

Detail Desain Embung Danau Kering Kota Padang**Syofyan.Z**Dosen Jurusan Teknik Sipil, Fakultas Teknik Sipil dan Perencanaan
Institut Teknologi PadangDOI: <http://dx.doi.org/10.31869/rtj.v3i2.1933>

Abstrak: Air dibutuhkan dalam kehidupan sedang ketersediaan air dari tahun ke tahun semakin berkurang sebaliknya kebutuhan akan air semakin meningkat setiap tahunnya. Kebutuhan air sebagai sumber air baku dan berbagai keperluan terutama untuk keperluan irigasi tetap perlu kiranya diambil langkah - langkah dalam usaha penyediaannya.

Dalam upaya penyediaan air baku ini, Pengembangan dan Pengelolaan Sumber Air Sumatera Barat memilih untuk membangun Embung sebagai penampung air. Untuk tujuan tersebut perlu dilakukan terlebih dahulu pembuatan Perencanaan Embung dalam hal ini membuat Detail Desain, dalam perencanaan Embung diperlukan analisa hidrologi yang terdiri dari analisa curah hujan rancangan, analisa kebutuhan Air di Daerah Studi, analisa debit banjir rancangan, kebutuhan daya tampung dan tinggi Embung dalam Detail Desain, dan analisa hidrolis konstruksi dan analisa stabilitas konstruksi agar bangunan aman terhadap kondisi yang berbahaya. Pengembangan dan Pengelolaan Sumber Air Sumatera Barat merealisasikan pembuatan perencanaan Embung (Detail Desain) pada Embung Danau Kering yang terletak di Desa Ulu Gadut kecamatan Pauh di Kota Padang. Dari hasil analisa diperoleh debit banjir rencana periode ulang 100 tahun sebesar 251.737 m³/dt, volume tampungan sebesar 894.770 m³ berada pada elevasi +105,00 m yang digunakan sebagai elevasi mercu pelimpah, elevasi muka air banjir pada ketinggian +106,78 m, elevasi puncak bendungan pada ketinggian +108,00 m, elevasi dasar sungai pada ketinggian +90.00 m, tinggi jagaan diambil 2,00 m, tinggi bendungan 18,00 m, lebar mercu bendungan 50,00 m, kemiringan lereng upstream 1:3,00, kemiringan lereng down stream 1:2,00. Tipe konstruksi bendungan Beton dengan Penyangga (concrete buttress dams)

Konstruksi stabil terhadap gaya-gaya yang terjadi pada kondisi yang berbahaya. volume genangan dan luas areal genangan 894.770 m³ dan 168.443,77 m².

Kata kunci : analisa debit, kapasitas tampungan, konstruksi embung,

PENDAHULUAN**Latar Belakang**

Kota Padang, ibukota propinsi Sumatra Barat merupakan Kota terbesar di propinsi ini, terletak pada 00° 44' 00" dengan 01° 08' 35" Lintang Selatan dan 100° 05' 05" sampai dengan 100° 34' 09" Bujur Timur dengan luas 694.96 km². Sebagai ibukota propinsi dan kota terbesar di Sumatera Barat, kegiatan perekonomian berpusat pula di kota ini, sudah barang tentu segala permasalahan juga tidak terlepas pada kota ini. Salah satu permasalahan serius yang dihadapi oleh kota Padang diantaranya adalah masalah banjir dan kebutuhan air baku yang merupakan masalah yang harus diantisipasi karena sangat terkait dengan perkembangan penduduk. Di sebelah timur dan sebelah selatan kota Padang terdapat pegunungan yang seharusnya berfungsi sebagai daerah konservasi dan daerah resapan hujan. Namun kondisi yang saat ini ada yang disebabkan oleh tingginya tingkat pembukaan

lahan mengakibatkan daerah tersebut tidak dapat berfungsi menjadi daerah resapan lagi. Hal tersebut merupakan salah satu faktor utama penyebab banjir kota Padang. Di sisi lain, kebutuhan air baku dan kebutuhan air irigasi di kota Padang juga disuplai dari daerah aliran ini. Namun berkaitan dengan tidak berfungsinya daerah konservasi dan daerah resapan tersebut, hal ini menyebabkan ketersediaan air pada daerah tersebut mengalami penurunan yang cukup signifikan, sementara kebutuhan air untuk air baku khususnya di kota Padang terus mengalami peningkatan. Seiring berkembangnya penduduk di masa datang kebutuhan air untuk penduduk kota Padang dan sekitarnya akan meningkat tajam dari kebutuhan saat ini disamping kebutuhan untuk air irigasi dan keperluan lainnya. Sebagai alternatif terus dilakukan oleh instansi terkait setempat untuk mengantisipasi hal ini antara lain merencanakan untuk memanfaatkan Danau

Kering yang berada disebelah timur kota Padang. Para praktisi dan ilmuwan telah merekomendasikan agar pada lokasi Danau Kering ini dibangun embung untuk membendung sungai Batang Kuranji bagian hulu yang terletak di Desa Ulu Gadut kecamatan Pauh. Pembendungan akan dilakukan pada lembah yang agak sempit pada daerah aliran dengan luas lebih kurang 25 ha. Fungsi utama embung itu nantinya adalah untuk menstabilkan aliran baik dengan cara pengaturan persediaan air pada Danau Kering dan menyediakan simpanan (tampungan air) untuk pemanfaatan dikemudian hari, sekaligus untuk memperkecil dampak kerusakan akibat banjir dihilir embung. Untuk keperluan ini, instansi terkait telah melakukan segala persiapan antara lain pelaksanaan Studi Pendahuluan untuk melakukan kajian daerah aliran yang akan menjadi sasaran kegiatan ini, dilanjutkan dengan studi studi penunjang sehingga memperoleh rekomendasi kelayakan pembangunan Embung ini.

Lokasi Pekerjaan

Salah satu sungai besar yang berhulu di pegunungan di sebelah timur Kota Padang dan

melintasi kota sebelum akhirnya bermuara ke samudera Indonesia adalah sungai Batang Kuranji. Sebagai salah satu sungai besar yang melintasi Kota Padang, sungai Batang Kuranji selain merupakan salah satu sumber air baku yang sangat dibutuhkan oleh penduduk, juga merupakan salah satu sungai yang seringkali menyebabkan banjir di Kota Padang dan sekitarnya.

Di bagian hulu sungai Batang Kuranji ini khususnya di Desa Ulu Gadut Kecamatan Pauh, terdapat Danau Kering yang seharusnya merupakan kawasan konservasi dan daerah resapan di bagian hulu sungai. Pembangunan embung dilakukan dengan membendung bagian hulu sungai Batang Kuranji.

Sarana dan Prasarana perhubungan menuju lokasi pekerjaan cukup sulit. Dari Kota Padang ke lokasi dapat dicapai dengan kendaraan roda empat sampai wilayah kelurahan Jawa Gadut Kecamatan Pauh, dan selanjutnya dilanjutkan dengan berjalan kaki melalui jalan setapak menyusuri sungai Limau Manis ke arah hulu sejauh kurang lebih 10 km. Ilustrasi lokasi pekerjaan berdasarkan citra satelit tahun 2006 dapat dilihat pada Gambar 1.



Gambar 1. Areal Pekerjaan Perencanaan Detail Desain Embung

METODOLOGI

Tinjauan Umum

Perencanaan embung diawali dengan melakukan survey dan investigasi di lokasi yang bersangkutan untuk memperoleh data perencanaan yang lengkap dan teliti. Metodologi yang baik dan benar merupakan acuan untuk menentukan langkah-langkah kegiatan yang perlu diambil dalam perencanaan (Soedibyo, 1993). Metodologi

penyusunan perencanaan Embung sebagai berikut :

- Survey dan investigasi pendahuluan
- Identifikasi masalah
- Studi pustaka
- Pengumpulan data
- Analisis hidrologi
- Perencanaan konstruksi embung
- Stabilitas konstruksi embung
- Gambar Konstruksi

Metodologi Perencanaan Embung

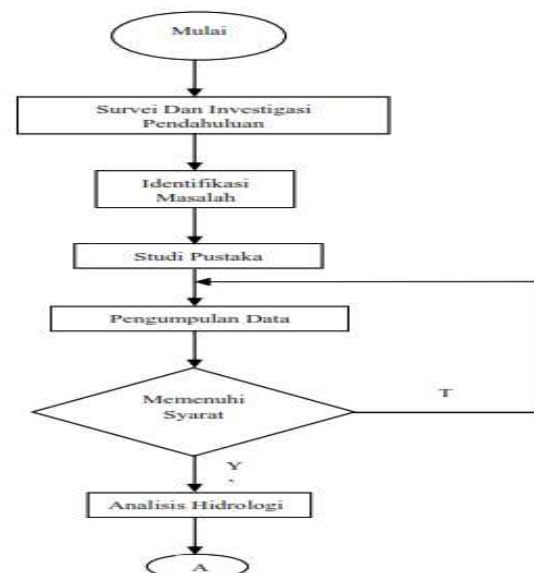
Metode perencanaan digunakan untuk menentukan langkah-langkah yang akan dilakukan dalam perencanaan Embung. Adapun metodologi perencanaan yang digunakan adalah :

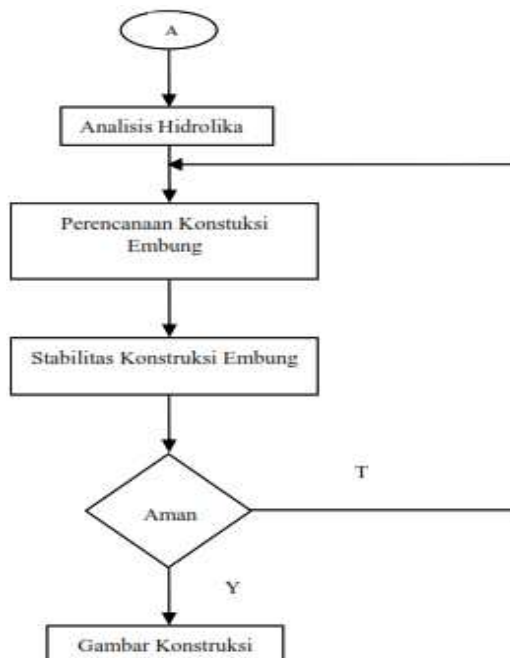
- Survey dan investigasi pendahuluan dilakukan untuk mengetahui keadaan sosial, ekonomi, budaya masyarakat dan pengamatan lokasi di lapangan serta tanggapan masyarakat terhadap rencana pembangunan embung.
- Identifikasi Masalah Untuk dapat mengatasi permasalahan secara tepat maka pokok permasalahan harus diketahui terlebih dahulu. Solusi masalah yang akan dibuat harus mengacu pada permasalahan yang terjadi.
- Studi pustaka ini dilakukan untuk mendapatkan metode dalam analisis data, perhitungan dan perencanaan embung yang telah terbukti kebenarannya
- Pengumpulan data digunakan untuk mengetahui penyebab masalah dan untuk merencanakan embung yang akan dibuat. Data yang diperoleh berupa data primer dan sekunder.
- Analisis data yang telah didapat diolah dan dianalisis sesuai dengan kebutuhannya. Masing-masing data berbeda dalam pengolahan dan analisisnya. Pengolahan dan analisis yang sesuai akan diperoleh variabel-variabel yang akan digunakan dalam perencanaan embung.
- Perencanaan Konstruksi, Embung Hasil dari analisis data digunakan untuk menentukan perencanaan konstruksi embung yang sesuai, dan tepat disesuaikan dengan kondisi-kondisi lapangan yang mendukung konstruksi embung tersebut.
- Stabilitas Konstruksi Embung, Dalam perencanaan konstruksi embung perlu adanya pengecekan apakah konstruksi tersebut sudah aman dari pengaruh gaya-gaya luar maupun beban yang diakibatkan dari konstruksi itu sendiri (Sosrodarsono, 1989). Pengecekan stabilitas konstruksi pada tubuh

bendungan merupakan usaha untuk dapat mengetahui keamanan konstruksi. Gaya-gaya yang bekerja dikontrol terhadap tiga penyebab runtuhnya bangunan gravitasi. Tiga penyebab runtuhnya bangunan gravitasi adalah gelincir, guling dan erosi bawah tanah (Soedibyo, 1993).

- Gambar Konstruksi, Hasil perencanaan dan stabilitas konstruksi embung diwujudkan dalam bentuk gambar yang detail dengan ukuran, bentuk dan skala yang ditentukan
- Bagan Alir, Keandalan hasil perencanaan erat kaitannya dengan alur kerja yang jelas, metoda analisis yang tepat dan kelengkapan data pendukung di dalam merencanakan embung. Adapun tahap- tahap analisis Perencanaan Embung adalah sebagai berikut :

Bagan alir kegiatan





Gambar 2. Bagan alir kegiatan

HASIL DAN PEMBAHASAN

ANALISA HIDROLOGI

Kondisi Umum Lokasi Embung

Lokasi perencanaan pembangunan Embung Danau Kering Kota Padang terletak disebelah timur laut Kota Padang. Data hidrologi dan meteorologi yang ada di kota Padang menunjukkan bahwa nilai evaporasi tahunan terhitung tinggi, kira-kira 1600 mm angka-angka tersebut lebih tinggi dibandingkan dengan evapotranspirasi tahunan di daerah pantai umumnya di Indonesia sebesar 1400 mm. Musim hujan di lokasi perencanaan embung umumnya berlangsung selama lebih dari 6 bulan, mengingat secara umum distribusi bulan-bulan basah dan bulan-bulan kering tidak begitu jelas dan kemungkinan kejadian hujan terjadi hampir di sepanjang tahun perkecualian bulan-bulan kering tertentu, dimana nilai curah hujan tahunan rata-rata hampir mencapai 4.000 mm yaitu sebesar 3.921,8 mm per-tahun. Kondisi ini tentunya sangat berbeda bila dibandingkan dengan kondisi di daerah lain seperti di Jawa, Bali, Nusa Tenggara dan sebagainya .

Analisa Banjir Rencana

Kejadian banjir dapat diramalkan besar dan kecepatan datang puncaknya setiap periode ulang, dan perlu dilakukan agar dapat

diperkirakan dampaknya terhadap daerah disekitarnya. Idealnya perencanaan banjir rencana dilakukan kombinasi antara metode analisis frekuensi berdasarkan data hasil pencatatan debit banjir untuk periode panjang tertentu dengan analisis hidrologis berdasarkan data pencatatan curah hujan baik menggunakan rumus empiris maupun beberapa metode penurunan curah hujan – debit banjir berupa hidrograf dan hidrograf satuan.

Untuk di lokasi yang berada di daerah hulu maupun di sekitar lokasi rencana penempatan Embung Danau Kering sama sekali tidak terdapat stasiun pencatatan hujan maupun pengukuran debit. Hal tersebut dikarenakan lokasi masih merupakan daerah hutan asli dan secara topografi berada pada daerah pegunungan yang masih belum terbuka ataupun tereksplorasi, sehingga tidak memungkinkan adanya stasiun hidroklimatologi maupun hidrometri sungai. Berdasarkan kondisi tersebut maka perencanaan analisa hidrologi baik yang meliputi analisa debit andalan maupun perencanaan banjir rencana hanya bisa dilakukan dengan melakukan pengolahan berdasarkan data hasil pencatatan curah hujan dari stasiun hujan terdekat yang dianggap paling mewakili / kondisinya paling mirip dengan lokasi perencanaan embung. Stasiun hujan yang memungkinkan untuk dipakai datanya adalah stasiun hujan Ladang Padi di Lubuk Kilangan. Stasiun Hujan Ladang Padi di Lubuk Kilangan berada pada lokasi yang terdekat dengan lokasi cathment area rencana lokasi Embung Danau Kering. Selain itu baik secara topografis maupun ketinggian diatas permukaan laut juga mendekati ketinggian yang sama, meskipun tidak berada pada satuan wilayah sungai yang sama dengan lokasi embung yang berada di sebelah hulu dari daerah aliran sungai (DAS) Batang Kuranji dan Sungai Limau Manis sementara stasiun Lubuk Kilangan berada pada daerah aliran sungai (DAS) Batang Arau.

Daerah tangkapan hujan pada lokasi rencana Embung Danau Kering mempunyai data-data sebagai berikut :

Catchment area = 18.987 km².

Panjang sungai utama = 5.247 km.

Perkiraan debit banjir untuk kala ulang tertentu di daerah tangkapan hujan di hulu

lokasi Embung Danau Kering dengan luas DAS yang relatif kecil dihitung dengan menggunakan pendekatan Metoda Unit Hidrograf Nakayasu dan Metode Unit Hidrograf Sintetik Gama I.

Dalam perhitungan kemungkinan banjir dilakukan berdasarkan pada distribusi hujan efektif tiap jam dan hulu lokasi pelimpah Embung Danau Kering diambil durasi 24 jam.

$$R_t = R \cdot \left(\frac{24}{T}\right)^{\frac{2}{3}} \quad \text{dimana} \quad R = \frac{R_{24}}{24}$$

dimana :

R_t = rata-rata hujan dari awal sampai jam ke-T

T = waktu hujan awal sampai jam ke-T

Besarnya curah hujan ke-T dihitung dengan menggunakan rumus :

$$R_t = t.R_t - (t-1).R(t-1)$$

Dimana ;

R_t = curah hujan ke-T

R_T = rata-rata hujan dari awal sampai jam ke-T

t = waktu hujan awal sampai jam ke-T

Selanjutnya membuat flood pattern metoda DR.Nakayasu seperti langkah berikut :

Perhitungan besar Q maks. Dengan persamaan :

$$Q_{maks} = \frac{1}{3.6} \cdot A \cdot \frac{R_0}{T_p + T_{0.3}}$$

dengan bentuk kurva (hydrograph) sebagai berikut :

keadaan naik dengan $0 < t < T_p$

$$Q = \left(\frac{t}{T_p}\right)^{2.4} \cdot Q_{maks}$$

keadaan kurva menurun dengan $T_p < t, (T_p + T_{0.3})$

$$Q = 0.3 \left(\frac{1-T_p}{T_{0.3}}\right) \cdot Q_{maks}$$

keadaan $(T_p + T_{0.3}) < t < (T_p + T_{0.3} + 1.5 T_p)$

$$Q = 0.3 \left(\frac{1-T_p+0.5T_{0.3}}{1.5T_{0.3}}\right) \cdot Q_{maks}$$

keadaan $t > (T_p + T_{0.3} + 1.5 T_p)$

$$Q = 0.3 \left(\frac{1-T_p+0.5T_{0.3}}{2T_{0.3}}\right) \cdot Q_{maks}$$

Dimana :

Q_{maks} = Q puncak pada kurva (grafik) dalam m³/det

R = Curah hujan efektif (mm)

A = Luas daerah pengaliran (km²)

T_p = Waktu naik (jam)

$T_{0.3}$ = Waktu menurun dari puncak (peak) ke 0.3 Q_{maks} (jam)

Dengan ketentuan :

$$T_p = T_g + 0.8 T_r$$

$$T_{0.3} = \alpha \cdot T_g \quad (\alpha = \text{koefisien antara } 1,5 - 3,5)$$

$$\text{Untuk } L < 15 \text{ Km} \quad T_g = 0.4 + 0.058 \cdot L$$

$$\text{Untuk } L > 15 \text{ Km} \quad T_g = 0.21 \cdot L^{0.7}$$

Dimana :

T_g = Log time pada daerah aliran (jam)

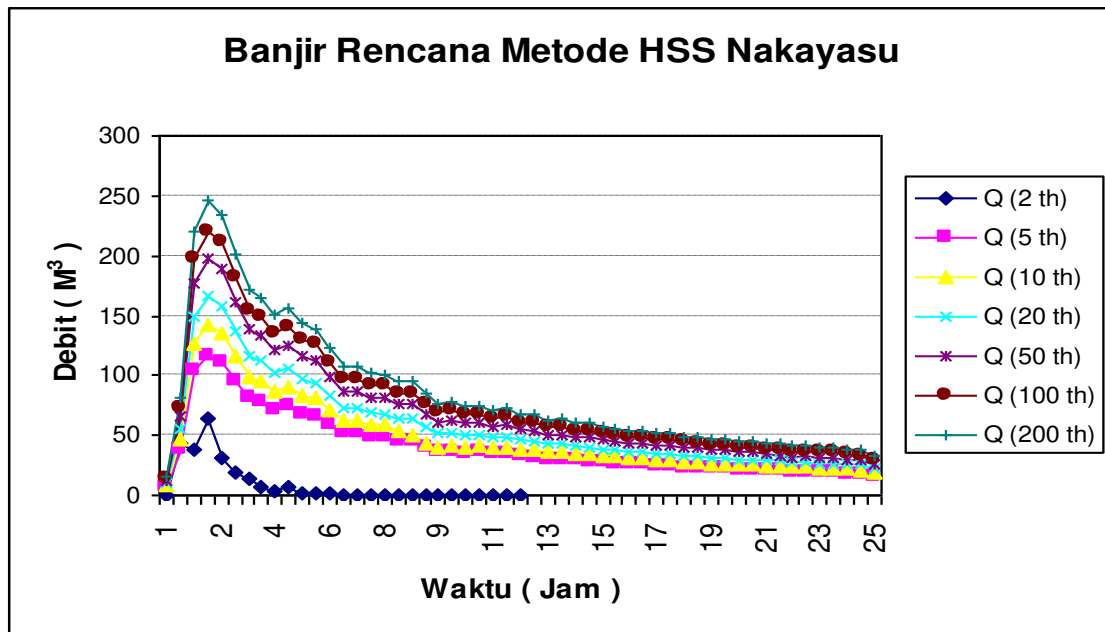
T_r = Unit Time of Rain Fall (jam)

L = panjang sungai (km)

Luas DAS dan panjang sungai dari hulu sungai terjauh ke titik pengukuran akan menentukan besarnya debit puncak yang terjadi dan waktu tunda banjir maksimum setiap DAS, dengan demikian masing-masing sungai mempunyai Hidrograf satuan berbeda seperti Daerah Tangkapan Hujan Danau Kering.

Hidrograf Satuan yang terbentuk mempresentasikan jumlah debit dari waktu ke waktu di titik pengukuran yang timbul akibat hujan yang dianggap jatuh secara merata seluruh DAS setinggi 1 mm. Dengan pola grafik yang sama debit banjir rencana setiap periode ulang dapat dibuat atas dasar curah hujan rencana setiap jam.

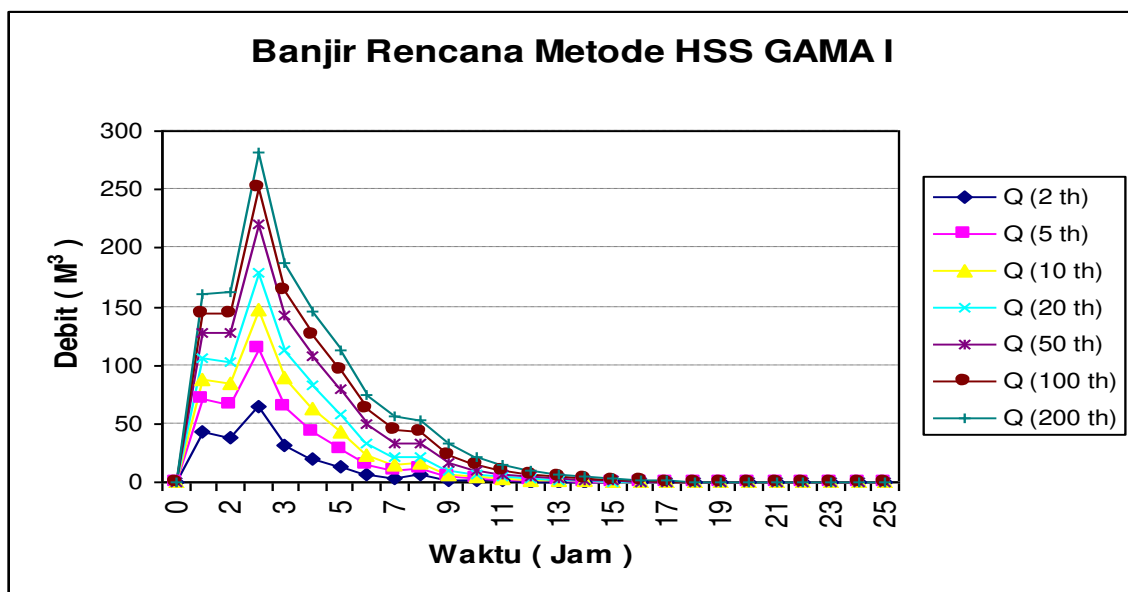
Hasil perhitungan debit rencana diberikan dalam bentuk grafis pada Grafik 1 berikut.



Grafik 1. Hasil Perhitungan Banjir Rencana Menggunakan Metode HSS Nakayasu

Dimana sebagaimana ditunjukkan pada tabel dan grafik di atas, debit puncak terjadi pada saat jam ke 1,52 dengan debit banjir rencana 100 tahunan sebesar 220,597 m^3/detik .

Selanjutnya perhitungan banjir rencana juga dilakukan dengan metode Hidrograf Satuan Sintetik HSS Gama I. Hasil perhitungan debit rencana diberikan dalam bentuk grafis pada Grafik 2 berikut.



Grafik 2. Hasil Perhitungan Banjir Rencana Menggunakan Metode HSS Gama I.

Dimana sebagaimana ditunjukkan pada tabel diatas, debit puncak terjadi pada saat jam ke 2,2 dengan debit banjir rencana 100 tahunan sebesar 251,737 m^3/detik .

Selanjutnya berikut diberikan rekapitulasi perbandingan hasil perhitungan debit banjir rencana dengan menggunakan kedua metode

perhitungan di atas yaitu Metode HSS Nakayasu dan HSS Gama I.

Tabel 1. Rekapitulasi Perhitungan Banjir Rencana Metode HSS Nakayasu dan Metode HSS Gama I

Periode Ulang	HSS NAKAYASU	HSS GAMA I
Q ₂	78.205	64.375
Q ₅	116.327	114.536
Q ₁₀	141.567	147.747
Q ₂₀	165.777	179.603
Q ₅₀	197.114	220.838
Q ₁₀₀	220.597	251.737
Q ₂₀₀	245.445	282.525

Volume Embung

Penetapan lokasi embung didasarkan pada beberapa pertimbangan diantaranya :

- kondisi topografi
- kondisi geologi dan mekanika tanah
- kondisi hidrologis

dari pertimbangan di dalam penetapan lokasi bangunan Embung Danau Kering. Sedangkan tinggi mercu atau kedalaman maksimum genangan direncanakan setinggi 15 m yang akan memberikan volume genangan dan luas areal genangan berturut-turut 894.770 m³ dan 168.443,77 m². Rekapitulasi volume tampungan, luas genangan dan elevasi rencana mercu adalah sebagaimana diberikan pada Tabel 2. berikut.

Tabel 2. Rekapitulasi Hubungan Antara Elevasi, Luas Genangan dan Volume Genangan Rencana Embung Danau Kering.

Elevasi (m)	Luas Genangan (m ²)	Volume Genangan (m ³)
0.00	0.00	0.00
5.00	20,368.01	18,164.00
10.00	77,768.98	267,067.25
11.00	91,720.03	367,477.00
12.00	124,339.15	478,250.50
13.00	137,550.79	603,221.25
14.00	157,798.18	760,974.75
15.00	168,443.77	894,770.00

Perhitungan Hidrolis Mercu

Perencanaan Hidraulik Mercu Embung dilakukan berdasarkan buku Standar Perencanaan Irigasi Departemen PU (Th

1986), Standar Nasional Indonesia **SNI 03-3432-1994** tentang *Tata Cara Penetapan Banjir Disain Dan Kapasitas Pelimpahan Untuk Bendungan*. Mercu Embung direncanakan sebagai mercu beton dengan bentuk mercu bulat. Kemiringan hilir 1 : 1 dengan jari-jari mercu pertama-tama diperkirakan 1.50 meter.

Tinggi Mercu (Elevasi Spillway) Embung

Perencanaan Spill way ini direncanakan berdasarkan volume tampungan perlu dan elevasi genangan yang direncanakan dengan :

Tinggi Mercu (P)= 15 meter

Lebar Efektif Spillway

- Lebar pelimpah (*spillway*) diusahakan sama atau mendekati lebar sungai utama di sebelah hilir mercu yang ada atau sesuai ketersediaan lebar area pelimpahan, misal dalam contoh ini diberikan salah satu alternatif yang digunakan yaitu $L = 50.00$ meter.

$$Le = L - T - 2(n.Kp + Ka) \cdot He$$

$$L = 50 \text{ m}$$

$$n = 3 \text{ bh}$$

$$Kp = 0.01$$

$$Ka = 0.1$$

Dimana :

$$Le = \text{Lebar Efektif Spillway}$$

$$L = \text{Lebar total spillway}$$

$$n = \text{Jumlah pilar}$$

$$Kp = \text{Koefisien Kontraksi pilar}$$

$$Ka = \text{Koefisien Kontraksi Pangkal Spillway}$$

Tinggi Air Di Atas Mercu Bendung

Tinggi muka air di atas mercu dihitung berdasarkan rumus mercu bulat

(Kp. 02 hal 4.2)

$$Q = C_d \times \frac{2}{3} b_e \times \sqrt{\frac{2}{3} g} \times H_1^{\frac{3}{2}}$$

Dengan : Q = debit rencana ($Q_{100} = 251.737 \text{ m}^3/\text{dt}$)

$$C_d = \text{koefisien debit} = C_0 \times C_1 \times C_2$$

$$b_{\text{eff}} = \text{lebar efektif pelimpah (} b_e = 45.50 \text{ m)}$$

$$H_1 = \text{tinggi energi hulu}$$

Harga-harga koefisien C_0 , C_1 dan C_2 dapat ditentukan dari Grafik KP – 02

$$Beff = L - (\sum T)$$

Tabel 3. Perhitungan Koefisien Debit

He (m)	0.5	1	1.5	2	2.5	3
He / R	0.33	0.67	1.00	1.33	1.67	2.00
P / He	30.00	15.00	10.00	7.50	6.00	5.00
Co	0.92	1.10	1.18	1.23	1.26	1.32
C1	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00
C2	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00
Cd	0.92	1.10	1.18	1.23	1.26	1.32

$$H_1 = 2.0 \text{ meter}$$

$$H_1 / r = 2 / 1.5 = 1.33$$

$$P / H_1 = 15 / 2 = 7.5$$

$$\frac{H_1}{r} = 1.33, \text{ maka } C_o = 1.23$$

$$\frac{P}{H_1} = 7.5, \text{ maka } C_1 = 1$$

$$Q = C_d \times \frac{2}{3} b_e \times \sqrt{\frac{2}{3} g} \times H_1^{3/2}$$

$$\frac{P}{H_1} = 7.5, \text{ maka } C_2 = 1$$

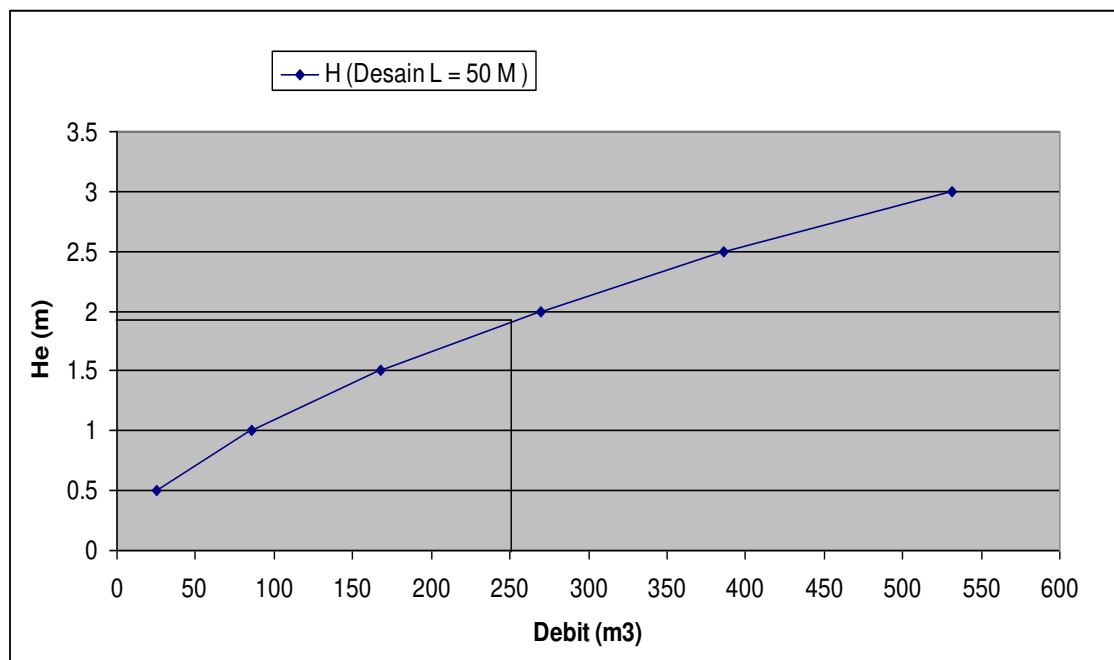
$$\text{Jadi } C_d = 1.23 \times 1 \times 1 = 1.23$$

Setelah C_d di dapat, kita dapat menghitung Debit dengan rumus persamaan (1) diatas

$$Q = 1.23 \times \frac{2}{3} 40.5 \times \sqrt{2 \cdot 9.8} \times 2^{3/2} = 269.735 \text{ M}^3 / \text{sec}$$

Kemudian kita akan mendapatkan nilai H_d yang kita inginkan dengan cara coba – coba, dimana nilai H_e kita variasikan. Sehingga untuk debit sebesar banjir rencana $Q_{100th} = 251.737 \text{ m}^3 / \text{sec}$, kita mendapatkan $H_d = 1.78 \text{ m}$. Secara grafis muka air banjir rencana tersebut adalah sebagaimana diberikan pada Grafik 3.3. berikut.

Grafik 3. Tinggi Muka Air Banjir Rencana di atas Mercu Untuk Panjang Mercu Rencana $L = 50 \text{ m}$.



Untuk mengetahui efektifitas dan perbandingan alternatif dimensi mercu dan elevasi muka air banjir rencana diatas mercu, berdasarkan SNI 03 – 3432 – 1994 maka setidaknya mercu dapat direncanakan berdasarkan dua kondisi ektrim sebagai berikut.

Alternatif kondisi perencanaan 1:

Spillway bisa direncanakan dengan berdasarkan debit rencana sebesar $Q_R = 0.5 \times 125 \% Q_{100th}$, apabila bendungan mempunyai resiko kecil.

Alternatif kondisi perencanaan 2:

Spillway harus direncanakan dengan berdasarkan debit rencana sebesar $Q_R = 125 \% Q_{100th}$, apabila bendungan mempunyai resiko besar.

Dalam laporan ini dilakukan beberapa alternatif perhitungan disain spillway berdasarkan beberapa alternatif dimensi, elevasi muka air banjir dan besaran debit banjir rencana menggunakan prosedur yang

sudah dijelaskan sebelumnya. Selanjutnya hasil perhitungan masing-masing alternatif tersebut diberikan pada Tabel 4. berikut.

Tabel 4. Rekapitulasi Alternatif Dimensi Spillway Berdasarkan Debit Banjir Rencana, Tingkat Keamanan dan Elevasi Muka Air Banjir di Atas Mercu.

Lebar Spillway	125% X Q_{100}		125% X $0,5Q_{100}$		Q_{100}	
	Q_R (m^3/Det)	Tinggi Air di Atas Mercu (m)	Q_R (m^3/Det)	Tinggi Air di Atas Mercu (m)	Q_R (m^3/Det)	Tinggi Air di Atas Mercu (m)
25	314.671	3.55	157.336	2.25	251.737	3.2
30	314.671	3.08	157.336	2	251.737	2.8
35	314.671	2.8	157.336	1.78	251.737	2.4
40	314.671	2.2	157.336	1.6	251.737	2.3
50	314.671	2.2	157.336	1.5	251.737	1.78

Analisa Keamanan Terhadap Rembesan dan Erosi Bawah Tanah (Bahaya Piping)

Kontrol Keamanan Terhadap Rembesan

Kontrol keamanan terhadap rembesan di bawah tubuh bendung digunakan metode Lane, yaitu :

$$\Delta H = 15 \text{ m}$$

$$L_w = L_v + \frac{1}{3} L_h > C_w \cdot \Delta H$$

Harga C_w untuk tanah pasir kasar adalah 2.5

Pada tabel 4.3, panjang L_w pada titik N adalah 42.4

$$L_w = 42.4 > 2.5 \times 15 \\ = 42.4 > 37.5$$

Kontrol Keamanan Terhadap Erosi Bawah Tanah (Piping)

Keamanan terhadap erosi bawah tanah (piping) adalah :

$$S_f = \frac{S \left(1 + \frac{a}{s}\right)}{H_s}$$

Dengan : S_f = faktor keamanan = 2.00

S = kedalaman tanah = 3.10

a = tebal lapisan lindung

(diandaikan 1.00 m)

h_s = tekanan air pada titik M = (4.97 - 3.10) = 1.87

Jadi :

$$S_f = \frac{3.10 \left(1 + \frac{1.00}{3.10}\right)}{1.87} = 2.19 > 2.00 \rightarrow OK!$$

Tabel 5 Harga Angka Rembesan Land (C_w)

Pasir sangat halus atau lanau	8.5
Pasir halus	7.0
Pasir sedang	6.0
Pasir kasar	5.0
Kerikil halus	4.0
Kerikil sedang	3.5
Kerikil kasar termasuk berangkal	3.0
Bongkah dengan sedikit berangkal dan kerikil	2.5
Lempung lunak	3.0
Lempung sedang	2.0
Lempung keras	1.8
Lempung sangat keras	1.6

Perhitungan Stabilitas Tubuh Bendung

Dalam peninjauan stabilitas bendung dihitung dalam keadaan kritis, yaitu waktu banjir yang bersamaan dengan gempa dan juga waktu kondisi air normal yang bersamaan dengan gempa.

Gaya-gaya yang bekerja pada tubuh bendung adalah :

- Berat Sendiri Dendung (G)
- Gaya Gempa (K)
- Gaya Hidrostatik (W)
- Tekanan Lumpur (P) → dalam hal ini pasir/kerikil
- Gaya Uplift Pressure (U)

Syarat yang harus dipenuhi untuk stabilitas bendung agar konstruksi aman dan stabil adalah :

1. Terhadap guling

2. Terhadap geser

3. Terhadap eksentrisitas

Data-data tanah di sekitar lokasi sesuai dengan data yang ada :

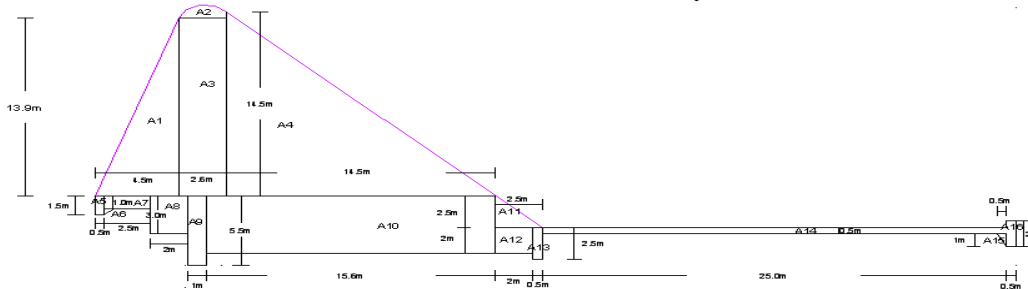
- Berat Isi Tanah $\gamma_t = 1.3$ t/m³
- Kohesi Tanah $C = 0.078$

- Sudut Geser Tanah $\phi = 31.785^\circ$
- Daya Dukung Tanah $q_t = 200$ t/m²

Secara lebih jelas perhitungannya dilakukan dengan cara tabelaris.

1. Gaya-gaya Akibat Berat Sendiri (Konstruksi)

Gaya-gaya berat sendiri adalah gaya yang ditimbulkan oleh berat jenis dari konstruksi tersebut. Dalam konstruksi bangunan bendung dari pasangan batu kali diambil $\gamma_{pas} = 2.30$ t/m³.



Tabel 5. Perhitungan Berat Sendiri Tubuh Mercu Embung

Gaya	H (m)	B (m)	Luas Bagian	F m2	Jarak titik berat (m)		Statis momen (m3)	
					y	x	Sx	Sy
A1	13,9	4,5	$\frac{1}{2} \times 4,5 \times 13,9$	31,275	10,1	46,5	315,8775	1454,288
A2				2,12	19,8	43,6	41,976	92,432
A3	13,9	2,6	$2,6 \times 13,9$	36,14	12,5	43,8	451,75	1582,932
A4	14,5	14,5	$\frac{1}{2} \times 14,5 \times 14,5$	105,125	10,3	37,6	1082,788	3952,7
A5	1,5	0,5	$1,5 \times 0,5$	0,75	4,8	49,3	3,6	36,975
A6	0,5	0,5	$0,5 \times 0,5 \times 0,5$	0,125	4,3	48,9	0,5375	6,1125
A7	1	2,5	$1 \times 2,5$	2,5	5	48	12,5	120
A8	3	2	2×3	6	4	45,6	24	273,6
A9	5,5	1	$5,5 \times 1$	5,5	2,8	44,1	15,4	242,55
A10	4,5	15,6	$15,6 \times 4,5$	70,2	3,3	34,8	231,66	2442,96
A11	2,5	2,5	$0,5 \times 2,5 \times 2,5$	3,125	3,8	27,2	11,875	85
A12	2	2	2×2	4	2	27	8	108
A13	2,5	0,5	$0,5 \times 0,5 \times 2,5$	0,625	1,8	25,8	1,125	16,125
A14	0,5	25	$0,5 \times 25$	12,5	2,7	13,2	33,75	165
A15	0,5	1	$0,5 \times 1 \times 0,5$	0,25	2,2	0,7	0,55	0,175
A16	2	0,5	$0,5 \times 2$	1	2,5	0,25	2,5	0,25
JUMLAH				281,235			2237,889	10579,1

Berat Sendiri Tubuh Bendung (G)

$$= \frac{\sum F}{\gamma_{pas}} = \frac{281}{2.30} = 122.174$$

x γ_{pas}

$$= 122.174 \times 2.30 = 281.000$$

.84 t/m

Jarak titik berat dari garis X :

$$y = \frac{\sum S_y}{\sum F} = \frac{10579.1}{281.235} = 37.61m$$

Jarak titik berat dari garis Y :

$$x = \frac{\sum S_x}{\sum F} = \frac{2237.889}{281.235} = 7.957m$$

2. Gaya-gaya Akibat Gaya Gempa

$$\text{Gaya gempa (K)} = E \times G$$

Dengan : E = Koefisien gempa
 G = Berat sendiri tubuh bendung

Untuk mengetahui koefisien gempa, digunakan persamaan :

$$a_d = n (a_c \times z)^m$$

$$E = \frac{a_d}{g}$$

Dengan : a_d = percepatan gempa rencana (cm/dt^2)

n, m = koefisien jenis tanah

a_c = percepatan gempa dasar (cm/dt^2)

E = koefisien gempa

z = faktor yang tergantung letak geografis

g = percepatan gravitasi (cm/dt^2)

Pada pembangunan bendung ini digunakan :

n = 2.76 untuk jenis tanah berbatu

m = 0.71 untuk jenis tanah berbatu

a_c = 85 m/dt^2 untuk periode ulang 20 tahun

z = 1.56 untuk zone Sumbar

Maka :

$$a_d = n (a_c \times z)^m$$

$$= 2.76 (85 \times 1.56)^{0.71}$$

$$= 88.698 \text{ m/dt}^2$$

$$E = \frac{a_d}{g}$$

$$= \frac{88.698}{981}$$

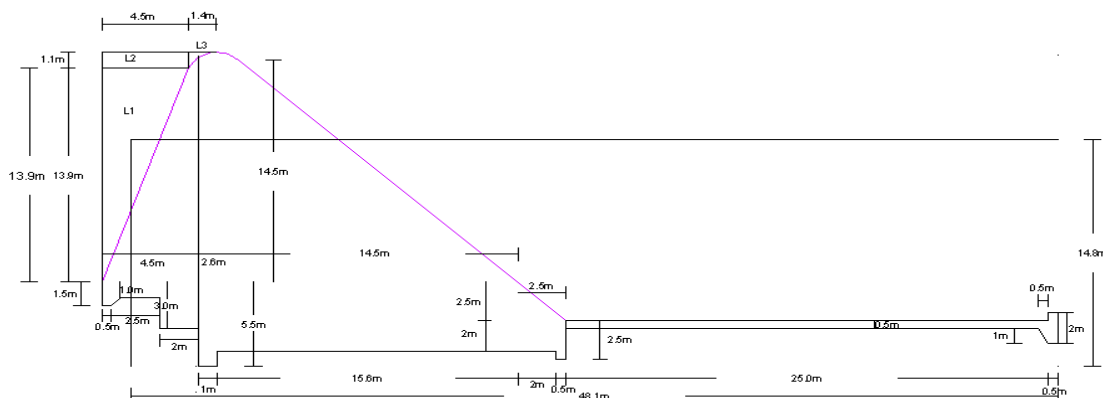
$$= 0.090$$

Jadi gaya gempa (K) = $E \times G$
 $= 0.090 \times 646.84$

t/m = 58.215 t/m

Gaya-gaya Akibat Tekanan Lumpur (Pasir/Kerikil)

Gaya-gaya akibat tekanan lumpur dihitung dengan menganggap lumpur tertahan setinggi mercu dengan sudut geser dalam (ϕ) 31.785° dan $\gamma_t = 1.3 \text{ t/m}^3$.



$$\begin{aligned} \gamma_s &= \gamma_t - \gamma_w \\ &= 1.30 - 1.00 \\ &= 0.30 \text{ t/m}^3 \end{aligned}$$

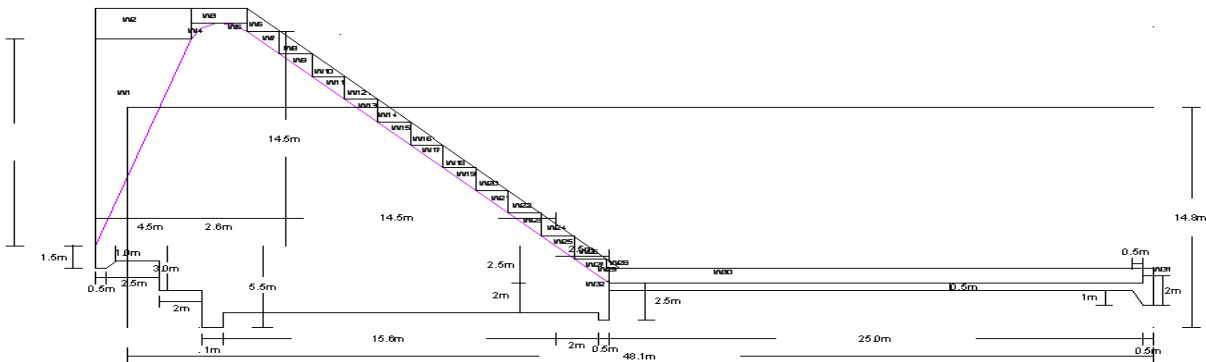
$$P = \frac{1}{2} \times \gamma_s \times h^2 \times \frac{1 - \sin \phi}{1 + \sin \phi}$$

Jarak garis kerja gaya terhadap X adalah :

$$Y = \frac{\Sigma M_y}{\Sigma P} = \frac{0.274}{0.058} = 4.724 \text{ m}$$

3. Gaya-gaya Hidrostatik

Gaya hidrostatik dihitung pada keadaan air normal dan air banjir dengan berat jenis air $\gamma_w = 1 \text{ t/m}^3$.



Tabel 6. Perhitungan Gaya-Gaya Pada Tubuh Mercu Embung

Gaya	H (m)	B (m)	Luas Bagian	F m2	Jarak titik berat (m)		Statis momen (m3)	
					y	x	Sx	Sy
W1	13.9	4.5	½ x 4.5 x 13.9	31.275		48.1		1504.328
W2	2.1	4.5	2.1 x 4.5	2.12		47.3		100.276
W3	2.1	2.6	2.6x 2.1	5.46	21		114.66	
			½ x 14.5 x					
W4	14.5	14.5	14.5	105.125	20.3		2134.038	
W5	1.5	0.5	1.5 x 0.5	0.75	20.3		15.225	
W6	1.5	1.5	0.5 x 1.5 x 1.5	1.125	20.5		23.0625	
W7	1.5	1.5	0.5 x 1.5 x 1.5	1.125	19.5		21.9375	
W8	1.5	1.5	0.5 x 1.5 x 1.5	1.125	18.9		21.2625	
W9	1.5	1.5	0.5 x 1.5 x 1.5	1.125	18		20.25	
W10	1.5	1.5	0.5 x 1.5 x 1.5	1.125	17.4		19.575	
W11	1.5	1.5	0.5 x 1.5 x 1.5	1.125	16.4		18.45	
W12	1.5	1.5	0.5 x 1.5 x 1.5	1.125	15.9		17.8875	
W13	1.5	1.5	0.5 x 1.5 x 1.5	1.125	13.4		15.075	
W14	1.5	1.5	0.5 x 1.5 x 1.5	1.125	14.3		16.0875	
W15	1.5	1.5	0.5 x 1.5 x 1.5	1.125	13.3		14.9625	
W16	1.5	1.5	0.5 x 1.5 x 1.5	1.125	12.8		14.4	
W17	1.5	1.5	0.5 x 1.5 x 1.5	1.125	11.8		13.275	
W18	1.5	1.5	0.5 x 1.5 x 1.5	1.125	11.3		12.7125	
W19	1.5	1.5	0.5 x 1.5 x 1.5	1.125	10.3		11.5875	
W20	1.5	1.5	0.5 x 1.5 x 1.5	1.125	9.7		10.9125	
W21	1.5	1.5	0.5 x 1.5 x 1.5	1.125	8.7		9.7875	
W22	1.5	1.5	0.5 x 1.5 x 1.5	1.125	8.2		9.225	
W23	1.5	1.5	0.5 x 1.5 x 1.5	1.125	7.2		8.1	
W24	1.5	1.5	0.5 x 1.5 x 1.5	1.125	6.7		7.5375	
W25	1.5	1.5	0.5 x 1.5 x 1.5	1.125	5.7		6.4125	
W26	1.5	1.5	0.5 x 1.5 x 1.5	1.125	5.1		5.7375	
W27	1.5	1.5	0.5 x 1.5 x 1.5	1.125	4.2		4.725	
W28	0.6	0.6	0.5 x 0.6 x 0.6	0.18	4.2		0.756	
W29	0.91	0.09	0.5 x 0.6 x 0.6	0.04095	3.5		0.143325	
W30	1	25	0.5 x 0.1 x 1.9	25	3.5		87.5	
W31	0.5	0.5	1 x 25	0.25	3.7		0.925	
W32	0.09	0.09	1 x 25	0.00405	3.1		0.012555	
Jumlah			ΣWv	161.56		ΣMv	2656.222	

	ΣW_h	33.395		ΣM_h		1604.604
--	--------------	--------	--	--------------	--	----------

Jarak garis kerja gaya vertikal terhadap Y adalah :

$$X = \frac{\Sigma M_v}{\Sigma W_v} = \frac{2656.222}{161.56} = 16.44 \text{ m}$$

Jarak garis kerja gaya horizontal terhadap X adalah :

$$Y = \frac{\Sigma M_H}{\Sigma W_H} = \frac{1604.604}{33.395} = 48.04 \text{ m}$$

L_x = panjang creepline sampai titik X (m)

L_t = panjang creepline total

ΔH = selisih tinggi tekanan

(m)
Panjang creepline ditentukan menurut teori Bligh. Panjang creepline sebanding dengan besarnya perbedaan tekanan di jalur pengaliran yang dinyatakan dengan rumus :

$$\Delta H = \frac{L}{C}$$

Dengan : ΔH = perbedaan tinggi tekanan (m)

L = panjang creepline minimum yang dibutuhkan (m)

C = creep ratio

Untuk konstruksi aman terhadap tekanan air, maka :

$$L \geq \Delta H \cdot C$$

Pada bendung ini jenis tanah pada dasar bendung adalah berupa kerikil, batu-batu kecil dan besar, maka diperkirakan creep ratio (C) untuk Bligh adalah 6 (enam).

ΔH pada saat air normal = 15 m

4. Gaya Uplift Pressure

Uplift pressure yaitu tekanan ke atas yang diakibatkan oleh tekanan air terhadap bidang bawah bendung. Besarnya uplift pressure dihitung dengan menentukan besarnya tekanan pada tiap-tiap titik sudut dan setelah itu dapat ditentukan besarnya gaya yang bekerja pada tiap-tiap bidang. Besarnya uplift pressure dianggap bekerja antara 67% - 100%, dalam hal ini uplift pressure dihitung bekerja 70%.

Rumus yang digunakan :

$$U_x = \left[H_x - \frac{L_x}{L_t} \times \Delta H \right] \times \gamma_w$$

Dengan : U_x = uplift pressure pada titik X (kg/m^2)

H_x = selisih tinggi muka air di hulu bendung dengan titik X (m)

Titik	Elevasi (Elx)	$H_x = 20.5 - (Elx)$	L_x	U_x
A	16	4.5	10	2.307
B	16	4.5	10.5	2.197
C	16.5	4	11.2	1.544
D	16.5	4	13.2	1.105
E	14.5	6	15.2	2.667
F	14.5	6	17.2	2.228
G	12.5	8	19.7	3.680
H	12.5	8	20.7	3.461
I	13.5	7	21.7	2.241
J	13.5	7	39.3	(1.618)
K	14	6.5	39.8	(2.228)
L	14	6.5	40.3	(2.338)
M	16	4.5	42.3	(4.776)
N	16	4.5	66.8	(10.149)
O	15.5	5	67.9	(9.890)
P	15.5	5	68.4	(10.000)

Jarak garis kerja vertikal terhadap bidang Y adalah :

$$X = \frac{M_v}{V_x} = \frac{4,639.258}{232.445} = 19.958m$$

Jarak garis kerja horizontal terhadap bidang X adalah :

$$Y = \frac{M_h}{V_y} = \frac{34.762}{22.352} = 1.555 m$$

Gaya	Besar Gaya (t/m)		Jarak garis kerja gaya		Momen (t/m/m)	
	V	H	Y	X	X	Y
G	646.8405		7.957361		5147.144	
K		58.215		37.6165804		2189.849
W	161.56	33.395	16.44109	48.049214	2656.222	1604.604
P		0.020909		4.76		0.099525
U	232.4446	22.35166			4639.258	34.76171
	1040.845	113.9826			12442.62	3829.314

Garis kerja vertikal terhadap Y adalah :

$$X = \frac{12442.62}{1040.845} = 11.954 m$$

Garis kerja horizontal terhadap X adalah :

$$Y = \frac{3829.314}{113.982} = 33.595 m$$

a. Kontrol terhadap guling

$$\begin{aligned} \text{Momen guling (Mg)} &= Y \times \sum H \\ &= 33.595 \times 113.982 \\ &= 750.917 \text{ tm} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \text{Momen tahanan (Mt)} &= X \times \sum V \\ &= 11.954 \times 1040.845 \\ &= 2778.723 \text{ tm} \end{aligned}$$

$$\text{Faktor keamanan terhadap guling } (S_f) = \frac{M_t}{M_g} > 2$$

$$S_f = \frac{2778.723}{750.917} = 3.7 \rightarrow 3.7 > 2$$

∴ Struktur aman terhadap guling

b. Kontrol terhadap geser

$$\text{Faktor keamanan terhadap geser } (S_g) = \frac{\sum V \times f}{\sum H} > 1.5$$

$$S_g = \frac{1040.845 \times \tan 31}{113.982} = 6.239 \rightarrow 6.239 > 1.5$$

∴ Struktur aman terhadap geser

c. Kontrol terhadap eksentrisitas

$$e = \frac{B}{2} - \frac{(\sum M_v - \sum M_h)}{\sum V} \leq \frac{1}{6} B$$

Dalam disain ini :

$$B = 45.5 m$$

$$\sum M_v = 12442.62 \text{ tm/m}$$

$$\sum M_h = 3829.314 \text{ tm/m}$$

$$\sum V = 1040.845 \text{ t/m}$$

$$\begin{aligned} e &= \frac{45.5}{2} - \frac{(12442.62 - 3829.314)}{1040.845} \leq \frac{1}{6} 45.5 \\ &= 14.47 m > 7.58 m \end{aligned}$$

∴ Struktur tidak aman terhadap eksentrisitas

d. Kontrol terhadap tegangan tanah

Daya dukung tanah dalam disain ini adalah 200 t/m². Tegangan tanah yang terjadi di bawah pondasi adalah :

$$\begin{aligned} \sigma_{12} &= \frac{\sum V}{A} \left[1 \pm \frac{6e}{B} \right] \\ &= \frac{1040.845}{45.5 \times 1.00} \left[1 \pm \frac{6 \times 7.58}{45.5} \right] \end{aligned}$$

$$\left. \begin{aligned} \sigma_1 &= 66.539 \text{ t/m}^2 \\ \sigma_2 &= -20.778 \text{ t/m}^2 \end{aligned} \right\} \sigma_1 \text{ dan } \sigma_2 \text{ kecil dari daya dukung}$$

∴ Struktur aman terhadap tegangan tanah.

PENUTUP

Berdasarkan analisis dan pembahasan pada tulisan ini dapat diambil Simpulan dan saran:

Simpulan

1. Dalam pekerjaan Detail Desain Embung Danau Kering Kota Padang, antara lain dengan melaksanakan survey topografi, survey hidrologi dan penyelidikan geologi dan mekanika tanah dilanjutkan dengan kegiatan desain bangunan embung dan kelengkapannya.
2. Dari hasil analisa desain data primer dan data sekunder dan perhitungan struktur dan pemilihan tipe, maka kesimpulan dari pekerjaan perencanaan embung ini antara lain :

Tipe konstruksi bendungan :Bendungan Beton dengan Penyangga (*concrete buttress dams*)

Tinggi mercu bendungan:15 meter

Tinggi bendungan:18 meter

Lebar mercu:50 meter

Panjang bendungan:154 meter

Luas genangan:16.848 meter persegi

Volume genangan air: 894.770 meter kubik

Saran

1. Penulis yakin masih ada kekurangan-kekurangan untuk itu kami menerima segala kritikan dan usulan serta saran yang membangun demi terciptanya suatu hasil yang terbaik dan yang nantinya akan bermanfaat bagi Penulis sendiri dan serta pembaca laporan ini pada umumnya.
2. Sebagai penutup Penulis mengucapkan terimakasih kepada Instansi terkait dan semua pihak yang tidak dapat kami sebutkan satu persatu yang telah membantu dalam penyelesaian Penulisan "Detail Desain Embung Danau Kering Kota Padang" ini.

DAFTAR PUSTAKA

1. Chow, Ven Te. 1992. Hidrolika Saluran Terbuka (Open Channel Hydraulics). Jakarta : Erlangga.
2. Departemen Pekerjaan Umum. 2010. Standar Perencanaan Irigasi KP-01. Direktorat Jenderal Pengairan. Jakarta : Departemen Pekerjaan Umum.
3. Departemen Pekerjaan Umum. 2010. Standar Perencanaan Irigasi KP-02.

Direktorat Jenderal Pengairan. Jakarta : Departemen Pekerjaan Umum.

4. Harto, Sri Br. 1993. Analisis Hidrologi. Jakarta : Gramedia Pustaka Utama.
5. Soedibyo, Ir. 1993. Teknik Bendungan. Jakarta : Pradnya Paramita.
6. Sosrodarsono, Suyono. 1994. Perbaikan dan Pengaturan Sungai. Jakarta : Pradnya Paramita. Sudjarwadi. 1979. Pengantar Teknik Irigasi. Yogyakarta : Universitas Gajah Mada.
7. Suripin. 2003. Sistem Drainase Perkotaan yang Berkelanjutan. Yogyakarta : Andi.
8. Triatmodjo, Bambang. 2008. Hidrologi Terapan. Yogyakarta : Beta Offset.