

## BAB IV DATA DAN ANALISA DATA

### 4.1. Analisa Hidraulika Pada Pelimpah

#### 4.1.1. Debit Pada Pelimpah

Debit aliran melalui pelimpah dapat dihitung dengan menggunakan persamaan sebagai berikut:

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

Untuk keperluan pengujian model fisik Bendungan Gongseng hidrolika tentang waduk diperlukan data hasil perhitungan penelusuran debit banjir yang berupa *outflow*.

Debit yang digunakan sebagai berikut:

- Q2th : 90,46 m<sup>3</sup>/dt
- Q100th : 258,00 m<sup>3</sup>/dt
- Q1000th : 368,56 m<sup>3</sup>/dt
- QPMF : 786,15 m<sup>3</sup>/dt

#### 4.1.2. Perhitungan Empirik dan Analitik Analisa Hidraulika untuk Pelimpah a. Metode USBR

Koefisien limpahan (C) dari ambang pelimpah diperoleh dengan langkah perhitungan sebagai berikut:

$$Q_{1000th} = 368,56 \text{ m}^3/\text{det}$$

$$L = 55 \text{ m}$$

$$P = 4 \text{ m}$$

$$\text{El. Crest} = + 89,00$$

$$\text{Diasumsi } H_o = 2,119$$

$$L' = L - (0 \times 2 \times H_o)$$

$$= 55 - (0 \times 2 \times 2,119)$$

$$= 55 \text{ m}$$

$$P/H_o = 4/2,119$$

$$= 1,887 \text{ m}$$

Dari **Gambar 2.1** didapat nilai  $C_o = 3,935 \times 0,551938 = 2,172$  (*metric system*)

#### Langkah 1

Untuk perhitungan koefisien debit rencana sebagai berikut:

Elevasi muka air hilir sebesar +83.685

$$hd = (H_o + 89) - 83,685$$

$$= 7,435 \text{ m}$$

$$hd/Ho = 7,435 / 2,118$$

$$= 3,510$$

Karena nilai  $hd/Ho > 0,7$ , maka  $C = Co = 2,175$

$$Q = C.L.Ho^{3/2}$$

$$= 2,175 \cdot 55 \cdot 2,118^{3/2}$$

$$= 368,560 \text{ m}^3/\text{detik} \dots\dots\text{Ok!!!}$$

Tabel 4.1. Perhitungan koefisien pelimpah dengan metode USBR

kala ulang (tahun)	Q (m <sup>3</sup> /dt)	H <sub>0</sub> (coba-coba) (m)	B (m)	B' (m)	P (m)	P/H <sub>0</sub>	C <sub>0</sub> (Grafik)	C <sub>0</sub> (metrik)	Elevasi muka air hilir (m)	hd	hd/Ho	Cs/Co	Cs	Q (m <sup>3</sup> /dt)	ket
1000	368.560	2.118	55.00	55.000	4.000	1.889	3.940	2.175	83.685	7.433	3.510	1.000	2.175	368.560	Ok

Sumber: Hasil perhitungan

**Langkah 2**

Untuk perhitungan koefisien debit untuk debit selain debit rencana berikut:

Misal untuk  $Q_{2th} = 90,46 \text{ m}^3/\text{dt}$

Diasumsi  $Hd = 0,884 \text{ m}$

$$L' = L - (0 \times 2 \times Hd)$$

$$= 55 - (0 \times 2 \times 0,884)$$

$$= 55 \text{ m}$$

$$Hd/Ho = 0,884/2,118$$

$$= 0,417$$

Dari **Gambar 2.2** didapat nilai  $C/Co = 0,910$

$$Cd = Co \cdot 0,910$$

$$= 2,175 \cdot 0,910$$

$$= 1,979$$

Elevasi muka air hilir sebesar + 80.802, maka:

$$hd = (Hd + 89) - 80.802$$

$$= 9,082 \text{ m}$$

$$hd/Hd = 9,082 / 0,884$$

$$= 10,274$$

Karena nilai  $hd/Ho > 0,7$ , maka  $C = Cd = 1,979$  (lihat **Gambar 2.3**)

$$Q = C.L'.Hd^{3/2}$$

$$= 1,979 \cdot 55 \cdot 0,884^{3/2}$$

$$= 90,46 \text{ m}^3/\text{detik} \dots\dots\text{Ok!!!}$$



Tabel 4.2. Perhitungan Hd metode USBR

kala ulang (tahun)	Q (m <sup>3</sup> /dt)	B (m)	Hd (m)	Hd/Ho	C/Co	C	B' (m)	El.M.A hilir m	hd m	hd/Hd	Cs/C	Cs	Q (m <sup>3</sup> /dt)
2	90.46	55.00	0.884	0.417	0.910	1.979	55.000	80.802	9.082	10.274	1.000	1.979	90.46
100	258.00	55.00	1.698	0.802	0.975	2.120	55.000	82.841	7.857	4.627	1.000	2.120	258.00
1000	368.56	55.00	2.118	1.000	1.000	2.175	55.000	83.685	7.433	3.510	1.000	2.175	368.56
PMF	786.15	55.00	3.359	1.586	1.070	2.327	55.000	87.013	5.346	1.592	0.998	2.322	786.15

Sumber: Hasil perhitungan

Untuk hasil perhitungan nilai koefisien limpahan (C) dan tinggi air diatas pelimpah (H<sub>d</sub>) dengan beberapa variasi debit disajikan **Tabel 4.3.** berikut ini:

Tabel 4.3. Nilai koefisien limpahan (C) dan tinggi muka air di atas pelimpah (H<sub>d</sub>) metode USBR

Kala Ulang (th)	Q Outflow (m <sup>3</sup> /det)	C (m <sup>0,5</sup> /dt)	H <sub>d</sub> (m)
2	90.46	1.979	0.884
100	258.00	2.120	1.698
1000	368.56	2.175	2.118
PMF	786.15	2.327	3.359

Sumber: Hasil perhitungan

Berdasarkan perhitungan nilai koefisien limpahan dari metode tersebut diatas, maka dibuat suatu perbandingan yang hasilnya ditabelkan pada **Tabel 4.4.** berikut:

Tabel 4.4. Rekapitulasi hasil perhitungan nilai koefisien limpahan (C) menurut USBR dan hasil uji model fisik

No.	Kala Ulang (th)	Q Outflow (m <sup>3</sup> /det)	Muka Air di atas Pelimpah (H <sub>d</sub> )		Koefisien Limpahan (C)	
			USBR	Model	USBR	Model
	(m)	(m)	(m <sup>0,5</sup> /dt)	(m <sup>0,5</sup> /dt)		
1.	2	90.46	0.884	0.900	1.979	1.926
2.	100	258.00	1.698	1.700	2.120	2.116
3.	1000	368.56	2.118	2.150	2.175	2.126
4.	PMF	786.15	3.359	3.400	2.327	2.280

Sumber: Hasil perhitungan

**b. Metode Iwasaki**

Koefisien limpahan (C) dari ambang pelimpah diperoleh dengan langkah perhitungan sebagai berikut:

$$\begin{aligned}
 Q_{1000th} &= 368,56 \text{ m}^3/\text{det} & K_p &= 0 \text{ dikarenakan tidak ada pilar} \\
 B &= 55 \text{ m} & K_a &= 0 \text{ dikarenakan } R_{abutmnet} > 0,5H_d \\
 P &= 4 \text{ m}
 \end{aligned}$$

$$El. Crest = + 89.00$$

$$\begin{aligned} B' &= B - 2.(n.Kp + Ka) Hd \\ &= 55 - 2.(0 + 0) Hd \\ &= 55 \text{ m} \end{aligned}$$

Dengan menggunakan  $Cd_{\text{asumsi}} = 2$  maka perhitungannya menjadi,

$$Q_{1000\text{th}} = Cd \cdot B' \cdot Hd^{3/2}$$

$$368,560 = 2 \cdot 55 \cdot Hd^{3/2}$$

Dengan cara *trial and error* maka didapatkan nilai  $Hd = 2,124 \text{ m}$

Untuk selanjutnya nilai  $Cd = 2,2$  dicek menggunakan persamaan Iwasaki yaitu:

$$Cd = 2,2 - 0,0416 \left( \frac{Hd}{P} \right)^{0,99}$$

$$Cd = 2,2 - 0,0416 \left( \frac{2,124}{4} \right)^{0,99}$$

$$Cd = 2,165$$

Dikarenakan nilai  $Cd_{\text{asumsi}} \neq Cd_{\text{hitung}}$  maka dilakukan *trial and error* lagi sampai menghasilkan nilai  $Cd_{\text{asumsi}} \neq Cd_{\text{hitung}}$ . Setelah dilakukan *trial and error* maka dihasilkan nilai  $Cd = 2,165$  dan  $Hd = 2,124$ .

Selanjutnya dilakukan perhitungan nilai “a” sebagai berikut:

$$Cd = 1,60 \times \frac{1 + 2a(h/Hd)}{1 + a(h/Hd)}$$

$$2,165 = 1,60 \times \frac{1 + 2a(h/Hd)}{1 + a(h/hd)}, \text{ karena } h = Hd \text{ maka:}$$

$$2,165 = 1,60 \times \frac{1 + 2a}{1 + a}, a = 0,545$$

Untuk nilai  $a = 0,545$  maka persamaan koefisien debit menjadi:

$$Cd = 1,60 \times \frac{1 + 2 \times 0,545 \times (h/2,124)}{1 + 0,545 \times (h/2,124)}$$

Untuk perhitungan koefisien limpaan untuk debit selain debit  $Q_{1000\text{th}}$  sebagai berikut:

$$\text{Misal untuk } Q_{2\text{th}} = 90,46 \text{ m}^3/\text{dt}$$

$$\text{Diasumsi } Hd = 0,908 \text{ m}$$

$$B' = B = 55 \text{ m}$$

$$Cd = 1,60 \times \frac{1 + 2 \times 0,545 \times (h/0,908)}{1 + 0,545 \times (h/0,908)}$$

$$\begin{aligned}
 &= 1,60 \times \frac{1 + 2 \times 0,545 \times (0,908 / 2,124)}{1 + 0,545 \times (0,908 / 2,124)} \\
 &= 1,902 \text{ m}^{1/2}/\text{dt} \\
 Q &= C_d \cdot B' \cdot H_d^{3/2} \\
 &= 1,902 \cdot 55 \cdot 0,908^{3/2} \\
 &= 90,46 \text{ m}^3/\text{dt} \dots \text{Ok!!}
 \end{aligned}$$

Untuk perhitungan selanjutnya ditabelkan pada **Tabel 4.5** berikut ini:

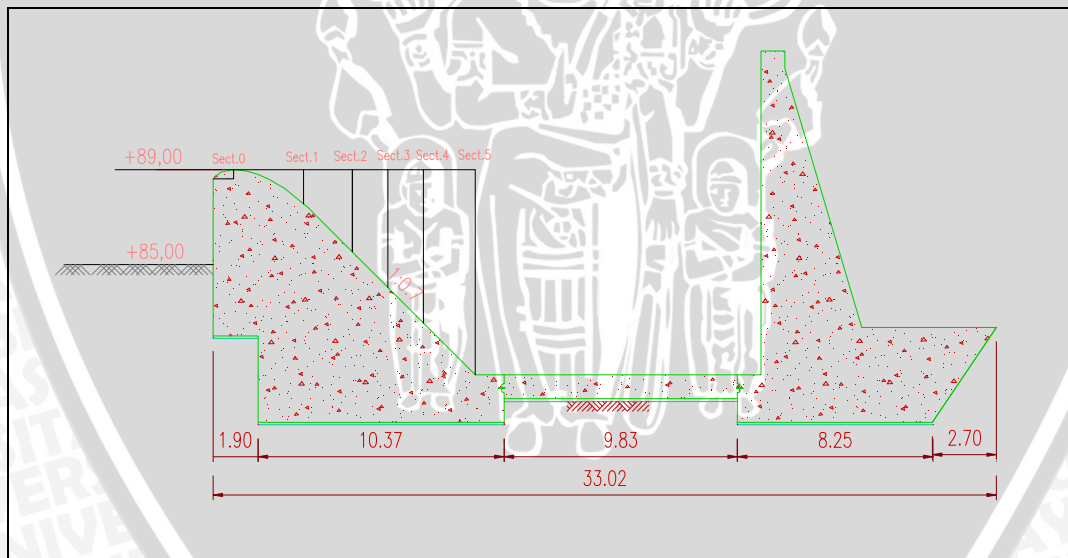
Tabel 4.5. Perhitungan koefisien pelimpah dengan metode Iwasaki

kala ulang (tahun)	Q (m <sup>3</sup> /dt)	B (m)	B' (m)	Hd (m)	Cd	Q (m <sup>3</sup> /dt)
2	90.46	55.000	55.000	0.908	1.902	90.460
100	258.00	55.000	55.000	1.715	2.089	258.000
1000	368.56	55.000	55.000	2.124	2.165	368.560
PMF	786.15	55.000	55.000	3.343	2.339	786.150

Sumber: Hasil perhitungan

#### 4.1.3. Perhitungan Profil Muka Air di Atas Pelimpah

Dengan menggunakan persamaan dapat dihitung profil muka air di atas pelimpah.



Gambar 4.1. Potongan memanjang pelimpah

Berikut contoh perhitungan diambil untuk Q1000th pada section 2:

- Q1000th = 368,56 m<sup>3</sup>/dt
- z = 85.40 – 86.223 = 0,683 m
- Dengan mensubstitusi persamaan

$$V_z = \sqrt{2g(Z + H_z - y_z)} \text{ dengan } V_z = \frac{Q}{L \cdot y_z}$$

maka didapatkan persamaan sebagai berikut:

$$\sqrt{2g(Z + H_z - y_z)} - \frac{Q}{L.y_z} = 0$$

$$\sqrt{2.9,81.(3,460 + 0,683 - y_z)} - \frac{368,56}{55.y_z} = 0$$

Selanjutnya dengan coba-coba (*trial & error*) akan didapatkan nilai  $y_z = 0,683$  m

- Selanjutnya didapatkan nilai  $V_z = \frac{368,56}{55.0,683} = 9,812$  m/dt
- Bilangan froude,  $F_z = \frac{V_z}{\sqrt{g.y_z}} = \frac{9,812}{\sqrt{9,81.0,683}} = 5,210$
- Elevasi Dasar saluran = +85.54
- Elevasi muka air =  $85.54 + 0,683 = +86.223$

Perhitungan selanjutnya dapat dilihat pada **Tabel 4.6. – Tabel 4.9.** berikut:

Tabel 4.6. Perhitungan profil muka air di atas pelimpah untuk Q2th

z (m)	Yz (m)	Vz (m)	Fr	El. Dasar Pelimpah (m)	El. Muka Air (m)
1	2	3	4	5	6
0.000	0.651	2.527	1.000	89.000	89.651
1.460	0.257	6.404	4.035	87.540	87.797
3.460	0.182	9.040	6.767	85.540	85.722
4.960	0.156	10.567	8.552	84.040	84.196
6.460	0.138	11.893	10.211	82.540	82.678
8.460	0.122	13.453	12.284	80.540	80.662

Sumber : Hasil perhitungan

Tabel 4.7. Perhitungan profil muka air di atas pelimpah untuk Q100th

z (m)	Yz (m)	Vz (m)	Fr	El. Dasar Pelimpah (m)	El. Muka Air (m)
1	2	3	4	5	6
0.000	1.309	3.584	1.000	89.000	90.309
1.460	0.669	7.007	2.734	87.540	88.209
3.460	0.489	9.585	4.375	85.540	86.029
4.960	0.424	11.073	5.431	84.040	84.464
6.460	0.379	12.366	6.410	82.540	82.919
8.460	0.338	13.891	7.632	80.540	80.878

Sumber : Hasil perhitungan

Tabel 4.8. Perhitungan profil muka air di atas pelimpah untuk Q1000th

z (m)	Yz (m)	Vz (m)	Fr	El. Dasar Pelimpah (m)	El. Muka Air (m)
1	2	3	4	5	6
0.000	1.660	4.036	1.000	89.000	90.660
1.460	0.927	7.228	2.397	87.540	88.467
3.460	0.683	9.812	3.791	85.540	86.223
4.960	0.594	11.291	4.679	84.040	84.634
6.460	0.533	12.573	5.499	82.540	83.073
8.460	0.476	14.087	6.521	80.540	81.016

Sumber: Hasil perhitungan

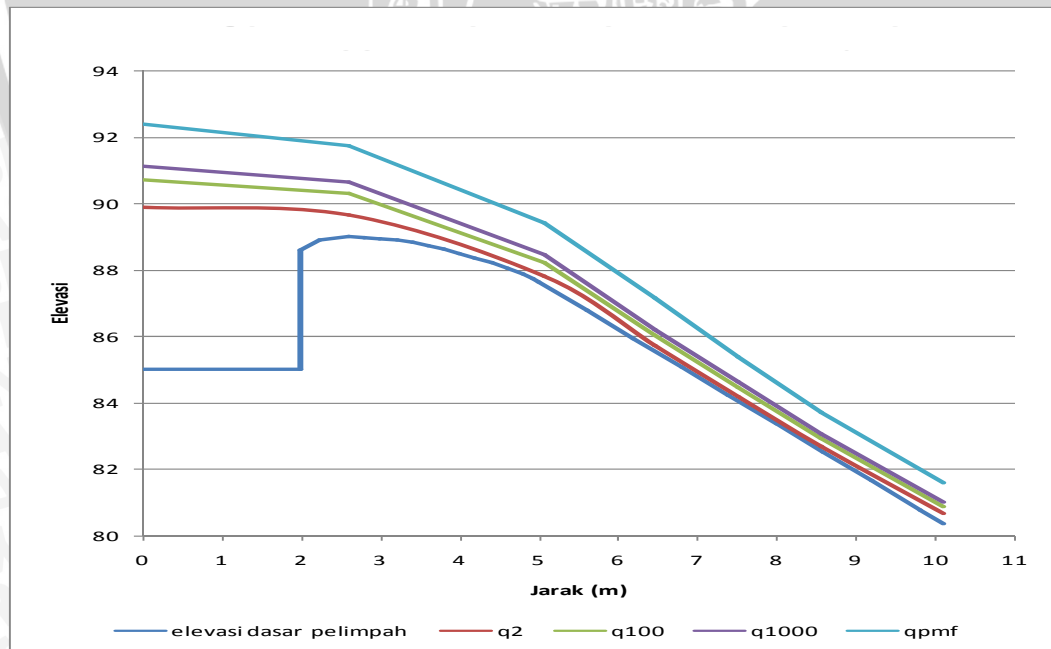
Tabel 4.9. Perhitungan profil muka air di atas pelimpah untuk QPMF

z (m)	Yz (m)	Vz (m)	Fr	El. Dasar Pelimpah (m)	El. Muka Air (m)
1	2	3	4	5	6
0.000	2.751	5.195	1.000	89.000	91.751
1.460	1.869	7.646	1.785	87.540	89.409
3.460	1.619	8.826	2.214	85.540	87.159
4.960	1.346	10.615	2.921	84.040	85.386
6.460	1.186	12.054	3.534	82.540	83.726
8.460	1.044	13.685	4.275	80.540	81.584

Sumber: Hasil perhitungan

Keterangan:

- 1. Diketahui
- 2. Coba-coba
- 3.  $Q / (B \cdot [2])$
- 4.  $[3] / (g \cdot [2])^{0.5}$
- 5.  $89 - [1]$
- 6.  $[5] + [2]$

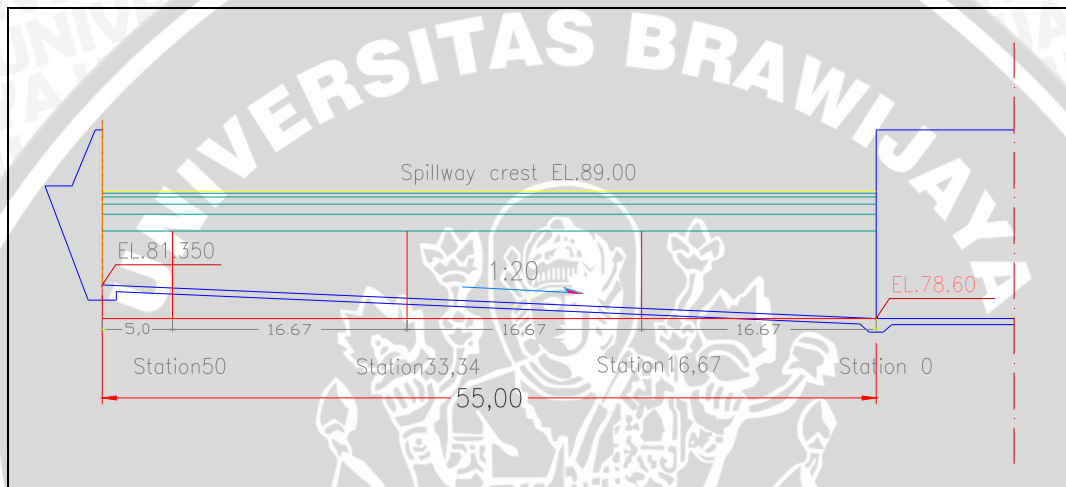


Gambar 4.2. Grafik tinggi muka air di atas pelimpah Bendungan Gongseng

## 4.2. Analisa Hidraulika untuk Saluran Samping

### 4.2.1. Perhitungan Tinggi Muka Air pada Saluran Samping

Perhitungan saluran samping berikut ini dilakukan dengan menggunakan data-data perencanaan yang telah ada, dalam artian bahwa data-data tersebut merupakan hasil perencanaan dari pihak konsultan. Dasar saluran samping telah ditetapkan memiliki slope kemiringan  $S_0 = 0,05$  maka selanjutnya dilakukan perhitungan tinggi muka air di saluran samping dengan menggunakan rumus momentum. Perhitungan muka air dimulai dari hilir ke hulu, dikarenakan penampang kontrol terletak pada akhir saluran transisi, sehingga dapat diketahui tinggi muka air di akhir saluran samping.



Gambar 4.3. Potongan memanjang pelimpah samping

Contoh perhitungan *side channel*  $Q_{2th}$ :

Diketahui:

-  $Q_{2th} = 90,46 \text{ m}^3/\text{dt}$

Berikut ini langkah perhitungan tinggi muka air di saluran samping:

1. Diketahui sebagai jarak saluran samping dimulai dari hilir jarak = 16,67 m

Diketahui pada section ini:

El. Dasar saluran = + 79.43 m

$h_{akhir \text{ side channel}} = 1,368 \text{ m}$

El. Muka air = + 80.798 m

$b_{awal} = 10 \text{ m}$

$b_{akhir} = 16 \text{ m}$

Langkah perhitungan selanjutnya untuk *station* 33,34 dengan jarak 16,67 m adalah sebagai berikut:



$$2. \text{ Elevasi hulu} - \text{elevasi hilir} = 81.35 - 78.60 = 2,75 \text{ m}$$

$$\text{Mencari } x \text{ dari persamaan} = \frac{2,75}{55} = \frac{x}{(55 - 21,67)}$$

$$x = 1,67$$

$$\text{Jadi, elevasi dasar saluran} = 78,6 + 1,67 = + 80,27$$

$$3. \text{ Coba-coba nilai selisih muka air, } \Delta y = 0,541 \text{ m}$$

$$4. \text{ Elevasi muka air} = 80.798 + 0,541 = + 81.339 \text{ m}$$

$$5. \text{ Tinggi muka air, } h = 81.339 - 80.27 = 1,069 \text{ m}$$

$$6. \text{ Lebar dasar saluran, } b = \frac{6}{55} = \frac{x}{(55 - 33,34)}$$

$$x = 2,36 \text{ jadi } b = 10 + 2,36 = 12,36 \text{ m}$$

$$7. \text{ Luas penampang basah saluran} =$$

$$A = 1,069 = \frac{(2.12,36 + 0.7.1,069)}{2} = 13,607 \text{ m}^2$$

$$8. \text{ Debit aliran yang lewat, } Q_x = q \cdot x = \frac{21,66}{55} \times 90,46 = 35,625 \text{ m}^3/\text{dt}$$

$$9. \text{ Kecepatan aliran, } V_x = \frac{Q_x}{A} = \frac{35,625}{13,607} = 2,618 \text{ m/dt}$$

$$10. \text{ Nilai } (Q_1 + Q_2) = 63,042 + 35,625 = 98,667 \text{ m}^3/\text{dt}$$

$$11. \text{ Nilai } \frac{Q_2}{g \cdot (Q_1 + Q_2)} = \frac{35,625}{9,81 \cdot (63,042 + 35,625)} = 0,0368$$

$$12. \text{ Nilai } (V_1 + V_2) = 3,144 + 2,618 = 5,762 \text{ m/dt}$$

$$13. \text{ Nilai } \Delta V = 3,144 - 2,618 = 0,526 \text{ m/dt}$$

$$14. \text{ Selisih tinggi muka air} =$$

$$\Delta y = \frac{Q_2}{g \cdot (Q_1 + Q_2)} \cdot (V_1 + V_2) \cdot \left[ \Delta V + V_2 \cdot \frac{(Q_2 - Q_1)}{Q_2} \right]$$

$$= 0,0368 \cdot 5,762 \cdot \left[ 0,526 + 2,618 \cdot \frac{(35,625 - 63,042)}{35,625} \right] = 0,539 \text{ m}$$

$$15. \text{ Kontrol nilai } \Delta y = \Delta y_{\text{coba-coba}} - \Delta y_{\text{hitung}} = 0,539 - 0,539 = 0,000$$

Untuk perhitungan profil muka air di akhir *side channel* atau awal transisi dapat dilihat pada **Tabel 4.10.** - **Tabel 4.13.** berikut:

Tabel 4.10. Perhitungan muka air pada saluran samping Q2th

Station	$\Delta x$	Elevasi dasar	Trial $\Delta y$	Elevasi muka air	h	A	Q	V	$Q_1+Q_2$	$\frac{Q_2}{g(Q_1+Q_2)}$	$v_1+v_2$	$V_2-V_1$	$Q_2-Q_1$	$\frac{Q_2-Q_1}{Q_2}$	$V_2(Q_2-Q_1)$ Q2	(13)+(16)	$\Delta y=(11)$ $X(12)X(17)$
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18
0	0	78.60		80.410	1.810	30.107	90.460	3.005									
16.67	16.67	79.43	0.388	80.798	1.368	20.051	63.042	3.144	153.502	0.0419	6.149	0.139	27.4176	0.435	1.367	1.51	0.388
33.34	16.67	80.27	0.541	81.339	1.069	13.607	35.625	2.618	98.667	0.0368	5.762	0.526	27.4176	0.770	2.015	2.54	0.539
50	16.67	81.10	0.397	81.735	0.635	6.841	8.224	1.202	43.848	0.0191	3.820	1.416	27.4012	3.332	4.006	5.42	0.396

Sumber: Hasil perhitungan

Tabel 4.11. Perhitungan muka air pada saluran samping Q100th

Station	$\Delta x$	Elevasi dasar	Trial $\Delta y$	Elevasi muka air	h	A	Q	V	$Q_1+Q_2$	$\frac{Q_2}{g(Q_1+Q_2)}$	$v_1+v_2$	$V_2-V_1$	$Q_2-Q_1$	$\frac{Q_2-Q_1}{Q_2}$	$V_2(Q_2-Q_1)$ Q2	(13)+(16)	$\Delta y=(11)$ $X(12)X(17)$
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18
0	0	78.60		82.070	3.470	59.734	258.000	4.319									
16.67	16.67	79.43	0.773	82.843	3.413	52.468	179.803	3.427	437.803	0.0419	7.746	0.892	78.1975	0.435	1.490	2.38	0.773
33.34	16.67	80.27	0.614	83.457	3.187	42.946	101.605	2.366	281.408	0.0368	5.793	1.061	78.1975	0.770	1.821	2.88	0.614
50	16.67	81.10	0.253	83.710	2.610	29.901	23.455	0.784	125.060	0.0191	3.150	1.581	78.1505	3.332	2.614	4.20	0.253

Sumber: Hasil perhitungan

Tabel 4.12. Perhitungan muka air pada saluran samping Q1000th

Station	$\Delta x$	Elevasi dasar	Trial $\Delta y$	Elevasi muka air	h	A	Q	V	$Q_1+Q_2$	$\frac{Q_2}{g(Q_1+Q_2)}$	$v_1+v_2$	$V_2-V_1$	$Q_2-Q_1$	$\frac{Q_2-Q_1}{Q_2}$	$V_2(Q_2-Q_1)$ Q2	(13)+(16)	$\Delta y=(11)$ X(12)X(17)
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18
0		78.60		82.792	4.192	73.223	368.560	5.033									
16.67	16.67	79.43	1.078	83.870	4.440	69.860	256.853	3.677	625.413	0.0419	8.710	1.357	111.707	0.435	1.599	2.96	1.078
33.34	16.67	80.27	0.701	84.571	4.301	59.632	145.146	2.434	401.998	0.0368	6.111	1.243	111.707	0.770	1.873	3.12	0.701
50	16.67	81.10	0.257	84.827	3.727	44.168	33.505	0.759	178.651	0.0191	3.193	1.675	111.64	3.332	2.528	4.20	0.257

Sumber: Hasil perhitungan

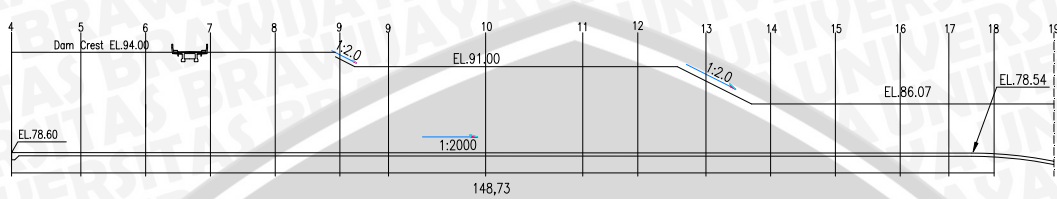
Tabel 4.13. Perhitungan muka air pada saluran samping QPMF

Station	$\Delta x$	Elevasi dasar	Trial $\Delta y$	Elevasi muka air	h	A	Q	V	$Q_1+Q_2$	$\frac{Q_2}{g(Q_1+Q_2)}$	$v_1+v_2$	$V_2-V_1$	$Q_2-Q_1$	$\frac{Q_2-Q_1}{Q_2}$	$V_2(Q_2-Q_1)$ Q2	(13)+(16)	$\Delta y=(11)$ X(12)X(17)
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18
0		78.60		85.521	6.921	127.501	786.150	6.166									
16.67	16.67	79.43	1.646	87.167	7.737	130.671	547.875	4.193	1334.025	0.0419	10.359	1.973	238.275	0.435	1.823	3.80	1.646
33.34	16.67	80.27	0.901	88.068	7.798	117.671	309.600	2.631	857.475	0.0368	6.824	1.562	238.275	0.770	2.025	3.59	0.901
50	16.67	81.10	0.284	88.352	7.252	94.881	71.468	0.753	381.068	0.0191	3.384	1.878	238.132	3.332	2.510	4.39	0.284

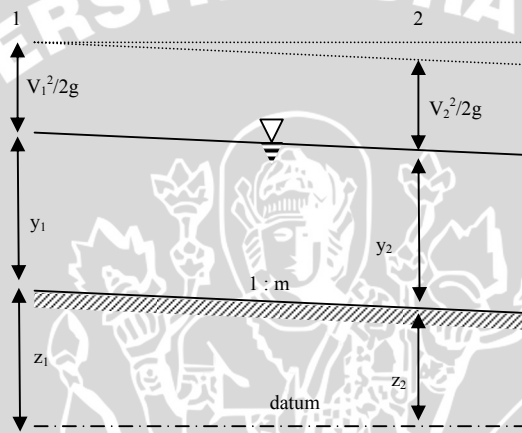
Sumber: Hasil perhitungan

**4.3. Analisa Hidraulika Pada Saluran Transisi**  
**4.3.1. Perhitungan Tinggi Muka Air di Saluran Transisi**

Bentuk saluran transisi Bendungan Gongseng tidak mengalami penyempitan namun ada belokan (R) dengan kemiringan dasar saluran 1:2000 dan panjang saluran 148,73 m.



Gambar 4.4 Denah dan potongan memanjang saluran transisi  
 Sumber: PT. Ika Adya Perkasa



Gambar 4.5. Potongan memanjang saluran transisi  
 Sumber : Sosrodarsono, 2002:2004

Contoh perhitungan:

Diketahui:

- $Q_2 = 90,46 \text{ m}^3/\text{dt}$
- $b_{\text{hulu}} = 16 \text{ m}$
- $b_{\text{hilir}} = 16 \text{ m}$
- $S_0 = 0$
- El. datum = +78.50 m

Berikut ini adalah langkah perhitungan tinggi muka air di saluran transisi:

Pada section 18 diketahui:

$$\text{Tinggi muka air kritis, } y_c = \sqrt[3]{\frac{\alpha \cdot Q^2}{g \cdot b^2}} = \sqrt[3]{\frac{1,000 \cdot 90,46^2}{9,81 \cdot 16^2}} = 1,483 \text{ m}$$

$$\text{Kecepatan aliran kritis, } V_c = \frac{Q}{A} = \frac{90,46}{23,70} = 3,814 \text{ m/dt}$$

$$\text{Bilangan Froude untuk } y_c, Fr = \frac{V_c}{\sqrt{g \cdot \frac{y_c}{\alpha}}} = \frac{3,814}{\sqrt{9,81 \cdot \frac{1,483}{1,000}}} = 1 \text{ (kritis)}$$

$$\text{Jari-jari hidraulik, } R = \frac{A}{P} = \frac{23,70}{16 + (2 \cdot 1,483)} = 1,251 \text{ m}$$

Datum dimulai dari elevasi dasar saluran +78.54 m, sehingga tinggi datum  $z = 0,04 \text{ m}$

Langkah perhitungan selanjutnya adalah sebagai berikut:

1. Lebar dasar saluran,  $b = 16 \text{ m}$
2. Panjang saluran antara section 15 dan section 14,  $L = 5,00 \text{ m}$
3. Coba-coba tinggi muka air,  $y_{\text{coba-coba}} = 1,618 \text{ m}$
4. Elevasi muka air = elev dasar + tinggi muka air

$$= 78.546 + 1,618 \\ = 80.164$$

5. Lebar saluran pada section 14 lebar saluran tansisi adalah 16 m

$$\text{maka luas } A = 25,889 \text{ m}^2; R = A/P = \frac{25,889}{16 + (2 \cdot 1,618)} = 1,346 \text{ m}$$

6. Kecepatan Aliran  $V = \frac{Q}{A} = \frac{90,46}{25,889} = 3,494 \text{ m}^3/\text{dtk}$

$$\text{Tinggi Energi } H_f = \frac{V^2}{2g} = \frac{3,494^2}{2 \cdot 9,81} = 0,622 \text{ m}$$

$$\text{Maka } H = \text{Elev Muka Air} + H_f \\ = 80.164 + 0,622 \\ = 80.786$$

7. Kemiringan garis energi,  $S_{f1} = \frac{n^2 V^2}{R^{4/3}} = \frac{0,014^2 \cdot 3,502^2}{1,343^{4/3}} = 0,00162$

$$S_{f2} = \frac{n^2 V^2}{R^{4/3}} = \frac{0,014^2 \cdot 3,498^2}{1,346^{4/3}} = 0,00161$$

$$S_{f \text{ rata-rata}} = \frac{S_{f1} + S_{f2}}{2} = \frac{0,00162 + 0,00161}{2} = 0,0016$$

8. Kehilangan energi akibat gesekan,  $h_f = S_f \cdot \Delta x = 0,0016 \cdot 20,500 = 0,033 \text{ m}$

9. Kehilangan energi pada belokan (R)  $h_b = 0,007 \cdot V^2 / 19,62 = (0,007 \cdot 12,236) / 19,62 \\ = 0,0044 \text{ m}$

10. Faktor perubahan bentuk penampang (eddy loss)

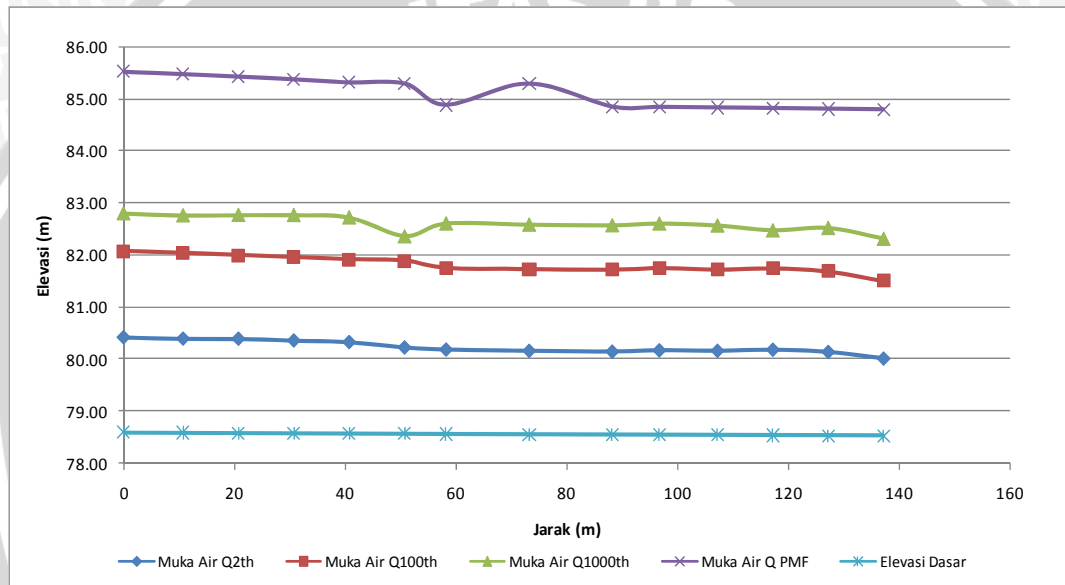
$$h_e = k_r \left| \frac{\alpha_1 U_1^2 - \alpha_2 U_2^2}{2.g} \right|$$

$$= 0$$

12. Kontrol dari coba-coba

$$\begin{aligned} \text{Elev M.A hilir} &= \text{Elev. Dasar} + h + H_f \\ 80,786 &= 78,546 + 1,618 + 0,622 \\ 80,786 &= 80,786 \end{aligned}$$

13. Keterangan kondisi aliran berdasarkan bilangan Froude,  $Fr = 0,877 < 1$  (sub kritis).



Gambar 4.6. Profil muka air pada saluran transisi

Untuk perhitungan selanjutnya dapat dilihat pada **Tabel 4.14.** – **Tabel 4.17.** berikut:

Tabel 4.14. Perhitungan profil muka air pada saluran transisi Q2th

Section	Kedalaman (h) m	Jarak (d) m	Jarak kumulatif (m)	Lebar (b) m	Area (A) m <sup>2</sup>	V m/det	Hf m	$(V_1+V_2)/2$ m/det	$((V_1+V_2)/2)^2$ m/det	P m	R m	Sf m	Sf rata-2 m	hf m	hb m	Froude	Elv. Dsr m	Energi m	Total Energi m
[1]	[2]	[3]	[4]	[5]	[6]	[7]	[8]	[9]	[10]	[11]	[12]	[13]	[14]	[15]	[16]	[17]	[18]	[19]	[20]
18	1.483	0.000	0.000	16.000	23.720	3.814	0.741			18.965	1.251	0.00212				1.000	78.526	80.749	80.749
17	1.602	10.000	10.000	16.000	25.634	3.529	0.635	3.671	13.478	19.204	1.335	0.00166	0.0019	0.019	0.000	0.890	78.531	80.767	80.749
16	1.638	10.000	20.000	16.000	26.215	3.451	0.607	3.490	12.179	19.277	1.360	0.00155	0.0016	0.032	0.000	0.861	78.536	80.781	80.749
15	1.615	10.000	20.000	16.000	25.832	3.502	0.625	3.476	12.084	19.229	1.343	0.00162	0.0016	0.032	0.000	0.880	78.541	80.780	80.748
14	1.618	10.500	20.500	16.000	25.889	3.494	0.622	3.498	12.236	19.236	1.346	0.00161	0.0016	0.033	0.0044	0.877	78.546	80.786	80.749
13	1.590	8.500	19.000	16.000	25.440	3.556	0.644	3.529	12.453	19.180	1.326	0.00170	0.0017	0.031	0.0044	0.900	78.550	80.785	80.749
12	1.596	15.000	23.500	16.000	25.532	3.543	0.640	3.549	12.598	19.192	1.330	0.00168	0.0017	0.040	0.0045	0.895	78.558	80.793	80.749
11	1.613	15.000	30.000	16.000	25.805	3.506	0.626	3.524	12.420	19.226	1.342	0.00163	0.0017	0.050	0.0044	0.881	78.565	80.804	80.750
10	1.650	7.500	22.500	16.000	26.400	3.427	0.598	3.466	12.013	19.300	1.368	0.00152	0.0016	0.035	0.000	0.852	78.569	80.817	80.782
9	1.745	10.000	17.500	16.000	27.918	3.240	0.535	3.333	11.111	19.490	1.432	0.00127	0.0014	0.024	0.000	0.783	78.574	80.854	80.829
8	1.771	10.000	20.000	16.000	28.332	3.193	0.520	3.216	10.346	19.542	1.450	0.00122	0.0012	0.025	0.000	0.766	78.579	80.869	80.844
7	1.798	10.000	20.000	16.000	28.772	3.144	0.504	3.168	10.039	19.597	1.468	0.00116	0.0012	0.024	0.000	0.749	78.584	80.886	80.862
6	1.796	10.000	20.000	16.000	28.736	3.148	0.505	3.146	9.897	19.592	1.467	0.00117	0.0012	0.023	0.000	0.750	78.589	80.890	80.867
5	1.810	10.750	20.750	16.000	28.960	3.124	0.497	3.136	9.833	19.620	1.476	0.00114	0.0012	0.024	0.000	0.741	78.600	80.907	80.883

Sumber : Hasil perhitungan



Tabel 4.15. Perhitungan profil muka air pada saluran transisi Q100th

Section	Kedalaman (h) m	Jarak (d) m	Jarak kumulatif (m)	Lebar (b) m	Area (A) m <sup>2</sup>	V m/det	Hf m	$(V_1+V_2)/2$ m/det	$((V_1+V_2)/2)^2$ m/det	P m	R m	Sf m	Sf rata-2 m	hf m	hb m	Froude	Elv. Dsr m	Energi m	Total Energi m
[1]	[2]	[3]	[4]	[5]	[6]	[7]	[8]	[9]	[10]	[11]	[12]	[13]	[14]	[15]	[16]	[17]	[18]	[19]	[20]
18	2.982	0.000	0.000	16.000	47.705	5.408	1.491			21.963	2.172	0.00204				1.000	78.526	82.998	82.998
17	3.154	10.000	10.000	16.000	50.466	5.112	1.332	5.260	27.671	22.308	2.262	0.00173	0.0019	0.019	0.000	0.919	78.531	83.017	82.998
16	3.207	10.000	20.000	16.000	51.319	5.027	1.288	5.070	25.704	22.415	2.289	0.00164	0.0017	0.034	0.000	0.896	78.536	83.031	82.998
15	3.180	10.000	20.000	16.000	50.876	5.071	1.311	5.049	25.495	22.360	2.275	0.00168	0.0017	0.033	0.000	0.908	78.541	83.031	82.998
14	3.204	10.500	20.500	16.000	51.269	5.032	1.291	5.052	25.520	22.409	2.288	0.00165	0.0017	0.034	0.0091	0.898	78.546	83.041	82.998
13	3.169	8.500	19.000	16.000	50.705	5.088	1.320	5.080	25.803	22.338	2.270	0.00170	0.0017	0.032	0.0092	0.913	78.550	83.039	82.998
12	3.173	15.000	23.500	16.000	50.770	5.082	1.316	5.085	25.857	22.346	2.272	0.00169	0.0017	0.040	0.0092	0.911	78.558	83.047	82.998
11	3.190	15.000	30.000	16.000	51.042	5.055	1.302	5.068	25.687	22.380	2.281	0.00167	0.0017	0.050	0.0092	0.904	78.565	83.057	82.998
10	3.323	7.500	22.500	16.000	53.166	4.853	1.200	4.954	24.539	22.646	2.348	0.00148	0.0016	0.035	0.000	0.850	78.569	83.092	83.057
9	3.343	10.000	17.500	16.000	53.495	4.823	1.186	4.838	23.404	22.687	2.358	0.00145	0.0015	0.026	0.000	0.842	78.574	83.103	83.077
8	3.377	10.000	20.000	16.000	54.033	4.775	1.162	4.799	23.029	22.754	2.375	0.00141	0.0014	0.029	0.000	0.830	78.579	83.118	83.089
7	3.412	10.000	20.000	16.000	54.596	4.726	1.138	4.750	22.565	22.824	2.392	0.00137	0.0014	0.028	0.000	0.817	78.584	83.134	83.107
6	3.445	10.000	20.000	16.000	55.127	4.680	1.116	4.703	22.117	22.891	2.408	0.00133	0.0013	0.027	0.000	0.805	78.589	83.151	83.124
5	3.470	10.750	20.750	16.000	55.522	4.647	1.101	4.663	21.748	22.940	2.420	0.00130	0.0013	0.027	0.000	0.796	78.600	83.171	83.143

Sumber : Hasil perhitungan



Tabel 4.16. Perhitungan profil muka air pada saluran transisi Q1000th

Section	Kedalaman (h) m	Jarak (d) m	Jarak kumulatif (m)	Lebar (b) m	Area (A) m <sup>2</sup>	V m/det	hf m	$(V_1+V_2)/2$ m/det	$((V_1+V_2)/2)^2$ m/det	P m	R m	Sf m	Sf rata-2 m	hf	hb m	Froude	Elv. Dsr m	Energi m	Total Energi m
[1]	[2]	[3]	[4]	[5]	[6]	[7]	[8]	[9]	[10]	[11]	[12]	[13]	[14]	[15]	[16]	[17]	[18]	[19]	[20]
18	3.782	0.000	0.000	16.000	60.509	6.091	1.891			23.564	2.568	0.00207				1.000	78.526	84.198	84.198
17	3.982	10.000	10.000	16.000	63.712	5.785	1.706	5.938	35.258	23.964	2.659	0.00178	0.0019	0.019	0.000	0.926	78.531	84.218	84.199
16	3.932	10.000	20.000	16.000	62.914	5.858	1.749	5.821	33.890	23.864	2.636	0.00185	0.0018	0.036	0.000	0.943	78.536	84.217	84.181
15	4.020	10.000	20.000	16.000	64.313	5.731	1.674	5.794	33.576	24.039	2.675	0.00173	0.0018	0.036	0.000	0.913	78.541	84.234	84.198
14	4.052	10.500	20.500	16.000	64.827	5.685	1.647	5.708	32.582	24.103	2.690	0.00169	0.0017	0.035	0.0116	0.902	78.546	84.245	84.198
13	4.014	8.500	19.000	16.000	64.225	5.739	1.678	5.735	32.886	24.028	2.673	0.00174	0.0017	0.033	0.0117	0.914	78.550	84.243	84.198
12	4.018	15.000	23.500	16.000	64.289	5.733	1.675	5.736	32.899	24.036	2.675	0.00174	0.0017	0.041	0.0117	0.913	78.558	84.251	84.198
11	4.034	15.000	30.000	16.000	64.540	5.711	1.662	5.722	32.738	24.068	2.682	0.00172	0.0017	0.052	0.0117	0.908	78.565	84.261	84.198
10	3.785	7.500	22.500	16.000	60.568	6.085	1.887	5.898	34.784	23.571	2.570	0.00206	0.0019	0.042	0.000	0.999	78.569	84.242	84.199
9	4.140	10.000	17.500	16.000	66.240	5.564	1.578	5.825	33.925	24.280	2.728	0.00159	0.0018	0.032	0.000	0.873	78.574	84.292	84.260
8	4.180	10.000	20.000	16.000	66.880	5.511	1.548	5.537	30.663	24.360	2.745	0.00155	0.0016	0.031	0.000	0.861	78.579	84.307	84.275
7	4.177	10.000	20.000	16.000	66.832	5.515	1.550	5.513	30.390	24.354	2.744	0.00155	0.0015	0.031	0.000	0.862	78.584	84.311	84.280
6	4.165	10.000	20.000	16.000	66.640	5.531	1.559	5.523	30.500	24.330	2.739	0.00156	0.0016	0.031	0.000	0.865	78.589	84.313	84.282
5	4.192	10.750	20.750	16.000	67.072	5.495	1.539	5.513	30.391	24.384	2.751	0.00154	0.0015	0.032	0.000	0.857	78.600	84.331	84.299

Sumber : Hasil perhitungan

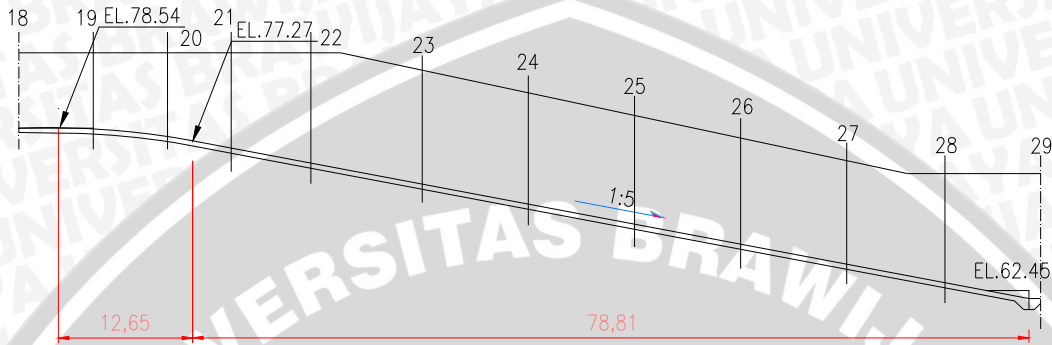
Tabel 4.17. Perhitungan profil muka air pada saluran transisi QPMF

Section	Kedalaman (h) m	Jarak (d) m	Jarak kumulatif (m)	Lebar (b) m	Area (A) m <sup>2</sup>	V m/det	hf m	$(V_1+V_2)/2$ m/det	$((V_1+V_2)/2)^2$ m/det	P m	R m	Sf m	Sf rata-2 m	hf	hb m	Froude	Elv. Dsr m	Energi m	Total Energi m
[1]	[2]	[3]	[4]	[5]	[6]	[7]	[8]	[9]	[10]	[11]	[12]	[13]	[14]	[15]	[16]	[17]	[18]	[19]	[20]
18	6.267	0.000	0.000	16.000	100.266	7.841	3.133			28.533	3.514	0.00226				1.000	78.526	87.926	78.526
17	6.274	10.000	10.000	16.000	100.384	7.831	3.126	7.836	61.403	28.548	3.516	0.00225	0.0023	0.023	0.000	0.998	78.531	87.931	78.508
16	6.282	10.000	20.000	16.000	100.512	7.821	3.118	7.826	61.253	28.564	3.519	0.00224	0.0022	0.045	0.000	0.996	78.536	87.936	78.491
15	6.288	10.000	20.000	16.000	100.608	7.814	3.112	7.818	61.117	28.576	3.521	0.00223	0.0022	0.045	0.000	0.995	78.541	87.941	78.496
14	6.294	10.500	20.500	16.000	100.704	7.807	3.106	7.810	61.000	28.588	3.523	0.00223	0.0022	0.046	0.0218	0.993	78.546	87.946	78.478
13	6.296	8.500	19.000	16.000	100.736	7.804	3.104	7.809	60.981	28.592	3.523	0.00223	0.0022	0.042	0.0218	0.993	78.550	87.950	78.486
12	6.306	15.000	23.500	16.000	100.896	7.792	3.094	7.798	60.807	28.612	3.526	0.00222	0.0022	0.052	0.0217	0.991	78.558	87.958	78.484
11	6.315	15.000	30.000	16.000	101.043	7.780	3.085	7.786	60.622	28.630	3.529	0.00221	0.0022	0.066	0.0216	0.988	78.565	87.966	78.477
10	6.724	7.500	22.500	16.000	107.589	7.307	2.721	7.544	56.907	29.449	3.653	0.00186	0.0020	0.046	0.000	0.900	78.569	88.014	78.523
9	6.742	10.000	17.500	16.000	107.865	7.288	2.707	7.298	53.255	29.483	3.659	0.00185	0.0019	0.032	0.000	0.896	78.574	88.023	78.541
8	6.797	10.000	20.000	16.000	108.751	7.229	2.663	7.259	52.687	29.594	3.675	0.00181	0.0018	0.037	0.000	0.885	78.579	88.039	78.542
7	6.843	10.000	20.000	16.000	109.493	7.180	2.627	7.204	51.903	29.687	3.688	0.00177	0.0018	0.036	0.000	0.876	78.584	88.055	78.548
6	6.887	10.000	20.000	16.000	110.189	7.135	2.594	7.157	51.226	29.774	3.701	0.00174	0.0018	0.035	0.000	0.868	78.589	88.070	78.554
5	6.921	10.750	20.750	16.000	110.733	7.100	2.569	7.117	50.652	29.842	3.711	0.00172	0.0017	0.036	0.000	0.862	78.600	88.090	78.564

Sumber : Hasil perhitungan

**4.4. Analisa Hidraulika Pada Saluran Peluncur**  
**4.4.1. Perhitungan Tinggi Muka Air di Saluran Peluncur**

Perhitungan tinggi muka air pada saluran peluncur Bendungan Gongseng dilakukan dengan menggunakan metode tahapan standar, dan dilakukan dari hulu ke hilir dengan kemiringan dasar saluran 1:5.



Gambar 4.7. Potongan memanjang saluran peluncur

Contoh perhitungannya adalah sebagai berikut:

$$Q_{2th} = 90,46 \text{ m}^3/\text{dt}$$

$$n = 0,014$$

$$b = 16 \text{ m}$$

Berikut ini adalah langkah perhitungan tinggi muka air di saluran peluncur section 19.

Diketahui:

$$\text{Tinggi muka air kritis, } y_c = \sqrt[3]{\frac{Q^2}{g \cdot b^2}} = \sqrt[3]{\frac{90,46^2}{9,81 \cdot 16^2}} = 1,483 \text{ m}$$

$$\text{Kecepatan aliran kritis, } V_c = \frac{Q}{A} = \frac{90,46}{16 \cdot 1,483} = 3,814 \text{ m/dt}$$

$$\text{Bilangan Froude untuk } y_c \text{ adalah } Fr = \frac{V_c}{\sqrt{g \cdot y_c}} = \frac{3,814}{\sqrt{9,81 \cdot 1,483}} = 1 \text{ (kritis)}$$

$$\text{Kehilangan energi akibat kecepatan, } h_v = \alpha \frac{V_1^2}{2 \cdot g} = 1,000 \frac{3,814^2}{2 \cdot 9,81} = 0,741 \text{ m}$$

$$\text{Tinggi garis energi, } E_{hulu} = \frac{V_1^2}{2 \cdot g} + \text{El. muka air} = 80,434 \text{ m}$$

$$\text{Jari-jari hidraulik, } R = \frac{A}{P} = 1,251 \text{ m}$$

Datum dimulai dari elevasi hulu saluran = +78.21 dan hilir saluran = +62.75 m sehingga tinggi  $Z = (78.21 - 62.75) = 15,46 \text{ m}$

Langkah perhitungan selanjutnya adalah sebagai berikut:

1. Lebar dasar saluran,  $b = 16 \text{ m}$
2. Elevasi dasar saluran section 20 = elevasi hulu saluran -  $z$   
 $= 78,21 - 1,3$   
 $= 76,91$
3. Coba-coba tinggi muka air,  $y_{\text{coba-coba}} = 0,790 \text{ m}$
4. Elevasi muka air = elev dasar + tinggi muka air  
 $= 76,91 + 0,790$   
 $= 77,70$
5. Lebar saluran pada section 20 adalah  $16 \text{ m}$
6. maka luas  $A = 12,642 \text{ m}^2$ ;  $R = A/P = \frac{12,642}{16 + (2,0,365)} = 0,719 \text{ m}$
7. Kecepatan aliran  $U = \frac{Q}{A} = \frac{90,46}{12,642} = 7,156 \text{ m}^3/\text{dtk}$
8. Tinggi energi  $H_v = \frac{U^2}{2g} = \frac{7,156^2}{2 \cdot 9,81} = 2,612$
9. Maka tinggi muka air hilir = Tinggi Muka Air +  $z + H_v$   
 $= 0,79 + 0 + 2,612$   
 $= 3,403$
10. Kemiringan garis energi,  $S_{f11} = \frac{n^2 V^2}{R^{4/3}} = \frac{0,014^2 \times 3,814^2}{1,251^{4/3}} = 0,002$   
 $S_{f9} = \frac{n^2 V^2}{R^{4/3}} = \frac{0,014^2 \times 7,156^2}{0,719^{4/3}} = 0,016$   
 $S_{f \text{ rata-rata}} = \frac{S_{f11} + S_{f9}}{2} = \frac{0,002 + 0,016}{2} = 0,009$
11. Kehilangan energi akibat gesekan,  $h_f = S_f \cdot \Delta x = 0,009 \times 14 = 0,124 \text{ m}$
12. Kontrol dari coba-coba tinggi muka air hilir = Tinggi muka air hulu -  $h_f - h_e$   
 $80,310 = 80,434 - 0,124 - 0$   
 $80,310 = 80,310$
13. Cek bilangan Froude,  $Fr = \frac{V}{\sqrt{g \cdot y}} = \frac{7,156}{\sqrt{9,81 \cdot 0,79}} = 2,570$

Jadi permukaan air di hilir sama dengan kehilangan energi pada saluran.

Keterangan kondisi aliran berdasarkan bilangan Froude,  $Fr = 2,570 > 1$  (super kritis).

Untuk perhitungan selanjutnya dapat dilihat pada **Tabel 4.18.** – **Tabel 4.21.**



Tabel 4.18. Perhitungan profil muka air pada saluran peluncur Q2th

A large black rectangular area that completely redacts the content of the table associated with the caption above.

Sumber: Hasil perhitungan



Tabel 4.19. Perhitungan profil muka air pada saluran peluncur Q100th

A large black rectangular area that completely redacts the content of the table associated with the caption above.

Sumber: Hasil perhitungan



Tabel 4.20. Perhitungan profil muka air pada saluran peluncur Q1000th

A large black rectangular redaction box covering the entire content of the table for Tabel 4.20.

Sumber: Hasil perhitungan

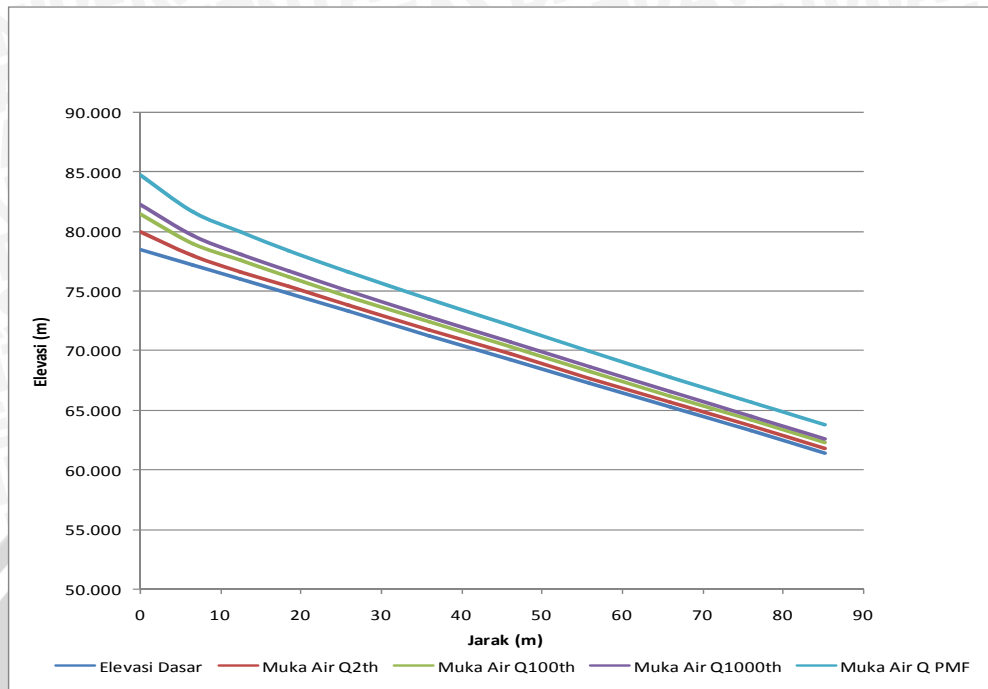


Tabel 4.21. Perhitungan profil muka air pada saluran peluncur QPMF

A large black rectangular redaction box covering the entire content of the table for Tabel 4.21.

Sumber: Hasil perhitungan





Gambar 4.8. Profil muka air pada saluran peluncur

#### 4.5. Analisa Hidraulika Pada Peredam Energi

Perhitungan tinggi muka air pada peredam energi dipengaruhi oleh hukum persamaan momentum.

Contoh perhitungannya adalah sebagai berikut:

$$Q_{100th} = 258,00 \text{ m}^3/\text{dt}$$

$$b = 16 \text{ m}$$

$$\text{El. M.A. di saluran peluncur hilir} = +62.351$$

$$\text{El. dasar peredam energi} = +61.50$$

Berikut ini adalah langkah perhitungan tinggi muka air di peredam energi:

$$\text{Debit persatuan lebar, } q = Q/b = 16,125 \text{ (m}^3/\text{dtk/m')}.$$

Tinggi muka air sebelum loncatan didapat dari perhitungan saluran peluncur:

$$y_1 = 0,851 \text{ m}$$

Tinggi muka air setelah loncatan adalah:

$$Fr = v/(2gh) = 6,557$$

$$\frac{y_2}{y_1} = \frac{1}{2} (\sqrt{1 + 8Fr^2} - 1)$$

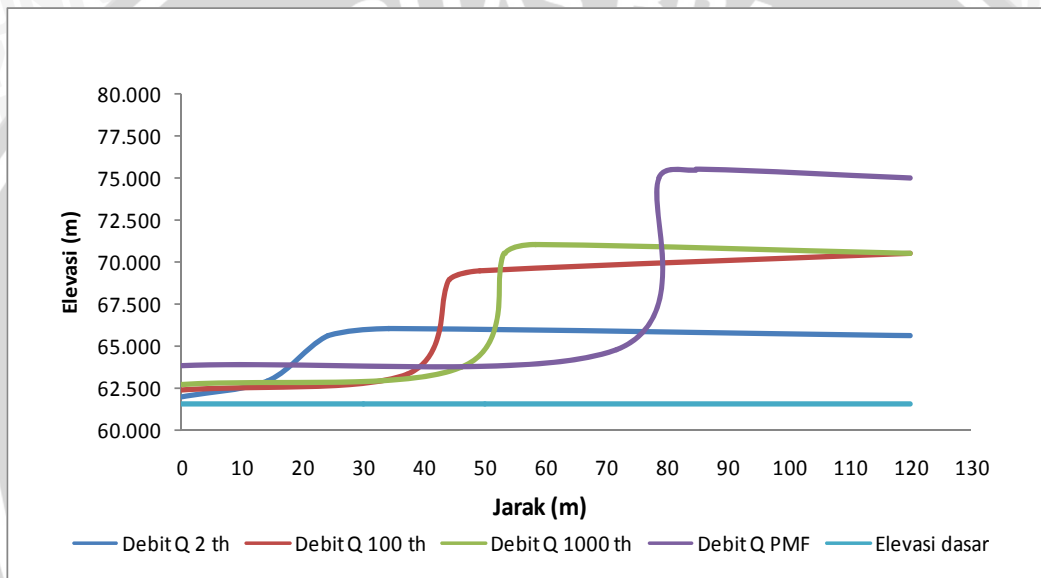
$$\frac{y_2}{0,851} = \frac{1}{2} (\sqrt{1 + 8 \cdot 6,557^2} - 1)$$

$y_2 = 7,477$  m, dengan  $Fr = 6,557$  jenis loncatannya adalah loncatan tunak. Karena,  $(4,5 < Fr < 9,0)$ .

Tabel 4.22. Perhitungan tinggi muka air pada peredam energi

Debit (m <sup>3</sup> /s)	Lebar Peredam Energi (m)	Elevasi Muka Air Hulu	Elevasi Dasar Peredam Energi	Debit persatuan lebar	y <sub>1</sub> (m)	Kecepatan v (m/dtk)	Fr	y <sub>2</sub> (m)	L <sub>j</sub> (m)
				q (m <sup>3</sup> /dtk/m')					
90.460	16	61.912	61.500	5.654	0.412	14.693	7.310	4.056	23.93
258.000		62.351	61.500	16.125	0.851	18.946	6.557	7.477	44.02
368.560		62.670	61.500	23.035	1.170	19.683	5.809	9.047	53.11
786.150		63.811	61.500	49.134	2.311	21.257	4.464	13.482	78.58

Sumber : Hasil perhitungan



Gambar 4.9. Tinggi muka air pada peredam energi

#### 4.5.1. Perhitungan pada Peredam Energi

Tabel 4.23. Perhitungan tinggi muka air saluran peluncur Bendungan Gongseng Q100th

[Redacted content]

Sumber: Hasil perhitungan



$$y_2 = \frac{y_1}{2} \left( \sqrt{(8F_1^2 + 1)} - 1 \right)$$

$$= \frac{0,851}{2} \left( \sqrt{(8 \cdot 6,557^2 + 1)} - 1 \right)$$

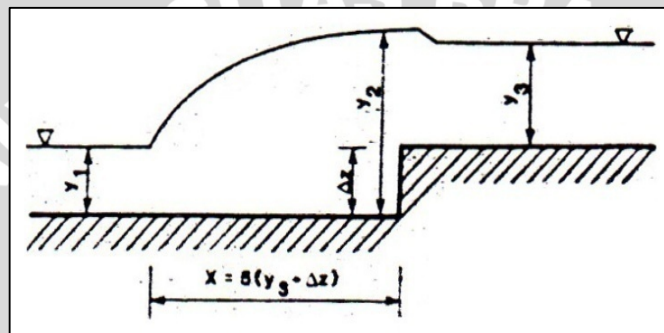
$$= 7,477 \text{ m}$$

$$Fr = \frac{V}{\sqrt{g \cdot y_2}} = \frac{18,946}{\sqrt{9,81 \cdot 7,478}} = 6,557 \text{ (super kritis)}$$

Bilangan Froude di akhir saluran peluncur > 4,50 jadi menggunakan USBR tipe III.

#### 4.5.2. Perhitungan Tinggi Muka Air di Atas *Baffle Block* dan *End Sill*

Perhitungan tinggi muka air di atas ambang menggunakan persamaan *forster* dan *skinder*:



Gambar 4.10. Peredam energi dengan penambahan *end sill*

Diketahui:

$$Q_{100th} = 258,00 \text{ m}^3/\text{dt}$$

$$y_1 = 0,851 \text{ m}$$

$$\text{Froude} = 6,557$$

$$\text{Ketinggian sill} = 1 \text{ m}$$

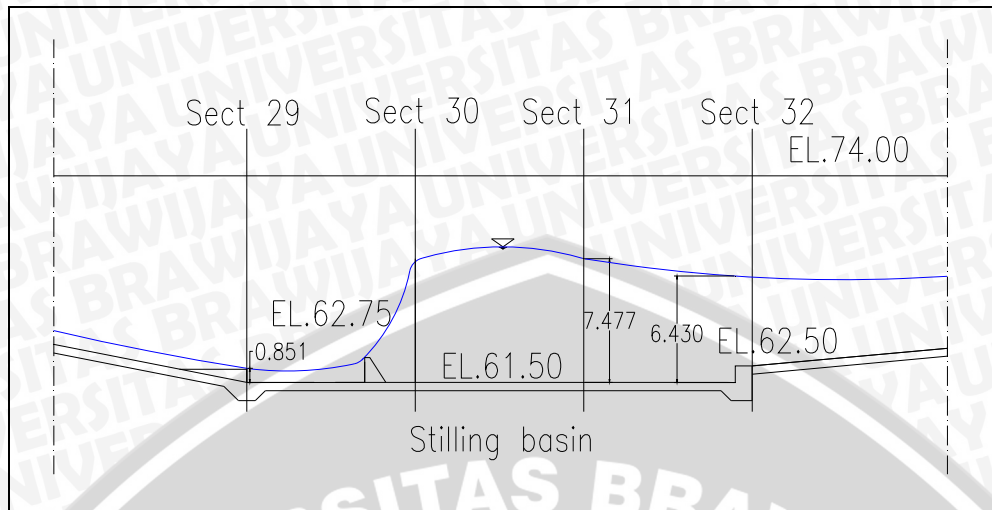
$$B = 16 \text{ m}$$

Penyelesaian:

$$\left( \frac{y_3}{y_1} \right)^2 = 1 + 2F_1^2 \left( 1 - \frac{y_1}{y_3} \right) + \frac{\Delta z}{y_1} \left( \frac{\Delta z}{y_1} - \sqrt{1 + 8F_1^2 + 1} \right)$$

$$= 1 + 6,557^2 \left( 1 - \frac{0,851}{y_3} \right) + \frac{1}{0,851} \left( \frac{1}{0,851} - \sqrt{1 + 8 \cdot 6,557^2 + 1} \right)$$

$$y_3 = 6,43 \text{ m}$$



Gambar 4.11. Sketsa tinggi muka air Q100th dengan penambahan *baffle block* dan *end sill*

### 4.5.3. Hasil Pengukuran Tinggi Muka Air pada Peredam Energi

#### 1. Model Seri 0 / Original Design

Tabel 4.24. Elevasi muka air pada peredam energi Bendungan Gongseng

Section	Jarak per spasial	Lebar Peredam Energi (m)	Elevasi Dasar Peredam Energi	Elevasi Muka Air (m)	
				Q2th	Q100th
29	0.00	16	61.50	61.925	62.458
30	10.00	16	61.50	65.018	63.500
31	10.00	16	61.50	66.150	67.438
32	10.00	16	61.50	66.100	67.450

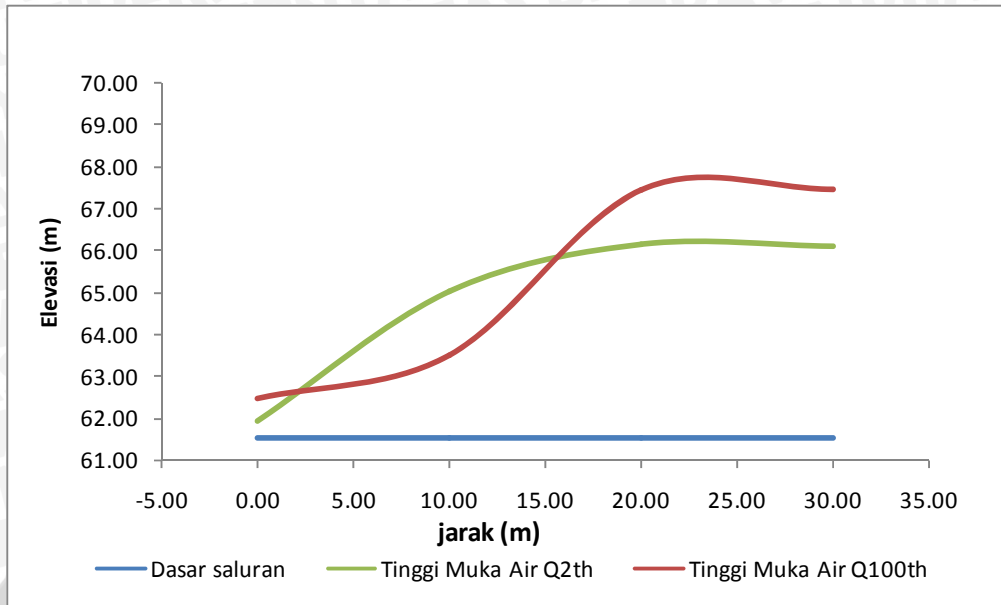
Sumber: Hasil pengukuran

Tabel 4.25. Tinggi muka air dan kecepatan pada peredam energi hasil pengukuran

Section	Q	Tinggi Muka Air	Kecepatan	Fr
	(m <sup>3</sup> /dtk)	h (m)	v (m/dtk)	
32	Q2th	4.600	0.589	0.088
32	Q100th	5.950	1.168	0.153

Sumber : Hasil pengukuran

Pada kondisi original hanya dilakukan pengukuran Q 2th dan Q 100th, di section.32 tinggi muka air dan kecepatan bisa diukur karena kondisi aliran yang tidak fluktuatif dan kondisi alirannya sub kritis.



Gambar 4.12. Tinggi muka air pada peredam energi seri 0 / original design

**2. Model Seri V / Final Design**

Tabel 4.26. Elevasi muka air pada peredam energi Bendungan Gongseng

Section	Jarak per spasial	Lebar Peredam Energi (m)	Elevasi Dasar Peredam Energi	Elevasi Muka Air (m)	
				Q2th	Q100th
29	0.00	16	61.50	61.925	62.745
30	10.00	16	61.50	66.783	67.300
31	10.00	16	61.50	66.867	67.917
32	10.00	16	61.50	66.750	67.933

Sumber: Hasil pengukuran

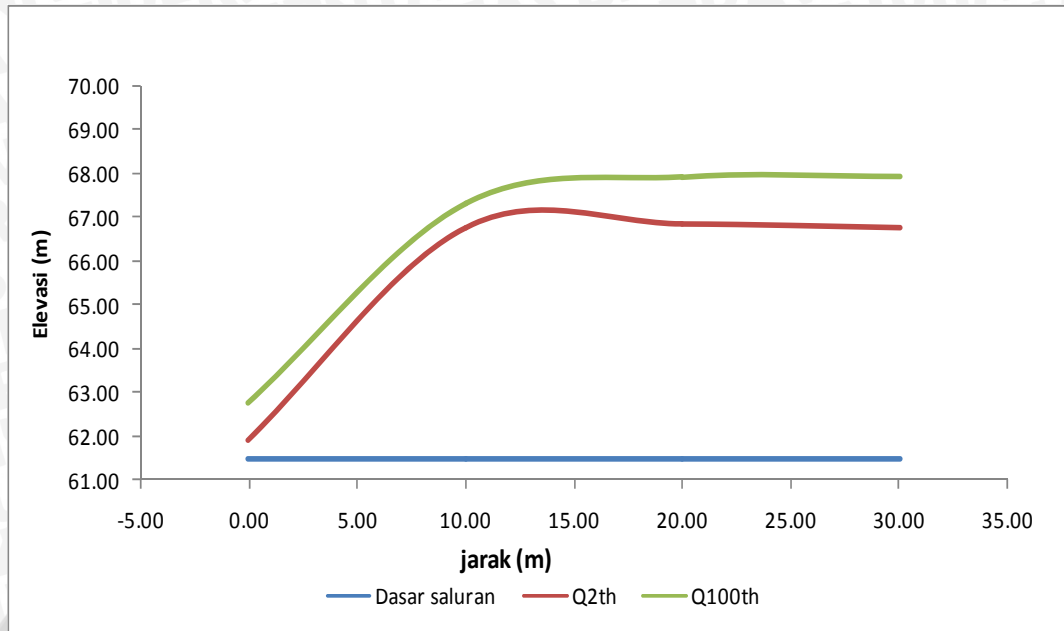
Tabel 4.27. Tinggi muka air dan kecepatan pada peredam energi hasil pengukuran

Section	Q	Tinggi Muka Air	Kecepatan	Fr
	(m <sup>3</sup> /dtk)	h (m)	v (m/dtk)	
32	Q2th	5.250	0.561	0.078
32	Q100th	6.433	1.237	0.156

Sumber: Hasil pengukuran

Pada peredam energi sebagai kontrol digunakan pada section 32 karena kecepataannya bisa diukur, sedangkan pada section 29 – section 31 aliran yang terjadi fluktuatif sehingga air tidak bisa di ukur kecepataannya dengan alat ukur *pitot tube*.

Untuk perencanaan desain peredam energi menggunakan Q100th.



Gambar 4.13. Tinggi muka air pada peredam energi seri V / final design

**4.6. Kontrol Elevasi Muka Air pada Saluran Pengarah Hilir**

**4.6.1. Tail Water Level Saluran Pengarah Hilir Penampang Persegi**

Saluran pengarah hilir digunakan untuk mengendalikan *TWL* (*Tail Water Level*) sebelum masuk ke sungai. Pendekatan liku debit (*rating curve*) menggunakan persamaan manning:

Tabel 4.28. Liku debit saluran pengarah hilir

Elevasi	$\Delta H$ (m)	B (m)	A (m <sup>2</sup> )	P (m)	R (m)	V (m/dt)	Q (m <sup>3</sup> /dt)
1	2	3	4	5	6	7	8
65.000	0.000	16.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000
65.250	0.250	16.000	4.000	16.500	0.242	0.687	2.749
66.250	1.250	16.000	20.000	18.500	1.081	1.862	37.242
67.250	2.250	16.000	36.000	20.500	1.756	2.573	92.632
68.250	3.250	16.000	52.000	22.500	2.311	3.090	160.685
69.250	4.250	16.000	68.000	24.500	2.776	3.491	237.408
70.250	5.250	16.000	84.000	26.500	3.170	3.815	320.425

Sumber: Hasil perhitungan

Keterangan:

- 1. Diketahui
- 2.  $[1]_{n+1} - [1]_n$
- 3. Diketahui
- 4.  $\{[3] + 1,5 \times [2]\} \times [2]$
- 5.  $[3] + 2 \times [2] \times (1+1,5^2)^{0,5}$
- 6.  $[4] / [5]$
- 7.  $(1/0,002) \times [6]^{4/3} \times 0,002^{0,5}$
- 8.  $[4] \times [7]$

Contoh langkah perhitungan parameter hidraulik (F) pada TWL sebagai berikut:

$n = 0,04 ; s = 0,005, z = 0$

dari **Tabel 4.29.** dan **Gambar 4.12.** dengan  $Q_{100th} = 258 \text{ m}^3/\text{dt}$  didapatkan  $h = 4,498 \text{ m}$ , maka:

$$v = \frac{Q}{A} = \frac{258}{71,97} = 3,58 \text{ m/dt}$$

$$\text{Kondisi aliran} = F = \frac{3,58}{\sqrt{9,81 \times 4,498}} = 0,54 \text{ (aliran sub kritis)}$$

Tabel 4.29. Tinggi muka air hilir sungai

Debit Rencana	Elevasi Muka Air	H (m)	A (m <sup>2</sup> )	P (m)	R (m)	V (m/dt)	Froude	Q (m <sup>3</sup> /dt)
1	2	3	4	5	6	7	8	8
Q2th	67.21	2.211	35.37	20.42	1.73	2.55	0.55	90.46
Q100th	69.50	4.498	71.97	25.00	2.88	3.58	0.54	258.00

Sumber: Hasil perhitungan

#### 4.6.2. Tail Water Level Saluran Pengarah Hilir Penampang Trapesium

Pada kalibrasi kondisi aliran adalah pada *TWL (Tail Water Level)*. **Tabel 4.30.**

berikut menyajikan liku debit TWL:

Tabel 4.30. Liku debit saluran pengarah hilir

Elevasi	ΔH (m)	B (m)	A (m <sup>2</sup> )	P (m)	R (m)	V (m/dt)	Q (m <sup>3</sup> /dt)
1	2	3	4	5	6	7	8
65.000	0.000	24.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000
65.250	0.250	24.000	6.038	24.583	0.246	0.693	4.186
66.250	1.250	24.000	30.938	26.915	1.149	1.940	60.011
67.250	2.250	24.000	57.038	29.248	1.950	2.759	157.385
68.250	3.250	24.000	84.338	31.580	2.671	3.403	286.978

Sumber: Hasil perhitungan

Keterangan:

- Diketahui
- $[1]_{n+1} - [1]_n$
- Diketahui
- $\{[3] + 1,5 \times [2]\} \times [2]$
- $[3] + 2 \times [2] \times (1+1,5^2)^{0,5}$
- $[4] / [5]$
- $(1/0,002) \times [6]^{4/3} \times 0,002^{0,5}$
- $[4] \times [7]$

Contoh langkah perhitungan parameter hidraulik (F) pada TWL sebagai berikut:

$$n = 0,04 ; s = 0,005, z = 0.6$$

dari **Tabel 4.31.** dan **Gambar 4.12** dengan  $Q_{100th} = 258 \text{ m}^3/\text{dt}$  didapatkan  $h = 3,026 \text{ m}$ , maka:

$$v = \frac{Q}{A} = \frac{258}{78,13} = 3,27 \text{ m/dt}$$

$$\text{Kondisi aliran} = F = \frac{3,27}{\sqrt{9,81 \times 3,026}} = 0,60 \text{ (aliran sub kritis)}$$

Tabel 4.31. Tinggi muka air hilir sungai

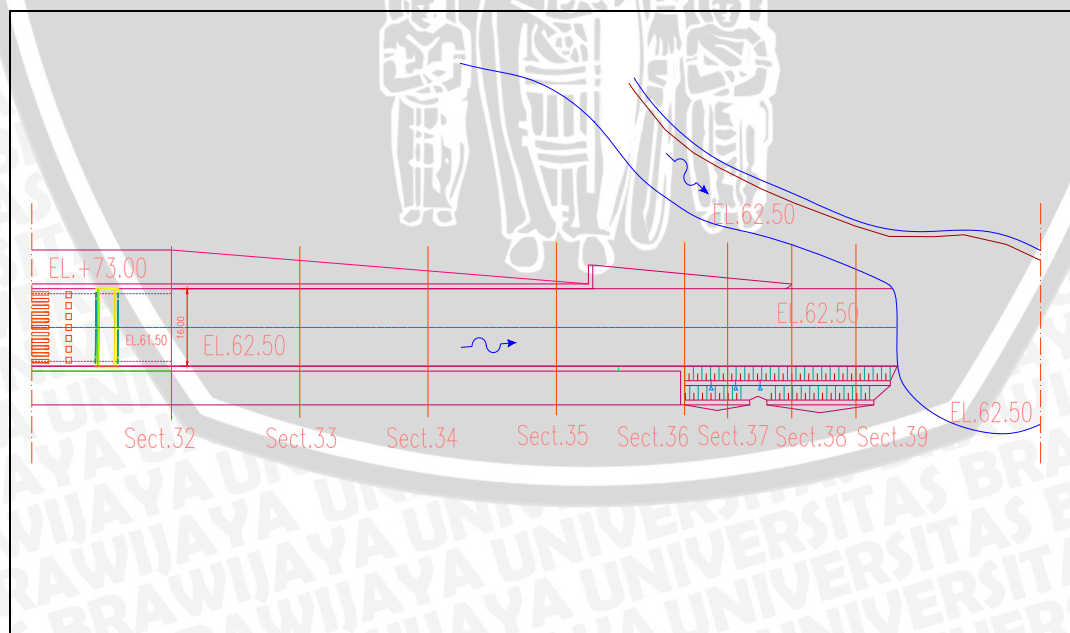
Debit Rencana	Elevasi Muka Air	H (m)	A (m <sup>2</sup> )	P (m)	R (m)	V (m/dt)	Froude	Q (m <sup>3</sup> /dt)
1	2	3	4	5	6	7	8	9
Q2th	66.56	1.563	38.97	27.64	1.41	2.22	0.57	90.46
Q100th	68.03	3.026	78.13	31.06	2.52	3.27	0.60	258.00

Sumber: Hasil perhitungan

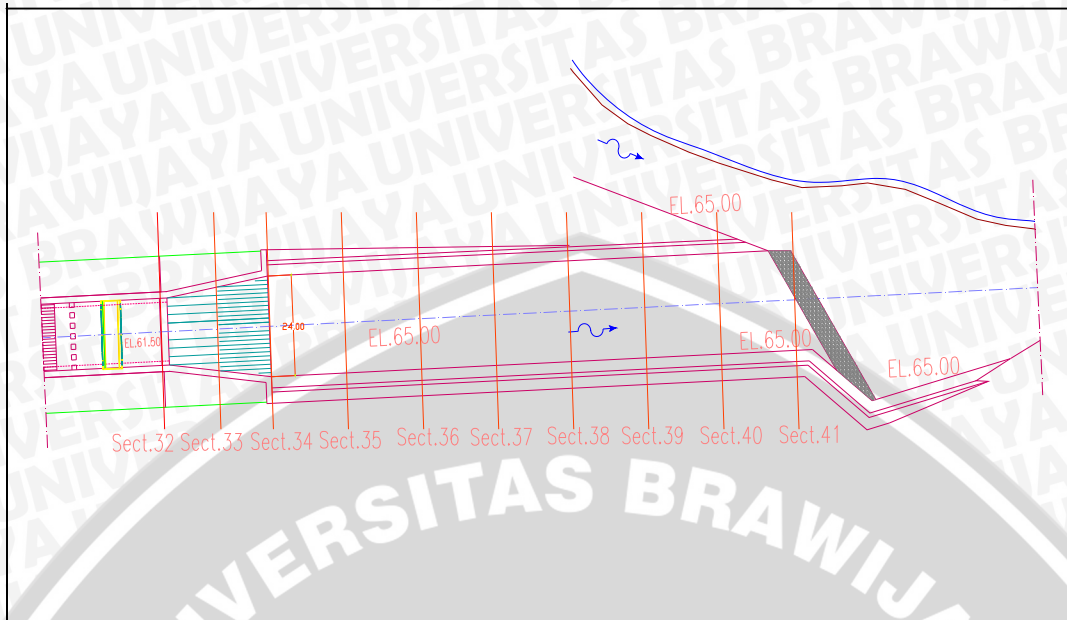
Hasil perbandingan TWL saluran pengarah hilir antara penampang persegi dan penampang trapesium membuktikan bahwa tinggi air (h) dan kecepatan (V) penampang trapesium lebih rendah dari pada penampang persegi. Hal ini yang menjadikan penampang trapesium lebih efektif, karena akan mempengaruhi kondisi gerusan dalam dan kondisi *back water* menjadi tidak tinggi. Sehingga pada *final design* menggunakan perubahan penampang saluran hilir bentuk trapesium.

**4.6.3. Hasil Pengukuran Tail Water Level Saluran Pengarah Hilir Penampang Persegi dan Penampang Trapesium**

Dengan pencocokan tabel rasio model untuk koefisien manning  $n_u = 1,919$  dan koefisien manning model ( $n = 0,04/1,919 = 0,021$ ). Diambil titik TWL section.34 pada penampang persegi dan di section.37 pada penampang trapesium, untuk itu maka di lakukan pengecekan pada koefisien manningnya, pada penampang persegi maupun trapesium. Serta dilihat prosentase kesalahan relatifnya. Untuk lebih jelasnya Lihat **Gambar 4.14.** dan **Gambar 4.15.** berikut:



Gambar 4.14. Potongan memanjang saluran pengarah hilir penampang persegi



Gambar 4.15. Potongan memanjang saluran pengarah hilir penampang trapesium

Untuk  $I=0,005$  dapat dilihat pada **Tabel 4.34.** dan **Tabel 4.35.** berikut:

Tabel 4.32. Hasil pengukuran pada penampang persegi saluran pengarah hilir

Q (m <sup>3</sup> /dt)	Elevasi	H (m)	B (m)	A (m <sup>2</sup> )	P (m)	R (m)	V (m/dt)	n	KR
	Muka Air								
90.46	67.260	2.260	16.000	36.160	20.520	1.762	2.550	0.040	1.96%
258.00	68.720	3.720	16.000	59.520	23.440	2.539	3.250	0.040	2.46%

Sumber: Hasil pengukuran

Keterangan: Untuk penampang persegi hanya dilakukan pengukuran Q2th dan Q100th.

Contoh perhitungan penampang trapesium hasil pengukuran pada TWL sebagai berikut:

$$\text{Untuk } Q_{100\text{th}}: v = \frac{1}{n} \cdot R^{2/3} \cdot I^{1/2}$$

$$R = A/P = \frac{59,520}{16 + (2,3,720)} = 2,539 \text{ m}$$

$$\text{Maka koefisien manningnya } (n) = 3,250 = \frac{1}{n} \cdot (2,539)^{2/3} \cdot (0,005)^{1/2}$$

$$n = 0,040$$

Tabel.4.33. Hasil pengukuran pada penampang trapesium saluran pengarah hilir

Q (m <sup>3</sup> /dt)	Elevasi	H (m)	B (m)	A (m <sup>2</sup> )	P (m)	R (m)	V (m/dt)	n	KR
	Muka Air								
90.46	66.570	1.570	24.000	39.159	27.662	1.416	2.310	0.039	3.79%
258.00	68.000	3.000	24.000	77.400	30.997	2.497	3.333	0.039	1.91%

Sumber: Hasil pengukuran

Contoh perhitungan penampang trapesium hasil pengukuran pada TWL sebagai berikut:

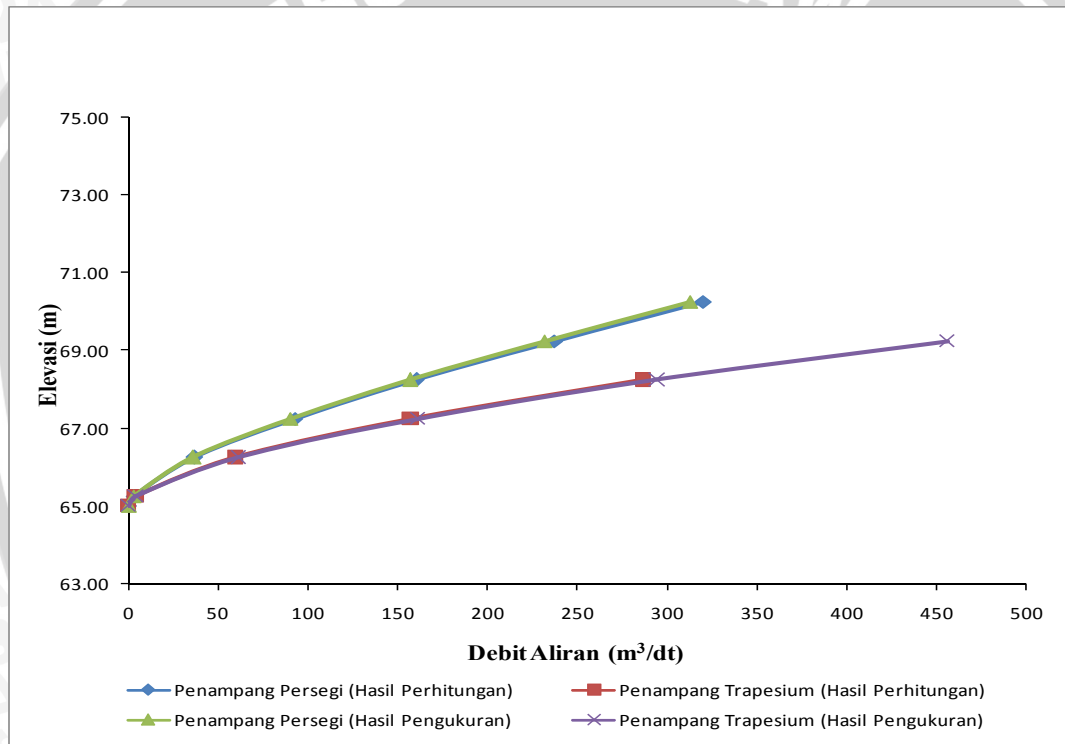
Untuk Q100th:  $v = \frac{1}{n} \cdot R^{2/3} \cdot I^{1/2}$

$$R = A/P = \frac{39,159}{24 + 2.3,00 \cdot (1 + 0,005^2)^{0.5}} = 2,497 \text{ m}$$

Maka koefisien manningnya (n) =  $3,333 = \frac{1}{n} \cdot (2,497)^{2/3} \cdot (0,005)^{1/2}$

n = 0,039

Pada Bendungan Gongseng perencanaan desain menggunakan Q100th, untuk penampang trapesium saluran pengarah hilir koefisien manning nilainya sama dengan koefisien manning pada rasio permodelan yaitu n= 0,040. Jadi penggunaan koefisien manning didasarkan pada perencanaan Q100th.



Gambar 4.16. Rating curve *Tail Water Level* penampang persegi dan penampang trapesium

Pada penampang trapesium saluran pengarah hilir menunjukkan apabila tinggi muka air (H) lebih rendah sedangkan kecepatan (V) yang ditimbulkan tinggi, ini akan mendorong aliran ke hilir atau sungai sehingga tinggi muka air pada *back water* menjadi rendah namun pengaruhnya di bagian hilir yaitu terjadi gerusan lokal yang dalam, namun gerusan lokal yang terjadi kondisinya masih aman.



#### 4.7. Gerusan Setempat (*Local Scouring*)

Perhitungan gerusan lokal untuk hilir peredam energi merupakan bagian penting untuk mengamankan morfologi sungai. Kedalaman gerusan didekati dengan beberapa metode sebagai berikut:

- Untuk persamaan Schoklitsch,  $S = \frac{4,70 \cdot He^{0,2} \cdot q^{0,57}}{D_{90}^{0,32}} - dm$
- Untuk persamaan Veronise,  $S = (KxHe^{0,255} x q^{0,54}) - dm$

dengan :

S = Kedalaman Gerusan (*local scouring*) yang terjadi di hilir bangunan

He = Jarak vertikal antara garis energi dengan permukaan air di hilir bangunan (m)

q = Debit persatuan lebar m<sup>2</sup>/dtk

dm = Kedalaman aliran di hilir bangunan (m)

D = Ukuran butiran (mm)

Contoh Perhitungan untuk Q2th:

Data-data sebagai berikut:

Q2th = 90,46 m<sup>3</sup>/dt

b = 24 m

v = 3,008 m/dt

dm = 1,188 m

He = 3,329 m

D<sub>85</sub> dan D<sub>90</sub> = 400 mm

maka:

q = Q/b

= 90,46/24

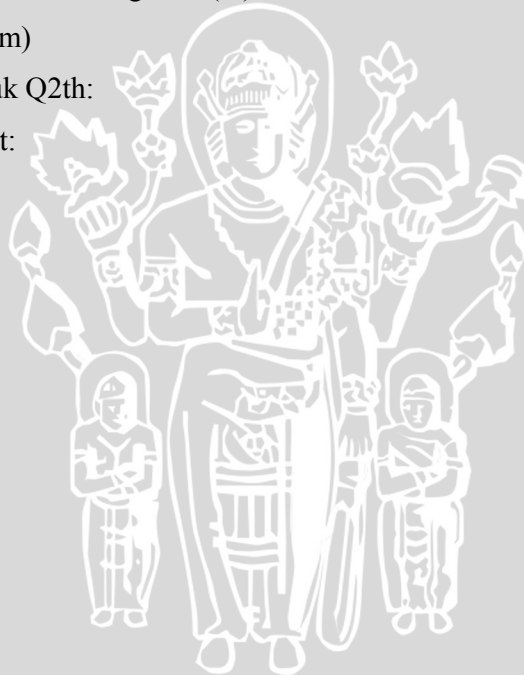
= 3,769 m<sup>3</sup>/dt/m

Metode Schoklitsch:

$$\begin{aligned}
 S &= 4,75 \frac{He^{0,2} \cdot q^{0,57}}{D_{90}^{0,32}} - dm \\
 &= 4,75 \frac{3,329^{0,2} \cdot 3,769^{0,57}}{400^{0,32}} - 1,188 \\
 &= 1,724 \text{ m}
 \end{aligned}$$

Metode Veronise:

$$S = (1,90 \times He^{0,225} \times q^{0,54}) - dm$$



$$= (1,90 \times 3,329^{0,225} \times 3,769^{0,54}) - 1,188$$

$$S = 4,098 \text{ m}$$

Hasil perhitungan gerusan lokal untuk semua metode dapat dilihat pada **Tabel 4.34**.

Tabel 4.34. Perhitungan gerusan lokal pada hilir bangunan

Q (m <sup>3</sup> /dt)	B (m)	q (m)	D (mm)	dm (m)	V (m/dt)	h2 (m)	He (m)	Schoklitsch (m)	Veronise (m)
90.46	24	3.769	400	1.188	3.008	4.056	3.329	1.724	4.098
258.00	24	10.750	400	2.280	4.449	7.478	6.207	3.298	8.632
368.56	24	15.357	400	2.813	5.020	9.047	7.518	4.096	11.079
786.15	24	32.756	400	4.505	6.503	13.482	11.132	6.471	18.610

Sumber: Hasil perhitungan

Analisa ini diperlukan untuk mengetahui gerusan setempat (*local scouring*) yang terjadi pada pertemuan saluran pengarah hilir dengan sungai bagian hilir. Kedalaman gerusan yang terjadi tanpa adanya perlindungan sungai cukup dalam sampai 9 m pada Q1000th. Pola Gerusan QPMF lebih dangkal dibandingkan dengan Q1000th tetapi pola penyebaran pada QPMF lebih menyebar dibandingkan dengan Q1000th yang cenderung terpusat.

Tabel 4.35. Hasil pengukuran gerusan lokal pada hilir bangunan

Kala Ulang	Q (m <sup>3</sup> /dt)	Hasil Pengukuran	
		Kedalaman Gerusan Tanpa Perlindungan Sungai (m)	Kedalaman Gerusan dengan Perlindungan Sungai (m)
Q2th	90.46	0,35	0
Q100th	258.00	2,55	0
Q1000th	368.56	4,00	1,70
QPMF	786.15	6,50	2,70

Sumber: Hasil pengukuran

#### 4.8. Batuan Lindung (Rip-Rap)

Rip-rap direncanakan sepanjang saluran pengarah hilir. Melihat hasil gerusan setempat (*local scouring*) yang cukup dalam, maka direkomendasikan untuk pemberian rip-rap pada akhir saluran pengarah hilir (pertemuan dengan sungai hilir) selebar 5 m.

Untuk menentukan besarnya diameter butir batuan lindung pada akhir saluran pengarah hilir (pertemuan dengan sungai bagian hilir), yaitu dapat didekati menggunakan kurva yang menunjukkan ukuran maksimum batuan yang diperbolehkan sebagai bahan campuran rip-rap. Kurva tersebut merupakan hasil pengujian lapangan yang dilakukan pada *Bureau of Reclamation Hydraulic Laboratory* terhadap beberapa

jenis batuan, seperti pasir, kerikil, dan batuan lainnya dengan ukuran lebih dari 2,5 inci.

Dari kurva tersebut diketahui bahwa dengan kecepatan sebesar 5,00 m/dt (16,402 ft/sc) didapatkan berat batuan untuk rip-rap adalah sebesar 2000 pounds/ft<sup>3</sup> (3000 kg/m<sup>3</sup>), dengan diameter rip-rap adalah 0,80 m. Berdasarkan berat jenis batuan sebesar 3000 kg/m<sup>3</sup>, dapat diketahui batuan yang sesuai untuk rip-rap adalah jenis batuan gabro. Namun pada kondisi lapangan jenis batuan yang ada yaitu batu gamping kristalin, sehingga perlu dilakukan perhitungan untuk memenuhi kebutuhan yang ada.

#### 4.8.1. Perhitungan Rip-Rap

Untuk menentukan besarnya diameter butir batuan lindung hilir peredam energi dapat didekati menggunakan 3 metode, yaitu:

##### 1. Maynard

$$\frac{D_{50}}{Y_o} = C \times F^3$$

Dengan :

$D_{50}$  = ukuran partikel median pada rip-rap (m)

$Y_o$  = kedalaman air (m)

$F$  =  $U_o / (g \cdot Y_o)^{0,50}$

$U_o$  = kecepatan (m/det)

$C$  = koefisien

Tabel 4.36. Ketentuan koefisien (C) metode Maynard

Kemiringan	Faktor Keamanan	Koefisien (C)
Datar	1,0	0,22
Datar	1,5	0,25
Datar	2,0	0,28
3 H : 1 V atau <	1,0	0,22
3 H : 1 V atau <	1,5	0,25
3 H : 1 V atau <	2,0	<b>0,28</b>
2 H : 1 V	1,0	0,26
2 H : 1 V	1,5	0,30
2 H : 1 V	2,0	0,32

Sumber: Anonim, 1989:94

Tabel 4.37. Pengali untuk kecepatan aliran maksimum

Lokasi	Pengali
Di ujung krib ( <i>groynes</i> ) & tanggul pengarah	2,0
Di belokan	1,5
Di bagian lurus	1,25

Sumber: Anonim, 1989:94

**2. Isbash**

$$U_{cr} = 1,2 \times (2 \Delta g D)^{0,5} = 1,2 \times (\Delta g D)^{0,5}$$

Dengan:

$U_{cr}$  = kecepatan kritis (m/det)

$\Delta$  = rapat massa relatif

D = diameter batuan (m)

**3. USBR**

$$D_{50} = 0,041 \times V^2$$

Dengan:

V = kecepatan aliran (m/det)

$D_{50}$  = ukuran rip-rap rata-rata (m)

Tabel 4.38. Perhitungan diameter butiran sebagai perlindungan konstruksi di hilir

Q (m <sup>3</sup> /dtk)	H (m)	V (m/dtk)	F	C	D50	$\Delta$	D	D50
					Maynord		Isbash	USBR
2	90.46	0.78	1.00	0.280	0.218	2.10	0.26	0.31
100	258.00	1.73	0.81	0.280	0.257	2.10	0.38	0.46
1000	368.56	1.83	1.18	0.280	0.841	2.10	0.84	1.02
PMF	786.15	2.33	12.84	2.69	12.660	2.10	5.56	6.76

Sumber : Hasil perhitungan

Dengan memperhatikan hasil perhitungan empirik tersebut, pada Bendungan Gongseng untuk rip-rap yang digunakan adalah jenis batuan gamping kristalin dengan berat jenis 2500 – 2700 kg/m<sup>3</sup>. Berdasarkan perhitungan diameter butiran dengan pendekatan D50 USBR yang dilihat dari grafik yaitu sebesar 0,31 m sedangkan hasil perhitungan 0,31 m. Jadi diameter butiran di bagian outlet saluran pengarah hilir digunakan dengan uji model Q2th.

## 4.9. Pengolahan Data Model

### 4.9.1. Perhitungan Muka Air

Perhitungan tinggi muka air menggunakan alat ukur *point gauge* dengan ketelitian 0,1 mm yang dipasang pada alat ukur debit dan pada titik-titik pengukuran yang ditinjau.

Elevasi muka air dapat dihitung dengan menggunakan persamaan berikut:

$$E = \text{EPG} + \left[ (\text{IPG} - b) \times \left( \frac{\text{skala}}{100} \right) \right]$$

dengan skala model 1:50, maka:

$$E = \text{EPG} + \left[ (\text{IPG} - b) \times \left( \frac{50}{100} \right) \right]$$

Dengan:

E = elevasi muka air prototipe

EPG = elevasi yang dipakai sebagai indeks alat ukur (m)

IPG = bacaan *point gauge* pada elevasi indeks

B = bacaan *point gauge* pada titik yang ditinjau

Contoh perhitungan:

Data Pengukuran *Original Design* Q100th pada as pelimpah:

El. Dasar = +89,00 m

Q100th = 258,00 m<sup>3</sup>/dt

EPG = +89,00 m

IPG = 0 = 49,7

b = 46,8 m

Maka:

$$E = 89,00 + \left[ (49,7 - 46,8) \times \left( \frac{50}{100} \right) \right]$$

$$= 90,45 \text{ m}$$

Untuk perhitungan pengukuran tinggi muka air yang lain disajikan pada **Lampiran 1**.

### 4.9.2. Perhitungan Kecepatan

Pengukuran distribusi kecepatan ini dengan menggunakan alat *pitot tube*. Untuk menghitung kecepatan di prototipe menggunakan persamaan:

$$V_m = C_p \cdot \sqrt{2gh}$$

$$V_p = V_m \cdot n_h^{\frac{1}{2}}$$

Dengan:

$V_m$  = kecepatan di model (m/dt)

$C_p$  = koefisien pitot tube  
= 0,98

$h$  = beda tinggi air pada pitot tube (m)

$V_p$  = kecepatan di prototipe (m/dt)

$n_h$  = skala model

Contoh perhitungan:

Data pengukuran kecepatan pada saluran samping *section 4* As (tengah)

$Q_{100th} = 258,00 \text{ m}^3/\text{dt}$

$h_{atas} = 3,3 \text{ cm}$

$h_{tengah} = 1,8 \text{ cm}$

$h_{bawah} = 0,6 \text{ cm}$

maka:

$$h = h_{rerata} = 1/3 \times (3,3+1,8+0,6) \\ = 1,9 \text{ cm} = 0,019 \text{ m}$$

$$V_m = 5,46 \times \sqrt{2 \times 9,81 \times 0,019} = 0,3334 \text{ m/dt}$$

Maka, kecepatan aliran pada prototipe:

$$V_p = 0,3334 \times (50)^2 = 2,13 \text{ m/dt}$$

Jadi kecepatan di prototipe sebesar 2,13 m/dt.

Untuk perhitungan data pengukuran kecepatan yang lain disajikan pada **Lampiran 2**.

#### 4.9.3. Perhitungan Tinggi Tekan

Pengukuran tinggi tekan dengan menggunakan pizometer. Untuk menghitung tinggi tekan di prototipe menggunakan persamaan berikut:

$$H_p = H_m \times n_h$$

Dengan:

$H_p$  = tinggi tekan di prototipe (m)

$H_m$  = tinggi tekan di model (m)

$n_h$  = skala model

Contoh perhitungan:

Data pengukuran tinggi tekan pada pizometer pelimpah nomor 1

$Q_{100th} = 258,00 \text{ m}^3/\text{dt}$

$H_m = 1,2 \text{ cm} = 0,012 \text{ m}$

Maka:

$$H_p = 0,012 \times 50 = 0,6 \text{ m}$$

Jadi tinggi tekan di prototipe adalah 0,6 m.

Untuk perhitungan data pengukuran tinggi tekan yang lain disajikan pada **Lampiran 3**.

#### 4.10. Kalibrasi dan Verifikasi Model

##### 4.10.1. Kalibrasi

Kalibrasi dapat didefinisikan sebagai penyesuaian parameter yang ada di model dengan parameter yang ada di prototipe, sehingga dapat dipakai sebagai acuan untuk pengukuran selanjutnya.

Di dalam model ini yang perlu dilakukan adalah kalibrasi muka air, debit dan kondisi aliran.

##### A. Muka Air

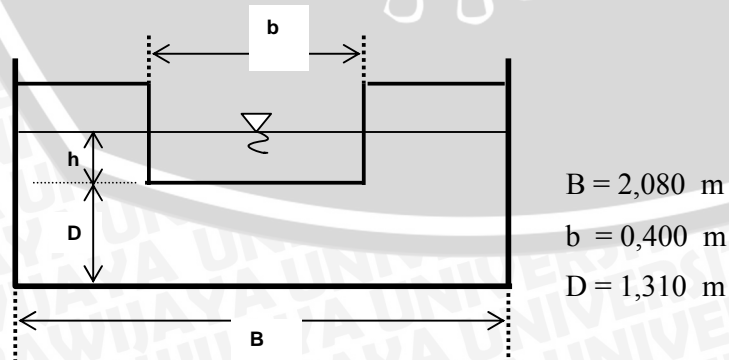
Kalibrasi dilakukan dengan cara memeriksa apakah debit yang melimpas pada pelimpah sudah sesuai dengan debit prototipe, dengan cara mengamati elevasi muka air di hulu bendung.

Kekasaran dasar saluran selalu ditandai dengan ukuran dan bentuk butiran bahan yang membentuk dasar saluran sehingga menimbulkan pengaruh hambatan terhadap aliran yang pada akhirnya akan menaikkan elevasi muka air.

##### B. Debit Aliran

Untuk mengetahui apakah debit di model sudah sesuai dengan kondisi prototipe, perlu dilakukan uji pendahuluan (*running test*). Elevasi muka air di hulu bendung dicapai hingga konstan kemudian akan diperoleh debit di alat ukur debit rechbox. Hasil debit tersebut akan dibandingkan dengan kondisi debit di prototipe.

Debit aliran yang masuk ke model diukur dengan ambang lebar tipe rechbox dengan dimensi seperti **Gambar 4.17**. berikut:



Gambar 4.17. Dimensi alat ukur debit rechbox

Untuk mengetahui berapa besarnya debit aliran yang melalui alat ukur debit rechbox dapat digunakan rumus sebagai berikut:

$$Q = k.b.h^{3/2}$$

Dengan:

$$Q = \text{debit (m}^3/\text{dt)}$$

K = koefisien debit

$$K = 107.1 + \frac{0.177}{h} + 14.2 \frac{h}{D} - 25.7 \sqrt{\frac{(B-b)h}{DB}} + 2.04 \sqrt{\frac{B}{D}}$$

B = lebar mercu (m)

h = kedalaman air di atas mercu (m)

B = lebar saluran (m)

D = tinggi dari dasar saluran ke dasar mercu (m)

Langkah pengukuran:

1. Tentukan index point gauge (IPG) dengan menyentuhkan ujung jarum point gauge pada *crest* alat ukur debit.
2. Gerakkan dan atur jarum point gauge sehingga angka nol tepat pada angka meteran taraf pada angka 38, sehingga  $IPG = 0 = 38$ .
3. Ukur tinggi pada alat ukur dengan menyentuhkan ujung jarum P.G pada muka air, meteran taraf dibaca dan dicatat.
4. Harga k masukkan dalam rumus alat ukur debit, maka dapat dihitung besarnya debit percobaan.
5. Besarnya debit percobaan selanjutnya akan dibandingkan dengan tinggi muka air di hulu pelimpah. Jika pada salah satu debit percobaan, tinggi muka air di hulu pelimpah sudah sama atau mendekati nilai tinggi muka air hasil *routing* waduk, maka debit aliran yang lewat di alat ukur rechbox dianggap benar.
6. **Tabel 4.39.** merupakan sajian mengenai hubungan tinggi muka air (H) dan debit (Q) alat ukur rechbox yang digunakan pada percobaan.



Tabel 4.39. Liku debit alat ukur rechbox

<b>h (m)</b>	<b>K</b>	<b>Q (m<sup>3</sup>/menit)</b>	<b>Q (ltr/dtk)</b>
0.005	143.698	0.020	0.339
0.010	125.461	0.050	0.836
0.015	119.162	0.088	1.459
0.020	115.883	0.131	2.185
0.025	113.831	0.180	3.000
0.030	112.400	0.234	3.894
0.035	111.332	0.292	4.860
0.040	110.493	0.354	5.893
0.045	109.811	0.419	6.988
0.050	109.240	0.489	8.142
0.055	108.752	0.561	9.352
0.060	108.328	0.637	10.614
0.065	107.953	0.716	11.927
0.070	107.619	0.797	13.288
0.075	107.317	0.882	14.695
0.080	107.042	0.969	16.147
0.085	106.791	1.059	17.643
0.090	106.559	1.151	19.181
0.095	106.344	1.246	20.759
0.100	106.143	1.343	22.377
0.105	105.955	1.442	24.033
0.110	105.779	1.544	25.727
0.115	105.613	1.647	27.458
0.120	105.456	1.753	29.225
0.125	105.307	1.862	31.026
0.130	105.165	1.972	32.862
0.135	105.030	2.084	34.732
0.140	104.902	2.198	36.634
0.145	104.779	2.314	38.569
0.150	104.661	2.432	40.535
0.155	104.548	2.552	42.533
0.160	104.439	2.674	44.561
0.165	104.335	2.797	46.619
0.170	104.234	2.922	48.707

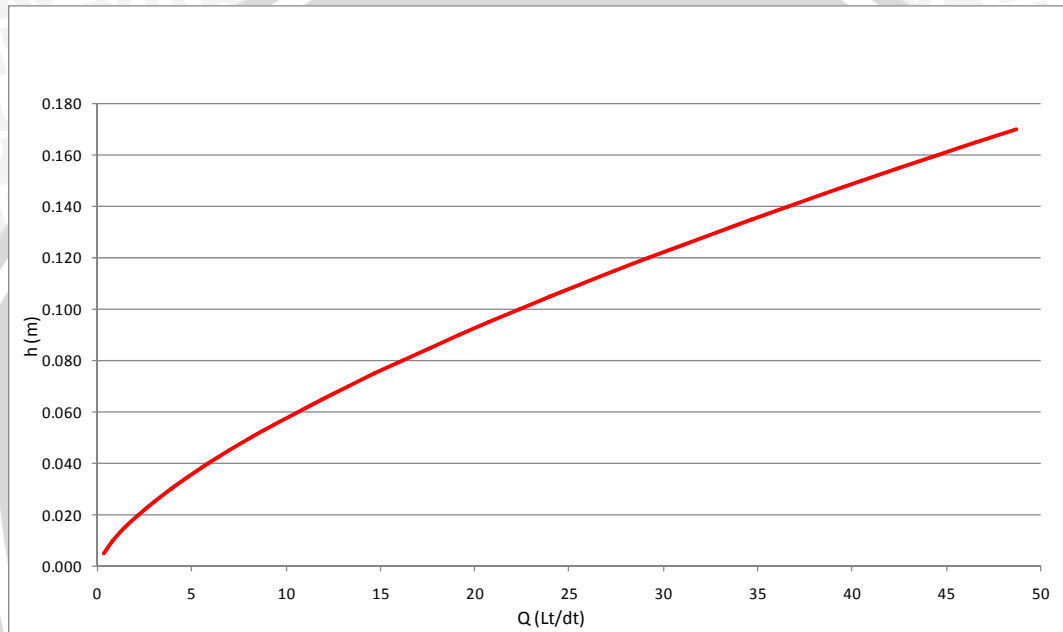
Sumber : Hasil perhitungan



Tabel 4.40. Bacaan rechbox pada debit rencana

Kala Ulang	Q prototipe m <sup>3</sup> /dtk	Q model liter/dtk	Bacaan Rechbox	Tinggi Muka Air Pada Rechbox (cm)
Q 2th	90.460	5.117	41.62	3.632
Q 100th	258.000	14.595	45.46	7.472
Q 1000th	368.560	20.849	47.53	9.533
Q PMF	786.150	44.471	53.98	15.962

Sumber : Hasil perhitungan



Gambar 4.18. Lengkung debit alat ukur rechbox Bendungan Gongseng

#### 4.10.2. Verifikasi

Verifikasi adalah suatu tahapan uji atau tahap pelaksanaan pengujian kesesuaian parameter model dengan prototipe.

Untuk mengetahui apakah model dibuat sudah sesuai dengan kondisi prototipe, perlu dilakukan uji pendahuluan (*running test*). Tolak ukur kebenaran dan kesesuaian antara model dan prototipe ini didasarkan pada perbandingan parameter hasil yang diperoleh dari pengukuran model dengan desain dan pengamatan di lapangan (prototipe).

Nilai kebenaran model didasarkan pada perbandingan tinggi muka air di atas pelimpah ( $H_d$ ) yang merupakan hasil pengujian model dengan penghitungan yang telah dilakukan. Adapun kebenaran model tersebut ditabelkan pada **Tabel 4.41**. berikut:

Tabel 4.41. Tingkat kesalahan relatif Hd hasil pengujian

Debit	Diatas pelimpah		Ujung transisi		Kesalahan (%)	
	(Hd)Hitungan	(Hd)Model	(H)Hitungan	(H)Model	Pelimpah	Transisi
Q <sub>2</sub>	0.884	0.900	1.483	1.500	1.812	1.146
Q <sub>100</sub>	1.698	1.700	2.982	3.049	0.124	2.247
Q <sub>1000</sub>	2.118	2.150	3.782	4.041	1.531	6.848
Q <sub>PMF</sub>	3.359	3.400	6.267	5.832	1.232	6.941

Sumber: Hasil pengukuran dan perhitungan

Selanjutnya koefisien limpahan yang diperoleh dengan hasil uji coba model sebagai berikut:

Tabel 4.42. Nilai koefisien limpahan (C) dan tinggi muka air di atas pelimpah (Hd) Hasil uji model

Kala Ulang (th)	Q Outflow (m <sup>3</sup> /det)	C (m <sup>0,5</sup> /dt)	H <sub>d</sub> (m)
2	90.46	1.926	0.900
100	258.00	2.116	1.700
1000	368.56	2.126	2.150
PMF	786.15	2.280	3.400

Sumber: Hasil perhitungan

#### 4.11. Kesalahan Relatif

##### 4.11.1. Analisa Perambatan Kesalahan

Dalam menganalisis perambatan kesalahan pada suatu uji model ke hasil penelitian dapat dilakukan dengan menggunakan metode *quadratic error propagation* berikut ini:

- a. Kesalahan relatif debit pada alat ukur rechbox

$$Q = Kbh^{3/2}$$

Kesalahan dari K = 1

Kesalahan b = 0,1

$$\text{Kesalahan } h = \frac{100}{180} \% = \left(\frac{2}{3}\right) \%$$

Dengan menggunakan metode *quadratic error propagation* maka persamaannya menjadi:

$$r_Q^2 = r_K^2 + r_b^2 + \frac{9}{4}(r_h)^2$$

$$r_Q = \sqrt{1,0^2 + 0,1^2 + \frac{9}{4} \left(\frac{2}{3}\right)^2} = \sqrt{2,01} = 1,4\%$$

Kesalahan debit sebesar 1,4% berlaku apabila nilai  $h_{rechbox}$  sesuai dengan ketentuan yang ada yaitu antara  $0,03\sqrt{b_{rechbox}} - 0,45\sqrt{b_{rechbox}}$ . Pada uji model pelimpah Bendungan Gongseng menggunakan alat ukur rechbox dengan  $b = 0,4 \text{ m} = 40 \text{ cm}$ . Sehingga batas tinggi muka air di rechbox agar kesalahan yang terjadi sebesar 1,4 % adalah 1,897 – 28,46 cm. Karena semua debit mencukupi batas ketentuan tersebut, maka kesalahan relatif pada debit adalah 1,4%.

b. Kesalahan relatif pada pelimpah

1. Kesalahan relatif pada penentuan H

$$\frac{\Delta q}{q} = 1 - \left\{ \frac{H_c}{H} \right\}^{3/2}$$

$$5\% = 1 - \left\{ \frac{H - 0,457}{H} \right\}^{3/2}$$

$$H = 13,326 \text{ mm}$$

$$\text{Skala model Lr} = \frac{13,326}{820} = \frac{1}{61,533}$$

Dari perhitungan diatas maka diambil skala model sebesar 1:50.

2. Kesalahan relatif pada penentuan C

$$Q = CLH^{3/2}$$

$$C = Q \times L^{-1} \times H^{-3/2}$$

L dianggap tidak terdapat kesalahan sehingga  $r_L = 0$ , maka:

$$r_C^2 = r_Q^2 + \frac{9}{4}(r_H)^2$$

$$r_C = \sqrt{1,4^2 + \frac{9}{4} \cdot 5^2} = \sqrt{58,21} = 7,629\%$$

3. Kesalahan menentukan bilangan Froude

$$Fr = \frac{v}{\sqrt{gh}}$$

$$h^{-1/2} \text{ adalah } = (5 \times 1/2)^2 = 6,25$$

$$Fr = v \cdot g^{-1/2} \cdot h^{-1/2}$$

$$Fr = \sqrt{rv^2 + rg^2 + rh^2} = \sqrt{7^2 + 1 + 6,25} = 7,5 \%$$

$$r_v = 7\%$$

$$(r_g)^2 = 1$$

#### 4.11.2. Perbandingan Data Hasil Perhitungan dengan Hasil Pengukuran Model (Final Design)

Untuk perhitungan kesalahan relatif dari hasil perhitungan dan hasil pengukuran pada saluran samping, saluran transisi dan saluran peluncur untuk debit Q2th, Q100th, Q1000th dan QPMF selanjutnya dapat dilihat pada **Tabel 4.43. – Tabel 4.54.**

Tabel 4.43. Perhitungan kesalahan relatif pada saluran samping debit Q2th

section	Tinggi Muka Air		Kr
	Hitungan	Model	
1	1.027	1.39	35.39%
2	1.307	1.62	23.97%
3	1.810	1.90	5.20%
4	0.610	1.21	98.36%

Sumber : Hasil perhitungan

Tabel 4.44. Perhitungan kesalahan relatif pada saluran samping debit Q100th

section	Tinggi Muka Air		Kr
	Hitungan	Model	
1	2.495	3.804	52.52%
2	3.066	4.654	51.78%
3	3.303	3.904	18.18%
4	3.470	3.771	8.67%

Sumber : Hasil perhitungan

Tabel 4.45. Perhitungan kesalahan relatif pada saluran samping debit Q1000th

section	Tinggi Muka Air		Kr
	Hitungan	Model	
1	3.834	5.621	46.62%
2	3.995	5.971	49.47%
3	4.076	5.404	32.57%
4	4.192	5.554	32.49%

Sumber : Hasil perhitungan

Tabel 4.46. Perhitungan kesalahan relatif pada saluran samping debit QPMF

section	Tinggi Muka Air		Kr
	Hitungan	Model	
1	6.483	7.579	16.95%
2	6.816	7.289	6.98%
3	6.830	7.279	6.58%
4	6.921	7.179	3.73%

Sumber : Hasil perhitungan

Tabel 4.47. Perhitungan kesalahan relatif pada saluran transisi debit  $Q_{2th}$ 

Section	Tinggi Muka Air (m)		Kecepatan (m)		KR	
	Hitungan	Model	Hitungan	Model	Tinggi Muka Air	Kecepatan
5	1.543	1.887	3.064	1.742	22.28%	43.15%
6	1.824	1.817	3.100	2.068	0.36%	33.28%
7	1.798	1.864	3.144	1.713	3.65%	45.50%
8	1.771	1.761	3.193	1.999	0.58%	37.38%
9	1.745	1.925	3.240	1.469	10.32%	54.67%
10	1.725	1.867	3.278	1.521	8.24%	53.62%
11	1.570	1.942	3.601	1.414	23.67%	60.73%
12	1.537	1.917	3.678	1.358	24.70%	63.07%
13	1.528	1.825	3.700	1.769	19.44%	52.19%
14	1.521	1.733	3.717	1.797	13.96%	51.67%
15	1.515	1.692	3.732	1.524	11.66%	59.16%
16	1.510	1.667	3.744	1.346	10.38%	64.06%
17	1.497	1.508	3.777	1.606	0.76%	57.48%
18	1.483	1.500	3.814	1.428	1.18%	62.55%

Sumber: Hasil Perhitungan

Tabel 4.48. Perhitungan kesalahan relatif pada saluran transisi debit  $Q_{100th}$ 

Section	Tinggi Muka Air (m)		Kecepatan (m)		KR	
	Hitungan	Model	Hitungan	Model	Tinggi Muka Air	Kecepatan
5	3.470	3.890	4.647	2.178	12.09%	53.12%
6	3.445	3.770	4.680	1.756	9.41%	62.48%
7	3.412	3.805	4.726	1.975	11.50%	58.21%
8	3.377	3.890	4.775	2.112	15.18%	55.77%
9	3.343	3.816	4.823	1.989	14.14%	58.76%
10	3.323	3.793	4.853	1.661	14.15%	65.77%
11	3.114	3.787	5.178	1.579	21.60%	69.50%
12	3.103	3.680	5.197	2.180	18.60%	58.06%
13	3.077	3.416	5.240	2.357	11.01%	55.03%
14	3.053	3.542	5.282	2.493	16.03%	52.79%
15	3.031	3.461	5.320	2.643	14.18%	50.32%
16	3.017	3.437	5.345	2.561	13.93%	52.08%
17	3.011	3.247	5.355	2.820	7.85%	47.35%
18	2.982	3.049	5.408	3.146	2.26%	41.83%

Sumber: Hasil Perhitungan

Tabel 4.49. Perhitungan kesalahan relatif pada saluran transisi debit  $Q_{1000th}$ 

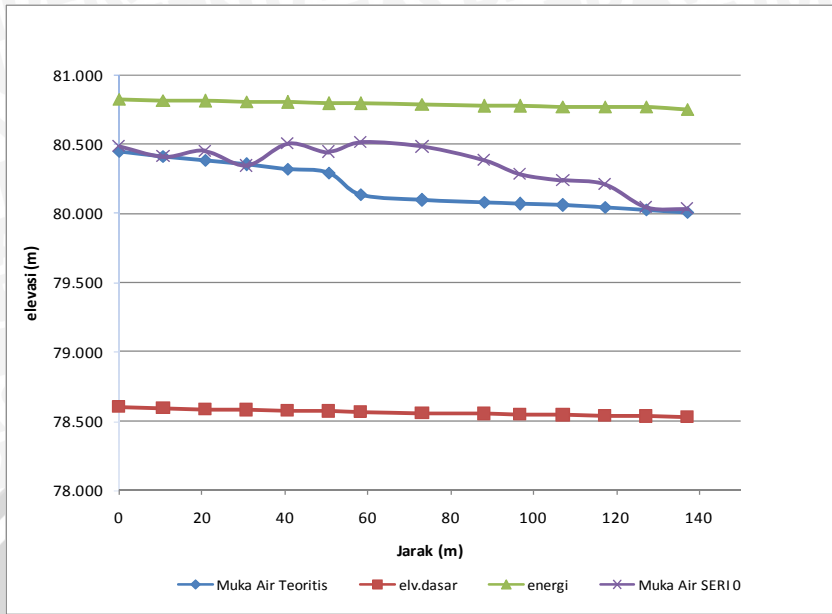
Section	Tinggi Muka Air (m)		Kecepatan (m)		KR	
	Hitungan	Model	Hitungan	Model	Tinggi Muka Air	Kecepatan
5	4.310	5.520	5.345	3.376	28.08%	36.83%
6	4.230	5.053	5.446	3.566	19.46%	34.51%
7	4.219	5.238	5.460	2.983	24.15%	45.36%
8	4.180	4.823	5.511	2.997	15.38%	45.62%
9	4.140	4.808	5.564	2.983	16.13%	46.39%
10	4.120	4.876	5.591	2.983	18.36%	46.65%
11	3.824	5.011	6.024	2.956	31.04%	50.93%
12	3.818	4.663	6.033	3.417	22.14%	43.36%
13	3.799	4.499	6.063	3.729	18.43%	38.50%
14	3.793	4.351	6.073	3.444	14.70%	43.29%
15	3.790	4.686	6.078	3.336	23.63%	45.11%
16	3.788	4.187	6.081	3.458	10.54%	43.14%
17	3.785	4.156	6.086	3.878	9.79%	36.28%
18	3.782	4.041	6.091	4.284	6.85%	29.67%

Sumber: Hasil perhitungan

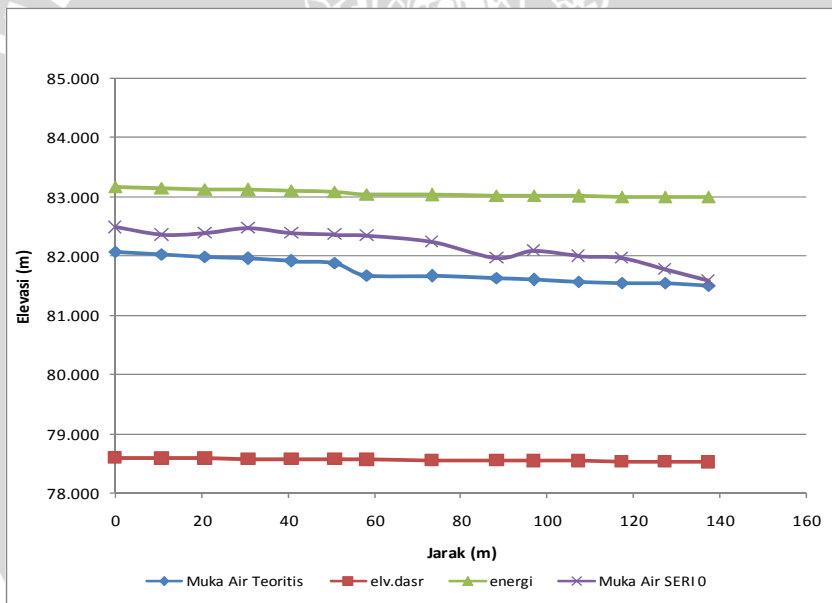
Tabel 4.50. Perhitungan kesalahan relatif pada saluran transisi debit  $Q_{PMF}$ 

Section	Tinggi Muka Air (m)		Kecepatan (m)		KR	
	Hitungan	Model	Hitungan	Model	Tinggi Muka Air	Kecepatan
5	6.921	8.812	7.100	5.378	27.32%	24.25%
6	6.887	8.695	7.135	5.472	26.25%	23.30%
7	6.843	8.163	7.180	5.216	19.28%	27.36%
8	6.797	7.881	7.229	5.324	15.95%	26.36%
9	6.742	7.616	7.288	4.912	12.98%	32.60%
10	6.724	7.885	7.307	4.675	17.26%	36.01%
11	6.315	7.886	7.780	4.797	24.87%	38.34%
12	6.306	7.605	7.792	5.445	20.60%	30.12%
13	6.296	6.958	7.804	6.307	10.51%	19.18%
14	6.294	6.726	7.807	6.805	6.86%	12.83%
15	6.288	7.127	7.814	5.378	13.35%	31.18%
16	6.282	6.996	7.821	5.970	11.36%	23.67%
17	6.274	6.297	7.831	7.275	0.37%	7.10%
18	6.267	5.832	7.841	8.054	6.93%	2.72%

Sumber : Hasil Perhitungan

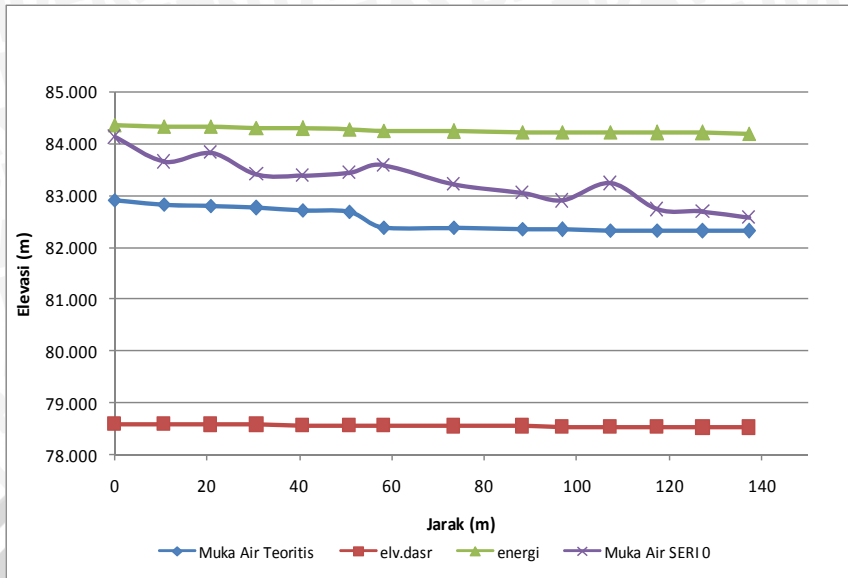


Gambar 4.19. Profil muka air saluran transisi Bendungan Gongseng Q<sub>2th</sub>

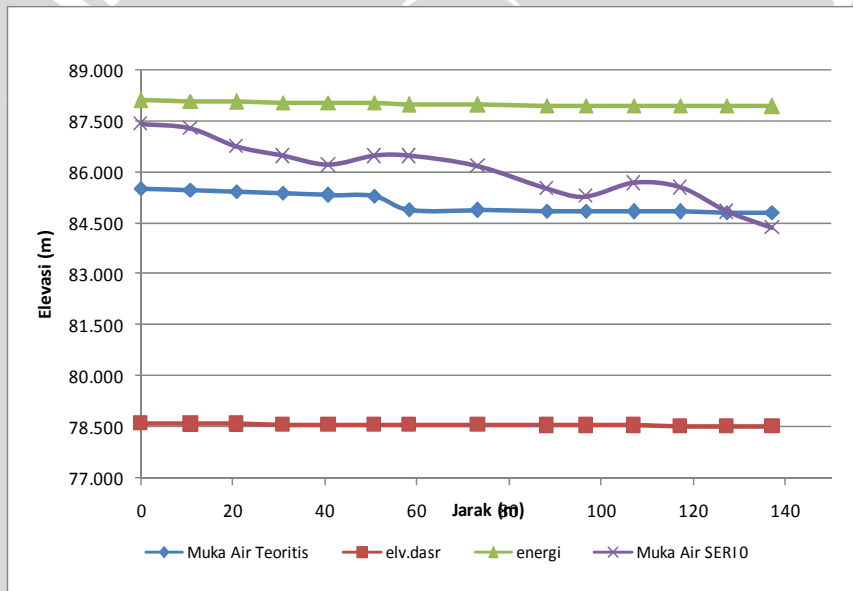


Gambar 4.20. Profil muka air saluran transisi Bendungan Gongseng Q<sub>100th</sub>





Gambar 4.21. Profil muka air saluran transisi Bendungan Gongseng  $Q_{1000th}$



Gambar 4.22. Profil muka air saluran transisi Bendungan Gongseng  $Q_{PMF}$

Tabel 4.51. Perhitungan kesalahan relatif pada saluran peluncur debit  $Q_{2th}$ 

Section	Tinggi Muka Air (m)		Kecepatan (m/s)		KR	
	Hitungan	Model	Hitungan	Model	Tinggi Muka Air	Kecepatan
19	1.483	1.425	3.814	2.575	3.88%	32.48%
20	0.790	0.802	7.156	3.959	1.46%	44.67%
21	0.661	0.683	8.555	6.858	3.40%	19.83%
22	0.586	0.575	9.651	10.157	1.85%	5.25%
23	0.527	0.650	10.721	10.798	23.25%	0.72%
24	0.480	0.517	11.772	16.919	7.58%	43.72%
25	0.449	0.475	12.605	20.863	5.90%	65.52%
26	0.427	0.383	13.252	22.057	10.15%	66.44%
27	0.411	0.383	13.758	24.401	6.72%	77.37%
28	0.399	0.433	14.155	23.091	8.49%	63.12%
29	0.392	0.425	14.432	8.711	8.49%	39.64%

Sumber: Hasil perhitungan

Tabel 4.52. Perhitungan kesalahan relatif pada saluran peluncur debit  $Q_{100th}$ 

Section	Tinggi Muka Air (m)		Kecepatan (m/s)		KR	
	Hitungan	Model	Hitungan	Model	Tinggi Muka Air	Kecepatan
19	2.982	2.817	3.864	5.408	5.53%	39.96%
20	1.845	2.252	5.930	8.738	22.02%	47.36%
21	1.580	1.850	8.979	10.206	17.09%	13.66%
22	1.416	1.600	12.470	11.385	12.97%	8.70%
23	1.276	1.750	14.563	12.634	37.12%	13.24%
24	1.148	1.267	20.306	14.050	10.37%	30.81%
25	1.056	1.167	22.772	15.275	10.52%	32.92%
26	0.986	1.108	26.525	16.359	12.44%	38.33%
27	0.930	1.108	30.509	17.331	19.12%	43.19%
28	0.885	1.042	35.456	18.212	17.65%	48.64%
29	0.851	1.150	35.460	18.946	35.12%	46.57%

Sumber: Hasil perhitungan

Tabel 4.53. Perhitungan kesalahan relatif pada saluran peluncur debit  $Q_{1000th}$

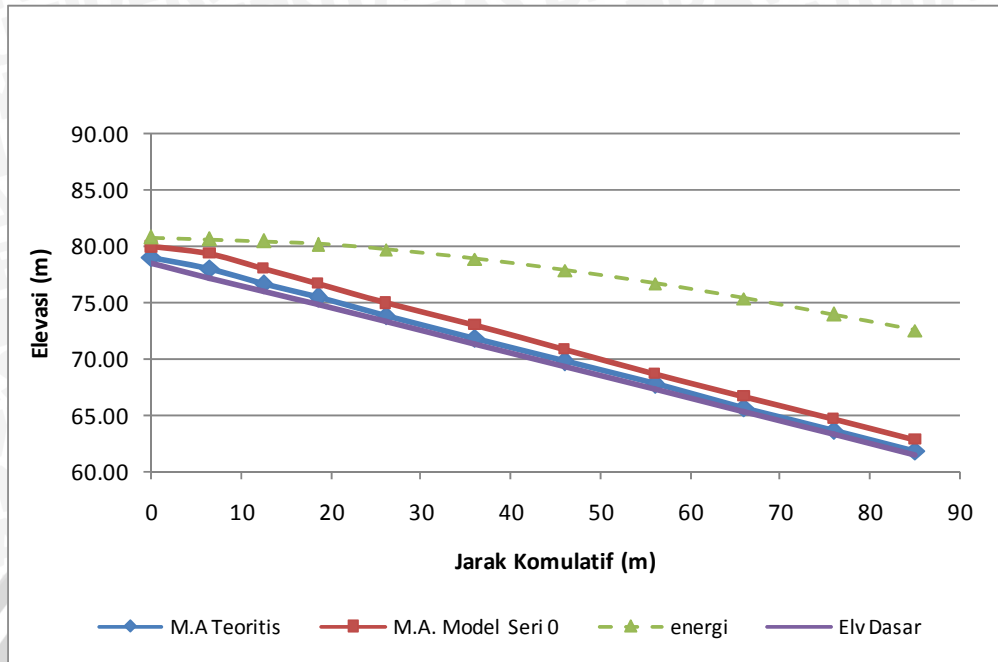
Section	Tinggi Muka Air (m)		Kecepatan (m/s)		KR	
	Hitungan	Model	Hitungan	Model	Tinggi Muka Air	Kecepatan
19	3.782	3.800	6.091	5.607	0.48%	7.95%
20	2.455	3.110	9.382	8.161	26.67%	13.01%
21	2.128	2.575	10.826	11.067	21.02%	2.23%
22	1.921	2.317	11.990	14.350	20.59%	19.68%
23	1.741	2.392	13.229	16.733	37.35%	26.49%
24	1.573	1.892	14.646	20.333	20.27%	38.83%
25	1.450	1.683	15.882	24.534	16.06%	54.47%
26	1.356	1.583	16.988	28.647	16.77%	68.63%
27	1.280	1.558	17.990	32.410	21.71%	80.15%
28	1.218	1.475	18.909	34.395	21.08%	81.90%
29	1.170	1.383	19.683	36.286	18.20%	84.35%

Sumber : Hasil perhitungan

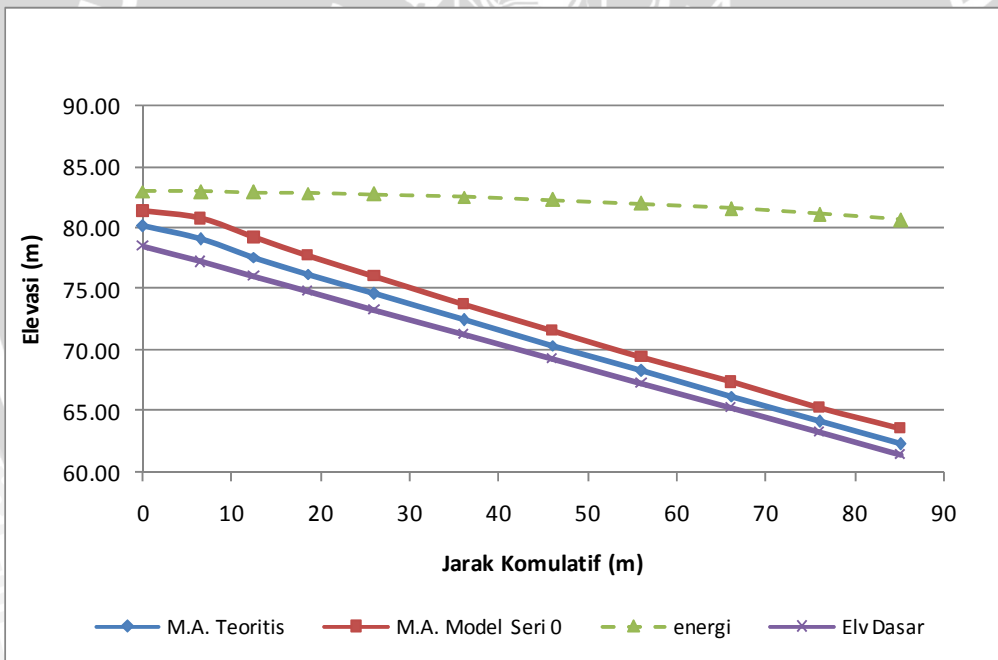
Tabel 4.54. Perhitungan kesalahan relatif pada saluran peluncur debit  $Q_{PMF}$

Section	Tinggi Muka Air (m)		Kecepatan (m/s)		KR	
	Hitungan	Model	Hitungan	Model	Tinggi Muka Air	Kecepatan
19	6.267	5.592	7.841	9.582	10.77%	22.21%
20	4.445	5.068	11.055	11.201	14.03%	1.32%
21	3.948	4.583	12.445	14.430	16.09%	15.95%
22	3.622	4.092	13.567	14.430	12.98%	6.36%
23	3.327	3.833	14.768	14.430	15.22%	2.29%
24	3.042	3.333	16.155	14.430	9.59%	10.68%
25	2.827	3.258	17.379	27.676	15.25%	59.25%
26	2.658	3.325	18.486	35.179	25.10%	90.30%
27	2.519	2.700	19.504	38.257	7.18%	96.15%
28	2.403	2.767	20.449	39.656	15.15%	93.93%
29	2.311	2.458	21.257	39.656	6.35%	86.56%

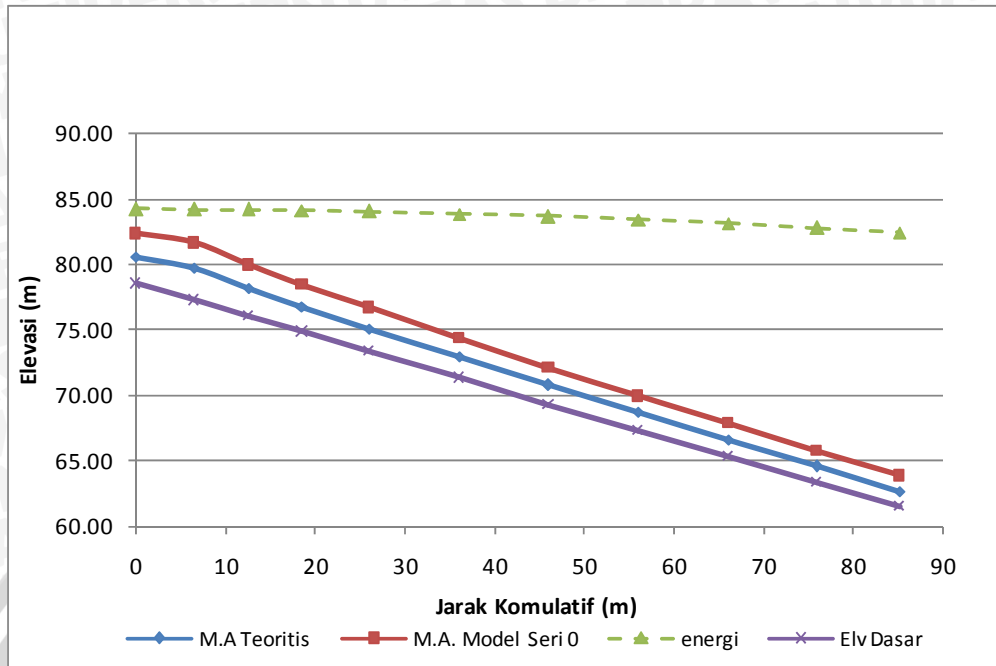
Sumber : Hasil perhitungan



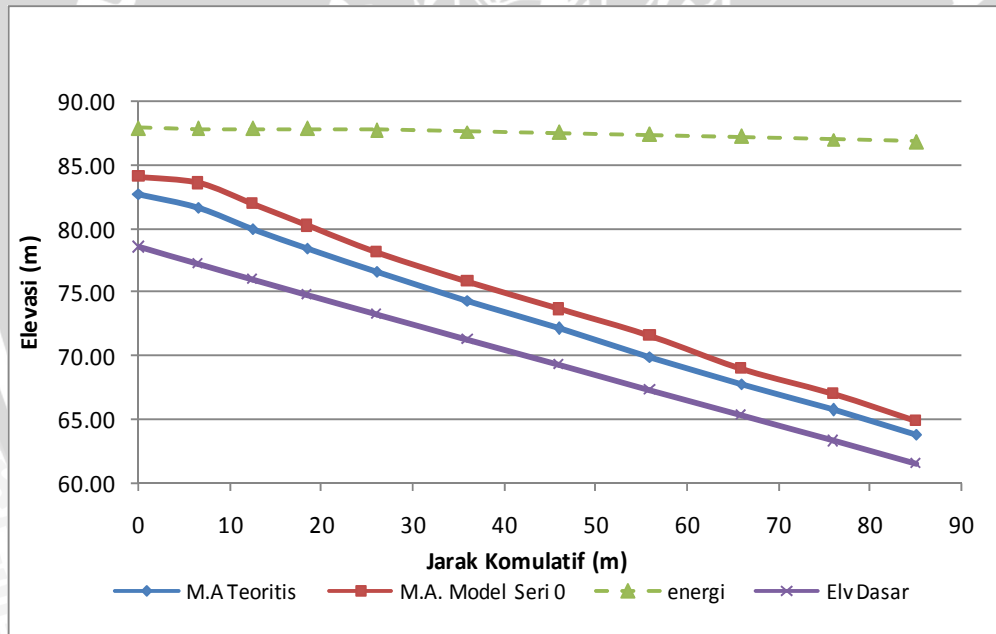
Gambar 4.23. Profil muka air saluran peluncur Bendungan Gongseng  $Q_{2th}$



Gambar 4.24. Profil muka air saluran peluncur Bendungan Gongseng  $Q_{100th}$



Gambar 4.25. Profil muka air saluran peluncur Bendungan Gongseng  $Q_{1000th}$



Gambar 4.26. Profil muka air saluran peluncur Bendungan Gongseng  $Q_{PMF}$

#### 4.12. Perhitungan Aliran Getar

Perhitungan Aliran getar pada saluran peluncur dilakukan dengan menggunakan bilangan Mounori dan bilangan Vandernikoy, dan dilakukan dikoreksi dengan menggunakan grafik untuk mengetahui kriteria aliran getar untuk menentukan batas terjadinya aliran getar.

Contoh perhitungannya adalah sebagai berikut:

$$Q_{100th} = 258,00 \text{ m}^3/\text{dt}$$

$$b = 16 \text{ m}$$

$$d = 1,218 \text{ m}$$

$$V = 18,909 \text{ m/dt}$$

$$P = 18,436 \text{ m}$$

$$\theta = 11,00^\circ$$

$$l = 0,2$$

Bilangan Vendernikov ( $\underline{V}$ )

$$\underline{V} = \frac{2bv}{3P\sqrt{gd \cos \theta}}$$

$$\underline{V} = \frac{2.16.18,436}{3.18,436\sqrt{9,81.1,218.\cos 11,00^\circ}}$$

$$\underline{V} = 10,829$$

Bilangan Montuori ( $\underline{M}$ )

$$\underline{M}^2 = \frac{V^2}{gll\cos\theta}$$

$$\underline{M}^2 = \frac{18,436^2}{9,81.0,2.85,10.\cos 11^\circ}$$

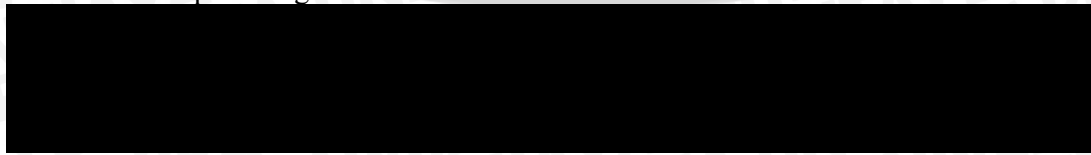
$$\underline{M}^2 = 2,394$$

Untuk perhitungan selanjutnya dan mengetahui kriteria aliran getar untuk menentukan batas terjadinya aliran getar. Dapat dilihat dalam **Tabel 4.55**.

Tabel 4.55. Evaluasi aliran getar berdasarkan pengujian model

Kala Ulang	Debit (m <sup>3</sup> /dt)	b (m)	d (m)	V (m/dt)	P (m)	L (m)	θ °	I	Bilangan		Keterangan
									$\underline{V}$	$\underline{M}^2$	
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12
Q <sub>2th</sub>	90.460	16	0.399	14.155	16.800	85.10	26.565	0.2	15.543	1.342	Tidak terjadi aliran getar
Q <sub>100th</sub>	258.000	16	0.885	18.212	17.771	85.10	26.565	0.2	12.694	2.221	Tidak terjadi aliran getar
Q <sub>1000th</sub>	368.560	16	1.218	18.909	18.436	85.10	26.565	0.2	10.829	2.394	Tidak terjadi aliran getar
Q <sub>PMF</sub>	786.150	16	2.403	20.449	20.805	85.10	26.565	0.2	7.388	2.800	Tidak terjadi aliran getar

Sumber : Hasil perhitungan



#### 4.13. Perhitungan Kavitasasi

Perhitungan kavitasasi pada pelimpah dan saluran peluncur untuk menentukan terjadinya kavitasasi. Kavitasasi mengakibatkan kerusakan terhadap lantai dasar saluran yang dikarenakan adanya penghisapan akibat kecepatan yang tinggi. Berikut contoh perhitungan pada saluran peluncur section. 19 untuk Q2th.

1. Diketahui massa jenis air pada suhu 20°C adalah sebesar 997,800 kg/m<sup>3</sup>
2. Data perhitungan tinggi muka air Q2th, h = 1,551 m
3. Tekanan pada titik yang ditinjau, dalam hal ini menggunakan persamaan:

$$\begin{aligned} P_g &= \rho \cdot g \cdot h \\ &= 997,800 \times 9,81 \times 1,551 \\ &= 15181,910 \text{ N/m}^2 \end{aligned}$$

4. Tekanan pada titik yang ditinjau dikonversikan kedalam satuan kPa

$$\begin{aligned} P_g &= 15181,910 \cdot 10^{-3} \\ &= 15,182 \text{ kPa} \end{aligned}$$

5. Tekanan atmosfer (P<sub>a</sub>) sebesar 101 kPa

6. Tekanan setempat (P<sub>0</sub>) diperoleh dari:

$$\begin{aligned} P_0 &= P_g + P_a \\ &= 15,182 + 101 \\ &= 116,1819 \text{ kPa} \end{aligned}$$

7. Tekanan uap (P<sub>v</sub>) untuk suhu 20°C adalah sebesar 2,73 kPa

8. Kecepatan aliran (V<sub>0</sub>) di section 0 = 3,9007 m/dtk

$$9. \frac{V_0^2}{2} = \frac{3,9007^2}{2} = 7,6077 \text{ m}^2/\text{dt}^2$$

10. Indeks kavitasasi (σ)

$$\sigma = \frac{P_0 - P_v}{\rho \cdot \frac{V_0^2}{2}} = \frac{116,1819 - 2,73}{997,800 \cdot \frac{3,9007^2}{2}} \cdot 1000 = 0,01495$$

11. Angka batas kavitasasi (C<sub>p</sub>)

$$C_p = \frac{P_g - P_0}{\rho \cdot \frac{V_0^2}{2}} = \frac{15,182 - 116,1819}{997,800 \cdot \frac{7,6077^2}{2}} \cdot 1000 = 0,01331$$

Karena σ = 0,01331 dan C<sub>p</sub> = 0,01331, maka σ > C<sub>p</sub> sehingga tidak terjadi kavitasasi. Untuk perhitungan kavitasasi selanjutnya lihat **Tabel 4.56 – Tabel 4.58**.

Tabel 4.56. perhitungan indeks kavitasi Q2th

Saluran	Section	$r_w$	$h$	$P_g$		$P_a$	$P_o$	$P_v$	$V_o$	$V_o^2/2$	$v$	$v1$	Kondisi
		(kg/m <sup>3</sup> )	(m)	(N/m <sup>2</sup> )	(kPa)	(kPa)	(kPa)	(kPa)	(m/dt)	(kg/m <sup>3</sup> )			
		1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12
Pelimpah	0	997.800	0.651	6371.164	6.371	101	107.3712	2.726	2.527	3.1926	0.03285	0.03171	Tidak Terjadi Kavitasi
	1	997.800	0.182	1780.891	1.781	101	102.7809	2.726	9.040	40.8609	0.00250	0.00248	Tidak Terjadi Kavitasi
	2	997.800	0.156	1523.496	1.523	101	102.5235	2.726	10.567	55.8342	0.00183	0.00181	Tidak Terjadi Kavitasi
Saluran Samping	1	997.800	1.845	18061.507	18.062	101	119.0615	3.726	2.8970	4.19630	0.02755	0.02412	Tidak Terjadi Kavitasi
	2	997.800	1.796	17576.646	17.577	101	118.5766	4.726	2.3415	2.74133	0.04162	0.03692	Tidak Terjadi Kavitasi
	3	997.800	1.116	10924.496	10.924	101	111.9245	5.726	2.3297	2.71372	0.03922	0.03730	Tidak Terjadi Kavitasi
Transisi	5	997.800	1.845	18061.507	18.062	101	119.0615	7.726	3.064	4.69419	0.02377	0.02156	Tidak Terjadi Kavitasi
	6	997.800	1.824	17852.596	17.853	101	118.8526	8.726	3.100	4.80469	0.02297	0.02107	Tidak Terjadi Kavitasi
	7	997.800	1.798	17602.322	17.602	101	118.6023	9.726	3.144	4.94229	0.02208	0.02048	Tidak Terjadi Kavitasi
	8	997.800	1.771	17333.058	17.333	101	118.3331	10.726	3.193	5.09704	0.02116	0.01986	Tidak Terjadi Kavitasi
	9	997.800	1.745	17079.765	17.078	101	118.0798	11.726	3.240	5.24934	0.02031	0.01928	Tidak Terjadi Kavitasi
	10	997.800	1.725	16880.299	16.888	101	117.8803	12.726	3.278	5.37413	0.01961	0.01884	Tidak Terjadi Kavitasi
	11	997.800	1.570	15367.816	15.368	101	116.3678	13.726	3.601	6.48401	0.01586	0.01561	Tidak Terjadi Kavitasi
	12	997.800	1.537	15044.798	15.045	101	116.0448	14.726	3.678	6.76543	0.01501	0.01496	Tidak Terjadi Kavitasi
	13	997.800	1.528	14956.703	14.957	101	115.9567	15.726	3.700	6.84536	0.01479	0.01479	Tidak Terjadi Kavitasi
	14	997.800	1.521	14888.184	14.888	101	115.8882	16.726	3.717	6.90852	0.01479	0.01465	Tidak Terjadi Kavitasi
	15	997.800	1.515	14829.453	14.829	101	115.8295	17.726	3.732	6.96335	0.01455	0.01454	Tidak Terjadi Kavitasi
	16	997.800	1.510	14780.511	14.781	101	115.7805	18.726	3.744	7.00954	0.01185	0.01444	Tidak Terjadi Kavitasi
	17	997.800	1.504	14721.781	14.722	101	115.7218	19.726	3.759	7.06558	0.07855	0.01433	Tidak Terjadi Kavitasi
	18	997.800	1.483	14516.224	14.516	101	115.5162	20.726	3.814	7.27177	0.09930	0.01392	Tidak Terjadi Kavitasi
Peluncur	19	997.800	1.551	15181.910	15.182	101	116.1819	2.7260	3.9007	7.6077	0.01495	0.01331	Tidak Terjadi Kavitasi
	20	997.800	0.836	8178.956	8.179	101	109.179	2.7260	7.2405	26.2126	0.00407	0.00386	Tidak Terjadi Kavitasi
	21	997.800	0.700	6850.077	6.850	101	107.8501	2.726	8.6451	37.3693	0.00282	0.00271	Tidak Terjadi Kavitasi
	22	997.800	0.621	6075.255	6.075	101	107.0753	2.726	9.7477	47.5091	0.00220	0.00213	Tidak Terjadi Kavitasi
	23	997.800	0.559	5467.658	5.468	101	106.4677	2.726	10.8309	58.6547	0.00177	0.00173	Tidak Terjadi Kavitasi
	24	997.800	0.508	4973.498	4.973	101	105.9735	2.726	11.9071	70.8895	0.00146	0.00143	Tidak Terjadi Kavitasi
	25	997.800	0.474	4638.976	4.639	101	105.6390	2.726	12.7657	81.4820	0.00127	0.00124	Tidak Terjadi Kavitasi
	26	997.800	0.450	4406.610	4.407	101	105.4066	2.726	13.4389	90.3018	0.00114	0.00112	Tidak Terjadi Kavitasi
	27	997.800	0.433	4238.780	4.239	101	105.2388	2.726	13.9710	97.5942	0.00105	0.00104	Tidak Terjadi Kavitasi
	28	997.800	0.420	4114.231	4.114	101	105.1142	2.726	14.3939	103.5925	0.00099	0.00098	Tidak Terjadi Kavitasi
	29	997.800	0.412	4030.554	4.031	101	105.0306	2.726	14.6928	107.9385	0.00095	0.00094	Tidak Terjadi Kavitasi

Keterangan :

$P_a$  = tekanan atmosfer

$P_g$  = tekanan di titik setempat

$P_o$  = tekanan setempat

$P_v$  = tekanan uap (22° C)

$V_o$  = kecepatan aliran

$s$  = angka kavitasi

Kriteria angka kavitasi

$s > C_p$  = tidak terjadi kavitasi

$s \leq C_p$  = terjadi kavitasi

1 Data = massa jenis air = 997,764 kg/m<sup>3</sup>

2 Data = tinggi muka air pada section yang ditinjau

3 (3) = (1)\*9,81\*(2)

4 (3)/1000

5 Data = tekanan atmosfer = 101 kPa

6 (6) = (4)+(5)

7 Data = tekanan uap pada suhu 22° C = 2,662

8 Data pengukuran (lembar lampiran)

9 (8)<sup>2</sup>/2

10 (10) = {(6)-(7)}/{(1)\*(9)}

11 Angka batas kavitasi

12 Kriteria kondisi

Sumber : Hasil perhitungan



Tabel 4.57. Perhitungan indeks kavitasi Q100th

Saluran	Section	r <sub>w</sub>	h	P <sub>g</sub>		P <sub>a</sub>	P <sub>o</sub>	P <sub>v</sub>	V <sub>o</sub>	V <sub>o</sub> <sup>2</sup> /2	v	v1	Kondisi
		(kg/m <sup>3</sup> )	(m)	(N/m <sup>2</sup> )	(kPa)	(kPa)	(kPa)	(kPa)	(m/dt)	(kg/m <sup>3</sup> )			
		1	2	3	4	5	6	7	8	9			
Pelimpah	0	997.800	1.309	12813.296	12.813	101	113.8133	2.726	3.5835	6.4208	0.01734	0.01576	Tidak Terjadi Kavitasi
	1	997.800	0.489	4790.351	4.790	101	105.7904	2.726	9.5852	45.9382	0.00225	0.00220	Tidak Terjadi Kavitasi
	2	997.800	0.424	4146.834	4.147	101	105.1468	2.726	11.0727	61.3021	0.00167	0.00165	Tidak Terjadi Kavitasi
Saluran Samping	1	997.800	3.470	33967.086	33.967	101	134.9671	3.726	4.1922	8.78724	0.01497	0.01152	Tidak Terjadi Kavitasi
	2	997.800	3.918	38354.442	38.354	101	139.3544	4.726	2.8694	4.11661	0.03278	0.024589	Tidak Terjadi Kavitasi
	3	997.800	3.485	34115.247	34.115	101	135.1152	5.726	1.9535	1.90810	0.06796	0.053049	Tidak Terjadi Kavitasi
Transisi	5	997.800	3.470	33967.086	33.967	101	134.9671	7.726	4.647	10.79637	0.01181	0.009376	Tidak Terjadi Kavitasi
	6	997.800	3.445	33725.329	33.725	101	134.7253	8.726	4.680	10.95171	0.01153	0.009243	Tidak Terjadi Kavitasi
	7	997.800	3.412	33400.273	33.4	101	134.4003	9.726	4.726	11.16592	0.01119	0.009065	Tidak Terjadi Kavitasi
	8	997.800	3.377	33055.807	33.056	101	134.0558	10.726	4.775	11.39984	0.01084	0.008879	Tidak Terjadi Kavitasi
	9	997.800	3.343	32727.160	32.727	101	133.7272	11.726	4.823	11.62995	0.01051	0.00870	Tidak Terjadi Kavitasi
	10	997.800	3.323	32525.559	32.526	101	133.5256	12.726	4.853	11.77457	0.01028	0.008597	Tidak Terjadi Kavitasi
	11	997.800	3.114	30481.134	30.481	101	131.4811	13.726	5.178	13.40702	0.00880	0.00755	Tidak Terjadi Kavitasi
	12	997.800	3.103	30373.461	30.373	101	131.3735	14.726	5.197	13.50224	0.00866	0.007497	Tidak Terjadi Kavitasi
	13	997.800	3.077	30118.962	30.119	101	131.119	15.726	5.240	13.73139	0.00842	0.007372	Tidak Terjadi Kavitasi
	14	997.800	3.053	29884.040	29.884	101	130.884	16.726	5.282	13.94813	0.00820	0.007257	Tidak Terjadi Kavitasi
	15	997.800	3.031	29668.695	29.669	101	130.6687	17.726	5.320	14.15134	0.00818	0.007153	Tidak Terjadi Kavitasi
	16	997.800	3.017	29531.657	29.532	101	130.5317	18.726	5.345	14.28298	0.11185	0.00709	Tidak Terjadi Kavitasi
	17	997.800	3.011	29472.927	29.473	101	130.4729	19.726	5.355	14.33996	0.07855	0.007059	Tidak Terjadi Kavitasi
	18	997.800	2.982	29189.062	29.189	101	130.1891	20.726	5.408	14.62455	0.09930	0.006921	Tidak Terjadi Kavitasi
	Peluncur	19	997.800	2.982	29184.751	29.185	101	130.1848	2.7260	5.4082	14.6245	0.00873	0.00692
20		997.800	1.845	18063.022	18.063	101	119.063	2.7260	8.7382	38.1780	0.00305	0.00265	Tidak Terjadi Kavitasi
21		997.800	1.580	15465.723	15.466	101	116.4657	2.726	10.2057	52.0780	0.00219	0.00194	Tidak Terjadi Kavitasi
22		997.800	1.416	13863.424	13.863	101	114.8634	2.726	11.3852	64.8117	0.00173	0.00156	Tidak Terjadi Kavitasi
23		997.800	1.276	12492.772	12.493	101	113.4928	2.726	12.6344	79.8136	0.00139	0.00127	Tidak Terjadi Kavitasi
24		997.800	1.148	11233.701	11.234	101	112.2337	2.726	14.0504	98.7072	0.00111	0.00103	Tidak Terjadi Kavitasi
25		997.800	1.056	10332.877	10.333	101	111.3329	2.726	15.2753	116.6680	0.00093	0.00087	Tidak Terjadi Kavitasi
26		997.800	0.986	9648.280	9.648	101	110.6483	2.726	16.3592	133.8119	0.00081	0.00076	Tidak Terjadi Kavitasi
27		997.800	0.930	9107.224	9.107	101	110.1072	2.726	17.3311	150.1836	0.00072	0.00067	Tidak Terjadi Kavitasi
28		997.800	0.885	8666.905	8.667	101	109.6669	2.726	18.2116	165.8312	0.00065	0.00061	Tidak Terjadi Kavitasi
29		997.800	0.851	8331.026	8.331	101	109.3310	2.726	18.9458	179.4723	0.00060	0.00056	Tidak Terjadi Kavitasi

Keterangan :

P<sub>a</sub> = tekanan atmosfer

P<sub>g</sub> = tekanan di titik setempat

P<sub>o</sub> = tekanan setempat

P<sub>v</sub> = tekanan uap (22° C)

V<sub>o</sub> = kecepatan aliran

s = angka kavitasi

Kriteria angka kavitasi

s > C<sub>p</sub> = tidak terjadi kavitasi

s ≤ C<sub>p</sub> = terjadi kavitasi

1 Data = massa jenis air = 997,764 kg/m<sup>3</sup>

2 Data = tinggi muka air pada section yang ditinjau

(3) = (1)\*9,81\*(2)

(3)/1000

5 Data = tekanan atmosfer = 101 kPa

(6) = (4)+(5)

7 Data = tekanan uap pada suhu 22° C = 2,662

8 Data pengukuran (lembar lampiran)

(8)<sup>2</sup>/2

(10) = {(6)-(7)}/{(1)\*(9)}

11 Angka batas kavitasi

12 Kriteria kondisi

Sumber : Hasil perhitungan

Tabel 4.58. Perhitungan indeks kavitasi Q1000th

Saluran	Section	$r_w$	$h$	$P_g$		$P_a$	$P_o$	$P_v$	$V_o$	$V_o^2/2$	$v$	$v1$	Kondisi	
		( $kg/m^3$ )	(m)	( $N/m^2$ )	(kPa)	(kPa)	(kPa)	(kPa)	(m/dt)	( $kg/m^3$ )				
		1	2	3	4	5	6	7	8	9				10
Pelimpah	0	997.800	1.660	16252.488	16.252	101	117.2525	2.726	4.0359	8.1442	0.01409	0.01243	Tidak Terjadi Kavitasi	
	1	997.800	0.683	6684.660	6.685	101	107.6847	2.726	9.8125	48.1424	0.00218	0.00210	Tidak Terjadi Kavitasi	
	2	997.800	0.594	5809.496	5.809	101	106.8095	2.726	11.2907	63.7396	0.00164	0.00159	Tidak Terjadi Kavitasi	
Saluran Samping	1	997.800	3.828	37470.064	37.47	101	138.4701	2.897	5.3746	14.44300	0.00941	0.00701	Tidak Terjadi Kavitasi	
	2	997.800	4.938	48336.140	48.336	101	149.3361	2.342	3.1578	4.98584	0.02955	0.020302	Tidak Terjadi Kavitasi	
	3	997.800	4.638	45400.236	45.4	101	146.4002	2.330	2.0166	2.03341	0.07101	0.04978	Tidak Terjadi Kavitasi	
Transisi	5	997.800	3.828	37470.064	37.47	101	138.4701	7.726	6.018	18.10517	0.00724	0.005591	Tidak Terjadi Kavitasi	
	6	997.800	3.828	37470.064	37.47	101	138.4701	8.726	6.018	18.10517	0.00718	0.005591	Tidak Terjadi Kavitasi	
	7	997.800	3.826	37450.487	37.45	101	138.4505	9.726	6.021	18.12410	0.00712	0.005585	Tidak Terjadi Kavitasi	
	8	997.800	3.818	37372.180	37.372	101	138.3722	10.726	6.033	18.20013	0.00703	0.005562	Tidak Terjadi Kavitasi	
	9	997.800	3.818	37372.180	37.372	101	138.3722	11.726	6.033	18.20013	0.00697	0.00556	Tidak Terjadi Kavitasi	
	10	997.800	3.818	37372.180	37.372	101	138.3722	12.726	6.033	18.20013	0.00692	0.005562	Tidak Terjadi Kavitasi	
	11	997.800	3.811	37303.661	37.304	101	138.3037	13.726	6.044	18.26706	0.00683	0.005541	Tidak Terjadi Kavitasi	
	12	997.800	3.810	37293.873	37.294	101	138.2939	14.726	6.046	18.27665	0.00678	0.005538	Tidak Terjadi Kavitasi	
	13	997.800	3.809	37284.084	37.284	101	138.2841	15.726	6.048	18.28624	0.00672	0.005535	Tidak Terjadi Kavitasi	
	14	997.800	3.808	37274.296	37.274	101	138.2743	16.726	6.049	18.29585	0.00666	0.005533	Tidak Terjadi Kavitasi	
	15	997.800	3.805	37244.930	37.245	101	138.2449	17.726	6.054	18.32471	0.00718	0.005524	Tidak Terjadi Kavitasi	
	16	997.800	3.802	37215.565	37.216	101	138.2156	18.726	6.059	18.35364	0.11185	0.00552	Tidak Terjadi Kavitasi	
	17	997.800	3.799	37186.200	37.186	101	138.1862	19.726	6.063	18.38264	0.07855	0.005506	Tidak Terjadi Kavitasi	
	18	997.800	3.780	37000.220	37	101	138.0002	20.726	6.091	18.54990	0.09930	0.005457	Tidak Terjadi Kavitasi	
	Peluncur	19	997.800	3.782	37018.173	37.018	101	138.0182	2.7260	6.0910	18.5499	0.00731	0.00546	Tidak Terjadi Kavitasi
		20	997.800	2.455	24031.800	24.032	101	125.0318	2.7260	9.3824	44.0148	0.00278	0.00230	Tidak Terjadi Kavitasi
		21	997.800	2.128	20827.215	20.827	101	121.8272	2.726	10.8260	58.6015	0.00204	0.00173	Tidak Terjadi Kavitasi
		22	997.800	1.921	18805.406	18.805	101	119.8054	2.726	11.9900	71.8797	0.00163	0.00141	Tidak Terjadi Kavitasi
23		997.800	1.741	17044.364	17.044	101	118.0444	2.726	13.2288	87.5004	0.00132	0.00116	Tidak Terjadi Kavitasi	
24		997.800	1.573	15395.530	15.396	101	116.3955	2.726	14.6456	107.2463	0.00106	0.00094	Tidak Terjadi Kavitasi	
25		997.800	1.450	14196.549	14.197	101	115.1965	2.726	15.8825	126.1264	0.00089	0.00080	Tidak Terjadi Kavitasi	
26		997.800	1.356	13272.694	13.273	101	114.2727	2.726	16.9880	144.2957	0.00077	0.00070	Tidak Terjadi Kavitasi	
27		997.800	1.280	12533.123	12.533	101	113.5331	2.726	17.9904	161.8277	0.00069	0.00063	Tidak Terjadi Kavitasi	
28		997.800	1.218	11924.487	11.924	101	112.9245	2.726	18.9087	178.7689	0.00062	0.00057	Tidak Terjadi Kavitasi	
29		997.800	1.170	11455.563	11.456	101	112.4556	2.726	19.6827	193.7040	0.00057	0.00052	Tidak Terjadi Kavitasi	

Keterangan :

$P_a$  = tekanan atmosfer

$P_g$  = tekanan di titik setempat

$P_o$  = tekanan setempat

$P_v$  = tekanan uap ( $22^\circ C$ )

$V_o$  = kecepatan aliran

$s$  = angka kavitasi

Kriteria angka kavitasi

$s > C_p$  = tidak terjadi kavitasi

$s \leq C_p$  = terjadi kavitasi

1 Data = massa jenis air = 997,764 kg/m<sup>3</sup>

2 Data = tinggi muka air pada section yang ditinjau

3 (3) = (1)\*9,81\*(2)

4 (3)/1000

5 Data = tekanan atmosfer = 101 kPa

6 (6) = (4)+(5)

7 Data = tekanan uap pada suhu  $22^\circ C = 2,662$

8 Data pengukuran (lembar lampiran)

9 (8)<sup>2</sup>/2

10 (10) = {(6)-(7)}/{(1)\*(9)}

11 Angka batas kavitasi

12 Kriteria kondisi

Sumber : Hasil perhitungan

#### 4.14. Pengujian Model Tiap Seri

Pada Model test *side channel* Bendungan Gongseng ini terjadi perubahan pada peredam energi dan bagian hilir. Sebelum aliran yang melintasi bangunan pelimpah dikembalikan lagi ke dalam sungai, maka aliran dengan kecepatan yang tinggi dalam kondisi super kritis tersebut harus diperlambat dan dirubah pada kondisi aliran sub kritis. Dengan demikian kandungan energi dari adaya penggerus yang sangat kuat yang timbul dalam aliran tersebut harus direduksi hingga mencapai tingkat yang normal kembali, sehingga aliran tersebut kembali ke dalam sungai tanpa membahayakan kestabilan alur sungai yang bersangkutan. (Sosrodarsono, 2002:213).

Berikut merupakan hasil pengujian dan pengukuran beberapa seri model:

Maka dari itu, untuk memenuhi kondisi hidraulik dilakukan pengujian terhadap *original design* sebagai model seri 0 yaitu yang dibuat sesuai desain dari konsultan perencana. Dimana hasil pengujian sebagai berikut:

##### 4.14.1. Model Seri 0 (*Original Design*)

*Original design* ini menggunakan peredam energi USBR III. Debit rencana untuk desain peredam energi USBR III adalah Q100th dengan data sebagai berikut:

$h_1$	= 1,170 m
$h_2$ ( tinggi setelah loncatan )	= 9,047 m
V (kecepatan)	= 19,683 m/dt
Froude	= 5,809

Menentukan Panjang Lantai ( L ), berdasarkan **Grafik 2.24** dan bilangan Froude:

$L/h_2$	= 3,7
$L/9,047$	= 3,7
L	= 29,786 m ~ 30 m

- Dimensi gigi pemencar aliran (*chute block*):

Tinggi gigi	= $h_1 = 0,70$ m
Lebar gigi	= $h_1 = 0,70$ m
Jarak antar gigi	= $h_1 = 0,70$ m
Jarak dari dinding	= $0,25 h_1 = 0,355$ m
Kemiringan <i>chute block</i>	= 1 : 5

- Dimensi blok penghalang (*baffle block*):

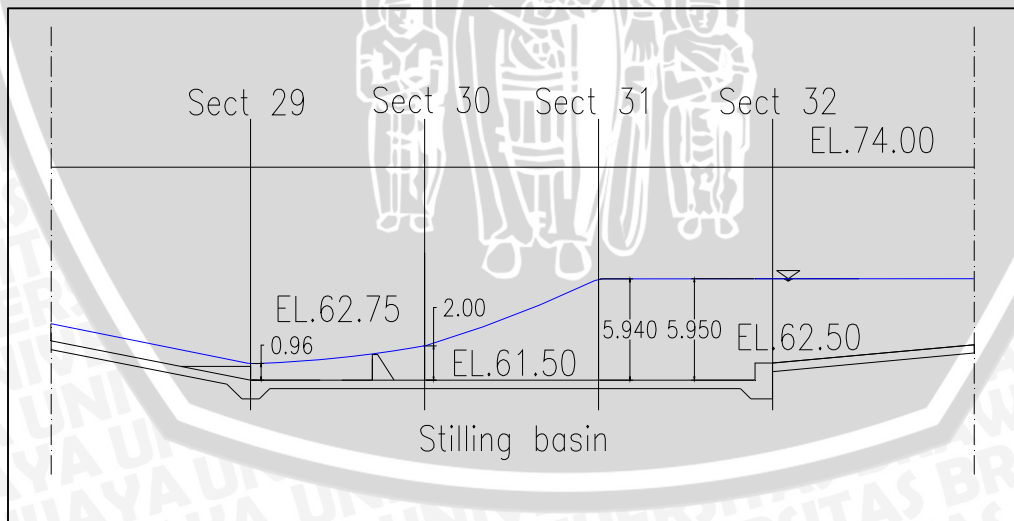
Tinggi blok	= 1,5 m
Lebar blok	= 1,13 m
Jarak antar blok	= 1,14 m

- Tebal atas ambang = 0,3 m
- Kemiringan ambang = 1:1
- Dimensi (*end sill*):
- Tinggi *end sill* = 1 m
- Lebar *end sill* = 2,5 m
- Tebal atas ambang = 0,2 m
- Tinggi jagaan (*freeboard*) =  $0.1 \times (v + h_2)$   
 $= 0.1 \times (19,683 + 9,047)$   
 $= 2,873 \text{ m}$
- El. Dinding kolam olak = El.dasar +  $h_2$  + *freeboard*  
 $= 61.50 + 9.047 + 2,873$   
 $= 73.42 \rightarrow$  direncanakan +74.00

Tabel 4.59. Hasil perhitungan tinggi muka air pada peredam energi *original design* debit pengaliran Q100th

Section	Hasil Perhitungan					Keterangan
	B (m)	h (m)	A (m <sup>2</sup> )	V (m/dt)	Fr	
29	16	0.96	15.360	16.797	5.473	Superkritis
30	16	2.00	32.000	8.063	1.820	Superkritis
31	16	5.94	95.040	2.715	0.356	Sub kritis
32	16	5.95	95.200	2.710	0.355	Sub kritis

Sumber: Hasil perhitungan



Gambar 4.27. Sketsa tinggi muka air Q100th di peredam energi (*original design*)

Dari hasil pengukuran *original design* menggunakan USBR III,  $V_{\text{teoritis}} \geq V_{\text{pengukuran}}$ .  $V_{\text{teoritis}}$  adalah 32,925 m/s dengan nilai Froude 10,729 sedangkan hasil pengukuran kecepatannya 16,797 m/s dengan nilai Froude 5,473. Berdasarkan hasil

pengukuran di atas juga dapat dilihat kondisi aliran pada peredam energi masih dalam keadaan super kritis.

Peredam energi tipe III modifikasi, yang memiliki panjang peredam energi 30 m dan tinggi *chute block* 0,7 m, tinggi *baffle block* 1,5 m, tinggi *end sill* 1 m, hal ini dilakukan untuk mengendalikan debit *outflow* PMF. Untuk desain aliran Q1000th terjadi loncatan hidraulik di luar saluran peredam, dengan bentuk saluran pengarah hilir persegi. Terjadi kondisi *back water* yang masih tinggi 1,35 m. Dari hasil pengujian, peredam energi ini tidak maksimal dalam mengendalikan loncatan air, kondisi aliran di hilir dapat mengakibatkan terjadinya gerusan yang dalam.

Berikut merupakan dokumentasi dari pengujian model seri 0 (*original design*):

### Dokumentasi Pengaliran Seri 0 (*Original design*) Q<sub>2th</sub>



Foto 1. Kondisi aliran pada pelimpah dan *side channel*



Foto 2. Kondisi aliran pada saluran transisi



Foto 3. Kondisi aliran pada saluran peluncur



Foto 4. Kondisi aliran pada peredam energi

**Dokumentasi Pengaliran Seri 0 (Original design)  $Q_{2th}$**



Foto 5. Kondisi aliran pada saluran pengarah hilir



Foto 6. Kondisi aliran pada Sungai bagian hilir

**Dokumentasi Pengaliran Seri 0 (Original design)  $Q_{100th}$**



Foto 7. Kondisi aliran pada pelimpah



Foto 8. Kondisi aliran pada saluran transisi

Dokumentasi Pengaliran Seri 0 (*Original design*)  $Q_{100th}$



Foto 9. Kondisi aliran pada saluran peluncur



Foto 10. Kondisi aliran pada peredam energi



Foto 11. Kondisi aliran pada saluran pengarah hilir



Foto 12. Kondisi aliran pada sungai bagian hilir

**Dokumentasi Pengaliran Seri 0 (Original design)  $Q_{1000th}$**



Foto 13. Kondisi aliran pada pelimpah



Foto 14. Kondisi aliran pada saluran transisi



Foto 15. Kondisi aliran pada saluran peluncur



Foto 16. Kondisi aliran pada peredam energi

**Dokumentasi Pengaliran Seri 0 (Original design)  $Q_{1000th}$**



Foto 17. Kondisi aliran pada saluran pengarah hilir



Foto 18. Kondisi aliran pada sungai bagian hilir



**Dokumentasi Pengaliran Seri 0 (Original design)  $Q_{PMF}$**



Foto 19. Kondisi aliran pada pelimpah



Foto 20. Kondisi aliran pada saluran transisi

**Dokumentasi Pengaliran Seri 0 (Original design)  $Q_{PMF}$**



Foto 21. Kondisi aliran pada saluran peluncur



Foto 22. Kondisi aliran pada peredam energi



Foto 23. Kondisi aliran pada saluran pengarah hilir



Foto 24. Kondisi aliran pada sungai bagian hilir

#### 4.14.2. Model Alternatif Design

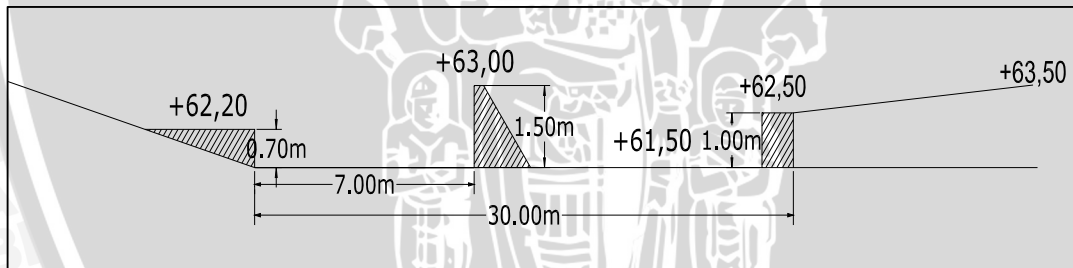
Berdasarkan hasil uji model seri 0 yang kurang optimal dengan ketidaksesuaian dengan aspek hidraulik, maka diperlukan model *alternatif design*. Adapun *alternatif design* sebagai berikut:

##### 1. Model Seri I

Dikarenakan dimensi seri 0 yang tidak normatif, maka dilakukan perubahan pada saluran pengarah hilir dibuat dengan menaikkan elevasi *end sill* ke elevasi dasar saluran dengan kemiringan 1:2, panjang 60 m dan ketinggian 1 m serta ditambahkan campuran pasir + batu bara masing-masing 50% yang berdiameter 0,5 m. Selain itu dibukanya saluran pengarah hilir menjadi bentuk trapesium. Sedangkan tinggi *back water* yang terjadi masih tinggi, yaitu 1,05 m.

Untuk memperbaiki kondisi aliran pada *original design* dilakukan beberapa perubahan, yaitu:

- Penambahan tinggi *end sill* 1 m menjadi (elevasi +62.50)
- Penambahan rip-rap untuk *terminal channel*
- Perubahan bentuk penampang pada saluran pengarah hilir dari penampang persegi selebar 16 m menjadi trapesium selebar 24 m dengan kemiringan 1:0,6 dan panjang perubahan 27 m.



Gambar 4.28. Sketsa dimensi seri 1 pada peredam energi

Berikut gambar perubahan dimensi desain seri 1:



Gambar 4.29 Penambahan tinggi *end sill* menjadi + 62.50



Gambar 4.30. Penambahan rip-rap pada *terminal channel*

Hasil pengujian :

Dengan perubahan bentuk dan dimensi saluran pengarah hilir, mampu mengendalikan aliran sampai dengan QPMF. Akan tetapi terjadi aliran silang (*cross flow*) pada *outlet* peredam energi (perubahan lebar saluran dari 16 m menjadi 24 m).

**Dokumentasi Pengaliran Model Seri 1**



Foto.25. Kondisi aliran pada peredam energi seri 1 Q 2th



Foto.26. Kondisi aliran pada saluran pengarah hilir seri I Q 2th



Foto.27. Kondisi aliran pada peredam energi seri 1 Q 100th

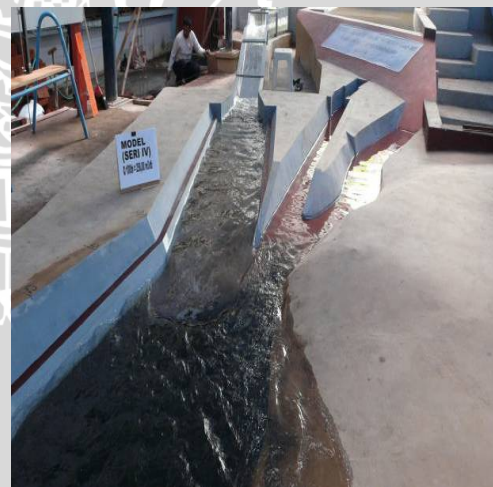


Foto.28. Kondisi aliran pada saluran pengarah hilir seri I Q 100th

**2. Model Seri II**

Dengan perubahan dimensi pada seri I, dimungkinkan peredaman untuk  $Q_{1000th}$  dan debit *outflow* PMF tidak bisa terkendali, maka ditambahkan pada saluran pengarah

hilir dibuat trapesium dengan lebar 24 m panjang 27 m dari akhir *end sill* dengan ditambahkan kerikil. Dengan kemiringan  $S=0,005$ . Guna menghilangkan aliran silang (*cross flow*) yang terjadi pada saluran pengarah hilir, dibuat perubahan lebar dari 16 m menjadi 24 m pada *terminal channel*.



Gambar 4.31. Penambahan rip-rap pada *terminal channel*

Hasil pengujian:

Dengan perubahan tersebut mampu menghilangkan aliran silang yang terjadi pada saluran pengarah hilir. Dan mampu meredam aliran pada bagian hilir.

**Dokumentasi Pengaliran Model Seri II**



Foto.29. Kondisi aliran pada peredam energi seri II Q 2th



Foto.30. Kondisi aliran pada saluran pengarah hilir seri II Q 2th



Foto.31. Kondisi aliran pada bagian peredam energi seri II Q 100th



Foto.32. Kondisi aliran pada saluran pengarah hilir seri II Q 100th

### 3. Model Seri III

Pada seri III seperti halnya dengan seri II peredaman untuk Q1000th dan debit *outflow* PMF tidak bisa terkendali, dibuat penaikan elevasi *end sill* ke elevasi dasar saluran dengan ketinggian 2,5 m. Dibuat elevasi dasar dari awal saluran pengarah hilir +65.00 sampai akhir saluran pengarah hilir.

Pada seri ini terjadi penambahan rip-rap untuk *terminal channel* serta perubahan pada saluran pengarah hilir elevasi yang semula +63.50 dinaikkan setinggi 1,50 m menjadi elevasi +65.00. Namun dengan adanya kenaikan elevasi ini tidak mengurangi *back water* yang terjadi, yaitu sekitar 2,375 m.



Gambar 4.32. Perubahan kemiringan *terminal channel* dari +63.50 menjadi +65.00

Hasil pengujian:

Dengan perubahan tersebut, kondisi aliran yang terjadi pada saluran pengarah hilir semakin baik. Akan tetapi masih terdapat aliran mati pada *outlet* pengarah hilir.

**Dokumentasi Pengaliran Model Seri III**



Foto.33. Kondisi aliran pada peredam energi seri III Q 2th



Foto.34. Kondisi aliran pada saluran pengarah hilir seri III Q 2th



Foto.35. Kondisi aliran pada bagian peredam energi seri III Q 100th



Foto.36. Kondisi aliran pada saluran pengarah hilir seri III Q 100th

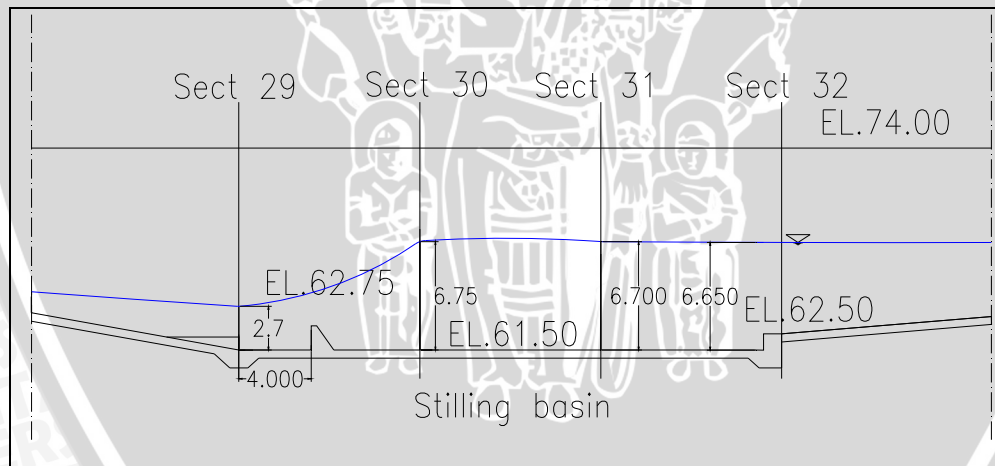
#### 4. Model Seri IV

Untuk Seri IV, dikarenakan tinggi air pada *back water* masih tinggi. Dimensi peredam energi mengalami modifikasi yaitu, jarak antara *chute block* dan *baffle block* dari semula 7 m menjadi 4 m, *baffle block* dibuat bentuk trapesium. Maka dilakukan modifikasi pada dimensi *baffle block* dimana tinggi *baffle block* diturunkan dari tinggi semula 1,5 m menjadi 1 m, pada saluran pengarah hilir dari semula ditambah kerikil, sekarang dibuat pasangan batu bata, pasir, semen dan di atasnya ditambah kayu sedangkan saluran pengarah hilir dari El. +65.00 dibuat dengan tanah keras. *Back water* yang terjadi masih tinggi yaitu 1,20 m.

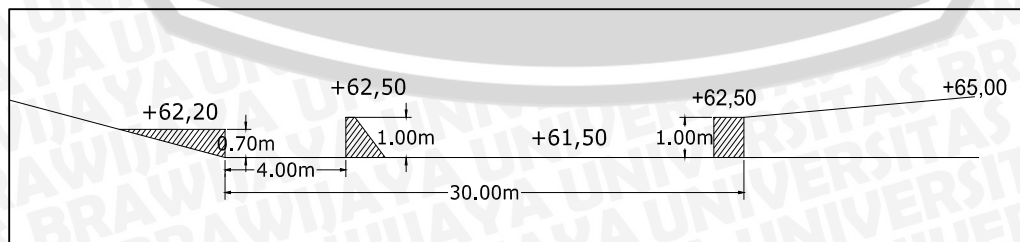
Tabel 4.60. Hasil perhitungan tinggi muka air pada peredam energi seri IV debit pengaliran Q100th

Section	Hasil Perhitungan				Fr	Keterangan
	B (m)	h (m)	A (m <sup>2</sup> )	V (m/dt)		
29	16	2.7	43.200	5.972	1.160	Superkritis
30	16	6.75	108.000	2.389	0.294	Sub kritis
31	16	6.70	107.200	2.407	0.297	Sub kritis
32	16	6.65	106.400	2.425	0.300	Sub kritis

Sumber: Hasil perhitungan



Gambar 4.33. Sketsa tinggi muka air Q100th di peredam energi seri IV



Gambar.4.34. Sketsa dimensi peredam energi seri IV

Pada seri ini juga dilakukan normalisasi sungai dengan membuka tebing sungai di hilir saluran pengarah hilir, dengan normalisasi ini diharapkan akan lebih memperlancar aliran air menuju ke sungai alami sehingga tidak terjadi penumpukan aliran di hilir saluran pengarah yang mengakibatkan tingginya efek *back water* pada sungai di kaki bendungan.



Gambar. 4.35. Perubahan dimensi pada chute block dan baffle block



Gambar.4.36. Normalisasi sungai bagian hilir

Hasil pengujian :

Dari hasil running didapatkan bahwa pembukaan tebing sungai dapat lebih menurunkan muka air *back water* yang terjadi. Namun untuk hasilnya belum optimal, ini terbukti bahwa tinggi *back water* masih sekitar 1,2 m.

**Dokumentasi Pengaliran Model Seri IV**



Foto.37. Kondisi aliran pada peredam energi seri IV Q 2th



Foto.38. Kondisi aliran pada saluran pengarah hilir seri IV Q 2th





Foto.39. Kondisi aliran pada bagian peredam energi seri IV Q 100th

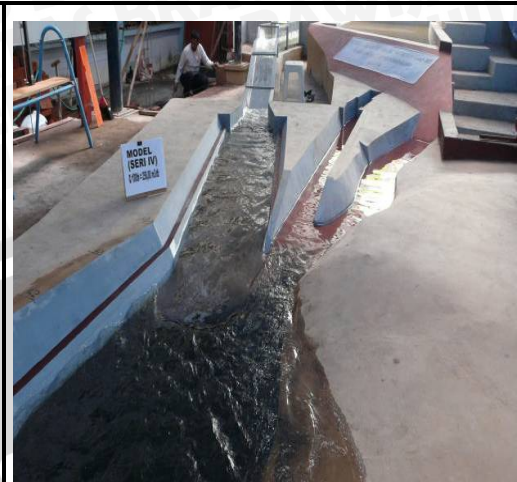


Foto.40. Kondisi aliran pada saluran pengarah hilir seri IV Q 100th

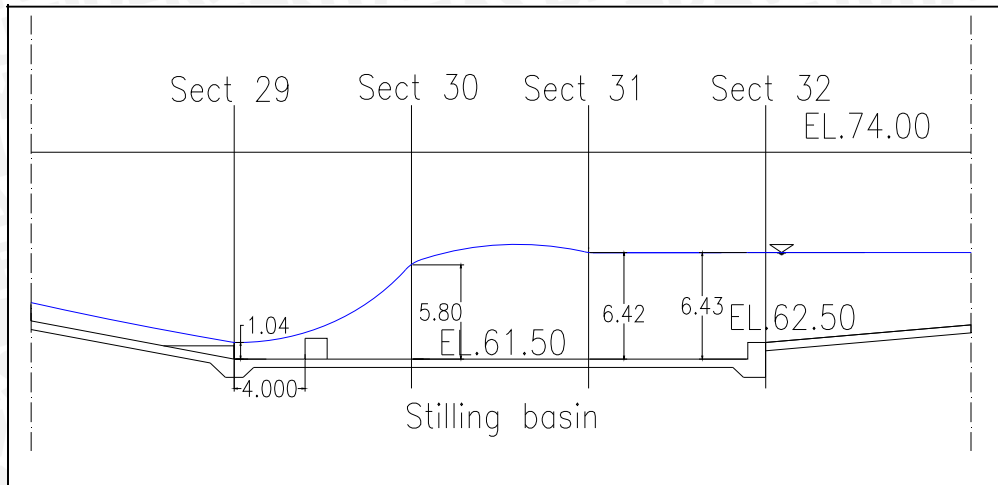
#### 4.14.3. Model Seri V (Final Design)

Dengan perubahan seri IV kali ini, ternyata tinggi air pada *back water* belum juga turun. Dengan jarak yang sama, maka dibuat perubahan *baffle block* menjadi bentuk persegi dengan tinggi 1,25 m. Dan kondisi aliran pada peredam energi sub kritis. Pada seri ini dimungkinkan untuk dijadikan desain akhir yang akan di terapkan di lapangan. Sedangkan dari ke 4 seri, untuk alternatif seri V lah yang *back water* nya tidak tinggi yaitu 0,25 m atau  $\leq 1$ m. Hal ini menjadikan kondisi aman pada bagian hilir dan tidak mengganggu v-notch yang berada di kaki bendungan pada elevasi +66.00.

Tabel 4.61. Hasil perhitungan tinggi muka air pada peredam energi seri V debit pengaliran Q100th

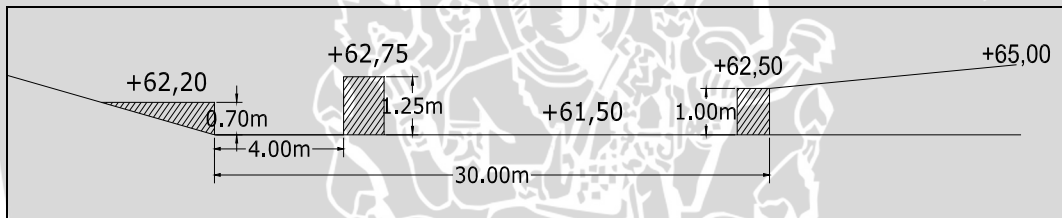
Section	Hasil Perhitungan					Keterangan
	B (m)	h (m)	A (m <sup>2</sup> )	V (m/dt)	Fr	
29	16	1.04	16.667	15.480	4.843	Superkritis
30	16	5.80	92.800	2.780	0.369	Sub kritis
31	16	6.42	102.667	2.513	0.317	Sub kritis
32	16	6.43	102.933	2.506	0.316	Sub kritis

Sumber: Hasil perhitungan



Gambar 4.37. Sketsa tinggi muka air Q100th di peredam energi seri V

Pada seri ini dilakukan modifikasi terhadap bentuk *baffle block* yang semula sesuai dengan standar USBR tipe III menjadi berbentuk persegi panjang dengan 1,25 m, modifikasi dilakukan untuk lebih mendapatkan pola peredaman yang lebih efektif terutama pada debit Q1000th dan QPMF.



Gambar 4.38. Sketsa dimensi peredam energi *final design*

Selain perubahan bentuk *baffle block*, pada seri ini juga dilakukan perubahan material dasar saluran dari *terminal channel*, dimana sebelumnya digunakan rip-rap sebagai proteksinya diganti dengan perkuatan struktur untuk lebih dapat melindungi dasar saluran dibandingkan dengan hanya menggunakan rip-rap.



Gambar 4.39. Perubahan dimensi *baffle block*



Gambar 4.40. Perubahan dimensi *terminal channel*

Penggantian material dasar menjadi struktur memberikan perlindungan yang lebih optimal terhadap *terminal channel*. Pada modifikasi *stilling basin* dari hasil running terlihat memberikan hasil yang efektif dalam peredaman energinya. Pada debit PMF tinggi loncatan menjadi lebih rendah sehingga olakan menjadi lebih terkendali dan terjadi perubahan elevasi pada *back water* menjadi +65.00.

Hasil pengujian:

Model *final design* merupakan penggabungan dari *original design* dan model seri V yang diperoleh hasil sebagai berikut:

1. Aliran di bagian saluran samping mengikuti kaidah hukum momentum dan di saluran transisi terjadi aliran sub kritis untuk berbagai kondisi debit aliran ( $Q_{2th}$  s/d QPMF).
2. Aliran di saluran peluncur dalam kondisi super kritis namun aman terhadap bahaya kavitasi dan *pulsating flow*.
3. Kolam olak / peredam energi cukup efektif meredam energi dari aliran kecepatan tinggi di akhir saluran peluncur.
4. Gerusan setempat (*local scouring*) masih pada taraf toleransi, tidak membahayakan morfologi sungai di bagian hilir.
5. *Back water* yang terjadi masih dalam batas aman  $\leq 1m$  yaitu pada elevasi +65.00 Karena v-notch berada pada elevasi +66.00.

**Dokumentasi Pengaliran Peredam Energi dan Saluran Pengarah Hilir**  
*Final Design*



Foto.41. Kondisi aliran pada peredam energi Q 2th



Foto.42. Kondisi aliran pada saluran pengarah hilir Q 2th



Foto.43. Kondisi aliran pada peredam energi Q 100th

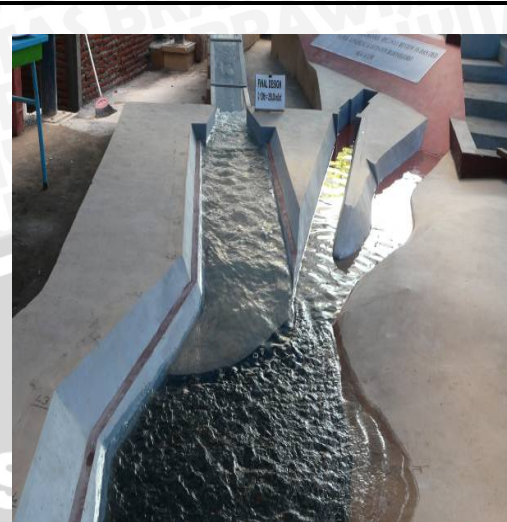


Foto.44. Kondisi aliran pada saluran pengarah hilir Q 100th



Foto.45. Kondisi aliran pada peredam energi Q 1000th



Foto.46. Kondisi aliran pada saluran pengarah hilir Q 1000th



Foto.47. Kondisi aliran pada peredam energi Q PMF



Foto.48. Kondisi aliran pada saluran pengarah hilir Q PMF

Untuk mengetahui lebih lanjut tentang kondisi *back water* di kaki bendungan yang terjadi dapat dilihat pada **Tabel 4.62.** berikut ini:

Tabel 4.62. Rekap hasil *back water* model seri Bendungan Gongseng untuk Q100th

Uji Model	Pengukuran pada Q 100th
	Elevasi Muka Air <i>Back Water</i>
Seri 0	+66.325
Seri I	+66.050
Seri II	+66.465
Seri III	+67.375
Seri IV	+66.200
Seri V	+65.625

Sumber: Hasil pengukuran

Sedangkan pada kondisi *final design* kondisi *back water* dapat dilihat pada

**Tabel 4.63.** berikut ini:

Tabel 4.63. Rekap hasil *back water* pada *final design* Bendungan Gongseng

Debit	Elevasi Muka Air <i>Back Water</i>
	<i>Final Design</i>
Q <sub>2th</sub>	+65.350
Q <sub>100th</sub>	+65.625
Q <sub>1000th</sub>	+65.800
Q <sub>PMF</sub>	+66.500

Sumber: Hasil pengukuran

Dalam pengujian model test Bendungan Gongseng seri V pada saluran pengelak, untuk elevasi muka air *back water* dari elevasi dasar +65.00 dan elevasi muka air yang tertera pada tabel di atas. Ini menunjukkan bahwa tinggi muka air  $\leq 1$  m. Sehingga fungsi v-notch yang berada di kaki bendungan pada elevasi +66.00 aman dan pada kondisi hilir tidak menimbulkan gerusan lokal yang terlalu dalam.