

Analisis Kestabilan Bendung Penahan Fly Ash Dengan PLAXIS 3D Studi Kasus: Pembangkit Listrik Tenaga Uap (PLTU) Kema

Ivan Martua Hutasoit^{#1}, Fabian J. Manoppo ^{#2}, Agnes T. Mandagi^{#3}

[#]Program Studi Teknik Sipil, Universitas Sam Ratulangi

Jl. Kampus UNSRAT Kelurahan Bahu, Manado, Indonesia, 95115

¹ivanhutasoit99@gmail.com; ²fabian_jm@unsrat.ac.id; ³atmandagi@gmail.com

Abstrak

Bendung penahan limbah yang terletak di Pembangkit Listrik Tenaga Uap (PLTU) Kema, Kecamatan Kema, Kabupaten Minahasa Utara, Provinsi Sulawesi Utara adalah bendung penahan limbah fly ash. Dalam pembuangan dari limbah itu sendiri perlu adanya Bendung penahan limbah supaya tidak mencemari lingkungan disekitarnya. Pembangunan bendung penahan limbah ini mempunyai resiko tinggi berupa kemungkinan terjadinya kegagalan, sehingga perlu dilakukan analisis bendung baik dari segi Deformasi, hingga Safety Factor, Adapun dalam hal menganalisis digunakan program (software) yaitu PLAXIS 3D yang merupakan program dengan metode elemen hingga bertujuan khusus untuk menganalisis masalah-masalah di bidang geoteknik. Penelitian yang dilakukan ada 2 jenis pemodelan, yaitu bendung tanpa Geogrid dan bendung dengan Geogrid. Untuk kondisi bendung terdapat 6 kondisi yaitu 1. bendung kosong; 2. bendung terisi sebagian oleh Fly Ash; 3. bendung terisi penuh oleh Fly Ash; 4. bendung terisi sebagian oleh Air; 5. bendung terisi penuh oleh Air; 6. bendung terisi penuh oleh Fly Ash dan Air. Kondisi terkritis terletak pada bendung terisi penuh oleh Fly Ash untuk kedua pemodelan. Kondisi terkritis pada bendung tanpa geogrid didapatkan SF: 1,672 dengan Deformasi: 0,3743 m. Kondisi terkritis pada bendung dengan geogrid didapatkan SF: 1,695 dengan Deformasi: 0,3805 m.

Kata kunci – PLAXIS 3D, geogrid, SF, deformasi

I. PENDAHULUAN

A. Latar Belakang

Pembangkit Listrik Tenaga Uap (PLTU) terletak di Kema, Minahasa Utara, Sulawesi Utara. Pembangunan bendung limbah pada PLTU Kema berguna untuk menahan limbah B3 hasil pembuangan PLTU. Limbah B3 sendiri merupakan limbah beracun dan berbahaya yang dapat membahayakan Keberlangsungannya makhluk hidup serta dapat menyebabkan pencemaran lingkungan.

Volume limbah tambang pada umumnya sangat besar, oleh karena itu perlu kolam yang sangat besar untuk menampung limbah agar tidak menimbulkan dampak yang merugikan pada lingkungan, perlu dilakukan pengolahan tailing dengan cara yang tepat. Salah satu teknik pengolahan tailing adalah dengan membangun bendung limbah atau tailing dam (Direktorat Jenderal Sumber Daya Air, 2004)

Kerusakan bendung yang terlalu dini merupakan salah satu permasalahan yang terjadi akibat kestabilan bendung terhadap gaya yang bekerja pada bendung tersebut. Maka dari itu dalam pembuatan bendung harus memenuhi kestabilan bendung.

Untuk menganalisis kestabilan bendung dapat dilakukan dengan beberapa cara. Salah satu cara yaitu menggunakan program PLAXIS 3D yang telah dikembangkan oleh para ahli. Untuk studi kasus kali ini akan digunakan Program PLAXIS 3D untuk menganalisis kestabilan tubuh bendung

B. Perumusan Masalah

Dalam penelitian ini, rumusan masalah yang ada yaitu bagaimana mencari Faktor Keamanan serta deformasi bendung dengan perhitungan menggunakan program PLAXIS 3D Versi 20.

C. Tujuan Penelitian

Tujuan dari penelitian ini adalah :

1. Mengetahui faktor keamanan pada bendung dengan software PLAXIS 3D
2. Mengetahui Deformasi pada bendung dengan software PLAXIS 3D

D. Manfaat Penelitian

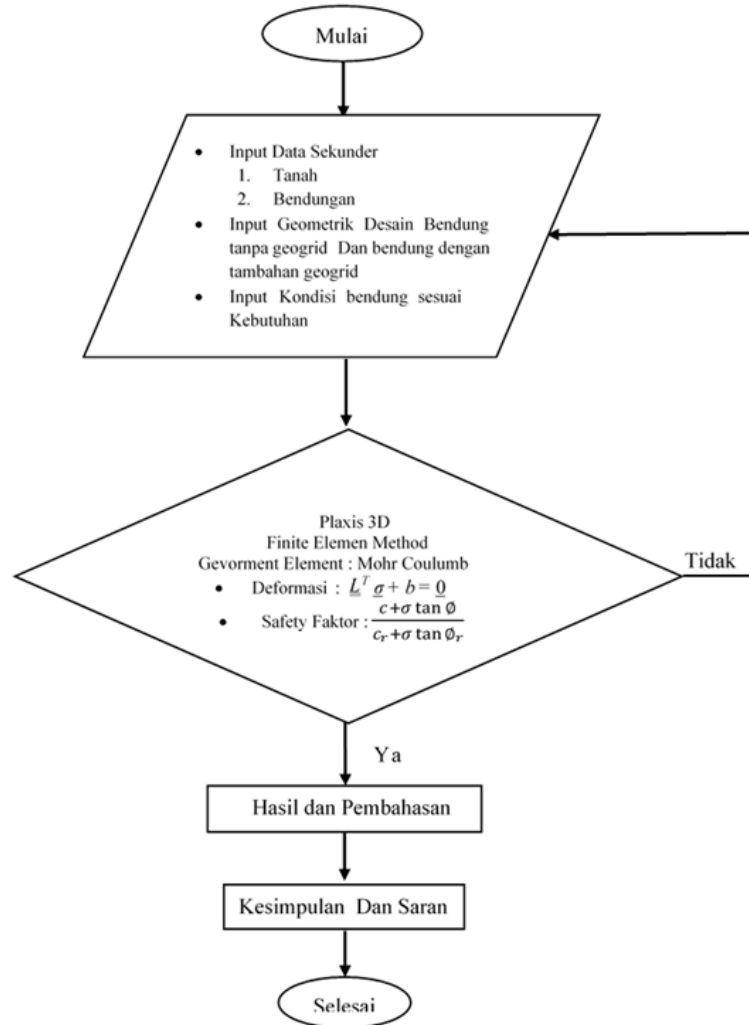
Batasan masalah pada penelitian ini :

1. Bendung yang akan dianalisa terdapat pada Pembangkit Listrik Tenaga Uap (PLTU) yang terletak di kema
2. Tinjau penelitian hanya dilakukan pada tubuh bendungan
3. Dengan asumsi bendungan terisi Fly Ash dan Air
4. Kondisi dibagi menjadi 6 yaitu :
 - 1) Kondisi bendung kosong
 - 2) Kondisi bendung terisi sebagian oleh Fly Ash
 - 3) Kondisi bendung terisi penuh oleh Fly Ash
 - 4) Kondisi bendung terisi sebagian oleh Air
 - 5) Kondisi bendung terisi penuh oleh Air
 - 6) Kondisi bendung terisi penuh oleh Fly Ash dan Air
5. Pada Puncak Bendung ditambahkan Beban Truk untuk membuang limbah Fly Ash
6. Analisa Bendungan yang dilakukan menggunakan PLAXIS 3D Versi 20

7. Data penyelidikan tanah yang digunakan dalam kasus ini adalah Standart Penetration Test (SPT)
8. Menambah wawasan mengenai Stabilitas Bendung menggunakan software PLAXIS 3D

II. METODOLOGI PENELITIAN

Dalam penelitian ini dilakukan dengan beberapa tahapan analisis dimulai dari input data tanah, pembuatan geometrik tubuh bendung, input data bendung, input beban serta keadaan air, penentuan node yang akan ditinjau hingga proses perhitungan. Dalam proses perhitungan akan ditambahkan 6 kondisi sesuai dengan batasan masalah. Setelah proses proses perhitungan, akan keluar hasil, hasil yang akan diambil adalah faktor keamanan dan deformasi.



Gambar 1. Diagram Alir Penelitian

III. HASIL DAN PEMBAHASAN

A. Parameter Tanah

Sebuah bendung berdiri diatas tanah sehingga perlu juga untuk mengetahui kondisi tanah yang akan didirikan tubuh bendung, tabel 1 adalah hasil nilai parameter tanah yang sudah dikorelasikan untuk diinput pada plaxis.

B. Parameter Bendung

Pekerjaan penimbunan pada tubuh bendungan ini terdiri dari 4 macam zona penimbunan yaitu, zona 1 yang merupakan zona inti, zona 2 merupakan zona filtrasi, zona 3 timbunan batu, dan zona 4 merupakan batuan rip-rap (diameter > 0,5 m). Pada gambar 1 merupakan susunan material penyusun tubuh bendungan, dan tabel 1 adalah nilai parameter tanah untuk diinput di plaxis.

C. Perhitungan Beban Fly Ash

Bendung menerima beban berupa fly ash, untuk menghitung beban fly ash yang berkerja pada tubuh bendung digunakan rumus sebagai berikut :

$$Pa = Ka \cdot \gamma \cdot H$$

$$Ka = (\tan 45^\circ - \varphi/2)$$

dengan

$$\gamma = 24 \text{ kN/m}^3$$

$$\varphi = 30^\circ$$

Untuk perhitingan sisi harizontal dikalikan $\frac{1}{2}$ dan untuk sisi miring dikalikan $\frac{1}{3}$. dalam perhitungan Fly

Ash terdapat 2 kondisi, dengan kondisi penuh H= 16 m, serta kondisi terisi setengah H = 8 m

Berikut adalah nilai beban Fly Ash yang akan dipakai:

- Beban bendung Penuh Fly Ash
Sisi Harizontal : 110,841 kN/m²
Sisi Miring : 73,115 kN/m²
- Beban bendung Setengah Fly Ash
Sisi Harizontal : 55,421 kN/m²
Sisi Miring : 36,578 kN/m²

D. Perhitungan beban Truk

Pada puncak bendung terdapat truk yang akan digunakan untuk membuah limbah fly Ash ke dalam bendung, sehingga dalam perhitungan perlu dicantumkan. Berikut cara menghitung beban truk yang berkerja.

$$\text{Beban truk maksimal} = 25 \text{ ton}$$

$$= 245,25 \text{ kN}$$

$$\text{Luas Truk} = 2 \text{ m} \times 8,5 \text{ m}$$

$$= 17 \text{ m}^2$$

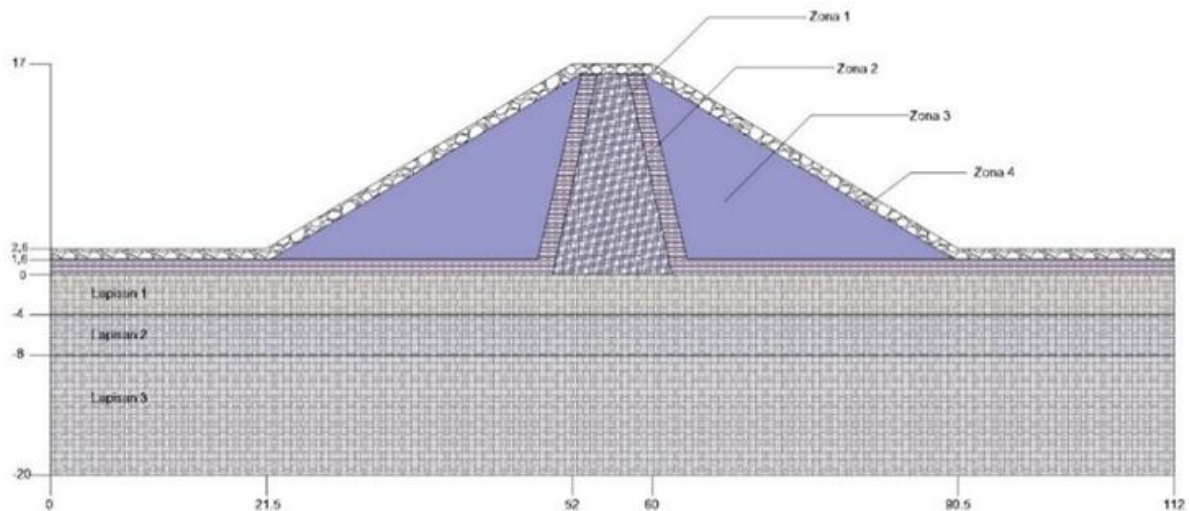
$$\text{Beban Truk} = 245,25 \text{ kN} : 17 \text{ m}^2$$

$$= 14,436 \text{ kN/m}^2$$

$$= 15 \text{ kN/m}^2$$

E. Perhitungan Beban Air

PLAXIS 3D bisa mensimulasikan kondisi air yang ada sehingga tidak perlu dilakukan perhitungan kondisi air, pada kasus ini terdapat 2 kondisi air, yaitu pada kondisi air sebagian dan pada kondisi penuh.



Gambar 2. Dimensi Tubuh Bendung dan Layer Tanah

TABEL 2
Data Parameter Tanah

No.	Parameter	Simbol	Unit	Material		
				Lapisan 1	Lapisan 2	Lapisan 3
1	Material Model	<i>Model</i>	-	Mohr Coulomb	Mohr Coulomb	Mohr Coulomb
2	Tipe	<i>Type</i>	-	Drained	Drained	Drained
3	Berat Isi Kering	γ_{unsat}	[kN/m ³]	17,5	19	20
4	Berat Isi Basah	γ_{sat}	[kN/m ³]	19	20	21
5	Modulus Elastisitas	<i>E'</i>	[kN/m ²]	25000	30000	35000
6	Sudut Geser Dalam	ϕ	[^o]	33	34	36
7	Kohesi	<i>C_{ref}</i>	[kN/m ²]	0	0	0
8	Poisson Ratio	<i>v</i>		0,3	0,33	0,35
9	Koef. Permeabilitas	<i>K</i>	[m/day]	0,0001	0,0001	0,0001

Sumber: Hasil Penelitian

TABEL 3
Data Parameter Bendung

No.	Parameter	Simbol	Unit	Material (Zona)			
				Zona 1	Zona 2	Zona 3	Zona 4
				Inti	Filtrasi	Random Batu	Rip-Rap
1	Material Model	<i>Model</i>	-	Mohr Coulomb	Mohr Coulomb	Mohr Coulomb	Mohr Coulomb
2	Tipe	<i>Type</i>	-	Drained	Drained	Drained	Drained
3	Berat Isi Kering	γ_{unsat}	[kN/m ³]	17,9	17,4	21,8	22,1
4	Berat Isi Basah	γ_{sat}	[kN/m ³]	18,7	19,9	22,9	22,8
5	Modulus Elastisitas	<i>E'</i>	[kN/m ²]	25000	100000	100000	150000
6	Sudut Geser Dalam	ϕ	[^o]	18,3	30	39	40
7	Kohesi	<i>C_{ref}</i>	[kNm ²]	3	4	5	-
8	Poisson Ratio	<i>v</i>		0,3	0,3	0,3	0,3
9	Koef. Permeabilitas	<i>K</i>	[m/day]	2,16x10-5	0,0246	0,35	Free Drain

Sumber: Hasil Penelitian

F. Analisa Kestabilan Bendung

Dalam analisa kali ini akan dibahas analisa bendung tanpa penggunaan geogrid serta dengan penambahan geogrid. Dalam analisis bendung terdapat 6 kondisi

- a. Kondisi bendung kosong
 - b. Kondisi bendung terisi sebagian oleh Air
 - c. Kondisi bendung terisi penuh oleh Air
 - d. Kondisi bendung terisi sebagian oleh Fly Ash
 - e. Kondisi bendung terisi penuh oleh Fly Ash**
 - f. Kondisi bendung terisi penuh oleh Fly Ash dan Air
- Untuk pembahasan lebih lanjut akan dijelaskan sebagai berikut.

1. Analisa Stabilitas Bendung Tanpa Geogrid

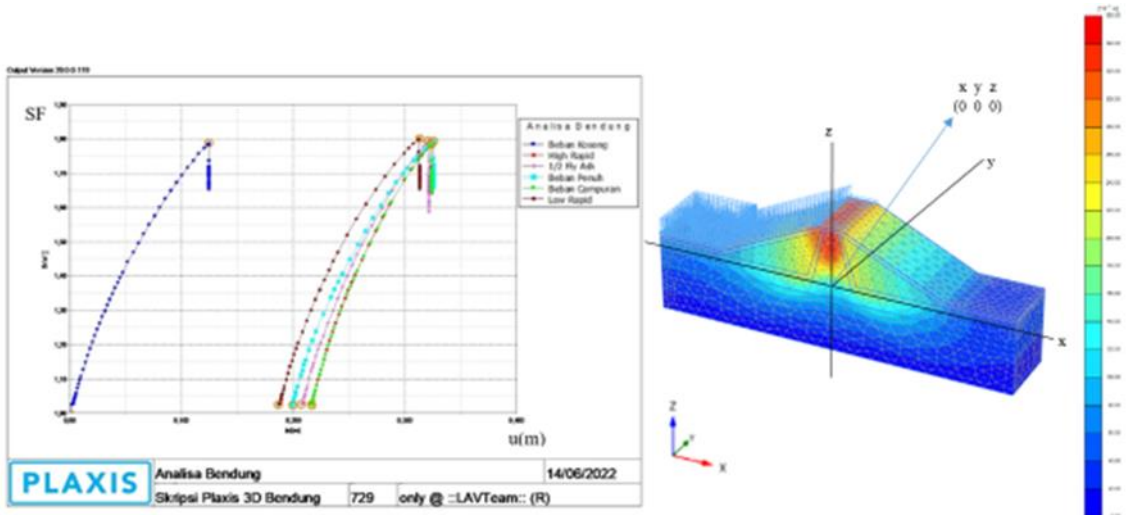
- a. Kondisi bendung kosong
Pada kondisi ini kemungkinan terjadi perpindahan paling besar dengan nilai 0,1370 m dan nilai safety faktor sebesar 1.698.
- b. Kondisi bendung terisi sebagian oleh Air
Pada kondisi ini kemungkinan terjadi perpindahan paling besar dengan nilai 0,3386 m dan nilai safety faktor sebesar 1.694.
- c. Kondisi bendung terisi penuh oleh Air

Pada kondisi ini kemungkinan terjadi perpindahan paling besar dengan nilai 0,3485 m dan nilai safety faktor sebesar 1,687.

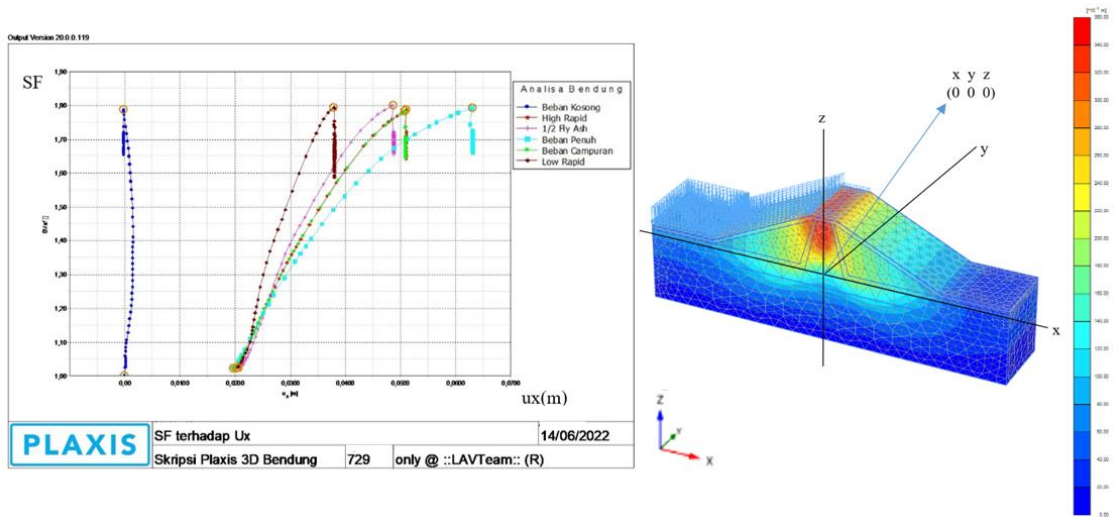
- d. Kondisi bendung terisi sebagian oleh Fly Ash
Pada ini kemungkinan terjadi perpindahan paling besar dengan nilai 0,3402 m dan nilai safety faktor sebesar 1,693.
- e. Kondisi bendung terisi penuh oleh Fly Ash**
Pada ini kemungkinan terjadi perpindahan paling besar dengan nilai 0,3743 m dan nilai safety faktor sebesar 1,672. Pada kondisi ini adalah kondisi terkritis yang terjadi pada tubuh bendung, untuk gambar dapat dilihat pada gambar 2,3,4 dan 5.
- f. Kondisi bendung terisi penuh oleh Fly Ash dan Air
Pada kondisi ini kemungkinan terjadi perpindahan paling besar dengan nilai 0,3435 m dan nilai safety faktor sebesar 1,681.

2. Grafik Safety Faktor terhadap Deformasi

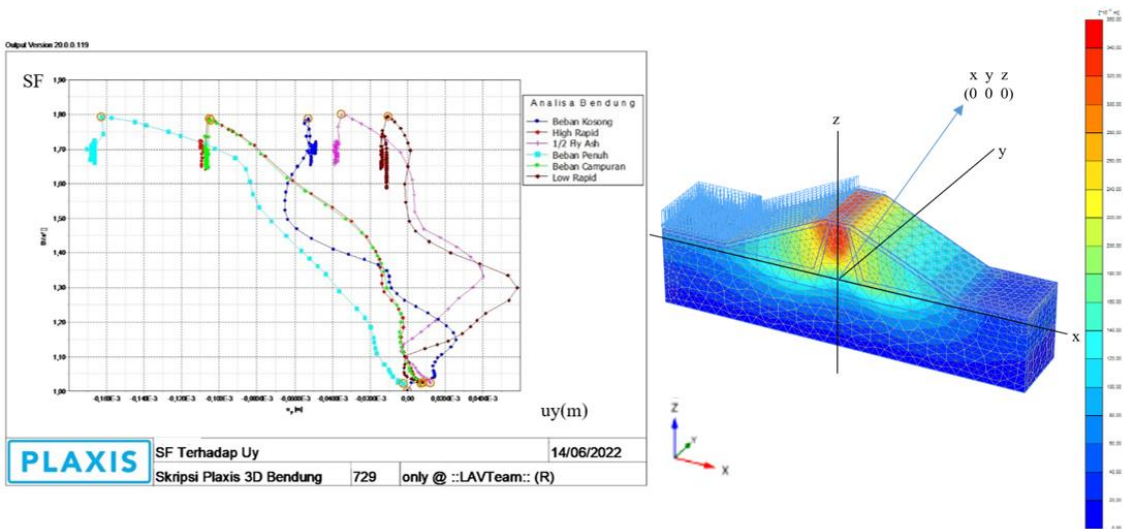
Untuk melihat deformasi yang terjadi dalam tubuh bendung terhadap safety factor telah disajikan beberapa grafik. Grafik Safety Faktor terhadap Deformasi terdapat 4 gambar gambar , yaitu Safety Faktor terhadap u (m), Safety Faktor terhadap ux (m), Safety Faktor terhadap uy (m) Safety Faktor terhadap (m) yang dapat dilihat dalam gambar 2, 3, 4 dan 5.



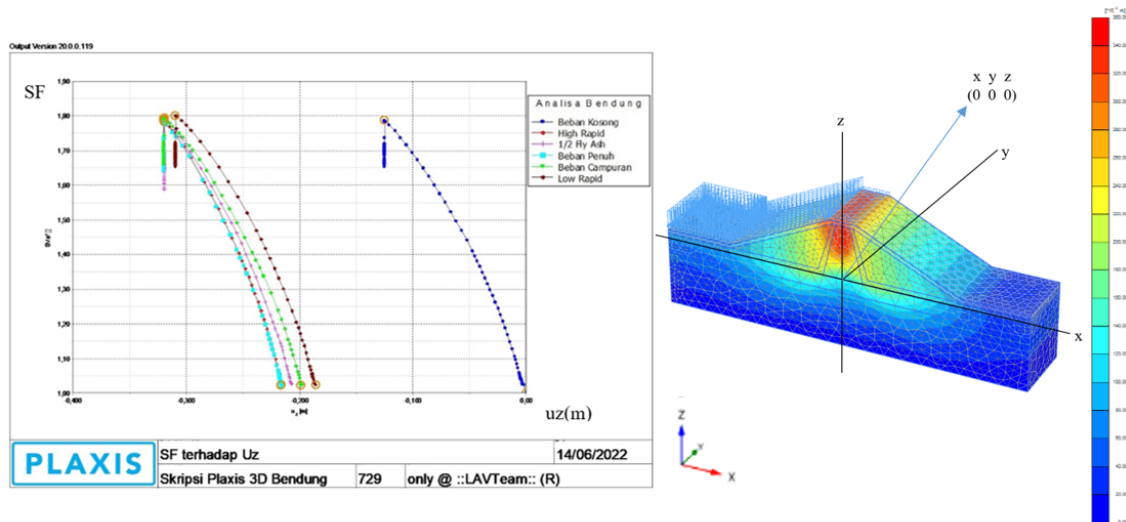
Gambar 3. Grafik Safety Faktor terhadap u (m) (Kanan), kondisi bending terkritis (Kiri)
 Sumber: Hasil Penelitian



Gambar 4. Grafik Safety Faktor terhadap ux (m) (Kanan), kondisi bending terkritis (Kiri)
 Sumber: Hasil Penelitian



Gambar 5. Grafik Safety Faktor terhadap uy (m) (Kanan), kondisi bending terkritis (Kiri)
 Sumber: Hasil Penelitian



Gambar 6. Grafik Safety Faktor terhadap uz (m) (Kanan), kondisi bendung terkritis (Kiri)
 Sumber: Hasil Penelitian

G. Analisa Stabilitas Bendung dengan Penambahan Geogrid

Untuk spesifikasi geogrid yang digunakan pada analisis ini adalah TGDG50. Geogrid terletak pada bagian bawah dan atas zona filtrasi serta bagian bawah zona riprap, yang dapat dilihat pada Gambar 6.

Pada analisis bendung dengan geogrid memiliki 6 kondisi yang sama dengan analisis bendung tanpa geogrid,

- Kondisi bendung kosong
 Pada kondisi ini kemungkinan terjadi perpindahan paling besar dengan nilai 0,1324 m dan nilai safety faktor sebesar 1,732.
- Kondisi bendung terisi sebagian oleh Air
 Pada kondisi ini kemungkinan terjadi perpindahan paling besar dengan nilai 0,3395 m dan nilai safety faktor sebesar 1,725.
- Kondisi bendung terisi penuh oleh Air
 Pada kondisi ini kemungkinan terjadi perpindahan paling besar dengan nilai 0,3676 m dan nilai safety faktor sebesar 1,711.
- Kondisi bendung terisi sebagian oleh Fly Ash
 Pada ini kemungkinan terjadi perpindahan paling besar dengan nilai 0,3471 m dan nilai safety faktor sebesar 1,705.
- Kondisi bendung terisi penuh oleh Fly Ash**
 Pada ini kemungkinan terjadi perpindahan paling besar dengan nilai 0,3805 m dan nilai safety faktor sebesar 1,695. Pada kondisi ini adalah kondisi terkritis yang terjadi pada tubuh bendung, untuk gambar dapat dilihat pada Gambar 7, 8, 9, dan 10.
- Kondisi bendung terisi penuh oleh Fly Ash dan Air
 Pada kondisi ini kemungkinan terjadi perpindahan paling besar dengan nilai 0,3480 m dan nilai safety faktor sebesar 1,709.

H. Grafik Safety Faktor terhadap Deformasi

Untuk melihat deformasi yang terjadi dalam tubuh bendung terhadap safety factor telah disajikan beberapa grafik. Grafik Safety Faktor terhadap Deformasi terdapat 4 gambar gambar , yaitu Safety Faktor terhadap u (m), Safety Faktor terhadap ux (m), Safety Faktor terhadap uy (m) Safety Faktor terhadap (m) yang dapat dilihat dalam Gambar 7, 8, 9, dan 10.

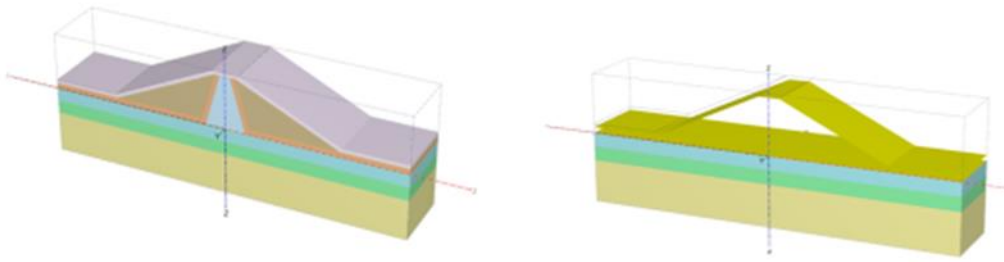
I. Perbandingan Hasil

Dapat dilihat dari Tabel 3, untuk kondisi paling kritis terdapat pada kondisi bendung terisi oleh fly ash dengan faktor keamanan sebesar 1,672 dan deformasi sebesar 0,3743 m. Dengan penambahan geogrid, faktor keamanan pada tubuh bendung yang sebelumnya 1,672 menjadi 1,695, namun tak menjamin nilai deformasi dari tubuh bendung tersebut berkurang. Secara keseluruhan untuk deformasi paling besar yang terjadi terletak pada puncak bendung akibat beban dari truk, dengan penambahan geogrid nilai faktor keamanan yang didapatkan lebih tinggi.

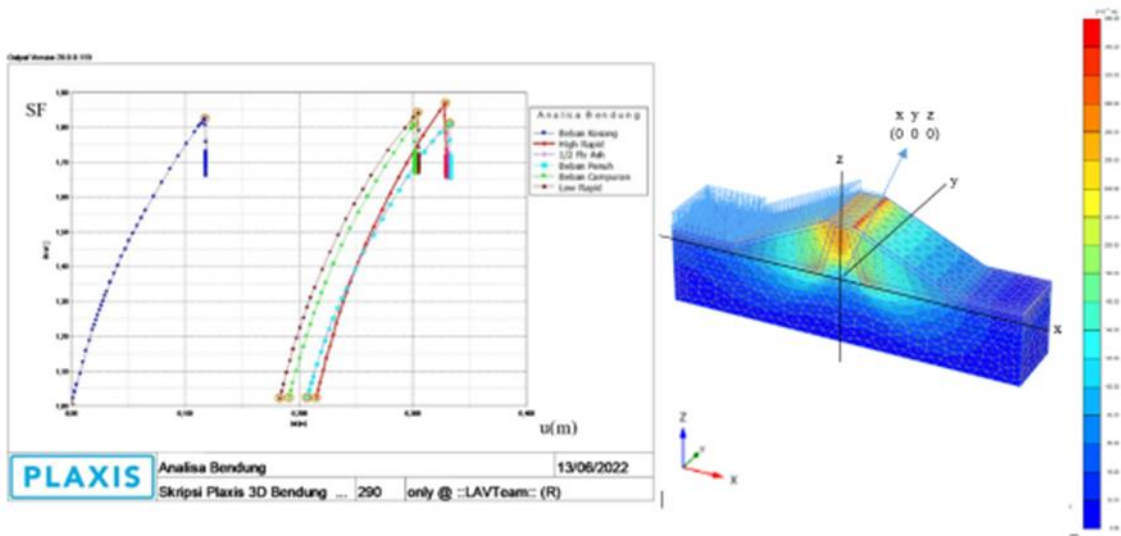
J. Keamanan Stabilitas Bendung

Persyaratan keamanan pada tubuh bendung dilihat dari Penurunan serta faktor keamanan. Untuk persyaratan keamanan dapat dilihat sebagai berikut:

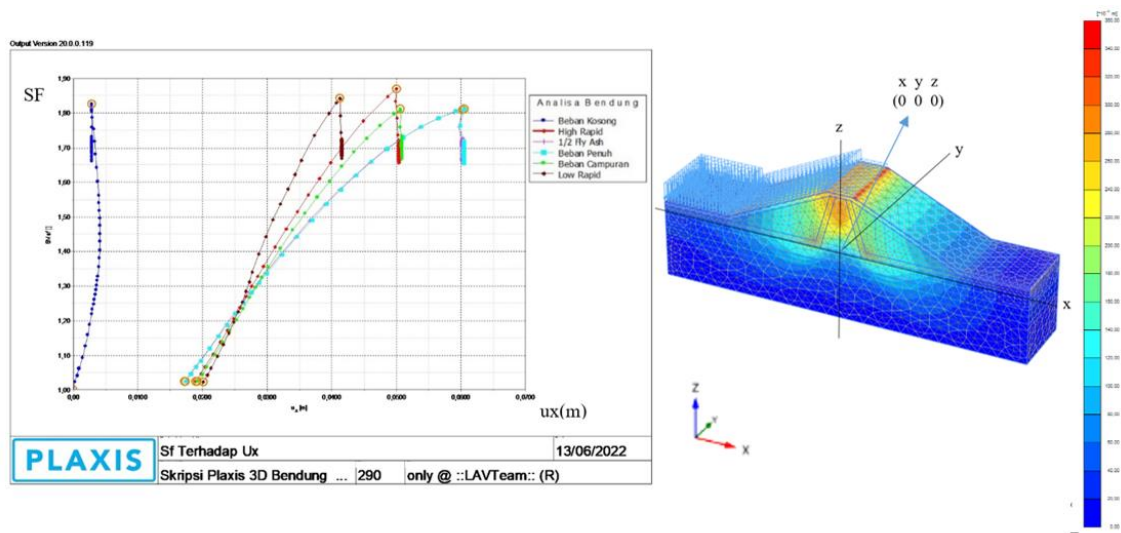
- Penurunan pada bendungan urugan dapat diperkirakan dengan rumus empiris sebagai berikut:
 $S = 0,001 H^{3/2}$
 $S = 0,001 \times 173/2$
 $S = 0,701 \text{ m}$
- Untuk Faktor keamanan Menurut Bowles (1984), apabila dalam suatu lereng diperoleh:
 $F_s > 1,25$: berarti lereng dalam keadaan stabil.
 $F_s < 1,07$: berarti lereng dalam keadaan tidak stabil dan rawan terjadi longsor.
 $F_s < 1,25$: berarti lereng dalam keadaan kritis.



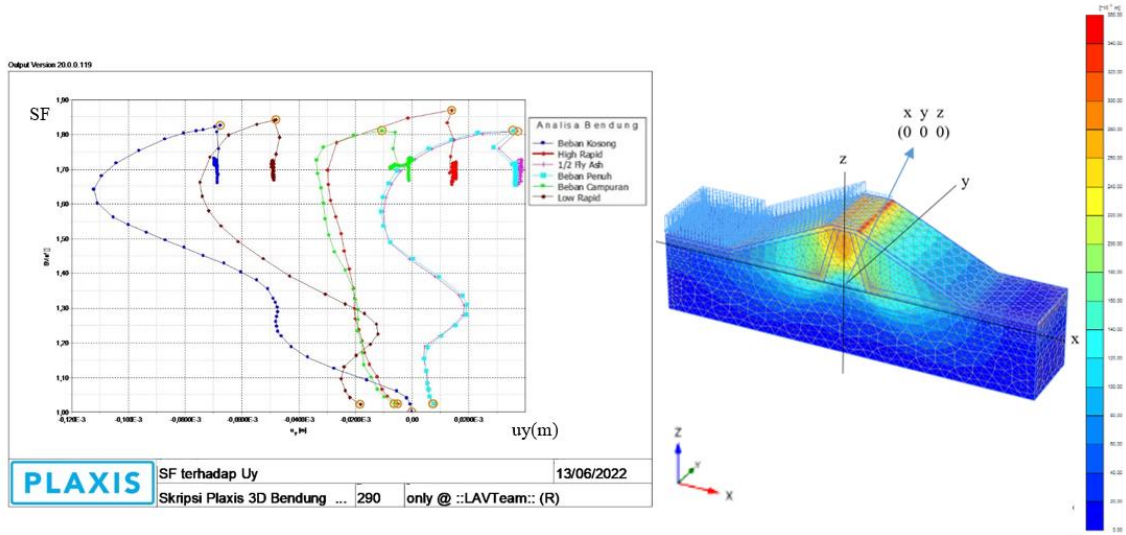
Gambar 7. Letak Geogrid pada Bendung
Sumber: Hasil Penelitian



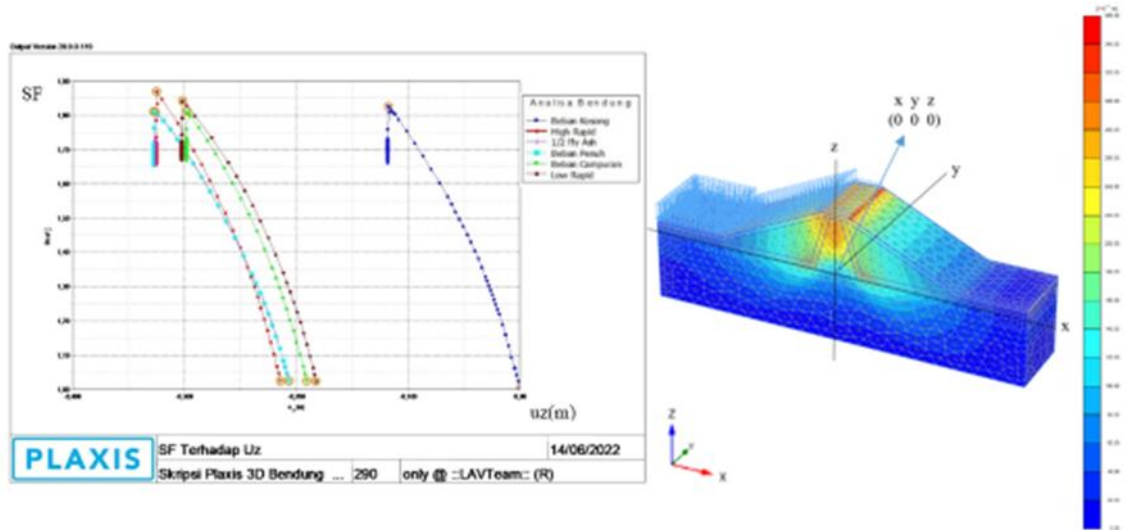
Gambar 8. Grafik Safety Faktor terhadap u (m) (Kanan), kondisi bendung terkritis (Kiri)
Sumber: Hasil Penelitian



Gambar 9. Grafik Safety Faktor terhadap ux (m) (Kanan), kondisi bendung terkritis (Kiri)
Sumber: Hasil Penelitian



Gambar 10. Grafik Safety Faktor terhadap u_y (m) (Kanan), kondisi bendung terkritik (Kiri)
 Sumber: Hasil Penelitian



Gambar 11. Grafik Safety Faktor terhadap u_z (m) (Kanan), kondisi bendung terkritik (Kiri)
 Sumber: Hasil Penelitian

TABEL 4
Hasil Perbandingan Bendung dan Bendung dengan tambahan Geogrid

No.	Kondisi	Bendung Tanpa Geogrid		Bendung dengan Geogrid	
		Faktor Keamanan	Deformasi Total (m)	Faktor Keamanan	Deformasi Total (m)
1	Bendung Kosong	1,698	0,137	1,732	0,1324
2	Bendung Terisi Sebagian Oleh Air	1,694	0,3386	1,725	0,3395
3	Bendung Terisi Penuh Oleh Air	1,687	0,3485	1,711	0,3676
4	Bendung Terisi Sebagian Oleh Fly Ash	1,693	0,3402	1,705	0,3471
5	Bendung Terisi Penuh Oleh Fly Ash	1,672	0,3743	1,695	0,3805
6	Bendung Terisi Penuh Oleh Fly Ash Dan Air	1,681	0,3435	1,709	0,348

Sumber: Hasil Penelitian

TABEL 5
Hasil tingkat keamanan dari Faktor keamanan dan deformasi total

No.	Kondisi	Bendung Tanpa Geogrid				Bendung dengan Geogrid			
		FK	Ket	Defor. Total	Ket	FK	Ket	Defor. Total	Ket
1	Bendung Kosong	1,698	Aman	0,137	Aman	1,732	Aman	0,1324	Aman
2	Bendung Terisi Sebagian Oleh Air	1,694	Aman	0,3386	Aman	1,725	Aman	0,3395	Aman
3	Bendung Terisi Penuh Oleh Air	1,687	Aman	0,3485	Aman	1,711	Aman	0,3676	Aman
4	Bendung Terisi Sebagian Oleh Fly Ash	1,693	Aman	0,3402	Aman	1,705	Aman	0,3471	Aman
5	Bendung Terisi Penuh Oleh Fly Ash	1,672	Aman	0,3743	Aman	1,695	Aman	0,3805	Aman
6	Bendung Terisi Penuh Oleh Fly Ash Dan Air	1,681	Aman	0,3435	Aman	1,709	Aman	0,348	Aman

Sumber: Hasil Penelitian

IV. KESIMPULAN DAN SARAN

A. Kesimpulan

Berdasarkan hasil perhitungan analisis data yang telah dilakukan guna menganalisis Bendung Penahan Limbah Fly Ash yang terletak di PLTU Kema, maka didapat kesimpulan, yaitu ::

1. Faktor keamanan dengan kondisi terkritis terletak pada kondisi bendung terisi penuh oleh fly ash, dari hasil perhitungan yang telah dilakukan bendung dapat dinyatakan aman.
2. Nilai deformasi dengan kondisi terkritis terletak pada kondisi bendung terisi penuh oleh fly ash, dengan penambahan geogrid tidak menjamin dapat mengurangi nilai deformasi yang terjadi pada tubuh bendung. dari hasil perhitungan yang telah dilakukan bendung dapat dinyatakan aman.

B. Saran

Beberapa saran yang dapat diberikan mengenai penelitian yang telah dilakukan adalah sebagai berikut:

1. Perlu dilakukan grouting untuk menambah nilai Faktor keamanan
2. Perlu adanya uji laboratorium guna mendapatkan sifat fisis atau parameter tanah yang lebih akurat.
3. Dapat juga dibandingkan dengan beberapa aplikasi lainnya, seperti Slide, AllPile, GEO5, GGU, dan lain-lain.
4. Dapat dilakukan penelitian lebih lanjut mengenai perhitungan daya dukung dengan pemodelan lainnya dengan PLAXIS 3D.

KUTIPAN

A. Buku

- [1] Bowles, J. E., & Hainim, J. K. 2004. *Sifat-sifat Fisis dan Geoteknis Tanah (Mekanika Tanah)*. Jakarta : Erlangga.
- [2] Das, B.M. 1995. *Mekanika Tanah (Prinsip-prinsip Rekayasa Geoteknis) Jilid 1*. Jakarta : Erlangga.
- [3] Diklat Teknis Perencanaan Bendungan Tingkat Dasar. *Prinsip Perencanaan Bendungan Urugan*. Jakarta : Balai Bendungan,
- [4] Dr .Suyono Sosrodarsono. *Bendungan Type Urugan Edisi Keempat*, Jakarta : PT Pradnya Paramita

- [5] Hary Christady Hardiyatmo. *Mekanika Tanah Jilid 1 Edisi Pertama*. Yogyakarta : Gadjah Mada University Press.
- [6] J.Michael Duncan, Stephen G. Wright, Thomas L. Brandon. *Soil Strength and Slope Stability Second Edition*, Wiley : United States Of America
- [7] Lambe T.W y Whitman R. V. (1969). *Soil Mechanics*. John Wiley & Sons, Inc. New York. Edición en español publicada en 1972, "Mecánica de Suelos". Editorial Limusa, Wiley S.A. : México
- [8] PLAXIS 3D FOUNDATION Scientific Manual
- [9] PLAXIS CONNECT Edition V20.01 Tutorial
- [10] Sardjono H. S., 1988. *Pondasi Tiang Pancang*, Surabaya : Sinar Wijaya
- [11] Sardjono H.S. , 1988. *Pondasi Tiang Pancang, jilid 2*. Surabaya : Sinar Wijaya
- [12] SNI 8062:2015. *Tata cara desain tubuh bendungan tipe urugan*, Badan Standardisasi Nasional : Jakarta, Indonesia
- [13] SNI 4153:2008. *Cara Uji Penetrasi Lapangan dengan SPT*. Badan Standardisasi Nasional, Jakarta, Indonesia.
- [14] Pusat Pendidikan Dan Pelatihan Sumber Daya Air Dan Konstruksi. 2017 *Modul -04 Modul Pengaturan Dan Konsep Keamanan Bendungan, Pelatihan Perencanaan Bendungan Tingkat Dasar Jakarta : Departemen Pekerjaan Umum, Badan Pembinaan Konstruksi Dan Sumber Daya Manusia*
- [15] Pusat Pembinaan Kompetensi Dan Pelatihan Konstruksi (Pusbin-Kpk). 2005 *Modul Rde – 08 : Rekayasa Lalu Lintas*. Jakarta : Departemen Pekerjaan Umum, Badan Pembinaan Konstruksi Dan Sumber Daya Manusia

B. Jurnal

- [16] Camela Apriani Seroy, Fabian J. Manoppo, Steeva G. Rondonuwu. *Analisa Kestabilan Bangunan Embung Nunuka 1 Jurnal Sipil Statik Vol.8 No.2 Februari 2020, Program Studi Teknik Sipil Pascasarjana Universitas Sam Ratulangi Manado*
- [17] Elrinawati Lumentah, Fabian J. Manoppo, Oktovian B. A. Sompie. *Analisis Kestabilan Dam Tailing Pt. Sumber Energy Jaya Jurnal Ilmiah Media Engineering Vol.11 No.3, November 2021, Program Studi Teknik Sipil Pascasarjana Universitas Sam Ratulangi Manado*
- [18] Ferga V. Saragih, Rudi Iskandar *Analisis Geoteknik Terhadap Kestabilan Tubuh Bendungan Akibat Rembesan Pada Lokasi Bendungan Lau Simeme Dengan Program Plaxis V.8.6*. Tugas Akhir : Universitas Sumatera Utara, Medan
- [19] Rheky Julistian Lontoh, Fabian J. Manoppo, Oktovian B. A. Sompie. *Analisa Kestabilan Bendungan Lolak 1, Jurnal Sipil Statik Vol.8 No.2 Februari 2020, Program Studi Teknik Sipil Pascasarjana Universitas Sam Ratulangi Manado*
- [20] Ribka Prilia, Fabian J. Manoppo, Lanny D. K. Manarionsong, *Analisis Fondasi Tiang Bor Dengan PLAXIS 3D (Studi Kasus : Proyek Pembangunan Gedung Pendidikan Fakultas Teknik Unsrat Jurusan Sipil) jurnal Tekno Volume 19 Nomor 78 Agustus 2021: Universitas Sam Ratulangi, Manado*