

# PERANCANGAN ULANG BENDUNG TIRTOREJO YOGYAKARTA (ANALISIS HIDRAULIKA) (181A)

**Agatha Padma L**

*Jurusan Teknik Sipil, Universitas Atma Jaya Yogyakarta, Jl. Babarsari 44 Yogyakarta  
Email: padma\_laksita@yahoo.com*

## ABSTRAK

Perancangan Bendung Tirtorejo adalah perancangan bangunan air yang berhubungan dengan pengembangan suatu daerah irigasi Bendung Tirtorejo dirancang dengan menggunakan Q desain sebesar 95 m<sup>3</sup>/s. Tipe peredam pada Bendung Tirtorejo yaitu Peredam Energi Berganda, dikarenakan ketinggian elevasi sungai lebih dari sepuluh meter. Analisis ulang dilakukan untuk mengetahui perbedaan hidraulika dari beberapa alternatif kajian. Perhitungan yang dilakukan ini dengan mengubah bentuk bendung yang semula berbentuk persegi menjadi bulat, mengubah elevasi peredam energi bendung dengan menggunakan 2 peredam energi dan 1 peredam energi. Perhitungan yang dilakukan adalah penentuan bentuk dan ukuran mercu pelimpah bendung, tinggi bendung, lebar bendung, penentuan tinggi energi diatas mercu, perhitungan tinggi muka air di hulu dan hilir bendung, perhitungan kecepatan air di hulu dan hilir, perhitungan kolam loncat air, kedalaman air yang terjadi pada backwater, dan tinggi tanggul banjir. Dari analisis data dengan tidak mengubah elevasi mercu bendung awal didapat elevasi muka air hulu yang baru +103,331, Analisis perhitungan I, dihasilkan hitungan pertambahan panjang mercu bendung 1 menjadi 13 m, panjang kolam olak 8,5 m, panjang mercu bendung 2 yaitu 12 m, panjang kolam olak 30,5. Analisis perhitungan II panjang mercu 13 m, elevasi kolam olak +91,057 m, panjang kolam olak 9 m, untuk mercu ke 2 tinggi mercu 3 m, elevasi mercu +94,057m, panjang bendung 9,5 m, elevasi kolam olak +85,09, panjang kolam olak 10,5 m. Untuk analisis III panjang mercu bendung 16 m, panjang kolam olak 12 m. Semua perancangan tipe kolam olak menggunakan kolam olak USBR tipe III.

Kata Kunci: bendung, bangunan air, mercu, peredam energi, kolam olak

## 1. PENDAHULUAN

Sistem irigasi yang ada di Kabupaten Sleman salah satunya adalah Daerah Irigasi Opak I yang terletak di wilayah Pakembinangun, Kabupaten Sleman dengan luas 1332 Ha. Dibagi tepatnya 6 (enam) Daerah Irigasi, yaitu Bendung Pleret, Bendung Mojosari, Bendung Gendukan, Bendung Sembir, Bendung Ngeburan, dan Bendung Tirtorejo dimana keseluruhan lokasi berada pada kecamatan Prambanan. Bendung Tirtorejo dengan luas daerah irigasi sebesar 541 Ha. Bendung Tirtorejo merupakan bendung dengan peredam energi berganda, yang mempunyai spesifikasi lebih khusus daripada bendung pada umumnya.

## 2. TINJAUAN PUSTAKA

Peredam energi tipe berganda adalah struktur di bagian hilir tubuh bendung yang merupakan kolam olak berganda, yang masing-masing kolam olak dilengkapi dengan lantai datar dan ambang akhir pembentuk olakan. Bendung dengan peredam energi berganda sangat cocok dibangun di sudetan sungai dengan ketinggian lebih dari sepuluh meter. Karena akan dapat mengurangi jumlah galian sudetan dan pematihan energi air yang besar sehingga tidak menimbulkan penggerusan setempat yang dalam. Adapun perencanaan hidraulika bagian-bagian pokok bangunan bendung akan dijelaskan berikut ini:

### 1. Penentuan Elevasi Puncak Mercu

Elevasi mercu bendung diperoleh dari perhitungan elevasi tinggi muka air minimum pada bangunan pengambilan.

$$\text{Tinggi bendung} = E.\text{mercu bendung} - E.\text{muka dasar hulu bendung} \quad (1)$$

### 2. Tinggi Muka Air Diatas Mercu:

$$H_1 = h_1 + h_a = h_1 + \frac{v^2}{2g} \quad (2)$$

## 3. Lebar Bendung

$$B_e = B - [2(n.K_p + K_a)H_1] \quad (3)$$

## 4. Perencanaan Mercu

## Mercu Bulat

Persamaan tinggi energi-debit untuk bendung ambang pendek dengan pengontrol segi empat adalah:

$$Q = Cd \cdot \frac{2}{3} \sqrt{\frac{2}{3} \cdot g \cdot b \cdot H_1^{1.5}} \quad (4)$$

5. Kolam Olak (*Stilling Basin*) dan Loncat Air (*Hydraulic Jump*)

Dengan

$$q = v_1 y_1 \quad (5)$$

dan rumus untuk kedalaman konjugasi dalam loncat air adalah:

$$\frac{y_2}{y_u} = \frac{1}{2} \left( \sqrt{1 + 8 \cdot Fr^2} - 1 \right) \quad (6)$$

dimana:

$$Fr = \frac{v_1}{\sqrt{g \cdot y_u}} \quad (7)$$

Besarnya energi yang hilang pada loncat air dapat dihitung dengan persamaan:

$$\Delta E_s = E_{s1} - E_{s2} = \frac{(y_2 - y_1)^3}{4 \cdot y_1 \cdot y_2} \quad (8)$$

Tidak ada rumus teoritis yang dapat digunakan untuk menghitung panjang loncat air. Beberapa ahli mencoba merumuskan panjang loncat air sebagai sebuah persamaan empiris seperti ditunjukkan dalam Tabel 1.

Tabel 1. Rumus Empiris Panjang Loncat Air.

Peneliti	Rumus Empiris	Keterangan
Woycicli (1931)	$L_j = (y_2 - y_1) \cdot (C - 0.05 \frac{y_2}{y_1})$	C = 8
Smetana (1964)	$L_j = C \cdot (y_2 - y_1)$	C = 6
Silvester (1964)	$L_j = 9,75 (Fr - 1)^{1,01} \cdot y_1$	
USBR (1973)	$L_j = A \cdot (y_2 - y_1)$	A = 5 - 6,9
Dept. PU (1986)	$L_j = 5 \cdot (n + y_2)$	

Jenis Loncat air yang terjadi pada dasar mendatar dapat dibeda-bedakan berdasarkan bilangan Froude aliran yang terjadi, yaitu sebagai berikut:

- Fr = 1, Aliran kritis, sehingga tidak berbentuk loncatan.
- Fr = 1 - 1,7, Terjadi ombak pada permukaan air, dan loncatan yang terjadi dinamakan loncatan berombak.
- Fr = 1,7 - 2,5, Terbentuk rangkaian gulungan ombak pada permukaan loncatan, tetapi permukaan air di hilir tetap halus.
- Fr = 2,5 - 4,5, Terdapat semburan berosilasi menyertai dasar loncatan bergerak ke permukaan dan kembali lagi tanpa ada periode tertentu.

- e.  $Fr = 4,5 - 9,0$ , Ujung-ujung permukaan hilir akan bergulung dan titik di mana kecepatan semburannya tinggi cenderung memisahkan diri dari aliran.
- f.  $Fr \geq 9$ , Kecepatan semburan yang tinggi akan memisahkan hempasan gelombang gulung dari permukaan loncatan, menimbulkan gelombang-gelombang hilir, jika permukaannya kasar akan mempengaruhi gelombang yang terjadi.

$$F_r = \frac{v}{\sqrt{g \cdot y}} = \frac{q}{\sqrt{g \cdot y^3}} \quad (9)$$

Adapun jenis-jenis kolam olak yang disarankan oleh Dept PU adalah:

- a. Kolam olak untuk bilangan Froude = 2,5 -4 ,5

Kolam olak USBR tipe IV, Kolam olak tipe-blok halang (baffle block type), Donnelly and Blaisdell, 1954.

- b. Kolam olak untuk bilangan Froude > 4,5

Loncatan airnya bisa mantap dan peredaman energi dapat dicapai dengan baik. Kolam olak yang digunakan adalah USBR tipe III.

- c. Kolam Vlugter

Kolam ini khusus untuk digunakan untuk bangunan terjun di saluran irigasi.

#### 6. Profil Muka Air di Hulu Bendung

Metode yang digunakan yaitu metode langkah langsung (*direct step method*) dengan membagi ruas sungai kedalam beberapa pias (Triatmodjo, 1993):

$$E_s = y + \frac{u^2}{2 \cdot g} \quad (10)$$

$$\Delta E_s = \frac{(y_2 - y_1)^3}{4 \cdot y_1 \cdot y_2} \quad (11)$$

$$I_f = \frac{n^2 \cdot Q^2}{B^2 \cdot y^{10/3}} \quad (12)$$

$$\Delta X = \frac{(E_{s2} - E_{s1})}{I_0 - I_f} \quad (13)$$

#### 7. Tinggi Tanggul

Tinggi tanggul banjir dihitung dengan persamaan berikut:

$$H_D = H + H_f \quad (14)$$

Untuk tinggi jagaan yang diperlukan maka Dept. PU (1986) telah menetapkan bahwa tinggi jagaan minimal 0,60 m. Lebar atas diambil sekurang-kurangnya 3,0 m, jika tanggul dipakai untuk jalur pemeliharaan.

### 3. DATA DAN ANALISIS

Data yang digunakan dalam perancangan Bendung Tirtorejo ini berasal dari Laporan Perencanaan Jaringan Irigasi DI Opak I Kabupaten Sleman. Data yang dibutuhkan adalah data topografi dan data hidrologi ( $Q_{\text{desain}}$ ).

#### 1. Data Topografi

Adapun Daerah Irigasi Opak I seluas 541 Ha. Sungai Opak merupakan pemasok utama air pada Bendung Tirtorejo dan mempunyai kemiringan dasar sungai 0,0025.

#### 2. Data Hidrologi

Untuk mengevaluasi perancangan konstruksi bendung yang ada maka disini penulis menggunakan  $Q$  sebesar  $95 \text{ m}^3/\text{s}$ , dimana  $Q$  desain ini merupakan  $Q$  desain lama, yang terdapat pada Laporan Akhir Bendung Tirtorejo.

#### 4. PERANCANGAN HIDRAULIKA BENDUNG

Terdapat tiga (3) macam alternatif perhitungan pada bab ini, yaitu Alternatif I dengan memakai elevasi awal sesuai di lapangan dengan mengganti bentuk mercu bendung yang sebelumnya berbentuk persegi menjadi bulat, Alternatif II dengan coba-coba memakai 2 mercu bendung dengan elevasi yang berbeda dari Alternatif I dan Alternatif II dengan coba-coba memakai 1 mercu bendung.

Perhitungan profil muka air di hulu bendung antara Alternatif I, Alternatif II dan Alternatif III sama dikarenakan tinggi bendung dan lebar efektif sungai sama. Perbedaan antara Alternatif I, Alternatif II dan Alternatif III adalah perbedaan elevasi mercu bendung dan banyaknya mercu bendung. Penentuan elevasi puncak mercu awal dan  $Q$  desain yang dipakai dalam perhitungan ini sesuai data yang diperoleh dari Akhir Bendung Tirtorejo, CV Hara Konsultan, yang bekerja dengan Departemen PU Yogyakarta

Tabel 2. Perbandingan Hasil Alternatif Bendung

	Bendung Awal	Bendung Alternatif I	Bendung Alternatif II	Bendung Alternatif III
Elevasi mercu 1	102,56 m	102,56 m	102,56 m	102,56 m
Tinggi mercu 1	2,303 m	2,303 m	2,303 m	2,303 m
Tinggi energi mercu 1	0,844 m	0,785 m	0,785 m	0,785 m
Tinggi muka air hilir mercu 1	0,64 m	0,771 m	0,771 m	0,771 m
Elevasi muka air hilir mercu 1	103,20 m	103,331 m	103,331 m	103,331 m
Lebar mercu 1	59 m	58,667 m	58,667 m	58,667 m
Kecepatan awal 1	2 m/s	0,524 m/s	0,524 m/s	0,24 m/s
Tinggi vertikal mercu 1	11,566 m	11,50 m	8,80 m	14,6 m
Panjang mercu 1	7 m	13 m	10 m	16 m
Elevasi kolam olak 1	91,057 m	91,057 m	93,76 m	87,96 m
Beda tinggi energi 1		9,851 m	7,151 m	12,317 m
Kecepatan awal loncat air 1		15,015 m/s	13,135 m/s	16,916 m/s
Fr loncat air 1		15,015	12,285	17,955
Kedalaman air di hilir mercu 1		5,079 m	3,492 m	2,696 m
Panjang kolam olak 1	5 m	8,5 m	9 m	12 m
Elevasi muka air hilir mercu 1	96,28 m	96,135 m	97,456 m	92,656 m
Tinggi mercu 2	4,58 m	4,8 m	3 m	
Elevasi mercu 2	95,641 m	95,641 m	96,76 m	
Tinggi energi mercu 2		0,736 m	0,736 m	
Tinggi muka air hulu mercu 2	0,64 m	0,495 m	0,696 m	
Elevasi muka air hulu mercu 2	96,28 m	96,135 m	97,252 m	
Kecepatan awal 2		2,175 m/s	2,175 m/s	
Lebar efektif mercu 2	62 m	61,672 m	61,672 m	
Tinggi vertikal mercu 2	9,612 m	10,55 m	8,3 m	
Panjang mercu 2	3,5 m	12 m	10 m	
Kecepatan loncat air 2		14,629 m/s	13,031 m/s	
Fr loncat air 2		14,44	12,141	
Kedalaman konjugasi		2,087 m	1,961 m	
Kedalaman air di hilir mercu 2	8,82 m	5,566 m	2,196 m	
Elevasi muka air hilir mercu 2	93,91 m	90,656 m	90,656 m	
Elevasi kolam olak 2	85,09 m	85,09 m	88,46 m	
Panjang kolam olak 2	13 m	30,5 m	10,5 m	
Elevasi hilir sungai	89,96 m	89,96 m	89,96 m	89,96 m
Panjang Keseluruhan	38,5 m	70,880 m	41,00 m	29,96 m

## 5. KESIMPULAN

Setelah melakukan beberapa alternatif perancangan detail bendung dengan mempergunakan metode atau teori yang telah disebutkan, dan hasil perhitungan maka dapat disimpulkan beberapa hal, yaitu :

1. Alternatif I dengan elevasi lantai hulu +100,257; tinggi mercu 1: 2,303 m; elevasi mercu +102,56; panjang mercu: 13 m; elevasi kolam loncat air 1: +91,06 m; panjang kolam olak: 8,5 m. Untuk mercu bendung 2, elevasi mercu: +95,641 m; tinggi mercu: 4,584 m; panjang bendung: 12 m; elevasi kolam olak 2: +85,09 m; panjang kolam olak 2: 30,5 m
2. Alternatif II dengan elevasi lantai hulu 100,257; tinggi mercu 1: 2,303 m, elevasi mercu +102,56; panjang bendung: 10 m; elevasi kolam loncat air 1: +93,76 m; panjang kolam olak: 9 m. Untuk mercu bendung 2, elevasi mercu: +96,76 m; tinggi mercu 2: 3 m; panjang bendung: 10 m; elevasi kolam olak 2: +88,46 m; panjang kolam olak 2: 10,5 m.
3. Alternatif III dengan elevasi lantai hulu 100,257 tinggi mercu 1: 2,303 m; elevasi mercu: +102,56; panjang bendung: 16 m; elevasi kolam loncat air 1: +87,96 m; panjang kolam olak: 12 m
4. Ketiga alternatif tersebut mercu bendung menggunakan bentuk bulat, didapat elevasi muka air hulu adalah +103,331 m, kolam loncat air yang digunakan adalah kolam olak tipe USBR III. Memilih alternatif II karena :
  - a. Tinggi vertikal mercu 1 dan mercu 2 tidak terlalu tinggi.
  - b. Rata-rata panjang mercu.
  - c. Kehilangan energi paling kecil daripada alternatif yang lain.
  - d. Kecepatan loncat air yang menyebabkan gerusan tidak terlalu besar.
  - e. Angka Frode paling kecil.
  - f. Lebih stabil karena beda tinggi antara mercu 1-kolam olak 1 dan mercu 2-kolam olak 2 tidak terlalu besar.

## DAFTAR PUSTAKA

- Bambang Triatmodjo.(1992).*Hidraulika I*. Beta Offset, Yogyakarta.
- Departemen Pekerjaan Umum. (1986). *Standar Perencanaan Irigasi, Kriteria Perencanaan Bagian Bangunan Utama, KP-02*. CV Galang Persada, Bandung.
- Departemen Pekerjaan Umum. (1986). *Standar Perencanaan Irigasi, Kriteria Perencanaan Bagian Bangunan, KP-04*. CV Galang Persada,. Bandung.
- Departemen Pekerjaan Umum Daerah Istimewa Yogyakarta. (2005). *Laporan Akhir Bendung Tirtorejo*. CV Hara Konsultan, Yogyakarta