



Analisis Kestabilan Lereng Bendungan Akibat Fluktuasi Muka Air

Rifan Rahayu¹, Sulwan Permana²

Jurnal Konstruksi
Institut Teknologi Garut
Jl. Mayor Syamsu No. 1 Jayaraga Garut 44151 Indonesia
Email : jurnal@itg.ac.id

¹1611066@itg.ac.id
²sulwanpermana@itg.ac.id

Abstrak – Bendungan Cipanas merupakan bendungan type urugan kombinasi antara tanah dan batuan dengan cara menimbun sejumlah material seperti batuan, kerikil, pasir maupun tanah kedap air yang dibangun dengan kemiringan berdasarkan ketinggian tertentu, sehingga dapat menahan dan menaikkan elevasi muai air di sebelah hulu (*upstream*). Bendungan type urugan ini (*embankment*) sangat mudah mengalami keruntuhan (*collaps*) yang disebabkan oleh akibat tekanan air di lereng udik, air pori, dan beban gempa yang didapat maupun dari struktur bendungan sendiri, sehingga perlu diukur dengan menggunakan suatu standar yaitu Angka Keamanan. Nilai angka keamanan merupakan perbandingan gaya yang ditahan dengan gaya yang mendorong longsor, serta mengetahui kondisi maupun daerah yang paling kritis dan riskan terhadap keruntuhan dengan cara perhitungan manual. Metode yang dipakai dalam penelitian ini menggunakan metode Bishop dimana metode ini paling banyak dipakai dalam perhitungan manual dan mendapatkan nilai faktor aman yang mendekati hasil perhitungan dengan pendekatan berdasarkan pengamatan dilapangan. Hasil dari analisis perhitungan di dapat bahwa dari kondisi masa konstruksi sebesar 2,13 disebelah hulu dan 1,88 disebelah hilir dengan angka keamanan ijin 1,50. Kondisi muka air maksimum diperoleh sebesar 2,13 disebelah hulu dan 1,88 disebelah hilir dengan angka keamanan ijin 1,30 dan kondisi surut cepat nilai diperoleh sebesar 2,11 disebelah hulu dan 1,88 disebelah hilir dengan angka keamanan ijin 1,30. Berdasarkan hasil penelitian dari ketiga kondisi lereng, nilai factor keamanan yang stabil dan aman terhadap bahaya longsor. Sedangkan potensi longsor yang akan terjadi akan mengalami longsor dengan tipe translasi dikarenakan perbedaan kuat geser dan perbedaan lapisan pada susunan timbunan pada bendungan utama.

Kata Kunci – Bendungan Cipanas; Angka Keamanan; Metode Bishop

I. PENDAHULUAN

Pemerintah BBWS Cimanuk-Cisanggarung sedang melaksanakan Pembangunan Bendungan Cipanas. Wilayah Sungai Cimanuk-Cisanggarung terletak di Provinsi Jawa Barat dan sebagian di Jawa Tengah. Salah satu sub dari Wilayah Sungai Cimanuk-Cisanggarung adalah Sungai Cipanas [1]. Sungai Cipanas merupakan sungai utama di bagian hulunya mempunyai 4 anak sungai yaitu Sungai Citalok, Sungai Ciporang, Sungai Ciuyah, dan Sungai Cigarukgak. Panjang Sungai Cipanas 90 km dan bermata air di Gunung Tampomas Kabupaten Sumendang dan bermuara di Laut Jawa Kabupaten Indramayu. Sungai Cipanas memiliki Daerah Aliran Sungai (DAS) dengan luas 65,70 km² [2].

Bendungan Cipanas merupakan bendungan type urugan kombinasi dengan proses penumpukan beberapa material batuan, kerikil, pasir serta tanah yang dibangun dengan struktur tertentu sehingga dapat menahan atau menaikkan elevasi air di bagian hulu (*upstream*) [3]. Mendungan dengan type urugan kombinasi (*embankment*), sangat rentan mengalami keruntuhan (*collaps*) yang disebabkan oleh tekanan laju air, air pori, dan beban gempa

yang diperoleh dari struktur bendungan itu sendiri, sehingga harus diukur dengan menggunakan suatu standar yaitu Angka Keamanan. Sehingga, kestabilan lereng yang terdapat di tubuh bendungan perlu dianalisis struktur utama agar memperoleh nilai aman terhadap bahaya longsor [4]. Nilai stabilitas lereng diperoleh dengan menghitung nilai factor aman [5]. Tujuan dalam memperoleh nilai faktor keamanan lereng adalah untuk mendapatkan informasi terkait kondisi -kondisi stabilitas lereng untuk pembangunan Bendungan Cipanas, agar memperoleh memenuhi kriteria desain aman dalam merencanakan bendungan besar [6].

Untuk mengetahui nilai kondisi tanah dan batuan yang digunakan sebagai bahan timbunan antara lain data berat jenis tanah, sudut geser tanah dan kelekatan antar butiran, sehingga dapat menghitung faktor keamanan lereng pada saat kondisi sesudah masa konstruksi, kondisi muka air maksimum (*High Water Level*), dan kondisi surut cepat (*Rapid Drawdown*) [7].

II. TINJAUAN PUSTAKA

A. Bendungan Urugan


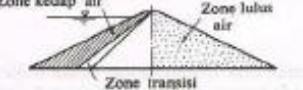



Suatu bendungan yang dibentuk dengan proses menimbun bahan – bahan seperti: batu, krakal, kerikil, pasir dan tanah pada komposisi tertentu yang berfungsi sebagai penahan atau menaikan muka air yang terdapat di lereng udiknya. Berdasarkan pada material dari bahan timbunan yang digunakan, secara umum dibedakan menjadi 2 jenis, adalah:

1. Bendungan urugan batu (rock fill dam);
2. Bendungan urugan tanah (earth fill dam).

Tidak hanya kedua tipe tersebut, ada pula bendungan urugan kombinasi, ialah terdiri dari timbunan batu di bagian hilirnya yang berperan sebagai penahan, sebaliknya bagian udiknya terdiri dari timbunan tanah yang disamping berperan sebagai penahan, paling utama berperan sebagai tirai kedap air [8].

B. Klasifikasi Bendungan Urugan

Dilihat dari penempatan dan lapisan material yang membentuk bendungan yang dapat memenuhi perannya dengan baik, bendungan dengan tipe urugan dapat dibedakan menjadi 3 tipe utama, yaitu:

Type:	Skema Umum	Keterangan
Bendungan Homogen		Apabila 80% dari seluruh bahan pembentuk tubuh bendungan terdiri dari bahan yang bergradasi hampir sama.
Bendungan Zonal		Apabila bahan pembentuk tubuh bendungan terdiri dari bahan yang lulus air, tetapi dilengkapi dengan tirai kedap air di udiknya.
		Apabila bahan pembentuk tubuh bendungan terdiri dari bahan yang lulus air, tetapi dilengkapi dengan inti kedap air yang berkedudukan miring ke hilir.
		Apabila bahan pembentuk tubuh bendungan terdiri dari bahan yang lulus air, tetapi dilengkapi dengan inti kedap air yang berkedudukan vertikal.
Bendungan Sekat		Apabila bahan pembentuk tubuh bendungan terdiri dari bahan yang lulus air, tetapi dilengkapi dengan dinding tidak lulus air di lereng udiknya, yang biasanya terbuat dari lembaran baja tahan karat, lembaran beton bertulang, aspal beton, lembaran plastik, dll. nya.

Sumber : Suyono,1997

Gambar 1: Klasifikasi Bendungan Urugan

1. Bendungan type homogen
Bendungan urugan dapat dikatakan homogen, apabila bahan yang membentuk badan bendungan tersebut terdiri dari tanah yang seragam serta gradasinya(lapisan dimensi butirannya). Badan bendungan secara totalitas berperan ganda, ialah bagaikan bangunan penyangga serta sekaligus bagaikan penahan rembesan air.
2. Bendungan type zonal
Bendungan dapat dikatakan dalam jenis zonal, apabila material timbunan yang membentuk tubuh dari bendungan terdiri dari batuan dengan ukuran butir (lapisan dimensi butiran) yang berbeda-beda berdasarkan urutan antar lapisan. Bendungan jenis ini sebagian penahan paling utama dibebankan kepada timbunan yang lolos air (zona lulus air), sebaliknya yang menahan rembesan dibebankan kepada timbunan yang tahan terhadap air (zona kedap air).

C. Lereng

Lereng merupakan sesuatu permukaan yang membentuk sudut dan kemiringan tertentu terhadap bidang horizontal yang tak terlindungi [9]. Lereng secara umum dipecah jadi 2 jenis lereng, ialah lereng alami dan lereng buatan. Lereng alami dibuat dengan proses hukum alam yang umumnya ada di perbukitan. Sebaliknya lereng buatan dibuat manusia umumnya untuk keperluan infrastruktur, seperti dinding penahan tanah, bendungan, dinding penahan untuk tubuh jalur kereta api. Lereng alami ataupun buatan dibedakan dalam 2 tipe [10], yaitu :

1. Lereng panjang tidak hingga (*infinite slopes*),
2. Lereng panjang terhingga (*finite slopes*).

D. Keruntuhan Lereng

Bergerakannya serta bergesernya tanah maupun batuan dengan kecepatan dari sangat lambat sampai sangat cepat dengan kondisi geologi pada lereng tersebut. Keruntuhan yang bersifat lokal atau berskala kecil biasanya terjalin pada lereng hasil galian ataupun timbunan yang terbuat manusia [11]. Keruntuhan pada lereng dapat terjadi adanya gaya dorong yang muncul karena beban pada tanah. Lereng alami mempunyai kuat geser pada tanah serta akar tumbuhan yang digunakan sebagai gaya yang menahan. Apabila gaya yang ditahan lebih kecil dibanding gaya yang mendorong maka menyebabkan keruntuhan lereng.

E. Faktor Penyebab Keruntuhan Lereng

Pada umumnya keruntuhan yang terjadi pada bendungan disebabkan oleh desain yang tidak mantap karena kurang investigasi serta kurang perhatian saat pelaksanaan konstruksi dan pemeliharaan [12]. Berdasarkan penyebab utama, terdapat 3 penyebab keruntuhan lereng bendungan, yaitu :

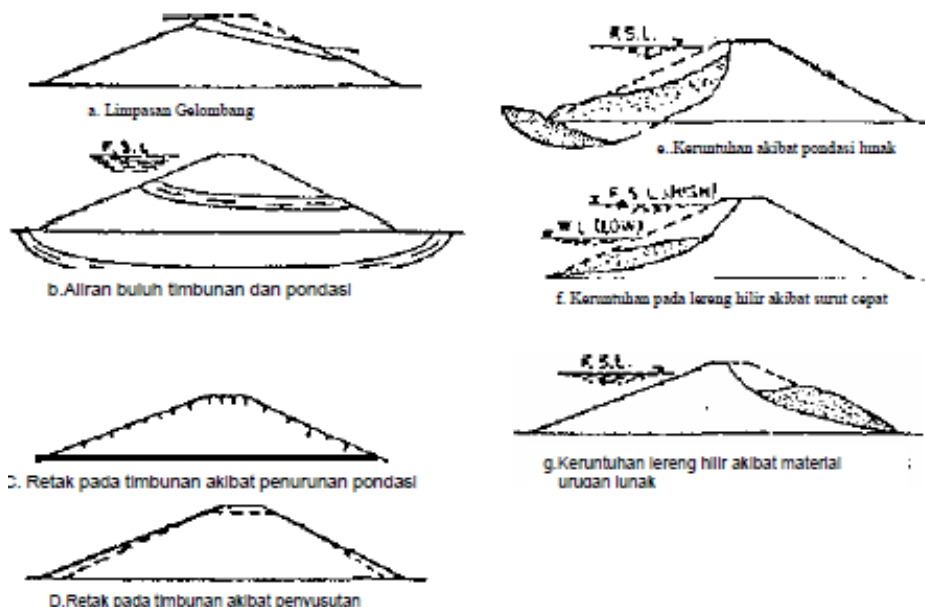
1. Kegagalan hidraulik (*hydraulic failures*)
Keruntuhan bendungan diakibatkan oleh erosi pada permukaan bendungan, termasuk kerusakan akibat limpasan gelombang, erosi pada lereng hulu, gerusan pada bangunan pelimpah, pengerusan akibat debit erosi akibat air hujan.
2. Kegagalan akibat rembesan (*Seepage failures*);
Rembesan merupakan yang biasa pada bendungan tanah serta pada biasanya tidak memunculkan permasalahan. Tetapi rembesan yang tidak terkendali bisa menimbulkan erosi pada timbunan ataupun pada pondasi yang bisa menyebabkan aliran buluh. Erosi buluh ialah erosi yang tumbuh pada bendungan dengan dimulai dari titik pusat rembesan yang memiliki beda besar tekanan yang lumayan besar sehingga dapat memicu kecepatan yang menyebabkan erosi. Apabila gaya yang menahan rembesan seperti kohesi, pengaruh silih mengunci(*interlocking*), berat partikel tanah, pengaruh filter di hilir serta lain– lain lebih kecil dari pada gaya erosi, hingga partikel tanah bisa hanyut serta memunculkan aliran buluh.
3. Kegagalan struktural (*Structural failures*).
Keruntuhan akibat kegagalan struktural umumnya disebabkan oleh :

a. Keruntuhan akibat pondasi

Sesar dan sisipan-sisipan dari batuan lapuk, serpuh (*shils*) dan lapisan lempung lunak adalah penyebab dari keruntuhan akibat pondasi yang menyebabkan retakan-retakan pada puncak bendungan, dan penurunan (*ambblas*), sehingga lereng bagian bawah melaju ke arah luar dan membentuk gelembung lumpur di depan tumit. Bentuk lain dari keruntuhan akibat pondasi, karena adanya tekanan air pori yang berlebihan, pada sisipan lanau atau pasir terkekang (*confined*). Tekanan air pori pada material terkekang yang tidak berkoheesi, sisipan, tekanan artesis pada tumpuan atau konsolidasi pada lempung yang berlapis-lapis dengan pasir atau lanau, akan mengurangi kekuatan tanah sehingga tidak mampu menahan gaya geser akibat beban tubuh bendungan.

b. Keruntuhan akibat longsoran (*slide*)

Tubuh bendungan mendapat tekanan geser yang diakibatkan oleh fluktuasi air waduk, rembesan atau gaya gempa bumi. Longsoran pada tubuh bendungan dapat terjadi karena lereng yang terlalu curam untuk menahan gaya geser, biasanya pergerakannya sangat lambat dan didahului retakan-retakan pada puncak atau pada lereng dekat puncak.



Sumber : Hardiyatmo,2018

Gambar 2: Jenis – jenis Keruntuhan Bendungan Tanah

F. Keadaan Berbahaya pada Bendungan Urugan

Menurut Ir.Soedibyo (1977) keadaan berbahaya yang harus ditinjau di dalam perhitungan terdapat 4 keadaan yaitu:

1. Masa akhir pembangunan.

Tanah hanya dapat digunakan secara maksimal apabila kadar airnya sudah mencapai optimal (*optimum moisture content*). Bahwa pada masa akhir pembangunan masih ada kadar air yang cukup besar, maka tegangan air pori yang muncul juga besar. Kondisi beresiko yang harus diamati adalah daerah pada sebelah hilir.

2. Masa waktu waduk terisi penuh dan terdapat rembesan.

Semakin tinggi muka air adalah pada saat waduk diisi air penuh yang mana keadaan beresiko, sehingga harus diamati di dalam perhitungan. Keadaan beresiko yang harus diamati adalah daerah pada sebelah hilir

3. Masa waktu waduk terisi air dengan elevasi normal dan terdapat rembesan. Ini harus ditinjau dikarenakan keruntuhan bendungan tergantung dari beberapa jenis factor dan justru dapat berbahaya bukan pada masa waktu waduk terisi air penuh melainkan Sebagian. Keadaan beresiko ini yang perlu diamati adalah pada sebelah hulu.
4. Masa waktu terisi air penuh dan turun seketika (*rapid drawdown*). Pada masa waktu waduk diisi air penuh maka tekanan pori pada tanah sangat besar, dibagian dalam waduk yang diperoleh tekanan air keatas sehingga massa jenisnya menurun. Pada masa waktu muka air turun seketika, maka tekanan air di pori-pori tanah akan sangat lambat hilang, sehingga terdapat air dalam keadaan basah, juga berarnya menjadi lebih besar dikarenakan tekanan air. Keadaan berbahaya yang harus diamati adalah pada bagian hulu.

G. Stabilitas Lereng

Proses Bergeraknya atau berpindahnya massa tanah maupun batuan dapat terjadi dari sangat lambat sampai sangat cepat yang terdapat pada struktur geologi lereng tersebut. Keruntuhan dapat bersifat local maupun berskala kecil pada lereng yang dibuat manusia [6]. Keruntuhan pada lereng dapat terjadi gaya yang mendorong timbul dari beban pada tanah. Lereng alamiah mempunyai kuat geser tanah dan akar tumbuhan yang kuat berfungsi sebagai gaya yang menahan longsoran. Apabila reaksi gaya yang ditahan lebih kecil dibandingkan reaksi gaya yang mendorong sehingga dapat timbul keruntuhan lereng.

H. Metode Irisan Bishop

Metode Bishop, mengaggap gaya-gaya yang bekerja di sisi irisan mempunyai nilai resultan nol pada arah vertikal.

$$X_1 - X_2 = 0 \quad (2.1)$$

Sehingga penyelesaian kembali untuk gaya-gaya vertikal yaitu:

$$N_i = \frac{W_i + X_i - X_{i-1} - T_i \sin \theta}{\cos \theta} \quad (2.2)$$

Tekanan air pori dihubungkan dengan tekanan pengisian total pada tiap titik dengan menggunakan rasio tekanan air pori yang tak berdimensi yang didefinisikan sebagai :

$$ru = \frac{u}{\gamma h} \quad (2.3)$$

untuk setiap irisan yaitu:

$$ru = \frac{u}{W/b} \quad (2.4)$$

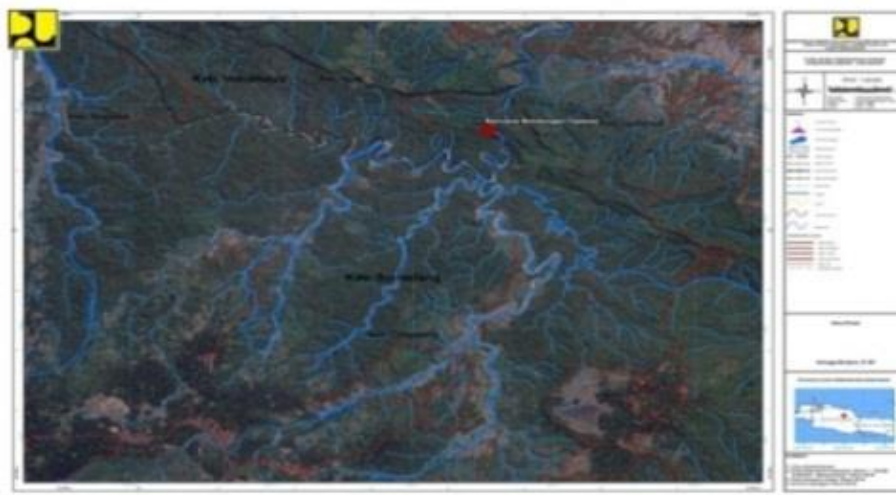
Dengan mensubstitusikan tekanan air pori ke persamaan untuk gaya-gaya vertikal maka faktor keamanan dapat ditentukan sebagai berikut :

$$F = \frac{\sum_{i=1}^{i=n} (c' b_i + W_i (1 - r_u) \operatorname{tg} \phi') \left(\frac{1}{\cos \theta + \sin \theta \frac{\operatorname{tg} \phi'}{F}} \right)}{\sum_{i=1}^{i=n} W_i x_i} \quad (2.5)$$

III. METODE PENELITIAN

A. Lokasi Penelitian

Lokasi penelitian ini berlokasi di Desa Cibuluh, Kecamatan Ujungjaya, Kabupaten Sumedang dan Desa Cikawung, Kecamatan Terisi, Kabupaten Indramayu, Jawa Barat. Secara Geografis terletak pada 108° 05' 43" BT dan 7° 43' LS

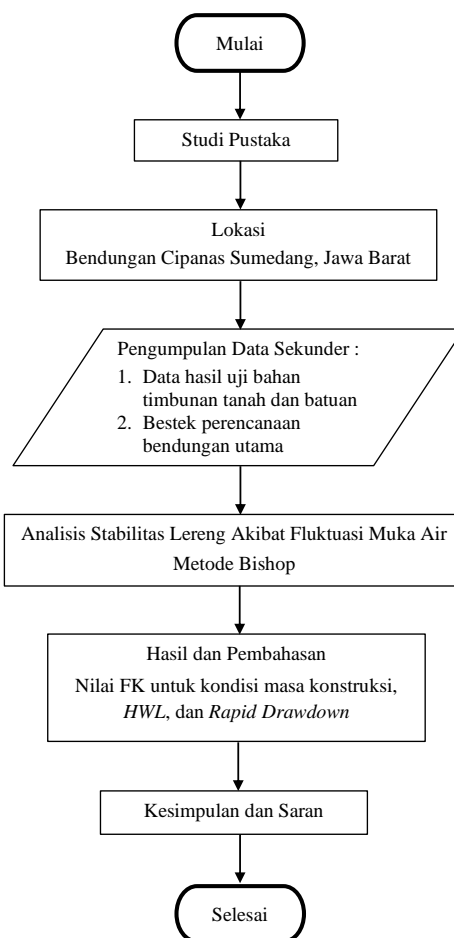


Sumber: sda.pu.go.id

Gambar 3: Peta Lokasi

B. Tahapan Penelitian

Teknik analisis bendungan yang dihitung yaitu pengaruh kestabilan lereng akibat fluktuasi muka air pada bendungan dengan tipe urugan tanah. Langkah-langkah dalam penelitian ini dapat dilihat pada Gambar 4.



Gambar 4: Diagram Alir Penelitian

C. Pengolahan Data Sekunder

Dari data yang terkumpul disajikan dalam bentuk tabel dan gambar untuk mempermudah menganalisis data tanah dan batuan sebagai acuan hitungan awal dalam penelitian ini. Adapun Pengolahan data awal yaitu:

1. Menggambar bidang gelincir bundar dibagi menjadi beberapa irisan vertikal.
2. Lebar irisan dibuat sama, walaupun tidak ada persyaratan yang mutlak.
3. Mengukur lebar (b), ketinggian (h) dan sudut kemiringan dasar α pada setiap irisan.
4. Menghitung berat irisan (W) pada bidang gelincir dengan rumus : $W = \gamma \cdot b \cdot h$
5. Menghitung momen dari berat massa tanah yang longsor dengan rumus : $W \cdot \sin \theta$
6. Menghitung tekanan air dihitung dari muka air di saluran dengan rumus : $u = h_w \cdot \gamma_w$
7. Menghitung tahanan terhadap longsor yang dikerahkan oleh komponen kohesi dengan rumus rumus : $c' \cdot b$
8. Menghitung Berat total tanah dengan rumus : $W_{tot} = bu + c' \cdot b$
9. Menghitung nilai fungsi M_i dengan rumus : $M_i = \cos \theta \left(1 + \frac{tg\theta\phi'}{F} \right)$
10. Menghitung faktor keamanan (F) dengan rumus :

$$F = \frac{1}{\sum(W1 + W2)\sin\theta} \sum (c'b + (W1 + W2 - bu)tg\phi') + \frac{1}{M_i}$$

11. Nilai iterasi pertama untuk nilai F adalah untuk masa konstruksi sebesar 1.5, untuk kondisi muka air maksimum sebesar 1.3, dan kondisi surut cepat sebesar 1.2 yang mana nilai tersebut sesuai dengan SNI-8064-2016.
12. Ulangi perhitungan di atas untuk mendapatkan nilai Fs yang mendekati dengan nilai iterasi yang sebelumnya.
13. Setelah langkah-langkah pemeriksaan dilaksanakan, laporan akhir dibuat dengan hasil berupa karakteristik tanah dan stabilitas lereng akibat fluktuasi muka air.

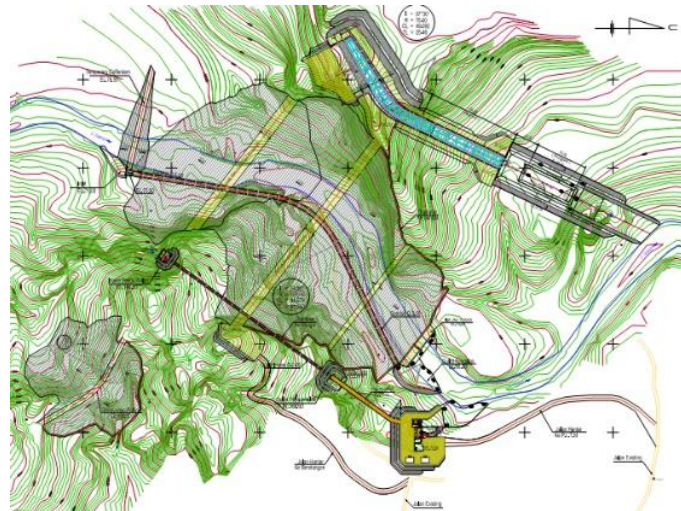
IV. HASIL DAN PEMBAHASAN

A. Struktur Waduk

Secara sederhana, struktur waduk merupakan tipe earth-fill dam dengan kurang lebih empat komponen penyusun, yaitu komponen tanah lempung terkompaksi sebagai inti bendungan, tanah pasir sebagai filter halus dan kasar, serta timbunan batu. Lapisan tanah lempung sebagai inti dari bendungan berfungsi utama sebagai cut-off seepage.

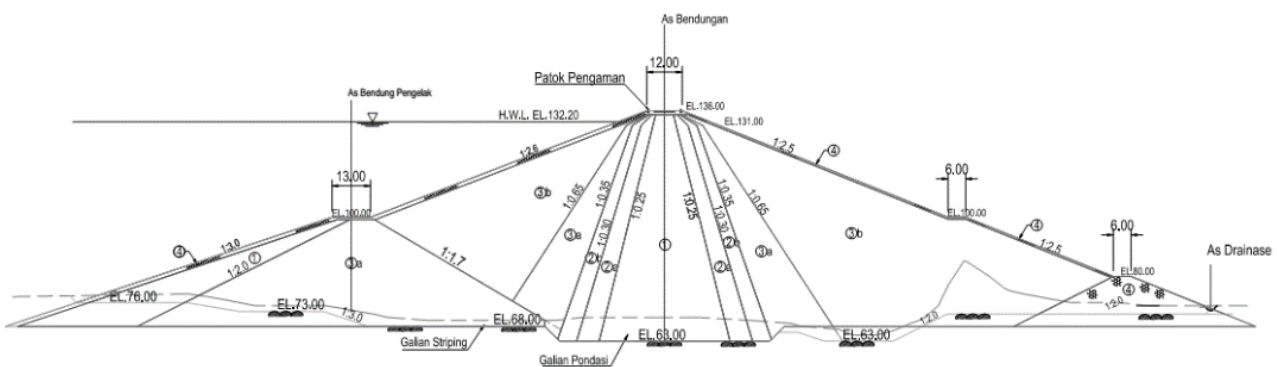
Secara tipikal, struktur bendungan memiliki ketinggian ± 63 meter, dengan elevasi dasar bendungan pada +63.0 meter dan puncak bendungan pada +136.0 meter. Lebar puncak bendungan sebesar 12 meter. Lereng pada sisi hulu terdiri dari dua slope dengan kemiringan masing-masing 1V:3H pada kaki bendungan, dan 1V:2.6H pada slope yang mendekati posisi crest bendungan. Lebar bench antar slope sebesar 13 meter pada elevasi +100.0 meter.

Geometri kemiringan lereng pada sisi hilir terdiri dari dua slope dengan kemiringan yang sama, yaitu 1V:2.5H. lebar bench antar slope sebesar 6 meter pada elevasi +100.0 meter. Elevasi muka air bendungan tertinggi (HWL) pada elevasi +132.2 meter sehingga jarak antara puncak bendungan dengan muka air bendungan tertinggi adalah sebesar 3.8 meter.



Sumber : PT.Raya Konsult, 2016

Gambar 5: Layout Lokasi Waduk



Sumber : PT.Raya Konsult, 2016

Gambar 6: Tipikal Potongan Melintang Waduk

B. Desain Material Timbunan Bendungan

Desain untuk perhitungan stabilitas bendungan diambil dari hasil uji laboratorium PT.Wijaya Karya (Persero) Tbk, - PT.Jaya Konstruksi.(KSO) yang telah dilakukan pengujian material timbunan beberapa kali yaitu tahun 2005, tahun 2014 dan tahun 2016. Sehingga parameter desain untuk perhitungan stabilitas bendungan ditunjukkan pada Tabel 1.

Tabel 1: Parameter Desain Timbunan

No.	Material	SG	γ_{dry} gr/cm ³	γ_{wet} gr/cm ³	γ_{sat} gr/cm ³	γ_{sub} gr/cm ³	C kg/cm ²	Φ derajat	K (cm/det)
1	Inti	2,651	1,134	1,651	1,706	0,706	0,243	17	1,260x10 ⁻⁷
2	Filter(sand)	2,532	1,681	1,723	2,017	1,017	0	28	4,08x10 ⁻²
3	Filter(gravel)	2,679	1,834	1,881	2,126	1,126	0	31	0
4	Urugan batu	2,679	1,834	1,881	2,126	1,126	0	31	0
5	Riprap	2,679	1,834	1,881	2,126	1,126	0	38	0

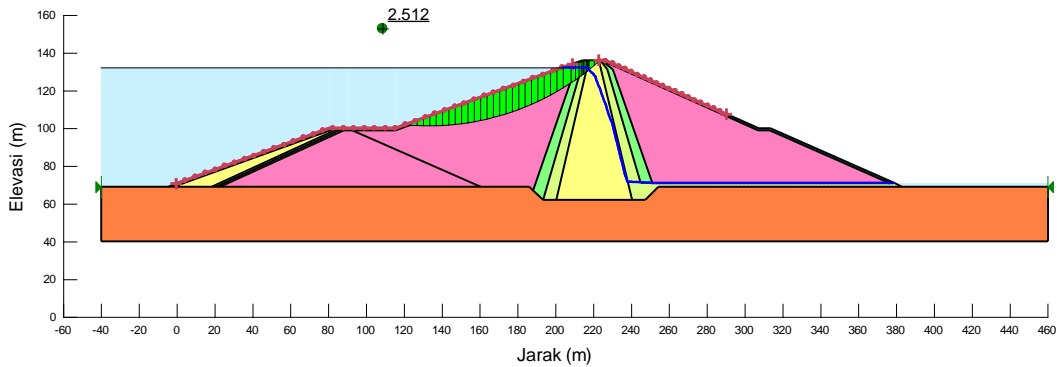
Sumber : Laboratorium PT.Wijaya Karya (Persero) Tbk, - PT.Jaya Konstruksi.(KSO). 2016

C. Analisis Garis Freatik Tubuh Bendungan

Gaya-gaya yang dihasilkan dari seepage air melalui timbunan mempunyai efek terhadap stabilitas waduk. Untuk itu distribusi tinggi hidrolik (*hydraulic head*) air beserta muka air bebas pada badan waduk (*phreatic line*), dan jika relevan, titik dimana air mengalir dari lereng waduk (area keluaran aliran air) harus ditentukan dan dijadikan basis untuk perhitungan angka keamanan. Maka sebelum analisis stabilitas lereng, diperlukan diperoleh hasil garis freatik untuk membedakan lapisan yang terdapat tekanan air pori yang muncul di bendungan yang dapat mempengaruhi nilai stabilitas bendungan. Disamping memperkirakan garis freatik dapat memperkirakan rembesan (*seepage*) yang timbul melalui tubuh bendungan. Analisis perkiraan garis freatik ditentukan dengan bantuan aplikasi GeoStudio 2020 Versi Mahasiswa (*Student License*).

1. Keadaan waduk kondisi terisi penuh

Berdasarkan topografi Bendungan Cipanas diketahui bahwa elevasi waduk dalam keadaan terisi penuh pada elevasi +132,20 m, dengan volume 291,68 juta m³ dan luas genangan 1.419,85 Km².

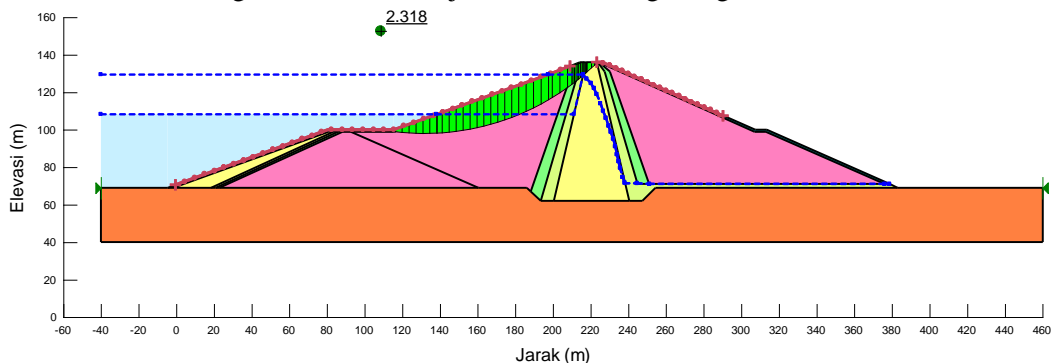


Sumber : Hasil Analisis Garis Freatik, 2020

Gambar 7: Garis Freatik Keadaan Terisi Penuh El +132,50 m.

2. Keadaan waduk kondisi surut cepat

Berdasarkan topografi Bendungan Cipanas diketahui bahwa elevasi waduk dalam keadaan surut cepat pada elevasi +104 m, dengan volume 42,17 juta m³ dan luas genangan 396,91 Km².



Sumber : Hasil Analisis Garis Freatik, 2020

Gambar 8: Garis Freatik Keadaan Kondisi Surut Cepat

D. Kestabilan Lereng Tubuh Bendungan

1. Bidang Runtuhan Kritis

Penentuan bidang runtuh kritis menciptakan aspek keamanan minimum yang bisa ditetapkan dengan metode coba-coba ataupun dengan tata cara optimasi. Prinsip dasarnya ialah suatu bidang runtuh dimana dihitung aspek keamanannya. Setelah itu proses tersebut diulangi menjadi beberapa bidang

runtuh serta diseleksi bidang runtuh yang menciptakan aspek keamanan yang terkecil, bidang runtuh ini seperti bidang runtuh kritis.

Tata cara penggambaran untuk memastikan bidang runtuh kritis merupakan dengan metode *Entry and Exit*. Bidang runtuh busur bundaran dalam tata cara ini dibuat dengan memastikan lokasi dimana tempat busur bundaran masuk (*entry zona*) serta wilayah dimana tempat busur bundaran tersebut keluar (*exit zona*). Wilayah masuk serta wilayah keluar tersebut setelah itu dipecah kedalam beberapa titik, sehingga dihasilkan beberapa titik masuk (*entry points*) serta titik keluar (*exit points*).

2. Penentuan Titik Iterasi

Dalam menentukan daerah longsor dari bendungan yang ditinjau, dilakukan dengan metode coba-coba dalam menentukan area longsor yaitu dengan melakukan iterasi sebanyak 5 titik. Penentuan titik iterasi yang pertama adalah dengan menentukan titik 1 yang berjarak 75 m dari as bendungan dengan tinggi 95m dari dasar bendungan. Lalu menentukan titik 2 yang berjarak 20 m disebelah kiri titik 1 dan titik 3 yang berjarak 20 m disebelah kiri titik 2. Setelah itu menentukan titik 4 yang berjarak 20m di atas titik 1, dan titik 5 yang berjarak 20 m disebelah kiri titik 4. Demikian bagian hilir penentuan titik iterasi sama dengan penentuan bagian hulu hanya saja ditinjau pada sebelah hilir bendungan.

3. Penentuan Daerah Longsor

Setelah titik iterasi ditentukan, maka daerah longsor dapat ditentukan dengan membuat busur lingkaran dengan jari jari lingkaran 95m. Dari sepuluh titik tersebut akan didapat 10 titik daerah longsor yang berbeda dengan jarak irisan yang berbeda-beda.

4. Rekapitulasi Analisis Kestabilan Lereng

Berdasarkan hasil perhitungan yang dilakukan pada lereng secara manual dengan parameter yang didapat hasil uji laboratorium PT.Wijaya Karya (Persero) Tbk, - PT.Jaya Konstruksi.(KSO), berikut hasil rekapitulasi pada Tabel 2.

Tabel 2: Rekapitulasi Hasil Perhitungan Manual dengan Metode Bishop

No.	Kondisi	FK Ijin	Lereng	Titik FK Hitung (Metode Bishop)				
				Hulu	*1	*2	*3	*4
1.	Kering atau Kosong	1,50	FK	2,51	2,64	3,67	2,18	2,13
			Hilir	*6	*7	*8	*9	*10
			FK	2,25	2,19	2,22	1,88	1,88
2.	Muka Air Maksimum	1,30	Hulu	*1	*2	*3	*4	*5
			FK	2,51	2,64	3,66	2,81	2,13
			Hilir	*6	*7	*8	*9	*10
3.	Surut Cepat	1,30	FK	2,25	2,19	2,22	1,88	1,88
			Hulu	*1	*2	*3	*4	*5
			FK	2,43	2,62	3,66	2,82	2,11
			Hilir	*6	*7	*8	*9	*10
			FK	2,25	2,19	2,22	1,88	1,88

Sumber : Hasil Analisis, 2020

Berdasarkan hasil perhitungan kestabilan lereng akibat fluktuasi muka air menggunakan parameter yang sudah diperoleh dari uji laboratorium PT. Wijaya Karya (Persero) Tbk, - PT. Jaya Konstruks (KSO), sehingga pada nilai faktor keamanan terkecil 1,88 di bagian hilir. Dari 3 kondisi tersebut tidak terdapat indikasi yang kurang dari nilai factor aman atau tidak stabil. Nilai ini dapat dilihat pada saat masa kondisi kering atau masa konstruksi memiliki nilai angka keamanan yang melebihi nilai ijin factor aman lereng. Pada saat masa muka air maksimum nilai factor aman yang diperoleh lebih besar dibandingkan pada kondisi masa konstruksi pada titik iterasi 2, 3 dan iterasi ke 4. Pada masa mukai air turun seketika, nilai factor aman dapat diperoleh nilai melampaui nilai ijin atau dapat dikatakan stabil pada titik iterasi 2, 3, 4, dan 5.

Sehingga dari ketiga kondisi tersebut didapat informasi dari jenis material dan gaya paa material penyusun lereng tersebut memiliki peranan yang sangat besar, pada masa muka air maksimum nilai

aman yang diperoleh lebih stabil dari pada masa konstruksi, hal ini dimungkinkan pada masa kondisi tersebut aliran air yang bergerak lebih cepat dan lebih tinggi maupun menutup lapisan material pada lereng yang membuat gaya menahan dari material dapat bertambah besar.

Maka pada masa kondisi muka air turun seketika nilai yang diperoleh mengalami sedikit penurunan nilai angka aman. Hal ini dimungkinkan berkurangnya maupun hilangnya gaya yang menahan permukaan lereng pada saat ketinggian air berkurang serta dengan kondisi material yang masih dalam keadaan jenuh air yang membuat gaya yang menggerakkan pada lereng masih dalam kondisi stabil.

V. KESIMPULAN DAN SARAN

A. Kesimpulan

Pembangunan Bendungan Cipanas terletak Sungai Cipanas Desa Cibuluh, Kecamatan Ujung Jaya, Kabupaten Sumedang dan Desa Cikawung, Kecamatan Terisi, Kabupaten Indramayu, dibangun untuk memenuhi kebutuhan pertanian dengan rencana mengantisipasi permasalahan kekeringan pada musim kemarau. Dari perhitungan kestabilan lereng bendungan akibat fluktuasi muka air dapat disimpulkan yaitu :

1. Nilai parameter geoteknik yang dipakai pada area penelitian sebagai berikut :
 - a. Lempung memiliki nilai dry density =1,134 gr/cm³, wet density = 1,651 gr/cm³, sat density = 1,706 gr/cm³, SG= 2,651, kohesi = 0,243 kg/cm² dan sudut geser dalam = 17 derajat.
 - b. Pasir memiliki nilai dry density =1,681 gr/cm³, wet density = 1,723 gr/cm³, sat density = 2,017 gr/cm³, SG= 2,532, kohesi = 0 kg/cm² dan sudut geser dalam =2 8 derajat.
 - c. Agregat dan batu memiliki nilai dry density =1,834 gr/cm³, wet density = 1,881 gr/cm³, sat density = 2,126 gr/cm³, SG= 2,679 ,kohesi = 0 kg/cm² dan sudut geser dalam = 38 derajat.
2. Hasil dari analisis perhitungan di dapat bahwa dari kondisi masa konstruksi sebesar 2,13 disebelah hulu dan 1,88 disebelah hilir dengan angka keamanan ijin 1,50. Kondisi muka air maksimum diperoleh sebesar 2,13 disebelah hulu dan 1,88 disebelah hilir dengan angka keamanan ijin 1,30 dan kondisi surut cepat nilai diperoleh sebesar 2,11 disebelah hulu dan 1,88 disebelah hilir dengan angka keamanan ijin 1,30 Berdasarkan hasil analisis ketiga kondisi lereng, daerah penelitian memiliki nilai stabilitas lereng yang stabil dan aman terhadap bahaya longsor. Sedangkan potensi longsor yang akan terjadi akan mengalami longsor dengan tipe translasi dikarenakan perbedaan kuat geser dan perbedaan lapisan pada susunan timbunan pada bendungan utama.

B. Saran

Berdasarkan kesimpulan, berikut saran untuk penelitian selanjutnya adalah sebagai berikut.

1. Diperlukannya analisis stabilitas lereng bendungan dengan bantuan program aplikasi sehingga hasil yang diperoleh jauh lebih lengkap.
2. Dalam menganalisis kestabilan lereng secara manual disarankan untuk melakukan beberapa permodelan bidang gelincir dan metode yang digunakan, hal ini dimaksudkan agar didapat angka *safety factor* yang paling mendekati batas ketentuan.
3. Hasil analisis yang dilakukan baik secara manual atau program dijadikan sebagai bahan pertimbangan pada saat pelaksanaan pembangunan.

DAFTAR PUSTAKA

- [1] E. Effendy, M. Yusuf N, R. Romano, and S. Safrida, "Analisis Struktur Biaya Produksi Dan Kesenjangan Pendapatan Petani Akibat Fluktuasi Harga Minyak Nilam," *J. Ekon. Pertan. dan Agribisnis*, 2019, doi: 10.21776/ub.jepa.2019.003.02.12.
- [2] A. A. Hamzah, "شاعرا وأديبا المحتوى (Daftar Isi) اللغة الفصحى المعاصرة بين الأت حديثات والأمل المحتوى (Daftar Isi) شاعرا وأديبا المحتوى ، نامليلد دينج دمج ، تبيرعلا تغللا في متهيرأ و ليوأتلا تمراقم تبغلاب تبونج تمسارد" vol. 1, pp. 7–8, 2020.

- [3] A. Apriliansyah and G. Gunawan, “Pelaksanaan Pekerjaan Jalan Perkerasan Kaku (Rigid Pavement) Untuk Akses Masuk Bendungan Cipanas,” *IKRA-ITH TEKNOLOGI: Jurnal ...* 2019.
- [4] E. D. P. Putra and S. Anwar, “Analisis Hidrologi Bendungan Cipanas Kabupaten Sumedang,” *J. Konstr.*, 2017.
- [5] T. N. F. Nanda and I. N. Hamdhan, “Analisis Rembesan dan Stabilitas Bendungan Bajulmati dengan Metode Elemen Hingga Model 2D dan 3D,” *J. Reka Racana*, vol. 2, no. 4, 2016.
- [6] R. Ramadhan, M. Munirwansyah, and M. Sungkar, “Faktor Keamanan Stabilitas Lereng pada Kondisi Eksisting dan Setelah Diperkuat Dinding Penahan Tanah Tipe Counterfort dengan Program Plaxis,” *Reka Buana J. Ilm. Tek. Sipil dan Tek. Kim.*, 2019, doi: 10.33366/rekabuana.v5i1.1485.
- [7] R. Peng, Y. Hou, L. Zhan, and Y. Yao, “Back-analyses of landfill instability induced by high water level: Case study of Shenzhen landfill,” *Int. J. Environ. Res. Public Health*, 2016, doi: 10.3390/ijerph13010126.
- [8] M. Okuda, Y. Iguchi, and S. Uryu, *Bendungan Type Urugan*. 1977.
- [9] B. M. Das, N. Endah, and I. B. Mochtar, “Mekanika Tanah Jilid 1 (Prinsip-prinsip Rekayasa Geoteknis),” *Erlangga*, pp. 1–291, 1995.
- [10] R. F. Craig, “Mekanika Tanah, edisi I,” pp. 16, 19, 109, 171, 174, 176, 1989.
- [11] Department of Public Works, *Slope Failure Management Engineering in Residual Soil and Rock*. 2005.
- [12] H. C. Hardiyatmo, “Mekanika Tanah II,” *Gadjah Mada Univ. Press*, vol. 91, no. 5, pp. 1–398, 2003.