

# ANALISIS STABILITAS STATIK PADA TUBUH BENDUNGAN CIPANAS, KECAMATAN UJUNG JAYA, KABUPATEN SUMEDANG, PROVINSI JAWA BARAT

DIMAS SUGIHARTI<sup>1</sup>, SRI HETTY SUSANTIN<sup>2</sup>

Program Studi Teknik Sipil, Institut Teknologi Nasional Bandung  
Email : [dimassugiarti008@gmail.com](mailto:dimassugiarti008@gmail.com)

## ABSTRAK

*Bendungan Cipanas adalah bendungan urugan batu yang digunakan untuk kebutuhan irigasi, kebutuhan air baku dan Pembangkit Listrik Tenaga air (PLTA) dengan daya tampung sebesar 250,81 juta m<sup>3</sup>. Selain manfaat, bendungan dapat menimbulkan bahaya berupa kerugian materi dan korban jiwa. Untuk menghindari bahaya yang ditimbulkan dari pengoperasian bendungan, maka dilakukan analisa stabilitas statik pada bendungan. Analisa dilakukan untuk mengetahui desain bendungan telah memenuhi syarat atau tidak dengan menggunakan software yaitu PLAXIS 2D LE 2021. Analisa berupa pemodelan bendungan pada kondisi setelah konstruksi, muka air normal, muka air maksimum, surut secara cepat, pembuntuan pada sistem drainase dan pada saat terjadi erosi. Hasil analisa yang diperoleh berupa nilai faktor keamanan. Nilai faktor keamanan terkritik terjadi ketika bendungan mengalami pembuntuan pada sistem drainase yaitu sebesar 1,720. Faktor keamanan harus memenuhi kriteria yang mengacu pada SNI 8064:2016, dimana nilai faktor keamanan yang diperoleh dari analisa harus lebih besar daripada kriteria minimum yang disyaratkan.*

**Kata kunci:** Bendungan Cipanas, analisa satabilitas statik, faktor keamanan.

## ABSTRACT

*Cipanas dam is a rock backfill dam used for irrigation needs, raw water needs and hydroelectric power plants (hydropower) with a capacity of 250.81 million m<sup>3</sup>. In addition to benefits, dams can pose a danger in the form of material losses and casualties. To avoid the dangers posed by the operation of the dam, the analysis of static stability of the dam. The analysis was carried out to determine whether the dam design was qualified or not by using software, namely PLAXIS 2D LE 2021. Analysis in the form of modeling the dam on the condition after construction, normal water level, maximum water level, receding rapidly, blockage in the drainage system and in the event of erosion. The results obtained in the form of analysis of the value of the safety factor. The value of the critical safety factor occurs when the dam is blocked in the drainage system is equal to 1.720. The safety factor must meet the criteria referred to SNI 8064: 2016, where the value of the safety factor obtained from the analysis must be greater than the minimum required criteria.*

**Keyword:** Cipanas Dam, static stability analysis, safety factor.

## **1. PENDAHULUAN**

Bendungan Cipanas adalah bendungan urugan batu yang digunakan untuk kebutuhan irigasi, Pembangkit Listrik Tenaga Air (PLTA), kebutuhan air baku dan Pembangkit Listrik Tenaga air (PLTA) dengan daya tampung sebesar 250,81 juta m<sup>3</sup>. Bendungan Cipanas memiliki tinggi maksimum sebesar 74 meter dari dasar galian pondasi terdalam dan memiliki inti tegak. Bendungan memiliki elevasi puncak pada +136 dengan panjang 326 meter dan lebar 12 meter dilengkapi dengan *cofferdam* yang terletak pada bagian hulu pada elevasi puncak +100. Pada tugas akhir ini akan dilakukan analisis stabilitas statik pada tubuh bendungan dalam kondisi setelah konstruksi, elevasi muka air waduk pada kondisi normal, kondisi muka air maksimum, kondisi surut secara cepat, kondisi pembuntuan pada sistem drainase dan pada saat apabila terjadi erosi (*piping*). Analisis ini akan dilakukan dengan menggunakan PLAXIS 2D LE dan hasil nilai faktor keamanan yang didapat harus memenuhi syarat yang ditentukan. Lokasi Bendungan Cipanas ditunjukkan pada **Gambar 1**.



**Gambar 1. Peta Lokasi Bendungan Cipanas**  
(Sumber: <https://www.google.com/maps>, diunduh pada Juni 2021)

## **2. METODOLOGI**

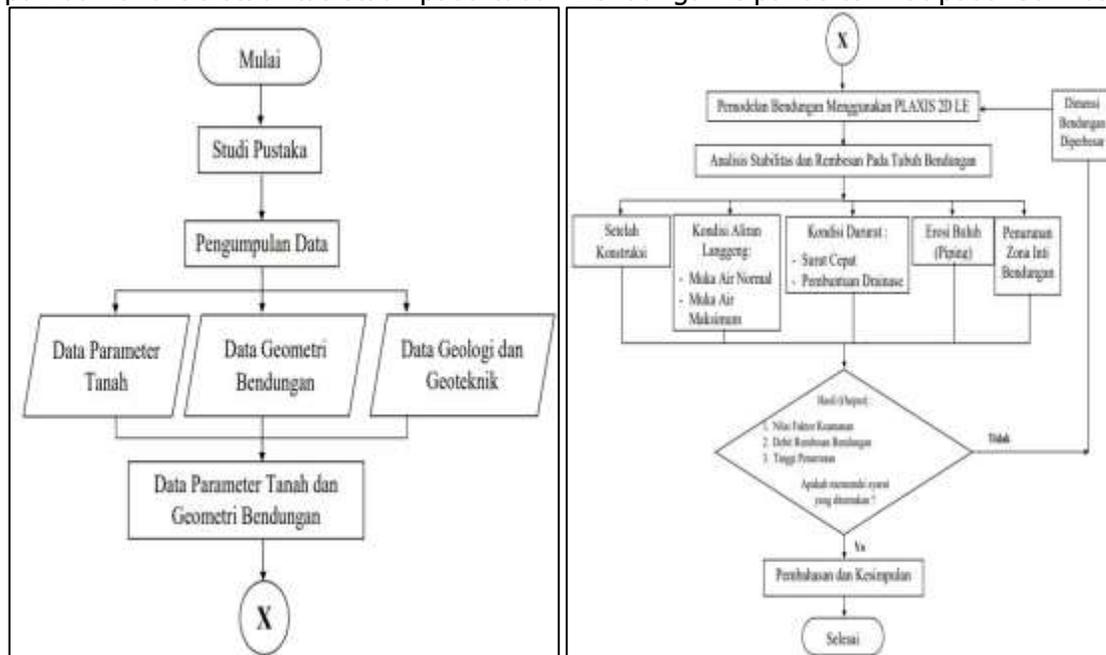
### **2.1 Data Parameter**

Data yang digunakan pada analisis tugas akhir ini berupa data geometri bendungan dan parameter desain material timbunan.

### **2.2 Tahapan Kegiatan Penelitian**

Tugas akhir ini menganalisis mengenai stabilitas bendungan dengan mencari besarnya nilai faktor keamanan dari Tubuh Bendungan Cipanas yang diperhitungkan tanpa pengaruh beban

gempa dengan bantuan dari *software* pendukung berupa PLAXIS 2D LE 2021. Secara sederhana tahapan dan analisis stabilitas statik pada tubuh Bendungan Cipanas terlihat pada **Gambar 2**.



**Gambar 2. Bagan Alir Metodologi Penelitian**

### 2.3 Kriteria Nilai Faktor keamanan Minimum Stabilitas Lereng Bendungan

Kondisi keamanan lereng bendungan yang dihasilkan dari proses analisis stabilitas lereng berupa nilai faktor keamanan dapat memberikan gambaran terkait perilaku Bendungan apakah dalam kondisi aman atau tidak. Nilai faktor keamanan dalam berbagai kondisi mengacu pada SNI 8064:2016 yang membahas mengenai metode analisis stabilitas lereng statik bendungan tipe urugan dengan nilai faktor keamanan minimum seperti yang ditunjukkan pada **Tabel 1**.

**FTSP Series :**  
**Seminar Nasional dan Diseminasi Tugas Akhir 2022**

No	Kondisi	Kuat Geser	Tekanan Air Pori	FK Tanpa Gempa	FK dengan Gempa *
1.	<b>Selesai konstruksi tergantung :</b> 1. Jadwal konstruksi. 2. Hubungan antara tekanan air pori dan waktu.  Lereng U/S dan D/S.  Dengan gempa tanpa kerusakan digunakan 50 % koefisien gempa desain.	1. Efektif	Peningkatan tekanan air pori pada urugan dan fondasi dihitung menggunakan data lab. dan pengawasan instrumen.	1,30	1,20
			Idem hanya tanpa pengawasan instrumen.	1,40	1,20
			Hanya pada urugan tanpa data lab. dan dengan/tanpa pengawasan instrumen.	1,30	1,20
		2. Total	Tanpa pengawasan instrumen.	1,30	1,20
2.	<b>Aliran langgeng tergantung:</b> 1. Elevasi muka air normal sebelah udik. 2. Elevasi muka air sebelah hilir. Lereng U/S dan D/S. Dengan gempa tanpa kerusakan digunakan 100 % koef. gempa desain.	1. Efektif	Dari analisis rembesan	1,50	1,20
3.	<b>Pengoperasian waduk tergantung :</b> 1. Elevasi muka air maksimum di udik 2. Elevasi muka air minimum di udik ( <i>dead storage</i> ). Lereng U/S harus dianalisis untuk kondisi surut cepat	1. Efektif	Surut cepat dari El. muka air normal sampai El. muka air minimum. Lereng U/S dan D/S.	1,30	1,10
			Surut cepat dari El. MA maksimum sampai El. MA minimum. Pengaruh gempa diambil 0 % dari koefisien gempa desain.	1,30	-
4.	<b>Kondisi darurat tergantung:</b> 1. Pembuntuan pada sistem drainase 2. Surut cepat karena penggunaan air melebihi kebutuhan. 3. Surut cepat keperluan darurat.	1. Efektif	Surut cepat dari El. MA maksimum sampai EL. terendah bangunan pengeluaran. Pengaruh gempa diabaikan.	1,20	-

\* Catatan: Periksa standar tentang metode analisis stabilitas lereng dinamik bendungan tipe urugan.

**Tabel 1. Nilai Faktor Keamanan Minimum (Sumber : SNI 8064:2016)**

### 3. ANALISA DAN PEMBAHASAN

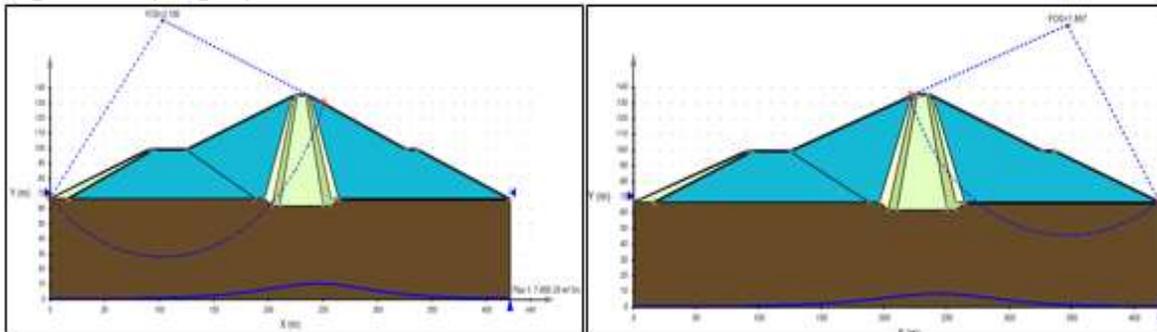
#### 3.1 Analisis Stabilitas Statik Pada Tubuh Bendungan Cipanas

Bendungan Cipanas dioperasikan pada kondisi normal seperti setelah konstruksi dan ketika dalam kondisi elevasi muka air normal. Selain itu, pengoperasian bendungan juga dilakukan pada kondisi darurat seperti surut cepat dan dalam kondisi yang luar biasa seperti ketika terjadi

pembantuan pada sistem *drainase*. Oleh karena itu, maka dilakukan lah analisis pada kondisi-kondisi tersebut agar bendungan terhindar dari kegagalan operasional.

### 3.1.1 Analisis Saat Setelah Konstruksi

Analisis stabilitas bendungan dilakukan pada saat bendungan setelah selesai konstruksi dengan pemodelan melalui *software* PLAXIS 2D LE 2021. Analisis tersebut dilakukan agar bendungan terhindar dari kegagalan operasional. **Gambar 4** menunjukkan nilai faktor keamanan dan arah bidang runtuh yang diperoleh dari *software* PLAXIS 2D LE 2021.



**Gambar 4. Nilai Faktor Keamanan dan Bidang Runtuh Saat Setelah Konstruksi**

Rekapitulasi nilai faktor keamanan pada tubuh Bendungan Cipanas pada saat setelah konstruksi dapat dilihat pada **Tabel 2**.

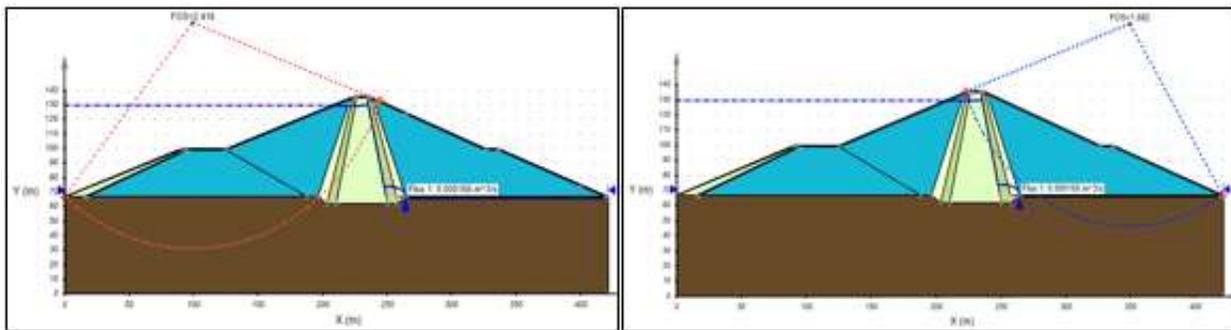
**Tabel 2. Rekapitulasi Nilai Faktor Keamanan pada Tubuh Bendungan Cipanas Saat Setelah Konstruksi**

Kondisi	Syarat Faktor Keamanan	Nilai Faktor Keamanan	
		Hulu	Hilir
Setelah konstruksi bendungan, tidak ada gempa	1,30	2,190	1,857

Nilai faktor keamanan yang diperoleh 2,190 pada bagian hulu bendungan dan 1,857 pada bagian hilir bendungan. Berdasarkan nilai faktor keamanan tersebut, dimensi bendungan yang direncanakan telah memenuhi syarat SNI 8064:2016, karena nilai faktor keamanan 2,190 dan 1,857 > 1,3.

### 3.1.2 Analisis Stabilitas Tubuh Bendungan pada Kondisi Muka Air Normal

Analisis stabilitas pada tubuh bendungan ini dilakukan pada kondisi muka air normal. Muka air normal bendungan berada pada elevasi +129,5 m. Analisis tersebut dilakukan agar bendungan terhindar dari kegagalan operasional. Nilai faktor keamanan tubuh bendungan pada kondisi muka air normal dapat dilihat pada **Gambar 5**.



**Gambar 5. Nilai Faktor Keamanan dan Bidang Runtuh pada Kondisi Muka air Normal**

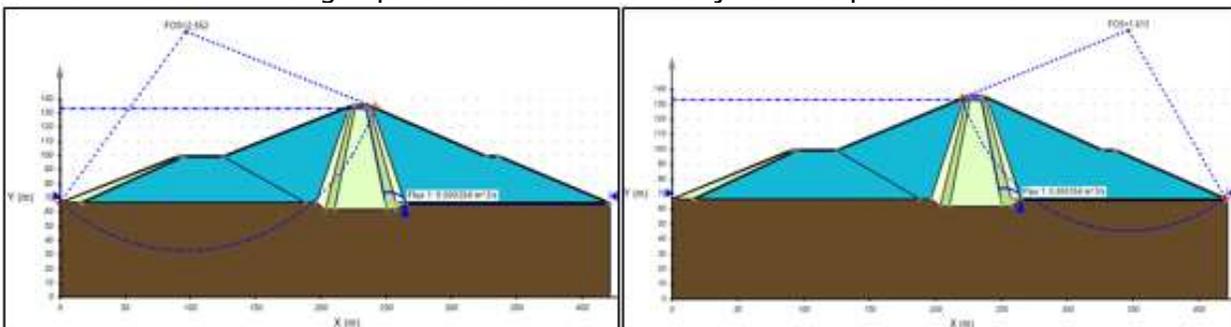
**Tabel 3. Rekapitulasi Nilai Faktor Keamanan pada Tubuh Bendungan Cipanas pada Kondisi Muka Air Normal**

Kondisi	Syarat Faktor Keamanan	Nilai Faktor Keamanan	
		Hulu	Hilir
Muka Air Normal Elevasi +129,5 m	1,50	2,416	1,682

Nilai faktor keamanan pada kondisi muka air normal yang diperoleh 2,416 pada bagian hulu bendungan dan 1,682 pada bagian hilir bendungan. Berdasarkan nilai faktor keamanan tersebut, dimensi bendungan yang direncanakan telah memenuhi syarat SNI 8064:2016, karena nilai faktor keamanan 2,416 dan 1,682 > 1,5.

### 3.2.3 Analisis Stabilitas Tubuh Bendungan pada Kondisi Muka Air Maksimum

Analisis ini dilakukan pada tubuh bendungan dengan kondisi muka air berada pada elevasi maksimum atau banjir. Muka air maksimum bendungan berada pada elevasi +133,32 m. Analisis tersebut dilakukan agar bendungan terhindar dari kegagalan operasional. Nilai faktor keamanan tubuh bendungan pada kondisi muka air banjir terlihat pada **Gambar 6**.



**Gambar 6. Nilai Faktor Keamanan dan Bidang Runtuh pada Kondisi Muka Air Maksimum**

**Tabel 4. Rekapitulasi Nilai Faktor Keamanan pada Tubuh Bendungan Cipanas pada Kondisi Muka Air Maksimum**

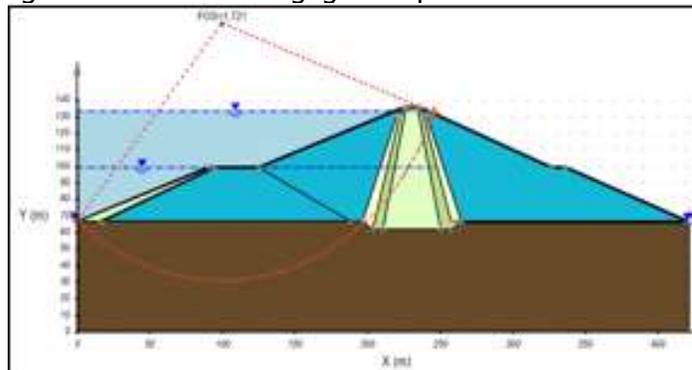
Kondisi	Syarat Faktor Keamanan	Nilai Faktor Keamanan	
		Hulu	Hilir
Muka Air Maksimum atau banjir Elevasi +133,32 m	1,30	2,552	1,613

Nilai faktor keamanan pada kondisi muka air maksimum yang diperoleh 2,552 pada bagian hulu bendungan dan 1,613 pada bagian hilir bendungan. Berdasarkan nilai faktor keamanan tersebut, dimensi bendungan yang direncanakan telah memenuhi syarat SNI 8064:2016, karena nilai faktor keamanan 2,552 dan 1,613 > 1,3.

### 3.2 Analisis Stabilitas Tubuh Bendungan pada Kondisi Muka Air Surut Cepat

#### 3.2.1 Kondisi Muka Air Surut Cepat dari Muka Air Maksimum ke Muka Air Minimum

Analisis stabilitas pada tubuh bendungan dilakukan dalam kondisi muka air yang dapat surut secara cepat atau tiba-tiba. Dalam kondisi ini bendungan mengalami surut tiba-tiba dari elevasi muka air maksimum yaitu +133,32 m ke muka air normal yaitu +99,25 m. Analisis tersebut dilakukan agar bendungan terhindar dari kegagalan operasional.



**Gambar 7. Nilai Faktor Keamanan dan Bidang Runtuh pada Kondisi Surut Cepat dari Muka Air Maksimum ke Muka Air Minimum**

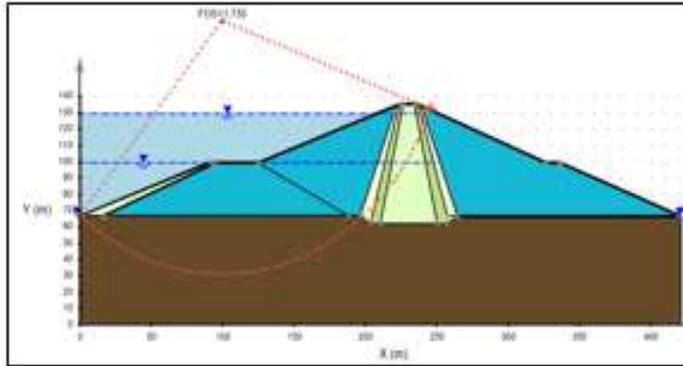
**Tabel 5. Rekapitulasi Nilai Faktor Keamanan pada Tubuh Bendungan Cipanas pada Kondisi Surut Cepat Muka Air Maksimum ke Muka Air Minimum**

Kondisi	Syarat Faktor Keamanan	Nilai Faktor Keamanan	
		Hulu	Hilir
Saat Muka Air Surut dari Muka Air Maksimum (El. +133,32 m) ke Muka Air Minimum (El.+99,25 m)	1,20	1,721	-

Nilai faktor keamanan yang diperoleh yaitu 1,721. Berdasarkan nilai faktor keamanan tersebut, dimensi bendungan dalam kondisi aman ketika mengalami kondisi surut secara tiba-tiba dari muka air maksimum ke muka air minimum karena nilai faktor keamanan 1,721 > 1,2.

### 3.2.2 Kondisi Muka Air Surut Cepat dari Muka Air Normal ke Muka Air Minimum

Analisis stabilitas ini dilakukan pada bendungan dengan kondisi muka air yang surut secara tiba-tiba dari muka air normal ke muka air minimum. Pada kondisi ini, bendungan mengalami surut secara tiba-tiba dari elevasi muka air +129,5 m ke elevasi muka air +99,25 m. Analisis tersebut dilakukan agar bendungan terhindar dari kegagalan operasional.



**Gambar 8. Nilai Faktor Keamanan dan Bidang Runtuh pada Kondisi Surut Cepat dari Muka Air Normal ke Muka Air Minimum**

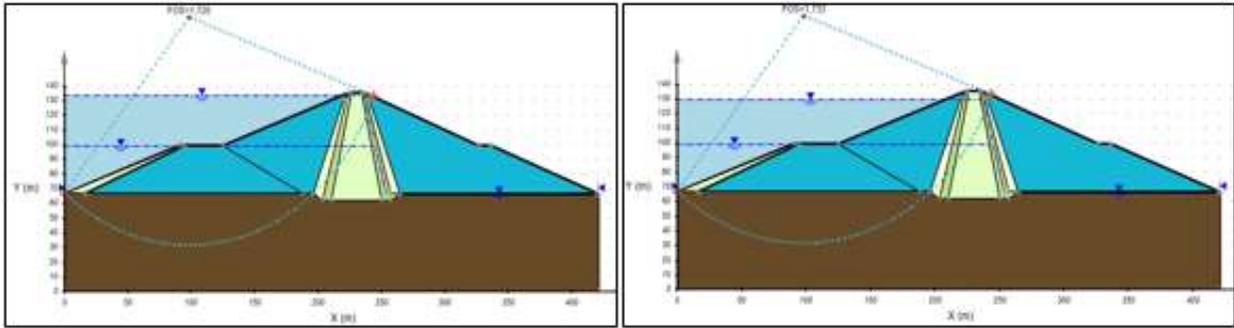
**Tabel 6. Rekapitulasi Nilai Faktor Keamanan pada Tubuh Bendungan Cipanas pada Kondisi Surut Cepat Muka Air Normal ke Muka Air Minimum**

Kondisi	Syarat Faktor Keamanan	Nilai Faktor Keamanan	
		Hulu	Hilir
Saat Muka Air Surut dari Muka Air Maksimum (El. +133,32 m) ke Muka Air Terendah pada Bangunan Pengeluaran (El. +95 m)	1,20	1,735	-

Nilai faktor keamanan yang diperoleh yaitu 1,735. Berdasarkan nilai faktor keamanan tersebut, dimensi bendungan dalam kondisi aman ketika mengalami kondisi surut secara tiba-tiba dari muka air maksimum ke muka air minimum karena nilai faktor keamanan  $1,735 > 1,2$ . Ketika bendungan beroperasi pada keadaan darurat seperti surut dengan cepat maka nilai faktor keamanan bendungan akan semakin berkurang.

### 3.3 Analisis Stabilitas Tubuh Bendungan Saat Terjadi Pembuntuan pada Sistem Drainase

Analisis terhadap stabilitas tubuh bendungan dilakukan dalam kondisi darurat. Kondisi darurat yang dimaksud adalah ketika bendungan mengalami pembuntuan pada sistem *drainase*. Analisis ini dilakukan dalam kondisi dimana bendungan tidak memiliki sistem *drainase* pada filter kemudian terjadi surut muka air secara tiba-tiba. Muka air yang mengalami surut tiba-tiba yaitu berada dalam elevasi +133,32 m hingga 99,25 meter. Analisis tersebut dilakukan agar bendungan terhindar dari kegagalan operasional.



**Gambar 9. Nilai Faktor Keamanan dan Bidang Runtuh pada Kondisi Saat Terjadi Pembuntuan pada Filter**

**Tabel 7. Rekapitulasi Nilai Faktor Keamanan pada Tubuh Bendungan Cipanas pada Kondisi Saat Terjadi Pembuntuan pada Filter**

	Kondisi	Syarat Faktor Keamanan	Nilai Faktor Keamanan	
			Hulu	Hilir
Pembuntuan pada Sistem Drainase	Muka Air Maksimum (+133,32 m) ke Muka Air Minimum (+99,25 m)	1,20	1,720	-
	Muka Air Normal (+129,5m) ke Muka Air Minimum (+99,25 m)		1,733	-

Nilai faktor keamanan yang diperoleh yaitu 1,720 dan 1,733. Berdasarkan nilai faktor keamanan tersebut, bendungan dalam kondisi aman ketika terjadi pembuntuan pada filter saat mengalami surut secara tiba-tiba dari muka air maksimum hingga terendah karena 1,720 dan 1,733 > 1,20. Pembuntuan pada filter memengaruhi nilai faktor keamanan yang diperoleh, jika bendungan mengalami pembuntuan pada filter maka nilai faktor keamanan akan menurun.

### 3.4 Analisis Stabilitas Tubuh Bendungan Apabila Terjadi Erosi Buluh (*Piping*)

Analisis stabilitas ini dilakukan pada kondisi bendungan yang mengalami erosi buluh pada zona inti lempung. Analisis ini menghasilkan nilai *exit* gradien yang kemudian digunakan untuk memperhitungkan keamanan bendungan terhadap kemungkinan terjadinya erosi buluh. Berdasarkan hasil analisis rembesan dengan PLAXIS LE 2021 diperoleh nilai *exit* gradien atau *y*-gradien sebagai berikut :

$$y\text{-gradien} = 0,211$$

$$\gamma \text{ sat} = 17,849 \text{ kN/m}^3$$

$$\gamma \text{ air} = 10 \text{ kN/m}^3, \text{ sehingga } I_c = \frac{\gamma'}{\gamma_{\text{air}}} = \frac{17,849-10}{10} = 0,7849$$

$$\text{maka, faktor keamanan} = \frac{I_c}{I_y} = \frac{0,7849}{0,211} = 3,719$$

Menurut Dr. Ir. Darwis, M.Sc. (2018) dalam buku Dasar Dasar Mekanika Tanah bahwa nilai faktor keamanan terhadap bahaya *piping* sebesar 3 atau 4. Nilai faktor keamanan yang diperoleh pada saat bendungan mengalami erosi buluh yaitu 3,719. Karena nilai faktor keamanan yaitu 3,719 > 3 maka dimensi bendungan yang direncanakan aman terhadap erosi.

### **3.5 Penurunan Zona Inti Bendungan**

Analisis stabilitas ini juga memperhitungkan penurunan zona inti bendungan. Parameter yang digunakan untuk memperhitungkan penurunan yang terjadi diperoleh dari pendekatan melalui tabel perkiraan modulus elastisitas (Bowles,1977) dan laporan desain bendungan Cipanas serta dengan asumsi telah terkonsolidasi 90%. Parameter yang diperoleh adalah sebagai berikut :

E	= 13.000 kN/m <sup>2</sup> (Tanah Lanau)
Berat volume tanah ( $\gamma$ )	= 11,121 kN/m <sup>3</sup>
Tinggi bendungan (H)	= 74 meter
Koefisien penurunan (T)	= 0,4 (0,3 – 0,5 yang didasarkan pada tipe bendungan dan kecepatan penimbunan)
Koefisien konsolidasi	= 1,840 $\times 10^{-7}$ m <sup>2</sup> /det
Faktor waktu ( $T_{90}$ )	= 0,848

Sehingga diperoleh penurunan (Prinsip Perencanaan Bendungan Urugan, 2010) presentase penurunan dan waktu terkonsolidasi sebagai berikut :

$$\Delta H = \frac{1}{2E} \times \gamma \times H^2 \times T = \frac{1}{2 \times 13.000} \times 11,121 \times 74^2 \times 0,4 = 0,937 \text{ meter}$$

$$\text{Presentase penurunan} = \frac{\Delta H}{H} \times 100\% = \frac{0,937}{74} \times 100\% = 1,266 \%$$

$$t = \frac{T_{90} \times H^2}{Cv} = \frac{0,848 \times 74^2}{1,840 \times 10^{-7}} = 2,534 \times 10^{10} \text{ detik} = 79,98 \text{ tahun}$$

Menurut Pratama, RR. Dkk (2021) dalam Jurnal Teknologi dan Rekayasa Sumber Daya Air, presentase penurunan yang diijinkan pada tubuh bendungan tidak boleh melebihi 3% dari tinggi bendungan. Berdasarkan hasil perhitungan, nilai penurunan total diperkirakan sebesar 0,937 meter dengan presentase penurunan 1,266% < 3% , sehingga bendungan yang didesain aman terhadap penurunan. Selain itu, untuk konsolidasi 90% bendungan memerlukan waktu selama 79,98 tahun.

## **4. KESIMPULAN DAN SARAN**

### **4.1 Kesimpulan**

Analisa stabilitas statik pada tubuh Bendungan Cipanas yang dilakukan dengan aplikasi pendukung PLAXIS LE 2021 ini memperoleh kesimpulan sebagai berikut :

1. Hasil analisa stabilitas statik pada tubuh Bendungan Cipanas menggunakan Software PLAXIS LE 2021 berdasarkan metode keseimbangan batas menghasilkan nilai faktor keamanan yang memenuhi syarat keamanan minimum menurut SNI 8064:2016 pada berbagai kondisi yang disyaratkan seperti setelah konstruksi, aliran langgeng, darurat dan erosi pada buluh.
2. Berdasarkan poin (1.) maka desain Bendungan Cipanas dalam kondisi aman dan dapat dibangun sesuai dengan rencana yang diinginkan.
3. Nilai faktor keamanan akan semakin kecil ketika bendungan dalam kondisi darurat seperti surut secara cepat atau tiba-tiba.

4. Pembantuan pada sistem *drainase* akan memperkecil nilai faktor keamanan.

#### **4.2 Saran**

Saran yang dapat diberikan setelah melakukan analisa stabilitas statik pada tubuh Bendungan Cipanas adalah sebagai berikut :

1. Analisis disarankan menggunakan pemodelan 3D agar hasil yang diperoleh mendekati kondisi sebenarnya.
2. Analisis disarankan memperhitungkan beban gempa sesuai zone letak Bendungan.
3. Analisis dapat dilakukan dengan *software* lain sebagai pembanding dari hasil analisa yang diperoleh.

#### **DAFTAR PUSTAKA**

- [1] Soedibyo, Ir. (2003). *Teknik Bendungan*. Jakarta : PT Pradnya Paramita.
- [2] Pusat Pendidikan dan Pelatihan Sumber Daya Air dan Konstruksi. (2017). *Modul Analisa Stabilitas Bendungan : Perhitungan Stabilitas Lereng*. Kementerian Pekerjaan Umum dan Perumahan Rakyat. Bandung. 97 hal.
- [3] Balai Bendungan. (2016). *Desain Bendungan Cipanas Kabupaten Sumedang*. Kementerian Pekerjaan Umum dan Perumahan Rakyat : Direktorat Jendral Sumber Daya Air. Jakarta. III-37.
- [4] Zainuddin, Ir., M.E. (2010). *Pengaturan dan Konsepsi Keamanan Bendungan*. Kementerian Pekerjaan Umum, Direktorat Sumber Daya Air. Jakarta. 57 hal.
- [5] Takeda, Kensaku. (1977). *Bendungan Tipe Urugan* (DR. Suyono Sosrodarsono, Editor). Jakarta : PT Pradnya Paramita.
- [6] SNI-8064-2016 : Metode Analisis Stabilitas Lereng Statik Bendungan Tipe Urugan.
- [7] Putra, D. N, & Susantin, S. H. (2018). Analisis Stabilitas Tubuh Bendungan Raknamo (Hal. 95-104). *RekaRacana: JurnalTeknil Sipil*, 3(4).