

PENGGUNAAN STILLING BASIN TIPE BREMEN MODIFIKASI PADA PELIMPAH BENDUNGAN TUGU DI KABUPATEN TRENGGALEK

Linda Prasetyorini¹, Dwi Priyantoro²

^{1,2}Dosen Jurusan Teknik Pengairan Universitas Brawijaya

E-mail: linda.wre03@gmail.com

ABSTRAK : Bendungan Tugu direncanakan akan dibangun di Sungai Keser Kota Trenggalek di Provinsi Jawa Timur untuk pasokan air, pengendali banjir di Trenggalek Kota, irigasi, dan PLTA. Pelimpah bendungan direncanakan dengan tipe saluran samping (*side channel spillway*). Salah satu tahapan penting dalam perencanaan bendungan tersebut adalah *model test* yang bertujuan untuk mengevaluasi dan mendapatkan kesempurnaan rekomendasi desain. Penelitian dilakukan menggunakan model fisik hidraulik dengan skala horizontal dan vertikal sama 1:50 di Laboratorium Sungai dan Rawa Jurusan Teknik Pengairan Universitas Brawijaya. Berdasarkan hasil pengujian model, dapat disimpulkan bahwa performance hidraulik desain awal adalah baik, namun karena terjadi kecepatan yang sangat tinggi pada kaki peluncur lebih dari 25 m/dt. Untuk menyempurnakan desain, direkomendasikan penggunaan peredam energi Tipe Bremen Modifikasi yang menyerupai stilling basin Tipe Plunge Pool.

Kata Kunci : pelimpah, peredam energy, Bremen Modifikasi

ABSTRACT : Tugu Dam is designed to be built in Keser River of Trenggalek city in East Java Province. The construction of Trenggalek Dam is planned such as flood control in Trenggalek City, in addition to water supply, irrigation, hydropower and electrical energy. The spillway of the dam is designed using side channel spillway provided by straight chute. One of the important stage in these activities is a physical hydraulic model test. The model test is to evaluate and to achieve the perfect, safe and optimum hydraulic design of the spillway that conducted in the river and swamp laboratory, Water Resources Departement. The model is using undistorted model with scale of 1 to 50. Based on the research results, it can be concluded that the hydraulic performance of the original design is good, but extremely high speed in the end of chute more than 25 m/s. In order to improve the hydraulic design, it is recommended to modify the stilling basin with Bremen Modification Type. Bremen Modification Stilling Basin is similar with plunge pool design.

Keywords : *spillway, stilling basin, Bremen Modification*

1. PENDAHULUAN

Bendungan Tugu merupakan Bendungan Tipe Urugan dengan ketinggian 81 m dari dasar Sungai Keser. Pelimpah Bendungan Tugu direncanakan menggunakan pelimpah samping (*side channel spillway*). Kondisi topografi dan geologi/geoteknik berpengaruh terhadap pemilihan letak pelimpah dan rencana jalur saluran peluncur, selanjutnya jenis material dasar sungai dan morfologi sungai berpengaruh terhadap pemilihan

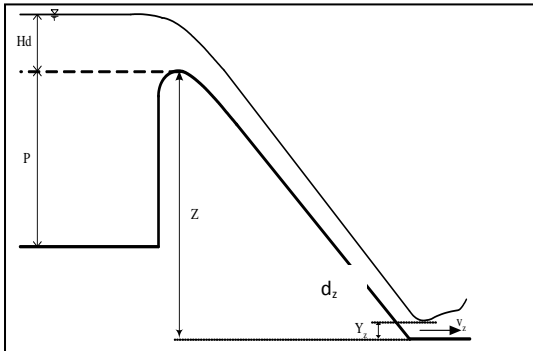
jenis peredam energi, sedangkan hidrologi yang terkait dengan debit banjir rancangan berpengaruh terhadap dimensi kebutuhan lebar pelimpah, sedangkan hidrolika yang terkait dengan profil muka air berpengaruh terhadap perencanaan bentuk bangunan secara hidrolis dan kebutuhan dimensi bangunan yang aman terhadap stabilitas konstruksi. Salah satu aspek yang perlu diperhatikan dalam perencanaan bendungan adalah kondisi hidrolika pada pelimpah. Dengan

adanya dukungan Uji Model Fisik Hidrolika ini diharapkan bisa memantapkan hasil perencanaan, sehingga keamanan bendungan tersebut dapat dipenuhi.

Model dibangun dengan skala horizontal dan vertikal sama 1:50, sedangkan pengujian dilakukan menggunakan debit *outflow* $Q_{2th}-Q_{PMF}$.

2. BAHAN DAN METODE

2.1. Hidrolika pelimpah



Gambar 1. Tinggi muka air di atas tubuh pelimpah

Sumber : Chow, 1989 : 347

$$V_z = \sqrt{2g(Z + Hd - d_z)}$$

$$\frac{Q}{L} = V_z \cdot d_z$$

$$F_1 = \frac{V_z}{\sqrt{g \cdot d_z}}$$

dengan :

- Q = debit aliran (m^3/dt)
- L = lebar efektif pelimpah (m)
- V_z = kecepatan aliran (m/dt)
- g = percepatan gravitasi (m/dt^2)
- Z = tinggi jatuh atau jarak vertikal dari permukaan hulu sampai lantai kaki hilir (m)
- H_a = tinggi kecepatan hulu (m)
- d_z = kedalaman aliran di kaki pelimpah (m)
- F_z = bilangan Froude

2.2. Hidrolika saluran samping

Dalam saluran samping akan terjadi proses peredaman energi, maka saluran tersebut akan menerima beban hidro-dinamis berupa hampasan (*impact*) aliran air dan gaya-gaya vibrasi (*vibration*), se-hingga saluran ini harus dibangun di atas pondasi batuan yang kukuh.

Dengan memulai dari Hukum Newton II tentang gerak, kita bisa memperoleh persamaan momentum yang menyatakan bahwa pengaruh dari semua gaya luar terhadap volume kontrol dari cairan dalam setiap arah sama dengan besarnya perubahan momentum dalam arah tersebut (Raju, 1986:11), sehingga dapat ditulis persamaan berikut :

$$\sum F_x = \rho Q \cdot (\Delta V)$$

$W \sin \theta + P_1 - P_2 - F_f - F_a = \rho Q(V_2 - V_1)$ Den gan:

Q = debit aliran (m^3/dt)

V = kecepatan rerata aliran (m/dt)

g = percepatan gravitasi (m/dt^2)

ρ = berat satuan air (kg/m^3)

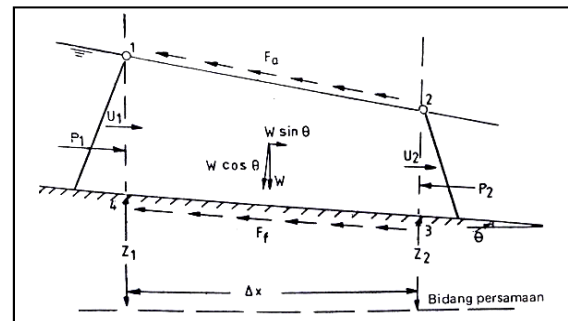
P_1 = tekanan hidrostatik pada potongan 1

P_2 = tekanan hidrostatik pada potongan 2

θ = sudut kemiringan terhadap bidang datar (0)

F_f = gesekan batas terhadap panjang Δx

F_a = tahanan udara pada permukaan bebas



Gambar 2. Prinsip energi dan momentum yang digunakan untuk saluran terbuka

Sumber: Raju, 1986:10

Persamaan yang digunakan dalam perhitungan tinggi muka air pada saluran samping merupakan rumus dasar dari Julian Hinds (Sosrodarsono, 1981:192).

$$Qx = q \cdot x$$

$$V = a \cdot x^n \quad y = \alpha \left(\frac{n+1}{n} \right) h_v$$

Q_x = debit pada titik x

q = debit per unit lebar yang melintasi bendung pengatur ($m^3/dt/m$)

x = jarak antara tepi hulu pelimpah dengan suatu titik pada mercu pelimpah

v = kecepatan rata-rata aliran di saluran samping pada titik tertentu (m/dt)

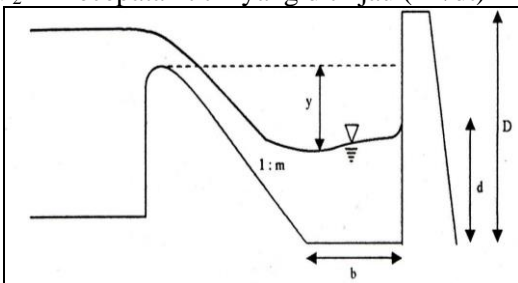
a = koefisien yang berhubungan dengan kecepatan aliran di saluran samping

- n = eksponen untuk kecepatan aliran di saluran samping (antara 0.4-0.8)
 - y = perbedaan elevasi antara mercu bendung dengan permukaan air di dasar saluran samping pada bidang Δx yang melalui titik tersebut (m)
 - hv = tinggi tekan kecepatan aliran (hv = α · v² / 2g)
 - α = koefisien distribusi kecepatan
- Metode ini didasarkan pada Hukum Momentum seperti persamaan berikut:

$$\Delta d = \frac{\beta \cdot Q_1}{g} \cdot \frac{(v_1 + v_2)}{Q_1 + Q_2} \left[v_1 - v_2 + \frac{v_2(Q_2 - Q_1)}{Q_1} \right] D$$

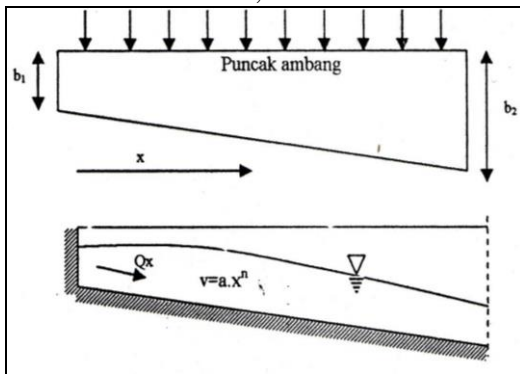
engan:

- Δd = tinggi muka air pada titik yang ditinjau (m)
- B = faktor koreksi momentum
- Q₁ = debit pada bagian hulu (m³/dt)
- Q₂ = debit pada titik yang ditinjau (m³/dt)
- V₁ = kecepatan pada bagian hulu (m²/dt)
- V₂ = kecepatan titik yang ditinjau (m²/dt)



Gambar 3. Penampang melintang saluran samping

Sumber : Sosrodarsono, 1981:192



Gambar 4. Bentuk saluran dan penampang memanjang saluran samping

Sumber : Sosrodarsono, 1981:193

2.3. Hidrolika saluran transisi

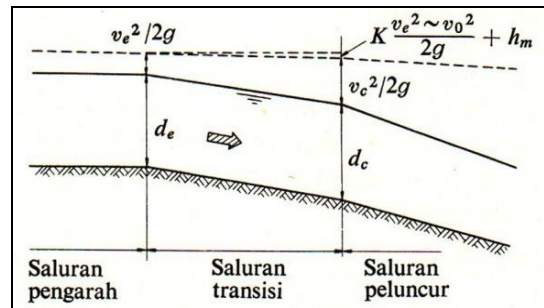
Perhitungan hidrolika pada saluran transisi mengkondisikan aliran di ujung saluran transisi adalah subkritis dan di hilir kritis sesuai dengan Rumus *Bernoulli*, adalah sebagai berikut:

$$Z + d_e + \frac{v_e^2}{2g} = (\text{Elevasi dasar ambang hulu}) +$$

$$d_c + \frac{v_c^2}{2g} + \frac{K(v_e^2 - v_c^2)}{2g} + h_m$$

dengan:

- d_e : kedalaman aliran masuk ke dalam saluran transisi.
- v_e : kecepatan aliran masuk ke dalam saluran transisi.
- d_c : ke dalam kritis pada ujung hilir saluran transisi.
- v_c : kecepatan aliran kritis pada ujung hilir saluran transisi.
- K : koefisien kehilangan tinggi tekanan yang disebabkan oleh perubahan penampang lintang saluran transisi (0,1 - 0,2).
- h_m : kehilangan total tinggi tekanan yang disebabkan oleh gesekan, dan lain-lain.

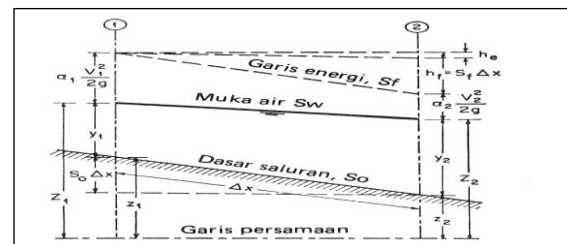


Gambar 5. Skema Aliran Pada Saluran Transisi

Sumber: Sosrodarsono, 1989: 205

2.4. Hidrolika saluran peluncur

Saluran peluncur merupakan saluran pembawa dari ujung hilir saluran transisi atau ujung hilir ambang pelimpah (tanpa saluran transisi) sampai ke peredam energi. Agar saluran peluncur mempunyai volume beton kecil, maka alirannya harus mempunyai kecepatan tinggi. Saluran ini direncanakan dengan aliran super kritis, dengan F > 1.



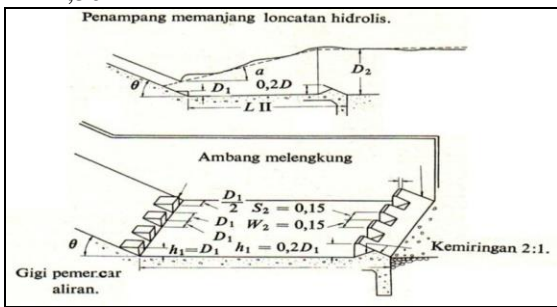
Gambar 6. Skema Penampang Memanjang Aliran Pada Saluran Peluncur Yang Disederhanakan

Sumber: Chow, 1989:239

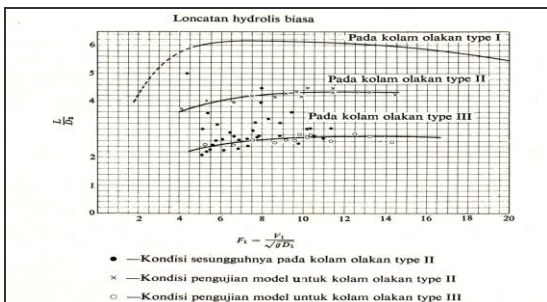
2.5. Peredam energi

Kolam olakan datar tipe II dikembangkan untuk kolam olakan, banyak digunakan pada bendungan tipe urugan dengan beda elevasi yang cukup besar. Kolam olakan mengandung blok-blok tajam saluran pada ujung hulu dan ambang bergerigi dekat ujung hilir. (Chow, 1989:379) Kolam olak USBR tipe II cocok untuk keadaan sebagai berikut:

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



Gambar 7. Kolam Olakan Datar Tipe II
Sumber: Sosrodarsono, 1989:218



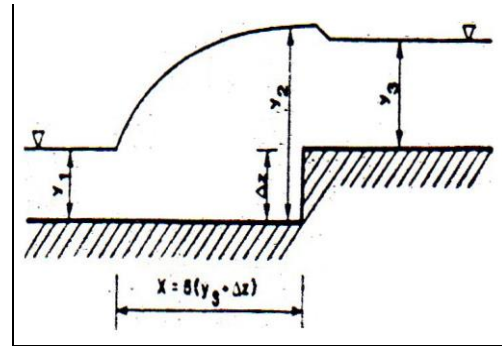
Gambar 8. Panjang Loncatan Hidrolis Pada Kolam Olakan Datar Tipe I, II, III

Sumber: Sosrodarsono, 1989:222

Loncatan Hidraulik

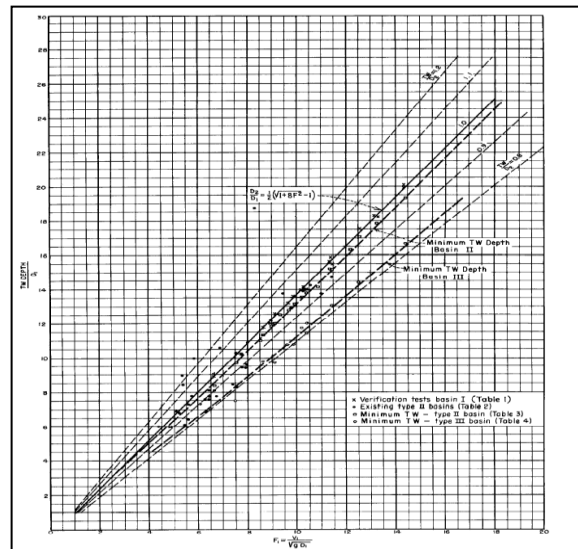
Loncatan air dapat dikendalikan, salah satunya dengan menggunakan kenaikan mendadak (*abrupt rise*). Dalam bentuk analitik Forster dan Skrinde (1950) membuat persamaan untuk perencanaan pengendalian loncatan hidrolis dengan kenaikan mendadak (*abrupt rise*) yang didasarkan pada persamaan momentum dan kontinuitas sebagai berikut (Subramanya, 1986:214):

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



Gambar 9. Pengendalian Loncatan Hidrolis dengan Kenaikan Mendadak

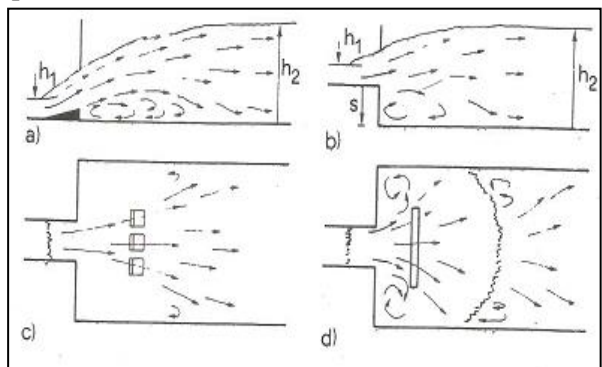
Sumber: Subramanya, (1986:213)



Gambar 10. Kurva Hubungan Antara Kedalaman Hidrolik Dengan Tailwater Untuk Kolam Olak USBR Tipe II, III, dan IV

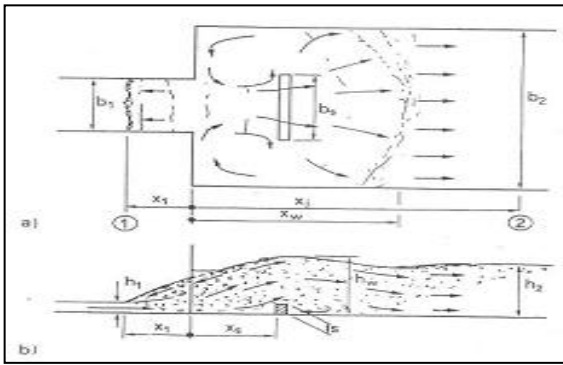
Sumber : Peterka, 1978:25

Peredam Energi Tipe Bremen. Dalam penelitiannya, Bremen mengembangkan efisiensi dan kondisi loncatan hidraulik pada suatu kasus perubahan bentuk saluran secara mendadak.



Gambar 11. Peredam Energi Penelitian Bremen

Sumber: Sumber: Hager, 1992:158



Gambar 12. Peredam Energi Yang dikembangkan Bremen a) tampak atas, b) potongan memanjang

Sumber: Hager, 1992:159

- Jarak sill (x_s) dari bagian pelebaran saluran
- Tinggi sill (s)
- Lebar sill (b_s)

2.6. Skala Model

Ada dua jenis skala yang dapat digunakan dalam pemakaian skala model fisik hidraulika, yaitu skala model sama (*undistorted model*) dan skala model yang tidak sama (*distorted model*). Skala model sama adalah skala yang dipakai dalam pembuatan model dimana perbandingan skala mendatar dan skala tegak adalah sama. Sedangkan skala model yang tidak sama adalah perbandingan antara skala mendatar dan skala tegak yang tidak sama.

Hubungan skala (*scale relation*) yang digunakan pembuatan /perencanaan model fisik dibedakan menjadi dua kelompok (de Vries, 1977:28):

1. *Scale Law*

Hubungan antar skala parameter yang harus dipenuhi (dalam hal ini adalah *Roughnes condition* dan *Froude condition*).

2. *Scale Condition*

Hubungan antar skala parameter yang harus dipenuhi untuk menghindari *scale effects* (dalam hal ini adalah kriteria kesebangunan).

Hubungan antara model dan prototipe dipengaruhi oleh hukum-hukum sifat sebangun hidraulika. Perbandingan antara prototipe dan model disebut dengan skala model. Dalam merencanakan suatu model terdapat sifat-sifat kesebangunan model, yang menentukan ketelitian model tersebut.

Yang dimaksudkan dengan kesebangunan tersebut adalah:

1. Sebangun geometris, disebut juga dengan sebangun bentuk. Yaitu perbandingan antara ukuran analog prototipe dengan model harus sama besarnya. Perbandingan yang digunakan adalah panjang, luas dan volume.

$$n_l = \frac{\text{ukurandi prototipe}}{\text{ukurandi model}} = \frac{L_p}{L_m}$$

Semua ukuran pada titik sembaran di model dan prototipe harus mempunyai skala yang sama.

Skala panjang : $\frac{(L_1)_p}{(L_1)_m} = \frac{(L_2)_p}{(L_2)_m} = n_L$

Skala luas : $\frac{(A_1)_p}{(A_1)_m} = \frac{(L_2^2)_p}{(L_2^2)_m} = n_L^2$

Skala volume :

$$\frac{(V_1)_p}{(V_1)_m} = \frac{(L_2^3)_p}{(L_2^3)_m} = n_L^3$$

Sebangun geometris sempurna tidak selalu mudah dicapai, sehingga kekasaran permukaan dari model yang kecil tidak mungkin merupakan hasil dari skala model, tetapi hanya dibuat permukaan yang lebih licin daripada prototipe.

2. Sebangun kinematis, yaitu sebangun gerakan. Perbandingan yang digunakan adalah waktu, kecepatan dan debit.

Skala kecepatan : $\frac{v_p}{v_m} = \frac{L_p / T_p}{L_m / T_m} = \frac{n_L}{n_T}$

Skala percepatan : $\frac{a_p}{a_m} = \frac{L_p / T_p^2}{L_m / T_m^2} = \frac{n_L}{n_T^2}$

Skala debit : $\frac{Q_p}{Q_m} = \frac{L_p^3 / T_p}{L_m^3 / T_m} = \frac{n_L^3}{n_T}$

3. Sebangun dinamis, yaitu kesebangunan gaya-gaya yang terjadi bila gerakannya sebangun kinematis, dan rasio dari massa yang bergerak serta gaya penyebabnya sudah homolog besarnya.

$$n_F = \frac{(F_1)_p}{(F_1)_m} = \frac{(F_2)_p}{(F_2)_m}$$

2.7. Rancangan Pengujian

Untuk mendukung pelaksanaan penelitian Model Fisik Bendungan Tugu Kabupaten Trenggalek ini digunakan fasilitas Laboratorium

Sungai dan Rawa Jurusan Teknik Pengairan Fakultas Teknik Universitas Brawijaya Malang:

1. Empat buah pompa listrik masing-masing berkapasitas 25 l/dt, 45 l/dt, 30 l/dt dan 30 l/dt.
2. Kolam penampung air sebagai sistem distribusi air di model.
3. Bangunan ukur debit Rechbox yang terbuat dari fiberglass tebal 5 mm dengan ukuran yang disesuaikan dengan standar.
4. Alat pengukur tinggi muka air berupa meteran taraf (*point gauge*), pengukuran kecepatan berupa tabung pitot dan *small current meter*.
5. Model bangunan pelimpah, transisi, peluncur, peredam energi sesuai dengan skala yang digunakan.
6. Rencana bangunan yang dimodelkan.
7. Data debit operasi pada pengujian sebagai berikut

Tabel 1. Bacaan Rechbox Pada Rancangan Pengujian

Debit Rancangan (m ³ /dt)	Debit Outflow	
	Prototipe	Model
	m ³ /dt	lt/dt
Q _{2th}	96,57	5,463
Q _{100th}	326,48	18,469
Q _{1000th}	609,35	34,470
Q _{PMF}	852,85	48,244

Sumber : Hasil Perhitungan

Pengujian perilaku hidrolika aliran di bangunan pelimpah serta bangunan-bangunan pelengkap diuji dalam beberapa kondisi model sebagai berikut :

1. Kalibrasi
Kalibrasi adalah pencocokan parameter yang ada di model dengan parameter yang ada di prototipe, sehingga dapat dipakai sebagai acuan untuk pengukuran selanjutnya.
2. Verifikasi
Verifikasi adalah suatu tahapan pembuktian kebenaran parameter model dan prototipe sehingga diperoleh validasi sesuai dengan ketelitian yang diharapkan.
3. Model seri 0
Model seri 0 merupakan model yang dibuat berdasarkan desain awal (*original design*) yang dibuat oleh konsultan perencana.
4. Model Seri
Model seri ini merupakan alternatif design (modifikasi) bila hasil dari pengujian model seri 0 kurang baik.

5. Model *Final Design*

Model seri ini merupakan hasil akhir dari beberapa model seri percobaan.

3. HASIL DAN PEMBAHASAN

3.1. Pengujian *Original Design*

Perhitungan penetapan skala menggunakan jenis skala tanpa distorsi (*un-distorted*) dengan kesalahan relatif yang diharapkan yang diharapkan sebesar 5%. Menggunakan hasil perhitungan *routing* pelimpah dengan ketinggian air minimum di atas pelimpah adalah 1,611 m (Q_{2th} = 96,57 m³/dt), sehingga diperoleh :

$$0,05 = 1 - \left\{ \frac{H - 0,457}{H} \right\}^{3/2}$$

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

$$\text{Skala model } L_r = \frac{13,326}{1389} = \frac{1}{104,232}$$

Skala minimum yang dapat digunakan dalam model ini 1: 104, tetapi dengan melihat ketersediaan ruangan dan kapasitas pompa yang masih mencukupi dalam pembangunan model test Bendungan Tugu ini digunakan skala 1 : 50, dengan skala tersebut terlihat bahwa hasil model secara keseluruhan telah memenuhi persyaratan, sehingga hasil model tidak menimbulkan efek skala pada prototipe. Besaran-besaran yang berhubungan dengan pemodelan dapat diketahui sebagaimana tabel 2 berikut.

Tabel 2. Rasio Besaran Pemodelan

No	Besaran	Notasi	Rumus	Rasio (n _m = n _p = 50)
1.	Kecepatan Aliran	<i>u</i>	n _u = n _p ^{1/2}	n _u = 7,071
2.	Waktu Aliran	<i>t</i>	n _t = n _p ^{1/2}	n _t = 7,071
3.	Debit Aliran	<i>Q</i>	n _Q = n _p ^{3/2}	n _Q = 17.677,67
4.	Diameter Butiran	<i>d</i>	n _d = n _p	n _d = 50
5.	Volume	<i>V</i>	n _v = n _p ³	n _v = 125.000
6.	Koefisien Chezy	<i>C</i>	n _c = 1	n _c = 1
7.	Koefisien Manning	<i>n</i>	n _n = n _p ^{1/6}	n _n = 1,919

Sumber : Hasil Perhitungan

Tabel 3. Tingkat Ketelitian Model pada h_d di Atas Pelimpah

Debit Rancangan (m ³ /dt)	Debit Outflow		Tinggi Muka Air Di Atas Pelimpah		KR (%)
	Prototipe	Model	Perhitungan	Model	
	(m ³ /dt)	(m ³ /dt)	(m)	(m)	
Q _{2th}	96.570	1.549	1.549	1.600	3.188
Q _{100th}	326.480	3.488	3.488	3.500	0.343
Q _{1000th}	609.350	5.288	5.288	5.400	2.074
Q _{PMF}	852.850	6.616	6.616	6.600	0.242

Sumber : Hasil Perhitungan

Tabel 4. Tingkat Ketelitian Model pada h_c pada Ujung Saluran Transisi – Peluncur

Debit Rancangan (m ³ /dt)	Debit Outflow		Tinggi Muka Air Di Atas Pelimpah		KR (%)
	Prototipe	Perhitungan	Model		
	(m ³ /dt)	(m)	(m)		
Q _{2th}	96.570	1.602	1.645	2.614	
Q _{100th}	326.480	3.685	3.750	1.733	
Q _{1000th}	609.350	5.689	5.750	1.061	
Q _{PMF}	852.850	7.217	7.400	2.473	

Sumber : Hasil Perhitungan

Hasil pengujian dengan debit pengaliran pada kondisi *original design* Q_{2th}, Q_{100th}, Q_{1000th}, Q_{PMF} adalah sebagai berikut.

a) Bendungan

Elevasi Muka Air

Side Channel Spillway Bendungan Tugu mampu mengalirkan air pada semua debit rancangan yang diujikan tanpa menimbulkan *overtopping*. Dari hasil model test didapatkan bahwa elevasi muka air maksimum saat kondisi Q_{PMF} = 258,217 m³/dt, sehingga muka air waduk masih berada 0,783 m di bawah elevasi puncak bendungan (El. 259,00).

Perilaku Aliran

Approach channel membuat aliran yang menuju pelimpah relatif tenang pada setiap debit yang diujikan, namun pada saat debit-debit besar mengakibatkan kecepatan yang tidak merata akibat dari bentuknya yang tidak simetris.

b) Pelimpah dan Saluran Samping (*Side channel*)

Elevasi Muka Air

Model pelimpah mampu melewati semua debit rancangan yang diujikan tanpa terjadinya aliran balik (*backwater*). Pada saat Q_{PMF} masih terdapat tinggi jagaan sebesar 0,78 m.

Kontrol Kavitas

Pada Piezometer yang terpasang pada pelimpah, mulai menunjukkan adanya nilai negatif pada pengaliran debit banjir rancangan Q_{100th} karena kecepatan yang relatif besar > 4m/dt. Nilai kavitas terbesar adalah -1,30 m, namun masih dalam batas toleransi (nilai kavitas maksimum yang diijinkan untuk beton adalah -4m).

Perilaku Aliran

Mengingat perbedaan elevasi yang terlalu curam antara pelimpah dengan *side channel* (10 m), maka aliran yang terjadi seperti pada pelimpah *overflow*, tidak ada pengempangan pada saluran samping. Saluran samping hanya efektif meredamkan aliran yang turun dari pelimpah

sampai dengan Q_{2th}. Untuk debit-debit di atasnya, kondisi saluran samping sudah tidak mampu lagi meredam aliran dari pelimpah, sehingga aliran yang menuju saluran transisi dalam kondisi superkritis.

c) Saluran Transisi

Elevasi Muka Air

Kapasitas Saluran Transisi dengan panjang 95,60 m dengan kemiringan (S=0,0005) mampu mengalirkan dengan aman semua debit rancangan (Q_{2th} s/d Q_{PMF}) yang dioperasikan di model.

Kontrol Kavitas

Pada Piezometer yang terpasang pada dasar saluran transisi, tidak menunjukkan adanya nilai negatif pada semua pengaliran debit banjir rancangan. Sehingga, dapat disimpulkan bahwa saluran transisi aman terhadap bahaya kavitas.

Perilaku Aliran

Akibat aliran dari *side channel* yang tidak terkendali dengan baik dan akibat adanya belokan pada saluran transisi, maka terjadi aliran menyisir ke arah kanan pada saluran transisi.

d) Peluncur

Elevasi Muka Air

Saluran peluncur mampu menampung air pada setiap Debit rancangan yang diujikan. Pada awal lengkung saluran peluncur (El + 240,953) terjadi aliran kritis (F_r=1), selanjutnya menuju ke arah hilir saluran akan terjadi aliran super kritis (F_r > 1).

Kontrol Kavitas

Pada Piezometer yang terpasang pada dasar saluran peluncur, tidak menunjukkan adanya nilai negatif pada semua pengaliran debit banjir rancangan. Sehingga, dapat disimpulkan bahwa saluran peluncur aman terhadap bahaya kavitas.

Perilaku Aliran

Akibat pengendalian yang kurang baik pada *side channel* dan saluran transisi, maka terjadi aliran silang pada awal peluncur.

e) Peredam Energi Hilir

Elevasi Muka Air

Peredam Energi USBR Tipe II hanya efektif meredam aliran air dari saluran peluncur untuk debit rancangan Q_{2th} yang diujikan. Pada debit rancangan Q_{100th} - Q_{PMF} tinggi dinding peredam energi juga masih mampu menampung, namun aliran air meloncat tidak terkendali.

Perilaku Aliran

Pada debit pengujian Q_{100th} - Q_{PMF}, loncatan hidraulik sudah berada di luar ruang olak. Hal ini diakibatkan dari kecepatan dari saluran peluncur

yang sangat tinggi >20 m/dt, sehingga peredam energy tipe USBR kurang sesuai untuk perencanaan.

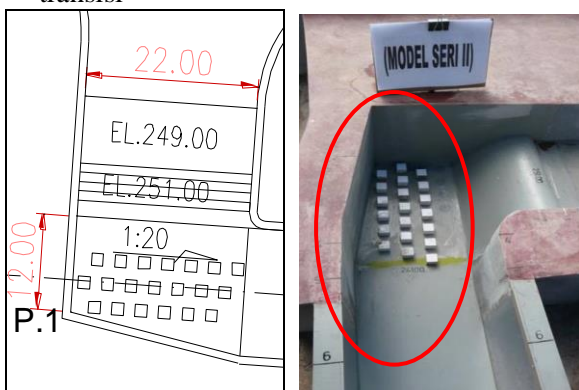
f) Saluran Pengarah Hilir dan Sungai Bagian Hilir

Bentuk penampang saluran pengarah hilir trapesium dengan lebar 16 m dan kemiringan talud 1 : 1 cukup efektif dalam mengalirkan debit yang ada.

3.2. Pengujian Model Seri dan Final Design

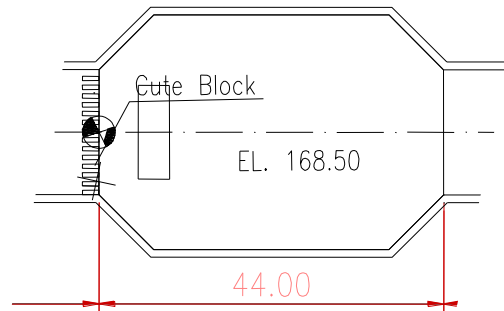
Alternatif penyempurnaan kondisi aliran pada uji model Fisik Pelimpah Bendungan Tugu Kabupaten Trenggalek adalah sebagai berikut :

- 1) Memperbaiki kondisi aliran pada saluran samping dan saluran transisi dengan menambahkan blok-blok dengan dimensi 1,5m x 1,5m x 1,5m sebanyak 3 baris pada saluran samping untuk meredam aliran dari pelimpah untuk mengurangi aliran silang (*cross flow*) dan aliran menyisir pada saluran transisi



Gambar 13. Model Seri II pada Saluran Transisi

- 2) Mengganti peredam energi dengan model trapesium segi 8 (tipe aquarium dengan lebar 30 m) dan menambahkan blok dimensi 4mx12mx2m dengan jarak penempatan 5 m dari kaki peluncur



Gambar 14. Model Seri II Modifikasi Peredam Energi Tipe Bremen

- 3) Perubahan dinding *approach channel*



Gambar 15. Model Seri II perubahan dinding *approach channel*





Gambar 16. Hasil Pengujian Final Design

Hasil pengujian dengan debit pengaliran Q_{2th} - Q_{PMF} , adalah sebagai berikut :

- 1) Dengan pemberian blok-blok pada saluran samping tersebut mampu menghilangkan aliran silang dan aliran menyisir pada saluran transisi. Saluran samping mampu meredam aliran dari pelimpah dan pada saluran transisi terjadi aliran sub kritis untuk berbagai kondisi debit aliran (Q_{1th} s/d Q_{PMF})
- 2) Aliran pada saluran peluncur dalam kondisi super kritis namun aman terhadap bahaya kavitasi dan *pulsating flow*.
- 3) Penggantian tipe peredam energi mampu mematahkan energi dari saluran peluncur, sehingga terjadi peredaman efektif sampai dengan Q_{100th} dan tinggi muka air di akhir peredam energi (Y_2) lebih rendah dari hasil perhitungan, sehingga tinggi dinding peredam direkomendasikan 12 m (pada desain awal 21 m)
- 4) Perubahan dinding *approach channel* yang sejajar mampu mengurangi ke-cepatan yang menuju pelimpah, se-hingga kecepatan lebih merata dan mengurangi bahaya kavitasi.
- 5) Melihat hasil gerusan setempat (*local scouring*) yang cukup dalam 0,75 m pada saat Q_{100th} , maka direkomendasi-kan untuk pemberian rip-rap pada akhir saluran pengarah hilir (pertemu-an dengan sungai hilir) selebar 10 m dengan diameter 1,5 – 3 m.

4. KESIMPULAN

Pelimpah bendungan direncanakan dengan lebar 35 m menggunakan mercu Ogee Tipe I. Dari hasil pengujian model secara keseluruhan menunjukkan bahwa pelimpah mampu mengalirkan semua debit Q_{2th} - Q_{PMF} dengan aman tanpa mengakibatkan *overtopping*. Penempatan puncak pelimpah pada elevasi +152,20 dan puncak ben-dungan pada elevasi +159.00 masih me-nyisakan jagaan sebesar 0.78 m pada saat Q_{PMF} . Pelimpah samping dengan pe-nambahan *buffle apron* mampu membuat aliran subkritis dan kritis di awal saluran peluncur. Pada saluran peluncur aliran merata dan tidak terjadi aliran silang. Penggunaan kombinasi antara USBR II dan Bremen (MODEL SERI V) mampu mengendalikan loncatan air (*hydraulic jump*) mulai debit aliran Q_{2th} s/d Q_{100th} (sesuai dengan desain perencanaan). Indi-kasi efektifitas peredaman tampak pada Q_{100th} ketika loncatan hidraulik yang terjadi masih di dalam ruang kolam olak dengan tinggi loncatan 8-10 m (jauh lebih rendah dari hasil perhitungan). Demikian pula untuk debit aliran maksimum Q_{PMF} loncatan terjadi pada *terminal channel* sebelum masuk ke saluran pengarah hilir.

5. DAFTAR PUSTAKA

- Chow, Ven Te. 1989. *Hidrolika Saluran Terbuka, terjemahan E.V. Nensi Rosalina*. Jakarta : Erlangga.z
- De Vries, M. 1987. *Scaling Model Hydraulic*. Netherland: IHE Published
- Hager, Willi H. 1992. *Energy Dissipators And Hydraulic Jump*, Dordrecht : Kluwer Academic Publishers.
- Peterka, A.J. 1984. *Hydraulic Design of Stilling Basins and Energy Dissipators*. United States Department of The Interior : Bureau of Reclamation.
- Raju, K.G.R. 1986. *Aliran Melalui Saluran Terbuka, terjemahan Yan Piter Pangaribuan B.E., M.Eng*. Jakarta : Erlangga.
- Sosrodarsono, Suyono dan Tekeda, Kensaku. 1989. *Bendungan Type Urugan*. Jakarta : Erlangga.
- Subramanya, K. 1986. *Flow In Open Channels*, New Delhi : Tata McGraw-Hill Publishing Company Limited.