakukan pada beberapa kondisi ditunjukkan pada Tabel 9.

Tabel 9. Perbandingan Hasil Perhitungan Stabilitas Lereng

Faktor Keamanan Lereng				
Metode Bishop (1955)				
Short-term	FK Hitung		FK Ijin	Kontrol
	1.57		1.25	OK
Long-term	Tanpa Core	Menggunakan Core	1.25	OK
	1.32	1.78		
Rocscience Slide (Bishop 1955)				
Kondisi	FK Hitung (Statis)		FK Ijin	Kontrol
	Tanpa Core	Menggunakan Core		
End of Construction	2.279	2.276	1.25	OK
Long Steady State	2.226	2.246	1.25	OK
	2.227	2.246	1.25	OK
	2.228	2.246	1.25	OK
FK Hitung (Dinamis)				
Kondisi	Tanpa Core	Menggunakan Core	FK Ijin	Kontrol
	1.251	1.25	1.1	OK
Long Steady State	1.133	1.143	1.1	OK
	1.134	1.143	1.1	OK
	1.134	1.143	1.1	OK

4. Kesimpulan

1. Daya dukung tanah mendapatkan Faktor keamanan sebesar 30.45 pada kondisi jangka panjang (*Long-term*) dan 1.68 pada kondisi jangka pendek (*Short-term*) dimana Faktor keamanan masih berada diatas batas standar yang ditentukan yaitu 1.5
2. Penurunan terbesar yang terjadi adalah 224 mm, dimana angka tersebut tidak melebihi batas standar yaitu 5% dari total tinggi *embankment* (<1.185 m).
3. Debit rembesan terbesar terjadi pada kondisi *embankment* tanpa *core* dengan Faktor keamanan terhadap rembesan dan *piping* tidak melebihi batas yaitu, maksimum 2% untuk rembesan (FK < 2%), dan minimum 2 untuk *piping* jika menggunakan filter (FK > 2).
4. Stabilitas lereng menunjukkan bahwa Faktor keamanan yang didapatkan lebih besar jika *embankment* menggunakan dengan nilai Faktor keamanan lebih dari 1.3 (FK > 1.3) untuk kondisi statis dan 1.1 (FK > 1.1).

Referensi

- Angga Ahmad Maulana, D. R. (2014). *Analisis Stabilitas Tanggul yang Distabilisasi Menggunakan Kapur, Flyash, dan Biobakteri Akibat Musim Hujan dan Musim Kemarau di Sungai Bengawan Solo Cross Section 0+500 Semambung - Bojonegoro*.
- Braja M. Das, K. S. (2018). *Principles of Geotechnical Engineering (Ninth Edition)*. United States of America: CENGAGE Learning.
- Camela A Seroy, F. J. (Februari 2020). Analisa Kestabilan *Embankment* Nunuka 1. *Jurnal Sipil Statik Vol.8 No.2* , (205-210) ISSN : 2337-6732.
- Das, B. M. (1995). *Mekanika Tanah (Prinsip-prinsip Rekayasa Geoteknis)-Jilid 1*. Jakarta: Erlangga.
- Dharmayasa, I. G. (n.d.). Analisis Rembesan Dibawah Tubuh Bendungan Urugan. *Jurnal Teknik Sipil, Universitas Pendidikan Nasional, Denpasar, Bali*.
- Dian Asri Moelyani, Elan Kadar, Rakhman Taufik, DEa Pertiwi, Fahmi Aldiamar. (n.d.). *Modul Pelatihan Geosintetik Volume 1. Klasifikasi dan Fungsi Geosintetik*. Direktorat Bina Teknik, Direktorat Jenderal Bina Marga Kementerian Pekerjaan Umum.
- Elrinawati Lumentah, F. J. (2021). Analisis Kestabilan DAM Tailing PT. Sumber Energy Jaya. *Ilmiah Media Engineering*, Vol. 11 No.3.
- Hardiyatmo, H. C. (t.thn.). *Mekanika Tanah Jilid 1 Edisi Pertama*. Yogyakarta: Gadjah Mada University Press.
- Heni Setyawati, N. N. (n.d.). Analisis Rembesan pada Perencanaan Pembangunan Bendungan Logung, Kabupaten Kudus, Jawa Tengah . *Departemen Teknik Geologi, Fakultas Teknik, Universitas Diponegoro, Semarang*.
- John R. McMahon, C. C. (2004). *General Design and Construction Consideration for Earth and Rock-Fill Dams*. Washington: DEPARTMENT OF THE ARMY U.S Army Corps of Engineers Washington, DC 20314-1000.
- Narendra Kumar, Chairman, Central Water Commission. (2017). *Guidelines for Instrumentation of Large Dams*. New Delhi: Dam Safety Rehabilitation Directorate.
- P.K.Robertson. (1999 Balkema, Rotterdam). Estimation of minimum undrained shear strenght for flow liquefaction using the CPT. *Earthquake Geotechnical Engineering, Seco e Pinto (ed) ISBN 90 5809 1163*.
- Peter J Burgess, D. S. (2006 - 2017). Settlement Behavior of a Major DAM. *John C. Small, Harry G. Poulos* (pp. 1 - 11). Sidney: The University of Sidney.
- Reza Satria Warman, S.T. (2019). *Kumpulan Korelasi Parameter Geoteknik dan Fondasi*. Jakarta: Kementerian Pekerjaan Umum dan Perumahan Rakyat Direktorat Jenderal Bina Marga.
- Robert D. Holtz, P. P. (2011). *AN INTRODUCTION TO GEOTECHNICAL ENGINEERING (Second Edition)*. PEARSON Education, Inc.
- Rohini College of Engineering & Technology. (n.d.). Earthen Dams.
- Saragih, F. V. (2021). *Analisi Geoteknik Terhadap Kestabilan Tubuh Bendungan Akibat Rembesan Pada Lokasi Bendungan Lau Simeme dengan Program Plaxis V.8.6*. Medan: Departemen Teknik Sipil Fakultas Teknik Universitas Sumatera Utara.
- Soedibyo. (1993). *Teknik Bendungan*. Jakarta: Pradnya Paramita.
- Standar Nasional Indonesia. (2017). *Standar Nasional Indonesia SNI 8460:2017 tentang Persyaratan Perancangan Geoteknik* . Jakarta: Badan Standarisasi Nasional.
- The Japan Institute of Irrigation and Drainage. (1988). *Engineering Manual for Irrigation and Drainage No.3, Fill Dam*. Japan.