

STUDI PERENCANAAN *SPILLWAY* BENDUNGAN SEULIMEUM DI KABUPATEN ACEH BESAR PROVINSI NANGGROE ACEH DARUSSALAM

Rony Yuli Suryanto¹, Mohammad Taufiq², Suwanto Marsudi²

¹Mahasiswa Program Sarjana Teknik Jurusan Pengairan Universitas Brawijaya

²Dosen Teknik Pengairan Fakultas Teknik Universitas Brawijaya
Teknik Pengairan Universitas Brawijaya-Malang, Jawa Timur, Indonesia
ronysurya07@gmail.com

ABSTRAK

Perencanaan pelimpah Bendungan Seulimeum merupakan salah satu bagian penting dari perencanaan Bendungan Seulimeum. Tahapan awal dari studi ini yaitu merencanakan pelimpah sesuai dengan kondisi hidrologi, hidrolika, topografi dan geoteknik. Setelah itu dilakukan analisa mengenai stabilitas guling, geser dan daya dukung tanah dari bangunan tubuh pelimpah dan dinding penahan. Dari hasil analisa stabilitas didapatkan keadaan bangunan dan desain yang memenuhi persyaratan keamanan, dalam studi ini bangunan tubuh pelimpah dan dinding penahan menggunakan konstruksi beton bertulang.

Dari hasil studi didapatkan analisa berupa desain pelimpah *overflow* dengan perencanaan hidrolika pelimpah telah memenuhi untuk kondisi Q_{100} , Q_{1000} dan Q_{PMF} . Selanjutnya merencanakan bentuk dinding penahan dengan menggunakan dinding penahan tipe *kantilever*. Selanjutnya analisa berupa stabilitas dan daya dukung tanah tubuh pelimpah dan dinding penahan memenuhi persyaratan. Daya dukung tanah pada tubuh pelimpah dan dinding penahan dapat menahan tegangan yang terjadi pada bangunan. Pada konstruksi tubuh pelimpah dan dinding penahan direncanakan dengan beton $f'_c = 25$ Mpa dan $f_y = 400$ Mpa.

Kata Kunci: Pelimpah, Dinding Penahan, Beton Bertulang

ABSTRACT

The plan of Seulimeum Spillway is one of important section from planning Dam Seulimeum. The initial stage of the study is to plan the spillway according to hydrological, hydraulic, topographic and geotechnical. Thereafter an analysis of the stability of overturning, slip, and soil bearing capacity of the spillway and retaining walls is observed. From the stability analysis results obtained the state of buildings and designs that meet the security requirements, in this study the spillway and retaining walls using reinforced concrete construction.

From the analysis of the study results obtained the form of the overflow spillway design which the spillway hydraulics plan has accept the conditions for Q_{100} , Q_{1000} and Q_{PMF} . Further plan the shape of the retaining wall by using cantilever type retaining wall. Further analysis of the stability and soil bearing weir spillway and retaining walls accept the satisfaction. Analysis for stress foundation for spillway and retaining walls is sufficient about allowable bearing capacity. In the construction of the spillway and retaining walls construction concrete planned $f'_c = 25$ Mpa and $f_y = 400$ Mpa

Keywords: Spillway, Retaining Wall, Reinforced Concrete

PENDAHULUAN

Permasalahan yang sering terjadi di Indonesia ialah melimpahnya sumberdaya air ketika musim penghujan dan sumberdaya air yang berlebihan tersebut terbuang begitu saja sedangkan pada saat musim kemarau baru dirasakan kebutuhan akan air. Salah satu cara untuk mengatasi masalah tersebut adalah pembangunan bendungan.

Salah satu bangunan pelengkap dari sebuah bendungan adalah pelimpah (*spillway*). Bangunan pelimpah pada suatu bendungan merupakan bangunan yang sangat vital sebagai upaya untuk pengamanan terhadap bahaya banjir yang melimpas di atas bendungan (*overtopping*).

Untuk mengatasi bahaya tersebut pelimpah harus direncanakan secara menyeluruh. Adapun pertimbangan pertimbangan teknis yang diperlukan dalam perencanaan pelimpah yaitu : secara hidrolik perencanaan pelimpah harus diupayakan memenuhi syarat-syarat teknis, rencana as pelimpah harus diupayakan melewati tanah asli, pelimpah mengindarkan ketinggian air yang melampaui tinggi air maksimum yang direncanakan.

Untuk merencanakan tinggi muka air Bendungan Seulimeum adalah dengan merencanakan besarnya debit banjir rencana (sebagai *Inflow*) yang akan melewati waduk dan debit keluarannya (sebagai *Outflow*) yang direncanakan akan dilewatkan pelimpah seluruhnya.

Tujuan dan Manfaat

Adapun tujuan dari Studi Perencanaan ini adalah dapat desain rencana bangunan pelimpah yang sesuai dengan kondisi hidrologi daerah studi, dengan kondisi hidraulika yang baik.

Manfaat yang ingin dicapai adalah sebagai pembelajaran khusus bagi penyusun sebelum memasuki dunia kerja yang sebenarnya sehingga mampu mengaplikasikan ilmu yang telah didapatkan selama dibangku perkuliahan

BAHAN DAN METODE

Data yang Diperlukan

Pada studi ini penulis membutuhkan data hidrologi, topografi, geologi dan data teknis Bendungan Seulimeum. Yang mana data-data tersebut merupakan data karakteristik DAS Seulimeum yang akan direncanakan Bendungan Seulimeum.

Rancangan Penyelesaian Studi

Tahapan dalam penyelesaian studi ini adalah sebagai berikut :

- Perencanaan desain pelimpah.
- Analisa stabilitas konstruksi pelimpah.
- Perencanaan penulangan dan pembedakan.

LANDASAN TEORI

Analisa Hidrologi

Analisa Curah Hujan Rerata Daerah

Pada umumnya untuk menghitung curah hujan daerah dapat digunakan standar luas daerah sebagai berikut (Sosrodarsono, 2003:51) :

1. Daerah dengan luas 250 ha yang mempunyai variasi topografi kecil, dapat diwakili oleh sebuah alat ukur curah hujan.
2. Untuk daerah antara 250 - 50.000 ha dengan 2 atau 3 titik pengamatan, dapat digunakan cara rata-rata Aljabar.
3. Untuk daerah antara 120.000 – 500.000 ha yang mempunyai titik-titik pengamatan yang tersebar cukup merata dan dimana curah hujannya tidak terlalu dipengaruhi oleh kondisi topografi, dapat digunakan cara rata-rata aljabar. Jika titik-titik pengamatan itu tidak tersebar merata maka digunakan cara Thiessen.
4. Untuk daerah yang lebih besar dari 500.000 ha, dapat digunakan cara Isohiet atau cara potongan antara (*inter-section method*).

Berdasarkan ketentuan di atas, maka dalam penelitian ini metode yang digunakan untuk menghitung hujan rata-rata daerah adalah cara Rata-Rata Aljabar karena daerah aliran sungai mempunyai

luas 23.918,49 Ha atau 239,18 km² dan memiliki 3 stasiun pemantau hujan.

Analisa Curah Hujan Rancangan

Metode perhitungan curah hujan rancangan yang digunakan pada studi kali ini adalah metode Log Pearson Tipe III. dengan persamaan sebagai berikut (Soemarto, 1987:243) :

1. Data hujan harian maksimum tahunan sebanyak n tahun diubah ke dalam bentuk logaritma.
2. Menghitung harga rata-rata logaritma dengan rumus berikut ini :

$$\overline{\log X} = \frac{\sum_{i=1}^n \log X_i}{n}$$

3. Mengitung logaritma debit dengan waktu balik yang dikehendaki dengan rumus berikut ini :

$$\log Q = \overline{\log X} + G.Sd$$

4. Menghitung antilog dari Log Q untuk mendapat debit banjir dengan waktu balik yang dikehendaki Q_r

Perhitungan Probable Maximum Precipitation (PMP)

Salah satu pendekatan yang digunakan untuk perhitungan PMP adalah metode statistik, yang didasarkan dari persamaan frekuensi umum oleh HERSFIELD. Adapun rumus HERSFIELD yaitu :

$$X_m = \bar{X} + K_m \cdot S_n$$

dengan :

- X_m = Hujan dengan waktu balik T
 $\bar{X}$ = nilai tengah (mean) data hujan maksimum tahunan
S_n = standar deviasi data curah hujan maksimum tahunan
K = faktor frekuensi

Distribusi Hujan Jam-Jaman Metode PSA007

Metoda yang dapat digunakan misalnya cara PSA 007 Departemen PU (1985) yang menyarankan besarnya intensitas hujan seperti tercantum di dalam tabel dibawah. Berdasarkan tabel tersebut, dibuat intensitas hujan untuk masing-masing periode ulang. Kemudian dari

intensitas hujan dihitung distribusi hujannya.

Tabel 1. Hubungan Intensitas Hujan dan Curah Hujan

Kala Ulang Tahun	Durasi Hujan (%)							
	0.5	0.75	1	2	3	6	12	24
PMP	20	27	34	45	52	64	88	100
1000	25	32	39	49	57	69	88	100
100	26	34	41	52	60	72	88	100
50	27	35	42	53	61	73	88	100
25	28	36	43	55	63	75	88	100
10	30	38	45	57	64	76	88	100
5	32	41	48	59	66	78	88	100
2	32	41	48	60	67	79	88	100

Sumber : Pedoman Studi Kelayakan Hidrologi 2A (2009 : 33)

Analisa Hidrograf Satuan Sintetis

Rumus dari HSS Snyder adalah:

1. Menentukan puncak hidrograf satuan dengan rumus sebagai berikut :

$$q_p = 0,278 \cdot \frac{C_p}{T_p}$$

dengan :

(C_p = antara 0,9 sampai 1,4)

2. Menghitung debit maksimum hidrograf satuan (Q_p) dengan rumus sebagai berikut :

$$Q_p = q_p \cdot A$$

Rumus dari HSS Gama I adalah:

$$Q_t = Q_p e^{-t/K}$$

dengan :

Q_t = debit pada jam ke t (m³/dt)

Q_p = debit puncak (m³/dt)

t = waktu dari saat terjadinya debit puncak (jam)

K = koefisien tampungan (jam)

Penelusuran Banjir (flood routing)

Kurva Kapasitas Tampungan

Untuk menghitung volume air antara interval kontur dapat dihitung dengan rumus sebagai berikut (Soedibyo, 2003:226) :

$$\Delta S = \frac{\Delta h}{3} (A_1 + A_2 + \sqrt{A_1 \cdot A_2})$$

dengan

A₁, A₂, A₃, A₄ = menunjukkan luasan diantara garis elevasi berurutan

Persamaan Kontinuitas Aliran Untuk Perhitungan Penelusuran Banjir

Persamaan kontinuitas yang umum dipakai dalam penelusuran banjir adalah sebagai berikut (Soemarto 1987:176) :

$$\left[\frac{I_1 + I_2}{2} \right] + \left[\frac{S_t}{\Delta t} + \frac{O_1}{2} \right] = \left[\frac{S_2}{\Delta t} + \frac{O_2}{2} \right]$$

dengan :

- S_1 = tampungan bendungan pada awal waktu Δt
- S_2 = tampungan bendungan pada akhir waktu Δt
- I_1 = aliran yang masuk pada permulaan waktu Δt
- I_2 = aliran yang masuk pada akhir waktu Δt
- O_1 = aliran yang keluar pada permulaan waktu Δt
- O_2 = aliran yang keluar pada akhir waktu Δt

Analisa Hidrolika Pelimpah

Kapasitas Pengaliran Melalui Pelimpah

Debit yang melalui mercu pelimpah dihitung dengan rumus (Sosrodarsono, 1981:181).

$$Q = C \cdot L \cdot H^{3/2}$$

dengan :

- Q = debit (untuk perencanaan digunakan debit banjir rencana) (m^3/det)
- C = koefisien limpahan
- L = lebar efektif mercu bendungan (m)
- H = total tinggi tekanan air di atas Bendung (termasuk tinggi tekanan kecepatan aliran pada saluran pengarah aliran) (m)

Koefisien Debit

Rumus *Iwasaki* ini hanya berlaku untuk dinding standar dan dinding hulu ambang tegak (Masrevaniah, 2012:105) :

$$C_d = 2,200 - 0,0416 \left(\frac{H_d}{P} \right)^{0,99}$$

$$C = 1,60 \frac{1 + 2a \left(\frac{h}{H_d} \right)}{1 + a \left(\frac{h}{H_d} \right)}$$

dengan :

- C = koefisien limpahan untuk semua

tinggi tekan

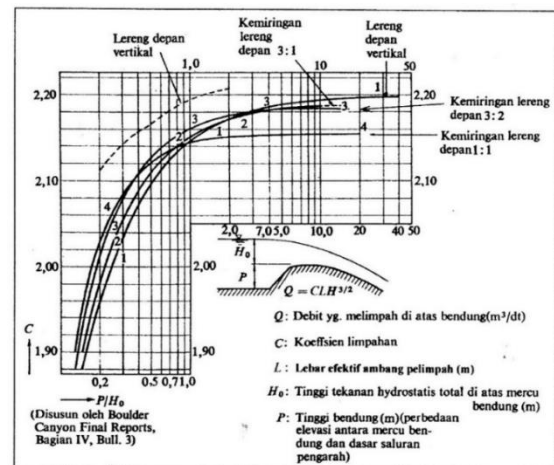
C_d = koefisien limpahan untuk tinggi tekan rencana

H = tinggi air di atas mercu ambang

H_d = tinggi tekan rencana di atas mercu ambang

P = tinggi ambang

a = konstanta (diperoleh pada saat $h=H_d$ yang berarti $C=C_d$)



Gambar 1. Koefisien debit pelimpah metode Iwasaki

Sumber : Sosrodarsono (1981:182)

Panjang Efektif Bendung

Debit air yang melewati pelimpah didasarkan pada lebar efektifnya. Seperti rumus dibawah ini :

$$L = L' - 2 (N \cdot K_p + K_a) \cdot H_d$$

dengan :

- L = Lebar efektif pelimpah (m)
- L' = Lebar pelimpah yang sesungguhnya (m)
- H_d = Tinggi tekanan total diatas mercu (m)
- N = Jumlah pilar-pilar diatas mercu pelimpah
- K_p = Koefisien kontraksi pada pilar
- K_a = Koefisien kontraksi pada dinding samping

Penentuan Tipe Pelimpah

Gambar 2 memperlihatkan bentuk-bentuk yang dibuat oleh WES sebagai bentuk baku pelimpah yang dinyatakan dengan persamaan berikut :

$$X^n = K \cdot H_d^{n-1} \cdot Y$$

dengan :

X,Y = koordinat...profil...mercu...dengan titik awal pada titik tertinggi mercu

H_d = tinggi energi rencana di atas mercu.

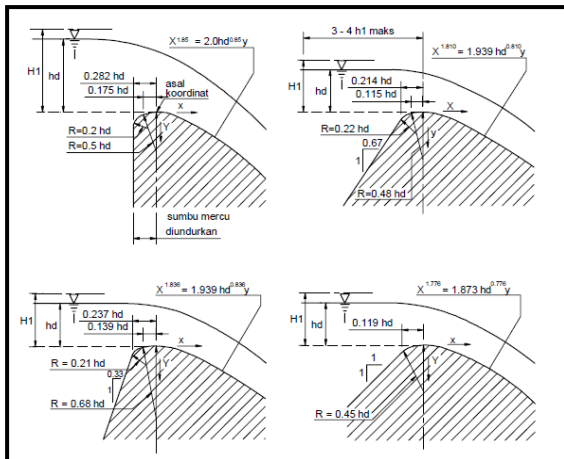
K, n = parameter yang tergantung pada kemiringan muka pelimpah bagian hulu

Nilai-nilai K dan n ditetapkan sebagai berikut:

Tabel 2. Nilai K dan n

Kemiringan muka hulu	K	N
Tegak lurus	2	1,85
3 : 1	1,936	1,836
3 : 2	1,939	1,81
3 : 3	1,873	1,776

Sumber : Chow (1985:360)



Gambar 2. Bentuk-bentuk Pelimpah
Sumber : Chow (1985:361)

Saluran Transisi

Perhitungan hidrolika pada saluran transisi dengan rumus *Bernoulli*, adalah sebagai berikut :

$$\frac{\text{Elevasi dasar ambang hilir} + d_e + \frac{v_e^2}{2g}}{2g} = \frac{\text{Elevasi dasar ambang hulu} + d_c + \frac{v_e^2}{2g} + \frac{K(v_e^2 - v_c^2)}{2g} + h_m}{2g}$$

dengan :

d_e = kedalaman aliran masuk ke dalam saluran transisi.

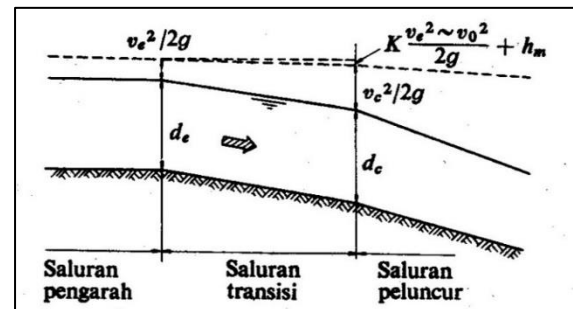
v_e = kecepatan aliran masuk ke dalam saluran transisi.

d_c = kedalaman kritis pada ujung hilir saluran transisi.

v_c = kecepatan aliran kritis pada ujung hilir saluran transisi.

K = koefisien kehilangan tinggi tekanan yang disebabkan oleh perubahan penampang lintang saluran transisi (0,1 - 0,2)

h_m = kehilangan total tinggi tekanan yang disebabkan oleh gesekan dan lain-lain.



Gambar 3. Skema aliran pada saluran transisi

Sumber : Sosrodarsono (1981:204)

Saluran Peluncur

Metode yang digunakan adalah metode perhitungan yang didasarkan pada persamaan kekekalan energi, sebagai berikut (Sosrodarsono, 1981:207).

$$h_L = \frac{V_2^2}{2g} - \frac{V_1^2}{2g} + \frac{n^2 \bar{V}^2}{R^{4/3}} \times \Delta L$$

$$h_L = d_1 + \Delta L \sin \Theta - d_2$$

dan

$$h_L = d_1 + \Delta L \tan \Theta - d_2$$

dengan :

h_L = perbedaan elevasi permukaan air pada bidang 1 dan bidang 2

V_1 = kecepatan aliran air pada bidang 1 (m/det)

V_2 = kecepatan aliran air pada bidang 2 (m/det)

$\bar{V}$ = kecepatan aliran air rata-rata (m/det)

d_1 = kedalaman air pada bidang 1 (m)

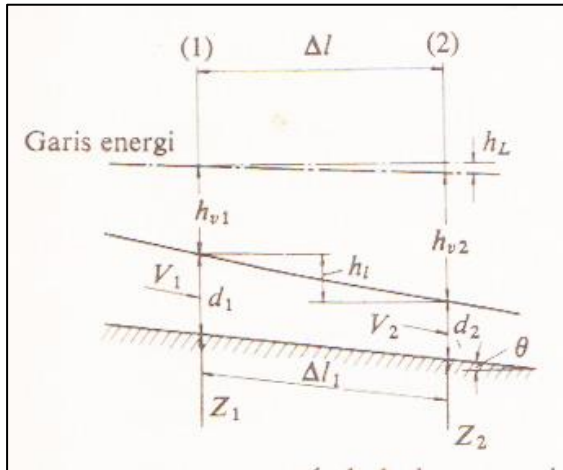
d_2 = kedalaman air pada bidang 2 (m)

ΔL = panjang lereng dasar di antara bidang 1 dan bidang 2 (m)

Θ = sudut lereng dasar saluran

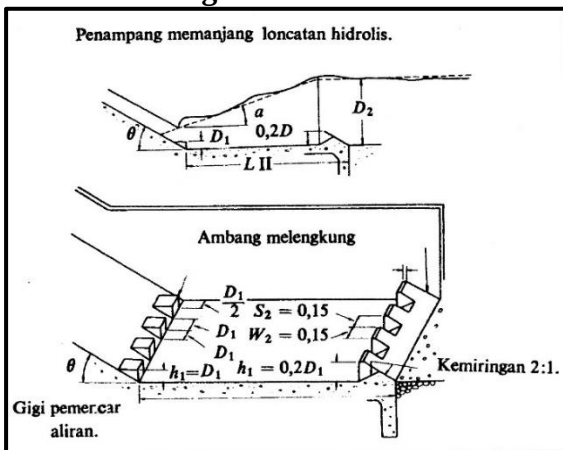
n = koefisien manning

$\bar{R}$ = jari-jari hidraulis rata-rata pada potongan saluran yang diambil (m)



Gambar 4. Skema penampang memanjang aliran pada saluran peluncur
Sumber : Sosrodarsono (1981:208)

Peredam Energi



Gambar 5. Kolam olakan datar tipe II
Sumber : Sosrodarsono (1981:218)

Kolam olakan datar tipe II secara teori cocok untuk keadaan sebagai berikut :

- 1) Aliran dengan tekanan hidrostatis yang sangat tinggi ($P_w > 60\text{m}$)
- 2) Debit yang dialirkan besar (debit spesifik $q > 45 \text{ m}^3/\text{det/m}$)
- 3) Bilangan froude di akhir saluran peluncur $> 4,50$
- 4) Kecepatan aliran $V > 18 \text{ m/dt}$

Analisa Stabilitas Konstruksi

Koefisien gempa

Pada SNI 1726 : 2012 koefisien

gempa disebut dengan koefisien respon gempa atau koefisien respon seismik (C_s). Koefisien respon seismik harus ditentukan sesuai dengan persamaan berikut (SNI 1726, 2012 : 54) :

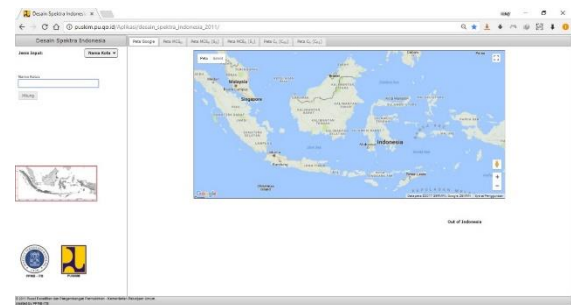
$$C_s = \frac{S_{DS}}{\left(\frac{R}{I_e}\right)}$$

S_{DS} = parameter percepatan spektrum respon desain

R = faktor modifikasi respon

I_e = faktor keutamaan gempa

Data-data untuk perhitungan koefisien gempa pada lokasi studi bisa didapat melalui [website puskim.pu.go.id/aplikasi/desain Spektra Indonesia 2011](http://puskim.pu.go.id/aplikasi/desain Spektra Indonesia 2011), Seperti contoh berikut ini :



Gambar 6. Hasil data dari penelusuran pada lokasi yang ditinjau

Faktor keamanan (safety factor)

Faktor aman terhadap penggulingan (F_{gl}) didefinisikan sebagai (Hardiyatmo, 2014 : 488) :

$$\text{Keadaan Normal : } F_{gl} = \frac{\sum M_v}{\sum M_h} > 1,5$$

$$\text{Keadaan Gempa : } F_{gl} = \frac{\sum M_v}{\sum M_h} > 1,2$$

dengan :

F_{gl} = faktor aman terhadap penggulingan

M_v = momen vertikal (ton.m)

M_h = momen horizontal (ton.m)

Faktor aman terhadap penggeseran (F_{gs}), didefinisikan sebagai (Hardiyatmo, 2014 : 485) :

$$\text{Keadaan normal } F_{gs} = \frac{c \cdot A + \sum V \tan \phi}{\sum H} > 1,5$$

$$\text{Keadaan gempa } F_{gs} = \frac{c \cdot A + \sum V \tan \phi}{\sum H} > 1,2$$

dengan :

F_{gs} = faktor aman terhadap penggeseran

Φ = sudut geser dalam antara tanah dan fondasi dengan fondasi

c = kohesi antara dasar fondasi dengan tanah fondasi

A = luas pembebanan efektif

$\sum V$ = jumlah gaya-gaya vertikal

$\sum H$ = jumlah gaya-gaya horizontal

Tekanan pada tanah dasar akibat beban dinding penahan yang terjadi pada ujung-ujung pelat fondasi yang dihitung dengan cara sebagai berikut :

- Bila $e \leq \frac{B}{6}$

$$\sigma = \frac{V}{B} \left(1 \pm \frac{6e}{B} \right)$$

- Bila $e > \frac{B}{6}$

$$\sigma_{\text{mak}} = \frac{2 \cdot V}{L \cdot x}$$

dengan :

q = tekanan akibat beban struktur (ton/m²)

V = jumlah gaya-gaya vertikal (ton)

B = lebar fondasi (m)

e = eksentrisitas (m)

$$= \frac{\sum M}{\sum V} - \frac{B}{2}$$

$\sum M$ = momen total (ton.m)

$\sum V$ = gaya vertikal total (ton)

B = lebar fondasi (m)

L = panjang fondasi (m)

x = lebar efektif dari kerja reaksi dasar fondasi (m)
 $= 3 \left(\frac{B}{2} \cdot e \right)$

Analisa Pembetonan Dan Penulangan Pada Konstruksi

Persamaan umum untuk hubungan momen, ukuran beton dan mutu baja beton sebagai berikut :

$$\frac{M_u}{b \cdot d^2} = \rho \cdot \emptyset \cdot f_y \cdot \left(1 - 0,588 \cdot \rho \cdot \frac{f_y}{f'_c} \right)$$

Dengan :

M_u = momen lapangan (Mpa)

b = panjang persatuan lebar

$\emptyset$ = faktor reduksi kekuatan
 $= 0,8$

d = tebal efektif pelat (m)

f'_c = kuat tekan beton rencana (Mpa)

f_y = kuat tarik baja (Mpa)

ρ = rasio tulangan

Pada persamaan ini pada ruas kanan hanya bergantung pada mutu beton dan mutu baja serta jumlah tulangan. Jadi yang tak diketahui hanyalah jumlah tulangan ρ . Untuk kombinasi f'_c dan f_y yang dipilih, serta pada nilai-nilai urutan dari $\frac{M_u}{b \cdot d^2}$ selanjutnya dapat dihitung harga nilai rasio tulangan ρ (Vis, 1993 : 54).

HASIL DAN PEMBAHASAN

Analisa Hidrologi

Analisa Curah Hujan Rerata Daerah

Curah hujan maksimum rerata daerah ditentukan dengan menggunakan metode rata-rata aljabar. Hal ini ditentukan berdasarkan ketentuan bahwa daerah aliran sungai Krueng Seulimeum yang mana mempunyai luas 23.918, Ha dan memiliki 3 stasiun pemantau hujan.

Tabel 3. Curah Hujan Maksimum Rerata

No.	Tahun	Stasiun Hujan			Jumlah	Curah Hujan Rerata Maksimum
		Padang Tiji	Tangse	Blang Bintang		
		mm	mm	mm		mm
1	1982	87	70	57	214	71,333
2	1983	158	62	85	305	101,667
3	1984	80	215	130	425	141,667
4	1985	87	210	53	350	116,667
5	1986	133	92	197	422	140,667
6	1987	119	94	141	354	118
7	1988	179	80	86	345	115
8	1989	82	50	85	217	72,167
9	1990	97	120	110	327	109
10	1991	114	125	116	355	118,333
11	1992	122	42	96	260	86,667
12	1993	90	110	96	296	98,667
13	1994	103	115	109	327	109
14	1995	129	352	137	618	205,933
15	1996	86	80	117	283	94,4

Sumber : Hasil perhitungan

Analisa Curah Hujan Rancangan

Penentuan curah hujan maksimum dengan periode ulang tertentu dihitung dengan menggunakan metode *Log Pearson* tipe III, dengan alasan bahwa koefisien puncak dan koefisien kepengcengan data yang tersedia memenuhi syarat metode tersebut. Hasil perhitungan dapat dilihat pada Tabel 4.

Tr	Pr (%)	Cs	G	Log Q	Q _{rancangan} (mm)
2	50	0,518	0,082	2,049	111,849
5	20	0,518	0,807	2,133	135,693
10	10	0,518	1,324	2,193	155,779
25	4	0,518	1,915	2,261	182,404
50	2	0,518	2,32	2,308	203,189
100	1	0,518	2,633	2,344	220,909
200	0,5	0,518	3,058	2,393	247,398
1000	0,1	0,518	3,837	2,484	304,614

Tabel 4. Perhitungan Hujan Rancangan Metode *Log Pearson Tipe III*
Sumber : Hasil perhitungan

Perhitungan Probable Maximum Precipitation (PMP)

Berdasarkan pembacaan grafik pada perhitungan PMP, untuk luas DAS Seulimeum sebesar 239,185 km² dengan durasi hujan 24 jam, maka diperoleh hujan maksimum PMP sebesar 510,832 mm.

Distribusi Hujan Jam-Jaman Metode PSA007

Berdasarkan hasil pengamatan data sebaran hujan di Indonesia, hujan terpusat di Indonesia berkisar antara 4 - 7 jam, maka diasumsikan hujan terpusat maksimum adalah 6 (enam) jam/hari dalam perhitungan ini.

Tabel 5. Perhitungan Distribusi Hujan Netto Jam-jaman

Jam Ke	Kala Ulang						
	2 tahun	5 tahun	10 tahun	25 tahun	50 tahun	100 tahun	1000 tahun
1	3,355	4,071	4,673	5,472	6,096	6,627	9,138
2	9,228	11,534	14,02	16,872	19,811	22,091	32,746
3	59,56	71,239	79,447	91,658	99,055	106,036	139,361
4	5,033	6,785	9,347	11,856	15,239	17,673	28,938
5	3,355	4,071	4,673	5,472	6,096	6,627	9,138
6	3,355	4,071	4,673	5,472	6,096	6,627	9,138
Q _{net}	111,849	135,693	155,779	182,404	203,189	220,909	304,614
Koef. Pengaliran	0,75	0,75	0,75	0,75	0,75	0,75	0,75
Q _{net}	83,887	101,77	116,834	136,803	152,392	165,682	228,461

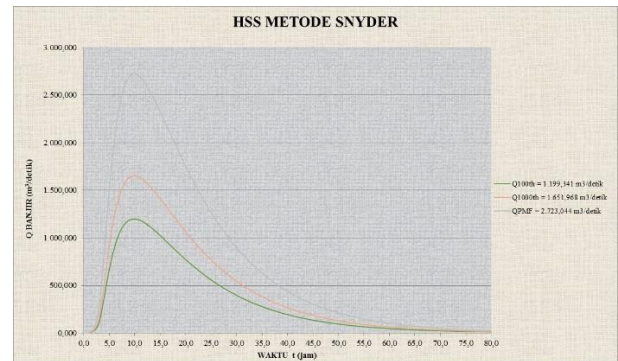
Sumber : Hasil perhitungan

Analisa Hidrograf Satuan

HSS Snyder

Data yang diketahui :

Luas DAS (A) = 239,18 km²
 Panjang sungai utama (L) = 24,999 km
 Panjang sungai bagian hilir ke titik berat (Lc) = 10,349 km
 Ct = 1,55
 Cp = 0,9



Gambar 6. Grafik hidrograf banjir Snyder
Sumber : Hasil perhitungan

Didapatlah debit puncak banjir rancangan sebagai berikut :

Q₁₀₀ = 1199,341 m³/detik
 Q₁₀₀₀ = 1651,968 m³/detik
 Q_{PMF} = 2723,044 m³/detik

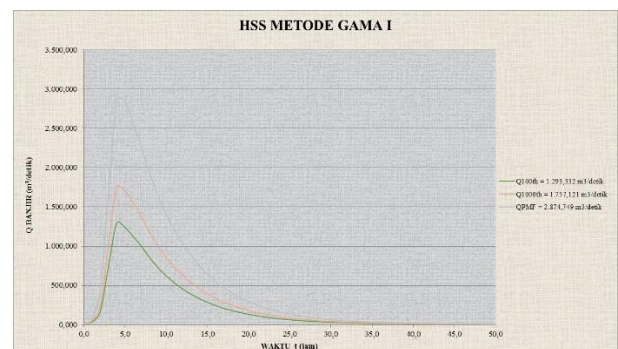
HSS Gama I

Data yang diketahui :

Luas DAS (A) = 239,18 km²
 Panjang sungai utama (L) = 24,999 km
 Slope sungai (S) = 0,003

Didapatlah debit puncak banjir rancangan sebagai berikut :

Q₁₀₀ = 1293,332 m³/detik
 Q₁₀₀₀ = 1757,121 m³/detik
 Q_{PMF} = 2874,749 m³/detik



Gambar 7. Grafik hidrograf banjir Gama I
Sumber : Hasil perhitungan

Penelusuran Banjir (flood routing)

Penelusuran Banjir Menggunakan Debit Banjir Rancangan HSS Snyder

Dari perhitungan kapasitas debit pelimpah menggunakan metode iwasaki dan hasil yang didapatkan adalah sebagai berikut:

Tabel 6. Tabel perhitungan C dan H_d Penelusuran Banjir Pelimpah Menggunakan Debit Banjir Rancangan HSS Snyder

Debit	$Q_{outflow}$ m ³ /detik	L' m	H_d m	L m	C	$Q_{outflow}$ m ³ /detik	H m	Elevasi Muka Air m
Q_{100}	1199,341	105	3,152	99,259	2,055	1130,116	2,984	69,984
Q_{1000}	1651,968	105	3,826	104,1	2,121	1559,069	3,694	70,694
Q_{PMF}	2723,044	105	5,17	103,784	2,232	2569,817	5,148	72,148

Sumber : Hasil perhitungan

Penelusuran Banjir Menggunakan Debit Banjir Rancangan HSS Gama I

Dari perhitungan kapasitas debit pelimpah menggunakan metode iwasaki dan hasil yang didapatkan adalah sebagai berikut:

Tabel 7. Tabel perhitungan C dan H_d Penelusuran Banjir Pelimpah Menggunakan Debit Banjir Rancangan HSS Gama I

Debit	$Q_{outflow}$ m ³ /detik	L' m	H_d m	L m	C	$Q_{outflow}$ m ³ /detik	H m	Elevasi Muka Air m
Q_{100}	1293,332	105	3,316	104,22	2,055	923,883	2,658	69,658
Q_{1000}	1757,121	105	3,991	104,061	2,118	1302,397	3,331	70,331
Q_{PMF}	2874,749	105	5,371	103,737	2,226	2190,273	4,698	71,698

Sumber : Hasil perhitungan

Setelah hasil perhitungan *flood routing* dari kedua metode tersebut dibandingkan, maka dipilihlah sebagai acuan untuk perencanaan konstruksi pelimpah (*spillway*) pada Bendungan Seulimeum adalah perhitungan *flood routing* yang menggunakan metode HSS Snyder, karena debit *outflow* hasil dari *flood routing* HSS Snyder lebih besar dari pada *flood routing* HSS Gama I.

Analisa Hidrolika Pelimpah Profil Pelimpah

Untuk perencanaan profil pelimpah menggunakan $Q_{outflow}$ maksimum pada kala ulang 1000 tahun (Q_{1000}) :

- $Q_{1000} = 1559,069 \text{ m}^3/\text{detik}$
- $L = 105 \text{ m}$
- $H_d = 3,694 \text{ m}$

Profil pelimpah yang digunakan pada perencanaan ini adalah OGEE tipe I dengan perhitungan sebagai berikut :

$$\text{Jarak } R1 = 0,175 \cdot H_d = 0,646 \text{ m}$$

$$\text{Jarak } R2 = 0,282 \cdot H_d = 1,042 \text{ m}$$

$$R1 = 0,5 \cdot H_d = 1,847 \text{ m}$$

$$R2 = 0,2 \cdot H_d = 0,739 \text{ m}$$

Tabel 8. Tabel Profil Mercu Pelimpah

X	Y
0,5	0,046
1	0,165
1,5	0,349
2	0,594
2,5	0,897
3	1,257
3,5	1,672
4	2,14
4,049	2,188

Sumber : Hasil perhitungan

Perhitungan Harold :

$$\text{Rumus Harold : } X^{1,85} = 2 \cdot H_d^{0,85} \cdot Y$$

$$\text{Maka } X^{1,85} = 2 \cdot 3,694^{0,85} \cdot Y$$

$$X^{1,85} = 6,073 \cdot Y$$

$$Y = 0,165 \cdot X^{1,85}$$

$$Y' = 0,305 \cdot X^{0,85}$$

Sehingga titik awal melalui gradien :

$$\text{Misal } Y' = 1$$

$$1 = 0,305 \cdot X^{0,85}$$

$$X^{0,85} = 3,283$$

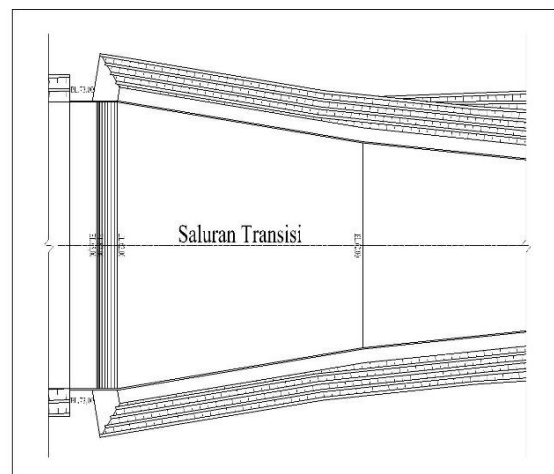
$$X = 4,049$$

$$Y = 0,165 \cdot X^{1,85}$$

$$Y = 2,188$$

Perencanaan Saluran Transisi

Saluran transisi yang direncanakan pada Bendungan Seulimeum ini direncanakan dengan penyempitan saluran dari lebar 105 m menjadi 75 m dengan sudut penyempitan 9°, panjang saluran 90 m dan slope saluran sebesar 0. Perhitungan hidrolika pada saluran transisi mengkondisikan aliran dari awal saluran hingga ujung saluran transisi adalah super kritis.



Gambar 8. Bentuk saluran transisi

Kondisi saluran transisi direncanakan dengan kondisi sebagai berikut :

- $Q_{1000th} = 1559,069 \text{ m}^3/\text{detik}$
- Elevasi dasar saluran = +62
- Jarak antar pias = 10 m
- $n = 0,012$

Perencanaan Saluran Peluncur

Saluran peluncur yang direncanakan pada Bendungan Seulimeum ini direncanakan dengan penyempitan juga, dengan lebar 75 m menjadi 50 m dengan sudut penyempitan 6° , panjang saluran 120 m dan slope saluran sebesar 0,178. Sehingga memungkinkan untuk tidak terjadinya kavitasi dan juga aliran getar sepanjang saluran. Perhitungan profil aliran digunakan debit kala ulang Q_{1000th} dan dikontrol menggunakan debit kala ulang Q_{PMF} .

Kondisi saluran peluncur direncanakan dengan kondisi sebagai berikut :

- $Q_{1000th} = 1559,069 \text{ m}^3/\text{detik}$
- Elv. dasar saluran pada awal sal.peluncur = +62
- Lebar saluran peluncur hulu = 75 m
- Lebar saluran peluncur hilir = 50 m
- $K = 0,1 - 0,3$

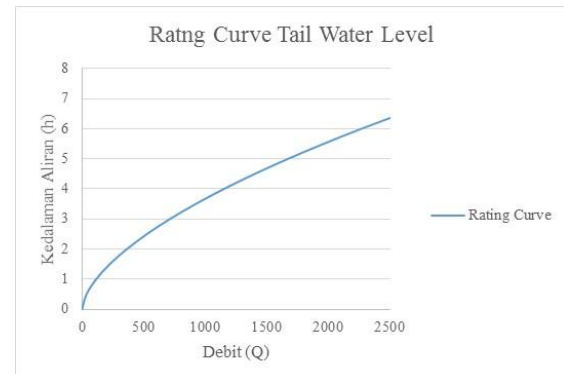
Perencanaan Peredam Energi

Perhitungan kedalaman aliran di saluran akhir

Saluran akhir merupakan saluran pelepasan dari peredam energi sebelum aliran menuju ke sungai asli. Oleh karena itu kedalaman aliran di hilir peredam energi sangat dipengaruhi oleh *rating curve* pada saluran akhir ini. Hasil dari perhitungan tinggi muka air di saluran akhir yang nantinya akan dipergunakan untuk menghitung ketinggian ambang di akhir

peredam energi.

Hasil perhitungan rating curve dapat dilihat pada grafik kedalaman aliran pada gambar dibawah ini:



Gambar 10. Rating curve di saluran akhir

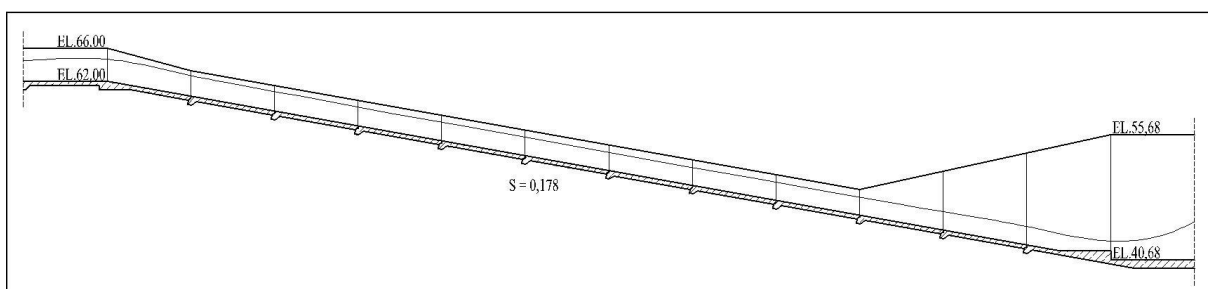
Berikut ini adalah data yang digunakan untuk perhitungan rating curve pada saluran akhir:

- Slope dasar saluran = 0,003
- Koefisien manning (n) = 0,025
- Bentuk Saluran = trapesium
- Elevasi dasar saluran = + 47
- Lebar dasar saluran = 50 m
- $Z = 1$

Perhitungan lantai peredam energi

Untuk desain lantai peredam energi direncanakan menggunakan Q_{100} sedangkan untuk perhitungan profil muka air peredam energi direncanakan dengan Q_{1000} dan dikontrol menggunakan debit Q_{PMF} . Dari analisa hidrolika profil muka air pada saluran peluncur untuk kala ulang Q_{100} , diperoleh nilai sebagai berikut :

- Elv. Akhir saluran peluncur = + 40,68
- $Q_{100} = 1130,116 \text{ m}^3/\text{detik}$
- Debit persatuan lebar (q) = $22,602 \text{ m}^3/\text{detik}$
- $Fr_1 = 6,622$

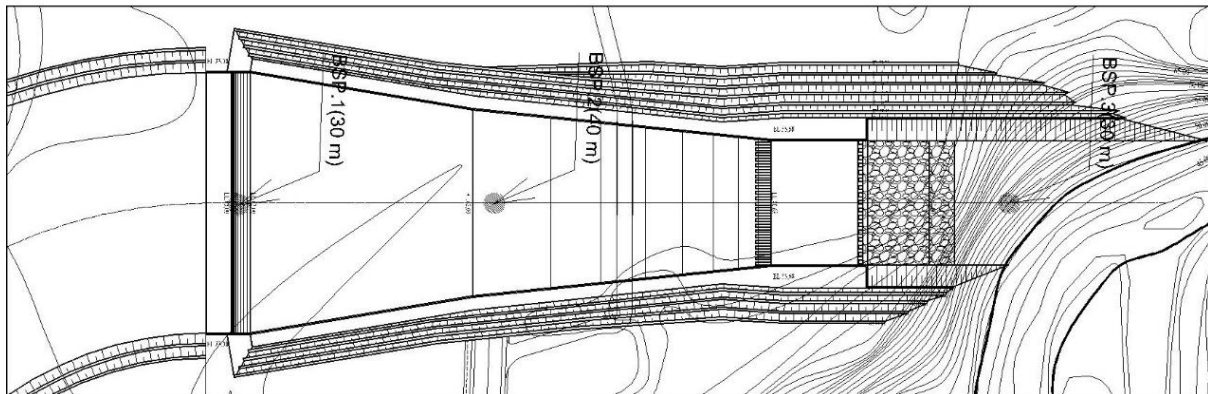


Gambar 9. Profil Saluran Peluncur Q_{PMF}

Tabel 9. Rekapitulasi Profil Aliran Pada Peredam Energi

Kala Ulang	Debit (Q)	q	V	y ₁	F ₁	Elv. Dasar	y ₂	y ₃	Δz	Elv. y ₂	Elv. y ₃	Beda Elv y ₂ dan y ₃ (m)
	(m ³ /detik)	(m ³ /detik/m)	(m/detik)	(m)			(m)	(m)	(m)			
Q ₁₀₀	1130,116	22,602	21,344	1,059	6,622	40,68	9,402	3,951	6,32	50,082	50,951	-0,869
Q ₁₀₀₀	1559,069	31,181	21,903	1,424	5,861	40,68	11,11	4,789	6,32	51,79	51,789	0
Q _{PMF}	2569,817	51,396	22,565	2,278	4,774	40,68	14,28	6,46	6,32	54,96	53,46	1,5

Sumber : Hasil perhitungan



Gambar 13. Denah pelimpah

Tabel 10. Tabel Rekapitulasi Hasil Perhitungan Stabilitas Konstruksi Pada Perencanaan Pelimpah Bendungan Seuimeum

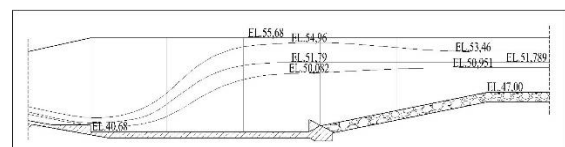
No.	Tinjauan stabilitas pada tiap konstruksi	Angka keamanan terhadap guling		Angka keamanan terhadap geser		Eksentrisitas	B/6	Kontrol Eksentrisitas	Tegangan			Kontrol Daya dukung	
		SF Guling		SF Geser					e	Ijin	Max		Min
		σ ijin	σ max	σ min	ton/m ²								
A	Bangunan Pelimpah							e < B/6				< σ ijin	
1	Keadaan Normal	(SF ≥ 1,5)		(SF ≥ 1,5)				e < B/6				< σ ijin	
	Ketika kosong	35,944	AMAN	5,629	AMAN	0,916	1,52	OK	53,77	20,193	5,004	OK	
	Ketika penuh	99,355	AMAN	4,907	AMAN	1,278	1,52	OK	53,77	15,907	1,379	OK	
	Ketika banjir	7,507	AMAN	7,546	AMAN	0,758	1,52	OK	53,77	12,582	4,212	OK	
2	Keadaan Gempa	(SF ≥ 1,2)		(SF ≥ 1,2)				e < B/6				< σ ijin	
	Ketika kosong	11,994	AMAN	6,813	AMAN	0,603	1,52	OK	53,77	17,599	7,598	OK	
	Ketika penuh	8,067	AMAN	5,337	AMAN	0,606	1,52	OK	53,77	12,088	5,198	OK	
	Ketika banjir	6,645	AMAN	4,886	AMAN	0,652	1,52	OK	53,77	11,996	4,797	OK	
B	Bangunan Dinding Penahan							e < B/6				< σ ijin	
1	Keadaan Normal	(SF ≥ 1,5)		(SF ≥ 1,5)				e < B/6				< σ ijin	
	DP Pada Sal. Transisi												
	Ketika kosong	5,283	AMAN	6,837	AMAN	0,197	0,583	OK	52,267	10,938	5,405	OK	
	Ketika banjir	8,296	AMAN	14,619	AMAN	0,059	0,583	OK	52,267	7,106	5,8	OK	
	DP Pada Sal. Peluncur												
	Ketika kosong	5,267	AMAN	5,268	AMAN	0,137	0,458	OK	53,996	7,842	4,226	OK	
	Ketika banjir	39,44	AMAN	38,385	AMAN	0,002	0,458	OK	53,996	5,151	5,098	OK	
	DP Pada Peredam Energi												
	Ketika kosong	4,029	AMAN	3,667	AMAN	1,058	1,667	OK	46,109	44,899	10,039	OK	
	Ketika banjir	4,632	AMAN	4,8	AMAN	0,81	1,667	OK	46,109	29,598	10,235	OK	
2	Keadaan Gempa	(SF ≥ 1,2)		(SF ≥ 1,2)				e < B/6				< σ ijin	
	DP Pada Sal. Transisi												
	Ketika kosong	3,643	AMAN	4,137	AMAN	0,368	0,583	OK	52,267	12,69	2,867	OK	
	Ketika banjir	3,196	AMAN	4,069	AMAN	0,438	0,583	OK	52,267	10,61	1,511	OK	
	DP Pada Sal. Peluncur												
	Ketika kosong	3,818	AMAN	3,249	AMAN	0,251	0,458	OK	53,996	8,852	2,58	OK	
	Ketika banjir	3,659	AMAN	3,409	AMAN	0,367	0,458	OK	53,996	8,569	0,952	OK	
	DP Pada Peredam Energi												
	Ketika kosong	2,491	AMAN	2,113	AMAN	1,866	1,667	NO	46,109	28,773	0	OK	
	Ketika banjir	2,705	AMAN	2,101	AMAN	1,638	1,667	OK	46,109	38,663	0,331	OK	

Sumber : Hasil perhitungan

- Lebar akhir saluran (B) = 50 m
- Kecepatan aliran (v₁) = 21,344 m/detik
- Kedalaman air di akhir saluran peluncur (y₁) = 1,059 m
- Kedalaman konjugasi (y₂) = 9,402 m

Dilihat dari profil muka air maka peredam energy direncanakan menggunakan Kolam Olak USBR tipe II.

Hasil perhitungan profil aliran pada peredam energi dapat dilihat pada tabel 9 serta gambar 12.



Gambar 12. Profil muka air pada peredam energi

Setelah menghitung peredam energi maka diperoleh hasil keseluruhan perhitungan seperti pada Gambar 13.

Analisa Stabilitas

Koefisien gempa

Untuk perhitungan Koefisien respon seismik dijabarkan seperti perhitungan berikut :

$$C_{Sperlu} = \frac{S_{DS}}{\left(\frac{R}{I_e}\right)}$$

$$= \frac{0,922}{\left(\frac{5}{1,25}\right)}$$

$$= 0,231 \text{ g}$$

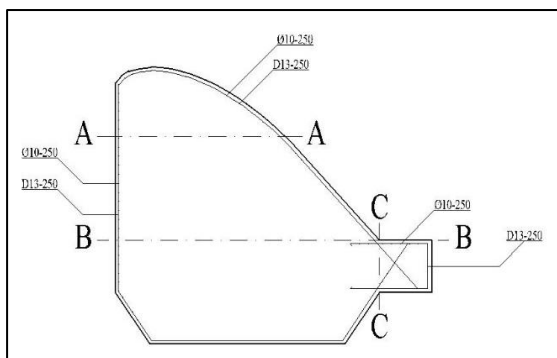
Maka didapatkan koefisien respon seismik yang akan digunakan pada perencanaan stabilitas konstruksi sebesar 0,231 g.

Faktor keamanan (*safety factor*)

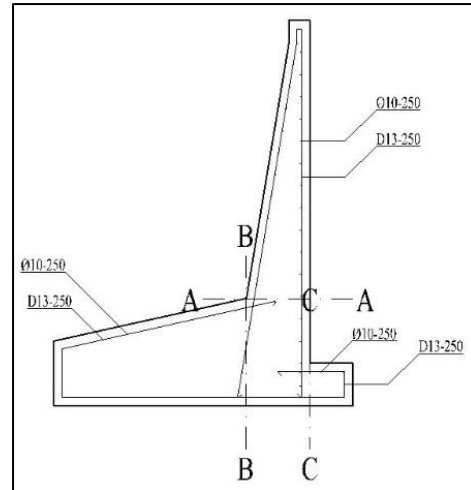
Dari hasil perhitungan analisa stabilitas konstruksi tubuh pelimpah dan dinding penahan pada Bendungan Seulimeum sakan disajikan pada tabel 10.

Analisa Beton Bertulang

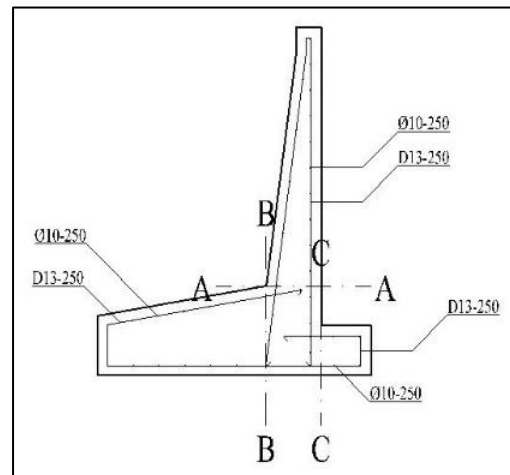
Analisa beton bertulang pada studi kali ini mengacu pada SK.SNI T – 15 - 1991 – 03. Mutu beton yang digunakan $f_c' = 25$ Mpa dan p (tebal selimut beton) = 100 mm, untuk mutu baja dipilih $f_y = 400$ Mpa. Hasil contoh analisa beton bertulang untuk konstruksi bangunan akan disajikan pada gambar 14-17.



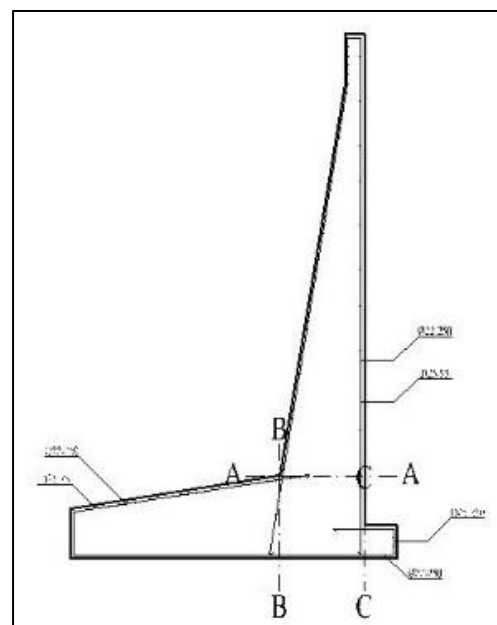
Gambar 14. Tulangan pada tubuh pelimpah



Gambar 15. Tulangan pada dinding penahan saluran transisi



Gambar 16. Tulangan pada dinding penahan saluran peluncur



Gambar 17. Tulangan pada dinding penahan peredam energi

Untuk hasil analisa beton bertulang konstruksi tubuh pelimpah dan dinding penahan disajikan pada tabel 11.

Tabel 11. Rekapitulasi Perhitungan Beton Bertulang Pada Perencanaan Pelimpah Bendungan Seulimum

No.	Tinjauan stabilitas pada tiap konstruksi	Momen Paling besar t.m	D. Tul. Utama mm	Jumlah Tulangan mm	Jarak Antar Tulangan mm	Ø. Tul. Bagi mm	Jumlah Tulangan mm	Jarak Antar Tulangan mm
A. Bangunan Pelimpah								
	Pot A-A	7,432	13	5	250	10	5	250
	Pot B-B	32,907	13	5	250	10	5	250
	Pot C-C	14,648	13	5	250	10	5	250
B. Bangunan Dinding Penahan								
1 Sal. Transisi								
	Pot A-A	6,051	13	5	250	10	5	250
	Pot B-B	14,094	13	5	250	10	5	250
	Pot C-C	1,334	13	5	250	10	5	250
2 Sal. Peluncur								
	Pot A-A	2,839	13	5	250	10	5	250
	Pot B-B	5,412	13	5	250	10	5	250
	Pot C-C	0,862	13	5	250	10	5	250
3 Peredam Energi								
	Pot A-A	391,617	25	12	95	22	5	250
	Pot B-B	471,862	25	15	75	22	5	250
	Pot C-C	20,087	25	5	250	22	5	250

Sumber : Hasil perhitungan

KESIMPULAN

Berdasarkan hasil perhitungan maka didapatkan hasil-hasil sebagai berikut ini :

- a) Dari hasil perhitungan debit banjir rencana dipilihlah hasil perhitungan debit banjir rancangan dari metode HSS *Snyder* sebagai dasar perencanaan. Dengan data-data sebagai berikut :

Debit *inflow* :

$$Q_{100} = 1199,341 \text{ m}^3/\text{detik}$$

$$Q_{1000} = 1651,968 \text{ m}^3/\text{detik}$$

$$Q_{pmf} = 2723,044 \text{ m}^3/\text{detik}$$

Debit *outflow* :

$$Q_{100} = 1130,116 \text{ m}^3/\text{detik dengan}$$

$$H = 2,984 \text{ m}$$

$$Q_{1000} = 1559,069 \text{ m}^3/\text{detik dengan } H = 3,694 \text{ m}$$

$$Q_{pmf} = 2569,817 \text{ m}^3/\text{detik dengan } H = 5,148 \text{ m}$$

- b) Berdasarkan dari hasil perencanaan pelimpah Bendungan Seulimeum adalah sebagai berikut :

- a. Pelimpah :

Tipe ambang pelimpah = *Overflow Spillway* Tipe Ogee I

$$\text{Lebar pelimpah} = 105 \text{ m}$$

$$\text{Tinggi tubuh pelimpah} = 2 \text{ m}$$

$$\text{Elev. tubuh pelimpah} = + 67$$

$$\text{Elev. muka air } Q_{100} = + 69,984$$

$$\text{Elev. muka air } Q_{1000} = + 70,694$$

$$\text{Elev. muka air } Q_{pmf} = + 72,148$$

- b. Saluran transisi :

$$\text{Panjang saluran transisi} = 90 \text{ m}$$

$$\text{Slope saluran transisi} = 0$$

$$\text{Lebar saluran transisi} = 105 \text{ m}$$

$$\text{memampit menjadi } 75 \text{ m}$$

$$\text{Elevasi saluran transisi} = + 62$$

- c. Saluran peluncur :

$$\text{Panjang saluran peluncur} = 120 \text{ m}$$

$$\text{Slope saluran peluncur} = 0,178$$

$$\text{Elevasi hulu saluran peluncur} = + 62$$

$$\text{Elevasi hilir saluran peluncur} = + 40,68$$

- d. Peredam energi :

$$\text{Tipe peredam energi} = \text{USBR tipe II}$$

$$\text{Elevasi peredam energi} = + 40,68$$

$$(y_1) = 1,059 \text{ m}$$

$$\text{Kedalaman konjugasi } (y_2) = 9,402 \text{ m}$$

$$\text{Panjang peredam energi} = 39 \text{ m}$$

$$\text{Lebar peredam energi} = 50 \text{ m}$$

$$\text{Tinggi, lebar dan jarak blok muka } (y_1) = 1,1 \text{ m}$$

$$(0,5 y_1) = 0,55 \text{ m}$$

$$(0,2 y_2) = 1,9 \text{ m}$$

$$(0,15 y_2) = 1,5 \text{ m}$$

$$(0,02 y_2) = 0,2 \text{ m}$$

$$\text{Tinggi ambang hilir (end sill)} = 6,32$$

$$\text{Elevasi saluran pelepasan} = + 47 \text{ m}$$

- c) Dari hasil perhitungan stabilitas pelimpah dan stabilitas dinding penahan dalam segala kondisi yang direncanakan, bangunan aman terhadap guling, geser dan daya dukung ijin tanah hanya beberapa yang tidak memenuhi keamanan terhadap eksentrisitas.

- d) Penulangan dan pembetonan konstruksi ambang pelimpah dan dinding penahan direncanakan menggunakan $f'_c = 20 \text{ Mpa}$ dan $f_y = 400 \text{ Mpa}$.

DAFTAR PUSTAKA

- Das, Braja M. 1993. Mekanika Tanah Jilid II. Jakarta : Erlangga.
- Soemarto, CD. 1987. Hidrologi Teknik. Surabaya : Usaha Nasional.
- Sosrodarsono, Suyono. & Takeda, Kensaku. 1981. Bendungan Tipe Urugan. Jakarta : Pradnya Paramita.
- Vis, W.C. dan Gideon H. Kusuma. 1993. Dasar-dasar Perencanaan Beton Bertulang. Jakarta : Erlangga.