

## STUDI EVALUASI PENGOPERASIAN PINTU BENDUNG GERAK UNTUK PENGENDALI BANJIR DI KABUPATEN BOJONEGORO

Efristatika Novi Tyas Anjani<sup>1</sup>, Eko Noerhayati<sup>2</sup>, Bambang Suprpto<sup>3</sup>

<sup>1</sup>Mahasiswa Teknik Sipil Fakultas Teknik Universitas Islam Malang, e-mail : efristatika96@gmail.com

<sup>2</sup>Dosen Teknik Sipil Fakultas Teknik Universitas Islam Malang, e-mail : eko.noerhayati@unisma.ac.id

<sup>3</sup>Dosen Teknik Sipil Fakultas Teknik Universitas Islam Malang, e-mail : bambang.suprpto@unisma.ac.id

### ABSTRAK

*Pintu air adalah bangunan penunjang pada suatu bendungan irigasi dan bendungan pengendali banjir. Pintu air sendiri sudah ada pada sejak zaman dahulu, dimana zaman dahulu pintu air sangatlah sederhana. Pintu air pada bendungan di bedakan menjadi tiga macam berdasarkan cara pengoperasiannya. Pintu air ada tiga macam yaitu pintu air dengan pengoperasian secara manual, pintu air dengan pengoperasian semi otomatis dan pintu air dengan pengoperasian full otomatis. Di Kabupaten Bojonegoro sendiri secara geografis Bendung Gerak terletak diantara 6° 59' sampai 7° 37' Lintang Selatan dan 112° 09' Bujur Timur. Batasan Wilayah sebagai berikut : Sebelah Utara: Kabupaten Tuban , Sebelah Selatan : Kabupaten Ngawi, Sebelah Barat : Kabupaten Blora ,Sebelah Timur : Kabupaten Lamongan. Berdasarkan pada perhitungan Studi Evaluasi Pengoperasian Bendung Gerak Untuk Pengendali Banjir Di Kabupaten Bojonegoro dapat di peroleh beberapa kesimpulan sebagai berikut : Debit hasil perhitungan dapat diperoleh nilai debit banjir rancangan dengan menggunakan kala ulang 50 tahun sebesar  $Q = 277,57 \text{ m}^3/\text{dt}$ . Dan debit andalan dengan menggunakan Metode Gumbel didapat  $Q = 66,759 \text{ m}^3/\text{dt}$ . Simulasi pintu air menggunakan kala ulang 50 tahun  $Q = 277,57 \text{ m}^3/\text{dt}$ . Dan dari simulasi pintu air menggunakan teori dari (Cunge, J.A, Holly, F, M., dan Verwey, A., 1980) : didapat nilai  $Q = 2,922 \text{ m}$ .*

**Kata Kunci :** Pintu Air, Bendung Gerak Bojonegoro, debit banjir, simulasi

### PENDAHULUAN

#### Latar Belakang

Pintu air adalah bangunan penunjang pada suatu bendungan irigasi dan bendungan pengendali banjir. Pintu air sendiri sudah ada sejak zaman dahulu, dimana zaman dahulu pintu air sangat sederhana. Dengan terjadinya revolusi industri pada waktu itu maka merupakan awal perkembangan pintu air pada khususnya dan pada teknologi pada umumnya. Pintu air pada bendungan di bedakan menjadi tiga macam berdasarkan cara pengoperasiannya. Pintu air ada tiga macam yaitu pintu air dengan pengoperasian secara manual, pintu air dengan pengoperasian semi otomatis dan pintu air dengan pengoperasian full otomatis. Penggunaan pintu air secara manual, sering kita jumpai pada pengaturan irigasi pada persawahan dan aliran dengan tekanan kecil. Untuk penggunaan pintu air semi otomatis banyak digunakan pada bendungan yang bertekanan tinggi. Sedangkan untuk pintu air full otomatis digunakan untuk pengendali banjir pada bangunan pelimpah pada suatu bendungan bertekanan tinggi. Yang bekerja apabila debit air melebihi batas tertentu akan membuka secara otomatis. (Anonim : 2015)

### Rumusan Masalah

Dengan memperhatikan batasan-batasan di atas, permasalahan dalam studi ini dapat dirumuskan sebagai berikut :

1. Berapa debit banjir rancangan dengan kala ulang ( $Q_{50}$ )
2. Berapa tinggi bukaan pintu simulasi untuk mereduksi debit banjir dngan kala ulang ( $Q_{50}$ ) ?
3. Bagaimana pola operasi Bendung Gerak yang sesuai untuk menjaga muka air saat terjadi banjir ?

### Tujuan Dan Manfaat

Sesuai dengan judul dan uraian di atas, maka tujuan yang diharapkan pada penulisan tugas akhir ini adalah :

1. Menghitung debit rancangan
2. Menghitung kala ulang yang dapat melimpahkan air pada saat banjir.
3. Menghitung pola operasi pintu air.

Adapun manfaat dari penelitian ini yang dapat diharapkan adalah sebagai berikut :

1. Salah satu syarat untuk mendapatkan gelar sarjana strata satu (S1) Jurusan Teknik Sipil Fakultas Teknik Universitas Islam Malang (UNISMA).
2. Menambah dan mengembangkan wawasan keilmuan dibidang teknik sipil khususnya dibidang ke airan.
3. Hasil studi ini diharapkan dapat menjadi refrensi bagi mahasiswa teknik sipil yang mengambil skripsi di jurusan keairan.

### TINJAUAN PUSTAKA

#### Analisa Hidrologi

##### Distribusi Log Pearson Type III

Distribusi *Log Pearson* Tipe III atau Distribusi *Extrim* Tipe III digunakan untuk analisis variable hidrologi dengan nilai varian minimum misalnya analisis frekwensi distribusi dari debit minimum (*low flows*). Perhitungannya adalah sebagai berikut:

Langkah-langkah perhitungannya adalah sebagai berikut :

1. Mengubah data curah hujan sebanyak n buah  $X_1, X_2, X_3, \dots, X_n$  menjadi  $\log(X_1)$ ,  $\log(X_2)$ ,  $\log(X_3)$ , ...,  $\log(X_n)$  .....(1)

2. Menghitung harga rata-ratanya dengan rumus :

$$\text{Log } \bar{x} = \frac{\sum_{i=1}^n \text{Log } X_i}{n} \quad \text{.....(2)}$$

Dimana :

$\text{Log } \bar{x}$  = harga rata-rata logaritmik

N = jumlah data

$X_i$  = nilai curah hujan tiap-tiap tahun (R24 maks)

3. Menghitung harga standar deviasinya dengan rumus berikut :

$$S_d = \sqrt{\frac{\sum \{\text{Log } X_i - \text{Log } \bar{x}\}^2}{n-1}} \quad \text{.....(3)}$$

4. Menghitung koefisien skewness (Cs) dengan rumus :

$$C_s = \frac{\sum \{\text{Log } X_i - \text{Log } \bar{x}\}^3}{(n-1)(n-2)(S_d)^3} \quad \text{.....(4)}$$

5. Menghitung logaritma hujan rencana dengan periode ulang T tahun dengan rumus :

$$\text{Log } X_T = \text{Log } \bar{x} + K \cdot S_d \quad \text{.....(5)}$$

Dimana :

Log Xt = Logaritma curah hujan dalam periode ulang T tahun (mm)

Log  $\bar{x}$  = rata-rata LogX

K = faktor frekuensi sebaran Log pearson

n = Jumlah pengamatan

Cs = Koefisien Kemencengan

### HidrografxSatuanxSintesisxNakayasu

Dalam studi penelitian ini digunakan metode yang telah ditentukan oleh Dr. Nakayasu dengan bentuk persamaan sebagai berikut : (CD. Soemarto ,1986)

$$Q_p = \frac{CA \times Ro}{3,6 (0,3T_p + T_{0,3})} \dots \dots \dots (6)$$

dimana :

Qp = debit puncak (m<sup>3</sup>/dt)

CA = luas DAS (km<sup>2</sup>)

Ro = hujan satuan (mm)

Untuk menentukan T<sub>p</sub> dan T<sub>0,3</sub> digunakan pendekatan dengan menggunakan rumus sebagai berikut :

$$T_p = T_g + 0,8 \cdot T_r \dots \dots \dots (7)$$

$$T_r = 0,5 \cdot t_g \text{ sampai } t_g \dots \dots \dots (8)$$

$$T_{0,3} = \alpha \cdot T_g \dots \dots \dots (9)$$

dimana :

T<sub>p</sub> = Tenggang waktu dari permulaan hujan sampai puncak debit banjir (jam)

T<sub>0,3</sub> = Waktu yang diperlukan oleh penurunan debit, dari debit puncak sampai debit menjadi 30% dari debit puncak hidrograf satuan (jam)

T<sub>r</sub> = Satuan waktu banjir (jam)

T<sub>g</sub> = Time log, yaitu waktu antara hujan sampai debit puncak (jam)

Penentuan nilai T<sub>g</sub> berdasarkan pada panjang sampai dengan ketentuan sebagai berikut ini :

$$T_g = 0,21 \times L^{0,7} \text{ jika } L < 15 \text{ km} \dots \dots \dots (10)$$

$$T_g = 0,4 + 0,058 \times L \text{ jika } L > 15 \text{ km} \dots \dots \dots (11)$$

Dimana :

L = Panjang sungai (km)

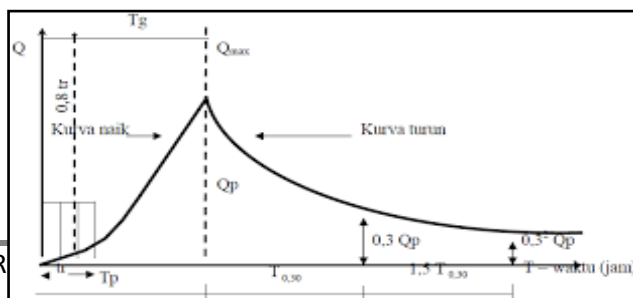
α = Parameter hidrograf (besarnya antara 1,5 – 3,5)

α = 2 pada daerah pengaliran biasa

α = 1,5 pada bagian naik hidrograf lambat dan turun cepat

α = 3 pada bagian naik hidrograf cepat dan turun lambat

Adapaun bentuk kurvanya sebagai berikut :



**Gambar 1** Kurva Hidrograf Satuan Sintetik Nakayasu  
(Sumber : Soemarto, 1987)

### Analisa Hidrolika

#### Perhitungan Debit *Flape Gate*

Pintu banjir (*Flape Gate*) yang berjumlah Sembilan buah semua dilengkapi dengan pintu pelimpah (*Flape Gate*). Fungsi pintu pelimpah (*Flape Gate*) adalah untuk membuang sampah apung, menyuplai air tawar ke hilir bendung dan berfungsi juga untuk menjaga kestabilan muka air rencana ke di hulu bendung pada elevasi +0,700m. Perhitungan debit yang melewati pintu pelimpah (*Flape Gate*) menggunakan rumus berdasarkan :

$$Q = C \cdot B \cdot H^{2/3} \dots\dots\dots(11)$$

$$C = 1,839 \left(1 + \frac{0,0012}{h}\right) \left(1 - \frac{\sqrt{h/b}}{10}\right) \dots\dots\dots(12)$$

Dimana :

- Q = Debit (discharge)  $m^3/\text{det}$
- C = Koefisien debit (discharge Coefficient)
- B = Lebar pelimpah (overflow width) m
- H = Kedalaman pelimpah (overflow depth) m

#### Simulasi Operasi Pintu Air

Kedalaman air di hilir menentukan apakah aliran di bawah pintu tergolong aliran bebas atau aliran tenggelam.

Pada simulasi operasi pintu jika aliran di bawah pintu adalah superkritis. Rumus yang digunakan (Cunge, J.A, Holly, F, M., dan Verwey, A., 1980):

$$Q = \varphi \epsilon ab (2g(y_u - y_w - \epsilon a))^{0,5} \dots\dots\dots(13)$$

Dimana :

- Q = debit di bawah pintu ( $m^3/dt^2$ )
- $\varphi$  = koefisien debit (0,85 – 0,95)
- $\epsilon$  = koefisien kontraksi, yang tergantung pada rasio  $\alpha/h$ , sehingga  $\epsilon = f(\alpha/h)$ ;
- $\alpha$  = tinggi bukaan pintu (m)
- $b$  = lebar pintu (m)
- $y_u$  = tinggi muka air di depan pintu (m)
- $y_w$  = tinggi dasar pelimpah (m)

Untuk menyederhanakan persamaan pengaruh tinggi kecepatan  $v^2/2g$  pada hulu pintudiabaikan, persamaan (2-48) berlaku selama :

$$h_{cest} > h_d ; h_{cest} = \frac{h_c}{2} \left[ \left( 1 + \frac{8Q^2}{g \cdot b^2 \cdot h_c^3} \right) - 1 \right] \dots\dots\dots(14)$$

Dimana :

- $h_{cest}$  = tinggi kontrol (m)
- Q = debit yang melewati pintu ( $m^3/dt^2$ )
- $h_c$  =  $\alpha \cdot \epsilon$
- b = lebar pintu (m)
- $\epsilon, c$  = koefisien kontraksi

$\alpha$  = tinggi bukaan pintu (m)

$h_3, h_2$  = tinggi air di hilir

Ketika aliran dibawah pintu adalah tenggelam atau  $h_{cest} < h_d$  rumus yang digunakan :

$$Q = \mu \alpha b (2g(y_u - y_d))^{0.5} \quad (15)$$

Dimana :

$\mu$  = koefisien debit (0,65 – 0,70).

$\alpha$  = tinggi bukaan pintu (m)

$b$  = lebar pintu (m)

$y_u$  = tinggi muka air di hulu.

$y_d$  = tinggi muka air di hilir.

Ketika pintu terbuka penuh, struktur dapat diwakili oleh pelimpah ambang lebar sederhana, Rumus debit untuk kondisi tenggelam di analogikan sebagai berikut :

$$Q = \psi b (y_d - y_w) (2g(y_u - y_d))^{0.5} \quad (16)$$

Debit yang melalui pintu pada kondisi aliran bebas dirumuskan :

$$Q = \varphi \epsilon \alpha b (2g(y_u - y_w - \epsilon \alpha))^{0.5} \quad (17)$$

Dalam rumus diatas nilai  $\varphi \epsilon = C_{d3} y_u - y_w = H_1$ , dan  $\epsilon = C_c$ , sehingga :

$$Q = C_d \alpha b (2g(H_1 - C_c \alpha))^{0.5} \quad (18)$$

Dimana :

$Q$  = debit yang melalui pintu ( $m^3/dt$ )

$C_d$  = koefisien debit

$b$  = lebar pintu (m)

$g$  = percepatan gravitasi ( $m^3/dt^2$ )

$\alpha$  = tinggi bukaan pintu (m)

$H_1$  = tinggi muka air di hulu (m)

$C_c$  = koefisien kontraksi

Debit yang melalui pintu pada kondisi aliran tenggelam dirumuskan :

$$Q = \mu \alpha b (2g(y_u - y_d))^{0.5} \quad (19)$$

Dalam rumus di atas nilai  $= C_d$ ,  $y_u = H_1$ , dan  $y_d = H_2$

$$Q = C_d \alpha b (2g(y_u - y_d))^{0.5} \quad (20)$$

Dimana :

$Q$  = debit yang melalui pintu ( $m^3/dt$ )

$C_d$  = koefisien debit

$b$  = lebar pintu (m)

$g$  = percepatan gravitasi ( $m^3/dt^3$ )

$\alpha$  = tinggi bukaan pintu (m)

$H_1$  = tinggi muka air di hulu (m)

$H_2$  = tinggi muka air di hilir (m)

## METODOLOGI PERENCANAAN

### Lokasi Studi

Secara administrasi wilayah lokasi bendung gerak pada Bengawan Solo terletak di desa Ngrisin Rejo Kecamatan Kalitidu dan Kecamatan Trucuk, Kabupaten Bojonegoro.

Secara geografis Bendung Gerak terletak diantara  $6^\circ 59'$  sampai  $7^\circ 37'$  Lintang Selatan dan  $112^\circ 09'$  Bujur Timur.

Batasan Wilayah sebagai berikut :

- Sebelah Utara : Kabupaten Tuban
- Sebelah Selatan : Kabupaten Ngawi
- Sebelah Barat : Kabupaten Blora

- Sebelah Timur : Kabupaten Lamongan

## ANALISA DAN PEMBAHASAN

### Analisa Hidrologi

Debit Banjir Rencana

$$Q_{50} \text{ tahun} = 277,57 \text{ m}^3/\text{dt}$$

### Tahapan Pengoperasian Pintu

Pintu *Flape Gate* Bendung Gerak akan dioperasikan dengan membuka pintu satu persatu dengan bukaan merata. Bukaan awal pada pintu ditengah atau pintu nomer 5 akan dibuka dengan setinggi 0,5 m. Selanjutnya disusul dengan bukaan pintu nomer 4 dan seterusnya hingga bukaan merata.

Perhitungan untuk tahap 1-9 : (Ahmad Zah Rafiuddin : 2017)

- Tahap 1, pintu no. 5 dibuka 0,5 m.  
 $Q = 0,138 \text{ m}^3/\text{det.}$
- Tahap 2, pintu dibuka no. 5 dan 6 dibuka 0,5 m  
 $Q = 0,138 + 0,138 = 0,276 \text{ m}^3/\text{dt}$
- Tahap 3, pintu dibuka no. 5,6,7 dibuka 0,5 m  
 $Q = 0,138 + 0,138 + 0,138 = 0,414 \text{ m}^3/\text{dt}$
- Tahap 4, pintu dibuka no 4,5,6,7 dibuka 0,5 m  
 $Q = 0,138 + 0,138 + 0,138 + 0,138 = 0,552 \text{ m}^3/\text{dt}$
- Tahap 5, pintu dibuka 4,5,6,7,8 dibuka 0,5 m  
 $Q = 0,138 + 0,138 + 0,138 + 0,138 + 0,138 = 0,690 \text{ m}^3/\text{dt}$
- Tahap 6, pintu dibuka 2,3,4,5,6,7 dibuka 0,5 m  
 $Q = 0,138 + 0,138 + 0,138 + 0,138 + 0,138 + 0,138 = 0,828 \text{ m}^3/\text{dt}$
- Tahap 7, pintu dibuka 1,2,3,4,5,6,7 dibuka 0,5 m  
 $Q = 0,138 + 0,138 + 0,138 + 0,138 + 0,138 + 0,138 + 0,138 = 0,996 \text{ m}^3/\text{dt}$
- Tahap 8, pintu dibuka 1,2,3,4,5,6,7,8 dibuka 0,5 m  
 $Q = 0,138 + 0,138 + 0,138 + 0,138 + 0,138 + 0,138 + 0,138 + 0,138 = 1,104 \text{ m}^3/\text{dt}$
- Tahap 9, pintu dibuka 1,2,3,4,5,6,7,8,9 dibuka 0,5 m  
 $Q = 0,138 + 0,138 + 0,138 + 0,138 + 0,138 + 0,138 + 0,138 + 0,138 + 0,138 = 1,242 \text{ m}^3/\text{dt}$

Untuk perhitungan selanjutnya ditampilkan pada Tabel di bawah ini :

**Tabel 1** Tahapan Pengoperasian Pintu *Flap Gate*

| Tahapan<br>Operasi | Jarak<br>Bukaan | Debit<br>Pintu<br>(m <sup>3</sup> ) | Tinggi Bukaan Pintu (m <sup>3</sup> ) |      |      |      |      |      |      |      |      |
|--------------------|-----------------|-------------------------------------|---------------------------------------|------|------|------|------|------|------|------|------|
|                    |                 |                                     | No.1                                  | No.2 | No.3 | No.4 | No.5 | No.6 | No.7 | No.8 | No.9 |
| 1                  | 0,5             | 0,138                               | 0                                     | 0    | 0    | 0    | 0,5  | 0    | 0    | 0    | 0    |
| 2                  | 0,5             | 0,276                               | 0                                     | 0    | 0    | 0,5  | 0,5  | 0,5  | 0    | 0    | 0    |
| 3                  | 0,5             | 0,414                               | 0                                     | 0    | 0,5  | 0,5  | 0,5  | 0,5  | 0,5  | 0    | 0    |
| 4                  | 0,5             | 0,552                               | 0                                     | 0    | 0,5  | 0,5  | 0,5  | 0,5  | 0,5  | 0    | 0    |
| 5                  | 0,5             | 0,69                                | 0                                     | 0,5  | 0,5  | 0,5  | 0,5  | 0,5  | 0,5  | 0,5  | 0    |
| 6                  | 0,5             | 0,828                               | 0                                     | 0,5  | 0,5  | 0,5  | 0,5  | 0,5  | 0,5  | 0,5  | 0    |
| 7                  | 0,5             | 0,966                               | 0,5                                   | 0,5  | 0,5  | 0,5  | 0,5  | 0,5  | 0,5  | 0,5  | 0,5  |
| 8                  | 0,5             | 1,104                               | 0,5                                   | 0,5  | 0,5  | 0,5  | 0,5  | 0,5  | 0,5  | 0,5  | 0,5  |
| 9                  | 0,5             | 1,242                               | 0,5                                   | 0,5  | 0,5  | 0,5  | 0,5  | 0,5  | 0,5  | 0,5  | 0,5  |
|                    |                 |                                     |                                       |      |      |      |      |      |      |      |      |
| 10                 | 0,1             | 1,38                                | 0,5                                   | 0,5  | 0,5  | 0,5  | 0,6  | 0,5  | 0,5  | 0,5  | 0,5  |
| 11                 | 0,1             | 1,518                               | 0,5                                   | 0,5  | 0,5  | 0,6  | 0,6  | 0,6  | 0,5  | 0,5  | 0,5  |
| 12                 | 0,1             | 1,656                               | 0,5                                   | 0,5  | 0,6  | 0,6  | 0,6  | 0,6  | 0,6  | 0,5  | 0,5  |
| 13                 | 0,1             | 1,794                               | 0,5                                   | 0,5  | 0,6  | 0,6  | 0,6  | 0,6  | 0,6  | 0,5  | 0,5  |
| 14                 | 0,1             | 1,932                               | 0,5                                   | 0,6  | 0,6  | 0,6  | 0,6  | 0,6  | 0,6  | 0,6  | 0,5  |
| 15                 | 0,1             | 2,07                                | 0,5                                   | 0,6  | 0,6  | 0,6  | 0,6  | 0,6  | 0,6  | 0,6  | 0,5  |
| 16                 | 0,1             | 2,208                               | 0,6                                   | 0,6  | 0,6  | 0,6  | 0,6  | 0,6  | 0,6  | 0,6  | 0,5  |
| 17                 | 0,1             | 2,346                               | 0,6                                   | 0,6  | 0,6  | 0,6  | 0,6  | 0,6  | 0,6  | 0,6  | 0,6  |
| 18                 | 0,1             | 2,484                               | 0,6                                   | 0,6  | 0,6  | 0,6  | 0,6  | 0,6  | 0,6  | 0,6  | 0,6  |
|                    |                 |                                     |                                       |      |      |      |      |      |      |      |      |
| 19                 | 0,1             | 2,622                               | 0,6                                   | 0,6  | 0,6  | 0,6  | 0,7  | 0,6  | 0,6  | 0,6  | 0,6  |
| 20                 | 0,1             | 2,76                                | 0,6                                   | 0,6  | 0,6  | 0,7  | 0,7  | 0,7  | 0,6  | 0,6  | 0,6  |
| 21                 | 0,1             | 2,898                               | 0,6                                   | 0,6  | 0,7  | 0,7  | 0,7  | 0,7  | 0,7  | 0,6  | 0,6  |
| 22                 | 0,1             | 3,036                               | 0,6                                   | 0,6  | 0,7  | 0,7  | 0,7  | 0,7  | 0,7  | 0,6  | 0,6  |
| 23                 | 0,1             | 3,174                               | 0,6                                   | 0,7  | 0,7  | 0,7  | 0,7  | 0,7  | 0,7  | 0,7  | 0,6  |
| 24                 | 0,1             | 3,312                               | 0,6                                   | 0,7  | 0,7  | 0,7  | 0,7  | 0,7  | 0,7  | 0,7  | 0,6  |
| 25                 | 0,1             | 3,45                                | 0,7                                   | 0,7  | 0,7  | 0,7  | 0,7  | 0,7  | 0,7  | 0,7  | 0,6  |
| 26                 | 0,1             | 3,588                               | 0,7                                   | 0,7  | 0,7  | 0,7  | 0,7  | 0,7  | 0,7  | 0,7  | 0,7  |
| 27                 | 0,1             | 3,726                               | 0,7                                   | 0,7  | 0,7  | 0,7  | 0,7  | 0,7  | 0,7  | 0,7  | 0,7  |

|    |     |       |     |     |     |     |     |     |     |     |     |
|----|-----|-------|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|
| 28 | 0,1 | 3,864 | 0,7 | 0,7 | 0,7 | 0,7 | 0,8 | 0,7 | 0,7 | 0,7 | 0,7 |
| 29 | 0,1 | 4,002 | 0,7 | 0,7 | 0,7 | 0,8 | 0,8 | 0,8 | 0,7 | 0,7 | 0,7 |
| 30 | 0,1 | 4,14  | 0,7 | 0,7 | 0,8 | 0,8 | 0,8 | 0,8 | 0,8 | 0,7 | 0,7 |
| 31 | 0,1 | 4,278 | 0,7 | 0,7 | 0,8 | 0,8 | 0,8 | 0,8 | 0,8 | 0,7 | 0,7 |
| 32 | 0,1 | 4,416 | 0,7 | 0,8 | 0,8 | 0,8 | 0,8 | 0,8 | 0,8 | 0,8 | 0,7 |
| 33 | 0,1 | 4,554 | 0,7 | 0,8 | 0,8 | 0,8 | 0,8 | 0,8 | 0,8 | 0,8 | 0,7 |
| 34 | 0,1 | 4,692 | 0,8 | 0,8 | 0,8 | 0,8 | 0,8 | 0,8 | 0,8 | 0,8 | 0,7 |
| 35 | 0,1 | 4,83  | 0,8 | 0,8 | 0,8 | 0,8 | 0,8 | 0,8 | 0,8 | 0,8 | 0,8 |
| 36 | 0,1 | 4,968 | 0,8 | 0,8 | 0,8 | 0,8 | 0,8 | 0,8 | 0,8 | 0,8 | 0,8 |
|    |     |       |     |     |     |     |     |     |     |     |     |
| 37 | 0,1 | 5,106 | 0,8 | 0,8 | 0,8 | 0,8 | 0,9 | 0,8 | 0,8 | 0,8 | 0,8 |
| 38 | 0,1 | 5,244 | 0,8 | 0,8 | 0,8 | 0,9 | 0,9 | 0,9 | 0,8 | 0,8 | 0,8 |
| 39 | 0,1 | 5,382 | 0,8 | 0,8 | 0,9 | 0,9 | 0,9 | 0,9 | 0,9 | 0,8 | 0,8 |
| 40 | 0,1 | 5,52  | 0,8 | 0,8 | 0,9 | 0,9 | 0,9 | 0,9 | 0,9 | 0,8 | 0,8 |
| 41 | 0,1 | 5,658 | 0,8 | 0,9 | 0,9 | 0,9 | 0,9 | 0,9 | 0,9 | 0,9 | 0,8 |
| 42 | 0,1 | 5,796 | 0,8 | 0,9 | 0,9 | 0,9 | 0,9 | 0,9 | 0,9 | 0,9 | 0,8 |
| 43 | 0,1 | 5,934 | 0,9 | 0,9 | 0,9 | 0,9 | 0,9 | 0,9 | 0,9 | 0,9 | 0,8 |
| 44 | 0,1 | 6,072 | 0,9 | 0,9 | 0,9 | 0,9 | 0,9 | 0,9 | 0,9 | 0,9 | 0,9 |
| 45 | 0,1 | 6,21  | 0,9 | 0,9 | 0,9 | 0,9 | 0,9 | 0,9 | 0,9 | 0,9 | 0,9 |
|    |     |       |     |     |     |     |     |     |     |     |     |
| 46 | 0,1 | 6,348 | 0,9 | 0,9 | 0,9 | 1   | 1   | 0,9 | 0,9 | 0,9 | 0,9 |
| 47 | 0,1 | 6,486 | 0,9 | 0,9 | 0,9 | 1   | 1   | 1   | 0,9 | 0,9 | 0,9 |
| 48 | 0,1 | 6,624 | 0,9 | 0,9 | 1   | 1   | 1   | 1   | 1   | 0,9 | 0,9 |
| 49 | 0,1 | 6,762 | 0,9 | 0,9 | 1   | 1   | 1   | 1   | 1   | 0,9 | 0,9 |
| 50 | 0,1 | 6,9   | 0,9 | 1   | 1   | 1   | 1   | 1   | 1   | 1   | 0,9 |
| 51 | 0,1 | 7,038 | 0,9 | 1   | 1   | 1   | 1   | 1   | 1   | 1   | 0,9 |
| 52 | 0,1 | 7,176 | 1   | 1   | 1   | 1   | 1   | 1   | 1   | 1   | 0,9 |
| 53 | 0,1 | 7,314 | 1   | 1   | 1   | 1   | 1   | 1   | 1   | 1   | 1   |
| 54 | 0,1 | 7,452 | 1   | 1   | 1   | 1   | 1   | 1   | 1   | 1   | 1   |
| 55 | 0,1 | 7,59  | 1   | 1   | 1   | 1   | 1,1 | 1   | 1   | 1   | 1   |
| 56 | 0,1 | 7,728 | 1   | 1   | 1   | 1,1 | 1,1 | 1   | 1   | 1   | 1   |
| 57 | 0,1 | 7,866 | 1   | 1   | 1,1 | 1,1 | 1,1 | 1,1 | 1,1 | 1   | 1   |
| 58 | 0,1 | 8,004 | 1   | 1   | 1,1 | 1,1 | 1,1 | 1,1 | 1,1 | 1   | 1   |
| 59 | 0,1 | 8,142 | 1   | 1,1 | 1,1 | 1,1 | 1,1 | 1,1 | 1,1 | 1,1 | 1   |
| 60 | 0,1 | 8,28  | 1   | 1,1 | 1,1 | 1,1 | 1,1 | 1,1 | 1,1 | 1,1 | 1   |
| 61 | 0,1 | 8,418 | 1,1 | 1,1 | 1,1 | 1,1 | 1,1 | 1,1 | 1,1 | 1,1 | 1   |
| 62 | 0,1 | 8,556 | 1,1 | 1,1 | 1,1 | 1,1 | 1,1 | 1,1 | 1,1 | 1,1 | 1,1 |
| 63 | 0,1 | 8,694 | 1,1 | 1,1 | 1,1 | 1,1 | 1,1 | 1,1 | 1,1 | 1,1 | 1,1 |
|    |     |       |     |     |     |     |     |     |     |     |     |
| 64 | 0,1 | 8,832 | 1,1 | 1,1 | 1,1 | 1,1 | 1,2 | 1,1 | 1,1 | 1,1 | 1,1 |
| 65 | 0,1 | 8,97  | 1,1 | 1,1 | 1,1 | 1,2 | 1,2 | 1,2 | 1,1 | 1,1 | 1,1 |
| 66 | 0,1 | 9,108 | 1,1 | 1,1 | 1,2 | 1,2 | 1,2 | 1,2 | 1,2 | 1,1 | 1,1 |
| 67 | 0,1 | 9,246 | 1,1 | 1,1 | 1,2 | 1,2 | 1,2 | 1,2 | 1,2 | 1,1 | 1,1 |
| 68 | 0,1 | 9,384 | 1,1 | 1,2 | 1,2 | 1,2 | 1,2 | 1,2 | 1,2 | 1,2 | 1,1 |
| 69 | 0,1 | 9,522 | 1,1 | 1,2 | 1,2 | 1,2 | 1,2 | 1,2 | 1,2 | 1,2 | 1,1 |
| 70 | 0,1 | 9,66  | 1,2 | 1,2 | 1,2 | 1,2 | 1,2 | 1,2 | 1,2 | 1,2 | 1,1 |
| 71 | 0,1 | 9,798 | 1,2 | 1,2 | 1,2 | 1,2 | 1,2 | 1,2 | 1,2 | 1,2 | 1,2 |
| 72 | 0,1 | 9,936 | 1,2 | 1,2 | 1,2 | 1,2 | 1,2 | 1,2 | 1,2 | 1,2 | 1,2 |

|    |     |        |     |     |     |     |     |     |     |     |     |
|----|-----|--------|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|
|    |     |        |     |     |     |     |     |     |     |     |     |
| 73 | 0,1 | 10,074 | 1,2 | 1,2 | 1,2 | 1,2 | 1,3 | 1,2 | 1,2 | 1,2 | 1,2 |
| 74 | 0,1 | 10,212 | 1,2 | 1,2 | 1,2 | 1,3 | 1,3 | 1,3 | 1,2 | 1,2 | 1,2 |
| 75 | 0,1 | 10,35  | 1,2 | 1,2 | 1,3 | 1,3 | 1,3 | 1,3 | 1,3 | 1,2 | 1,2 |
| 76 | 0,1 | 10,488 | 1,2 | 1,2 | 1,3 | 1,3 | 1,3 | 1,3 | 1,3 | 1,2 | 1,2 |
| 77 | 0,1 | 10,626 | 1,2 | 1,3 | 1,3 | 1,3 | 1,3 | 1,3 | 1,3 | 1,3 | 1,2 |
| 78 | 0,1 | 10,764 | 1,2 | 1,3 | 1,3 | 1,3 | 1,3 | 1,3 | 1,3 | 1,3 | 1,2 |
| 79 | 0,1 | 10,902 | 1,3 | 1,3 | 1,3 | 1,3 | 1,3 | 1,3 | 1,3 | 1,3 | 1,2 |
| 80 | 0,1 | 11,04  | 1,3 | 1,3 | 1,3 | 1,3 | 1,3 | 1,3 | 1,3 | 1,3 | 1,3 |
| 81 | 0,1 | 11,178 | 1,3 | 1,3 | 1,3 | 1,3 | 1,3 | 1,3 | 1,3 | 1,3 | 1,3 |
|    |     |        |     |     |     |     |     |     |     |     |     |
| 82 | 0,1 | 11,316 | 1,3 | 1,3 | 1,3 | 1,3 | 1,4 | 1,3 | 1,3 | 1,3 | 1,3 |
| 83 | 0,1 | 11,454 | 1,3 | 1,3 | 1,3 | 1,4 | 1,4 | 1,4 | 1,3 | 1,3 | 1,3 |
| 84 | 0,1 | 11,592 | 1,3 | 1,3 | 1,4 | 1,4 | 1,4 | 1,4 | 1,4 | 1,3 | 1,3 |
| 85 | 0,1 | 11,73  | 1,3 | 1,3 | 1,4 | 1,4 | 1,4 | 1,4 | 1,4 | 1,3 | 1,3 |
| 86 | 0,1 | 11,868 | 1,3 | 1,4 | 1,4 | 1,4 | 1,4 | 1,4 | 1,4 | 1,4 | 1,3 |
| 87 | 0,1 | 12,006 | 1,4 | 1,4 | 1,4 | 1,4 | 1,4 | 1,4 | 1,4 | 1,4 | 1,3 |
| 89 | 0,1 | 12,282 | 1,4 | 1,4 | 1,4 | 1,4 | 1,4 | 1,4 | 1,4 | 1,4 | 1,4 |
| 90 | 0,1 | 12,42  | 1,4 | 1,4 | 1,4 | 1,4 | 1,4 | 1,4 | 1,4 | 1,4 | 1,4 |

(Sumber : Hasil Perhitungan)

Keterangan :

- Langkah 0 sampai langkah 6 ditunjukkan pada tabel di atas. Langkah pembukaanya di bagi kedaalam sub-langkah. Debit aliran akan berkisar dari  $0,138 \text{ m}^3/\text{dt}$  sampai  $4,968 \text{ m}^3/\text{dt}$ .
- Langkah 7 sampai 13 ditunjukkan pada gambar di atas. Pintu No 3,4,5,6,7 akan beroperasi. Langkah pembukaan 0,9 m. jarak pembukaan No 2/No 8 dan pintu lain adalah 1,2 m. debit aliran akan berkisar  $5,25 \text{ m}^3 / \text{dt}$  sampai  $9,936 \text{ m}^3 / \text{dt}$ .
- Pintu akan dioperasikan dengan urutan pintu No 5 , Pintu No 4 , Pintu No 6 , Pintu No 3 , Pintu No 7 , Pintu No 2 , Pintu No 8 , Pintu No 1 dan Pintu No 9. Jarak pembukaan pintu adalah 1,1 m dari langkah 14 sampai 17. Debit aliran akan berkisar  $7,59 \text{ m}^3/\text{dt}$  sampai  $12,42 \text{ m}^3/\text{dt}$ .

#### Simulasi Operasi Pintu Bendung Gerak

**Tabel 2.** untuk menghitung Simulasi

| Q      |         | H1    | H2    |
|--------|---------|-------|-------|
| Q2th   | 59,704  | 0,100 | 3,1   |
| Q5th   | 119,55  | 0,200 | 3,317 |
| Q10th  | 165,814 | 0,300 | 3,503 |
| Q25th  | 255,513 | 0,400 | 3,707 |
| Q50th  | 277,57  | 0,500 | 3,839 |
| Q100th | 326,74  | 0,600 | 4,001 |

(Sumber : Hasil Perhitungan)

Keterangan :

Q = nilai dari debit rencana

$H_1$  = Muka Air Pintu

$H_2$  = Muka Air Pintu

Langkah Perhitungan :

1. Data yang diketahui :

$$\begin{aligned} Q_{50} &= 277,57 \text{ (m}^3\text{/det)} \\ \alpha \text{ (pintu utama)} &= 5,5 \text{ m (berdasarkan table 4.19)} \\ C_d &= 0,605 \text{ (berdasarkan table 4.20)} \\ I &= 0,0005 \\ b &= 180 \text{ m} \\ g &= 9,81 \text{ (m/det)} \\ H_2 &= 3,839 \text{ (m}^3\text{)/det/m} \\ Q &= 172,47/140 = 1,231 \text{ (m}^3\text{)/det/m} \end{aligned}$$

2. Menentukan kondisi aliran :

$$\begin{aligned} h_{cest} &= \frac{h_c}{2} \left[ \left( 1 + \frac{8Q^2}{gb^2hc^3} \right)^{0,5} - 1 \right] \\ h_{cest} &= \frac{2,153}{2} \left[ \left( 1 + \frac{8(277,57)^2}{9,81 \cdot 180^2 \cdot 2,153^3} \right)^{0,5} - 1 \right] \\ &= 0,140 \text{ m} \end{aligned}$$

Dari hasil percobaan perhitungan didapat nilai  $h_{cest} = 0,0116$  m lebih kecil dari nilai  $H_2 = 4,001$  m , maka kondisi aliran termasuk aliran tenggelam.

3. Dengan diketahui nilai tinggi muka air ( $H_2$ ) langkah selanjutnya menghitung  $H_3$  yang dimaksud dari  $H_3$  adalah Tinggi Terendam.

$$\begin{aligned} F_2^2 &= \frac{q^2}{gH_2^3} \\ &= \frac{1,231^2}{9,81 \cdot 3,839^3} \\ &= 0,002 \text{ m} \\ \frac{H_3}{H_2} &= \sqrt{1 + 2 F_2^2 \left[ 1 - \frac{H_2}{\alpha} \right]} \\ H_3 &= 3,839 \sqrt{1 + 2 \times 0,002 \left[ 1 - \frac{3,839}{5,5} \right]} \\ &= 1,182 \text{ m} \end{aligned}$$

4. Menghitung tinggi muka air

$$\begin{aligned} Q &= C_d \alpha b (2 g (H_1 - C_c \alpha))^{0,5} \\ &= \frac{Q}{C_d \alpha b (2 g x (H_1 - H_3))^{0,5}} \\ (H_1 - 1,182) &= \frac{(277,57)^2}{(0,605 \times 180 \times 5,5)^2 \times 1,256} \\ &= 1,352 \text{ m} \end{aligned}$$

5. Menghitung bukaan baru untuk menjaga elevasi +7,000 m

$$\begin{aligned} Q &= C_d \alpha b (2 g (H_1 - C_c \alpha))^{0,5} \\ &= \frac{Q}{C_d \alpha b (2 g x (H_1 - H_3))^{0,5}} \\ &= \frac{277,57}{0,605 \times 180 (2 \times 9,81 (1,647 - 1,352))^{0,5}} \\ &= 1,059 \text{ m} \end{aligned}$$

**Table 3. Hasil Dari Bukaan Pintu Flape Gate**

| operasi Pintu | debit (Q) (m³/det) |        | g<br>(m³/det) | cd<br>(m) | h<br>(m) | H <sub>1</sub> -<br>(m) | H <sub>2</sub><br>(m) | H <sub>3</sub><br>(m) | elevasi<br>(m) | Elevasi<br>(m) | α<br>(m) |
|---------------|--------------------|--------|---------------|-----------|----------|-------------------------|-----------------------|-----------------------|----------------|----------------|----------|
| 1             | 2                  |        | 3             | 4         | 5        | 6                       | 7                     | 8                     | 9              | 10             | 11       |
| 9 pintu       | Q 2th              | 54,94  | 9,810         | 0,600     | 22,5     | 7,000                   | 2,200                 | 1,580                 | EL +0,700      | EL -1,836      | 3        |
| 9 pintu       | Q 5th              | 78,58  | 9,810         | 0,600     | 22,5     | 7,000                   | 2,400                 | 1,580                 | EL +0,700      | EL -1,634      | 3,5      |
| 9 pintu       | Q 10th             | 100,73 | 9,810         | 0,610     | 22,5     | 7,000                   | 2,700                 | 1,580                 | EL +0,700      | EL - 1,504     | 4        |
| 9 pintu       | Q 25th             | 137,44 | 9,810         | 0,606     | 22,5     | 7,000                   | 2,900                 | 1,580                 | EL +0,700      | EL - 1,304     | 4,5      |
| 9 pintu       | Q 50th             | 172,47 | 9,810         | 0,605     | 22,5     | 7,000                   | 3,100                 | 1,580                 | EL +0,700      | EL - 1,229     | 5        |
| 9 pintu       | Q 100th            | 215,33 | 9,810         | 0,62      | 22,5     | 7,000                   | 3,300                 | 1,580                 | EL +0,700      | EL -1,116      | 5,5      |

(Hasil : Perhitungan)

Keterangan :

1. Ditetapkan
2. Data Dari Perhitungan Kala Ulang
3. Percepatan Gravitasi
4. Tabel 3
5. Lebar Semua Pintu
6. Tinggi M.A Rencana
7. Tinggi Muka Air
8. Tinggi Terendam
9. Elevasi Muka Air
10. Elevasi Muka Air
11. Tinggi Bukaan Pintu

## PENUTUP

### Kesimpulan

Berdasarkan perhitungan Studi Evaluasi Pengoperasian Bendung Gerak Untuk Pengendali Banjir Di Kabupaten Bojonegoro dapat di peroleh beberapa kesimpulan sebagai berikut :

1. Debit hasil perhitungan diperoleh nilai debit banjir rancangan dengan menggunakan kala ulang 50 tahun sebesar  $Q = 277,57 \text{ m}^3/\text{dt}$ .
2. Simulasi pintu air menggunakan kala ulang 50 tahun  $Q = 277,57 \text{ m}^3/\text{dt}$ . Dan hasil dari simulasi pintu air menggunakan kala ulang 50 tahun adalah  $\Rightarrow 1,059 \text{ m}$
3. Pengoperasian pintu harus memenuhi peraturan sebagai berikut :
  - a. Semua pintu bendung gerak harus terbuka disaat air sudah mulai naik .
  - b. Setelah tingkat air Bendung Gerak mencapai EL. +0,700 M, permukaan air akan dikontrol secara bersamaan. Permukaan air dapat menjadi stabil pada EL. +0,700 m hanya ketika debit keluar melalui pintu air Bendung Gerak.
  - c. Pintu lipatan atau *pintu Flape Gate* akan dioperasikan ketika debit aliran  $Q = 1,38 \text{ m}^3/\text{det}$ , tinggi bukaan awal pintu minimum 0,1 m. pengoperasian pintu akan sesuai dengan tabel.
  - d. Semua pintu akan dibuka atau ditutup secara bersama – sama, sehingga debit yang keluar akan sama pada setiap pintu.

### Saran

Berdasarkan analisa perhitungan pada Bendung Gerak , yang suda dilakukan sesuai dengan rumusan masalah pada Studi Evaluasi Pengoperasian Bendung Gerak Untuk Pengendali Banjir Di Kabupaten Bojonegoro, maka disarankan bebrapa hal sebagai berikut :

1. Perhitungan simulasi banjir bisa menggunakan *software He – crass*
2. Dalam pengoperasian pintu air dapat menggunakan pintu air jenis Radial Gate , dengan menggunakan system pintu otomatis untuk membuka dan menutup pintu air.

#### **DAFTARxPUSTAKA**

- Cunge, J.A., Holly, F. M., dan Verwey, A. 1980. *Practical Aspects Computational River Hydraulics*. Boston: Pitman Advanced Publishing Program.
- Soemarto, CD. 1987 *Hidrologi Teknik*, Surabaya : Usaha Nasional.
- Rafiuddin A.Z. 2017 *Pengaturan Operasi Pintu Bendung Gerak Sembayat di Kabupaten Gresik Untuk Mengendalikan Tinggi Muka Air Hulu* Universitas Brawijaya.