

PERENCANAAN BENDUNGAN BENDO PONOROGO

Ahmad Busiri, Rahmawanto Fajar, Sri Sangkawati^{*)}, Hari Budienny^{*)}

Jurusan Teknik Sipil, Fakultas Teknik, Universitas Diponegoro
Jl. Prof Soedarto, Tembalang, Semarang. 50239, Telp.: (024)7474770, Fax.: (024)7460060

ABSTRAK

Sejumlah wilayah di Kabupaten Ponorogo, Provinsi Jawa Timur memiliki berbagai macam permasalahan pengelolaan SDA, diantaranya banjir saat musim penghujan dan kekurangan air bersih ketika musim kemarau tiba. Untuk mengatasi permasalahan tersebut direncanakan Bendungan Bendo. Metode perencanaan diawali dengan menentukan letak lokasi, hidrologi, dan hidrolis yang akhirnya didapatkan informasi untuk menentukan desain bendungan. Bendungan Bendo direncanakan menggunakan debit andalan dengan probabilitas 80%. Angka kebutuhan air untuk memenuhi kebutuhan air irigasi sebesar 2,19 liter/detik/ha dan debit kebutuhan air baku sebesar 823,7 liter/detik. Debit banjir yang digunakan adalah metode HSS Nakayasu dengan periode ulang 1000 tahun sebesar 676,37 m³/detik. Bendungan Bendo juga direncanakan sebagai PLTA yang menghasilkan tenaga listrik sebesar 1.697,953 Kw. Bendungan Bendo direncanakan menggunakan Tipe Bendungan urugan batu dengan inti kedap tegak lempung dengan kemiringan lereng 1 : 2,5 di bagian hulu dan 1 : 1,75 di bagian hilir. Tinggi tubuh bendungan 78,5 m, lebar puncak 13 m, serta panjang bendungan 354,02 m dengan umur rencana bendungan 50 tahun.

kata kunci : *Irigasi, PLTA, Bendungan Tipe Urugan, Bendungan Bendo*

ABSTRACT

A number of regions in Ponorogo, East Java Province has a variety of water resource management issues, including floods during the rainy season and water shortages during the dry season. To overcome these problems then we planned Bendo dam. Methods of planning begins with determining the position of the location, hydrology and hydraulics which finally obtained information to determine the design of the dam. Bendo dam is planned to use dependable discharge with a probability of 80%. Water requirement value to fulfill the needs of irrigation water is 2.19 liters/sec/hectare and the water requirement is 823.7 liter/sec. We used HSS Nakayasu Flood discharge method with 1,000-year return period amounted to 676.37 m³ / sec. Bendo dam is also planned as a hydropower that produces 1.697,953 Kw hydroelectric power. Bendo dam is planned using Rockfill dam type with a core of impermeable clay with a slope of 1: 2,5 in the upstream and 1: 1,75 in the downstream. The peak height is 78,5 m, the width of the peak is 13 m, and the full length of the dam is 354,02 m with 50-years lifetime design.

keywords: *Irrigation, Hydropower, Rockfill dam, Bendo Dam*

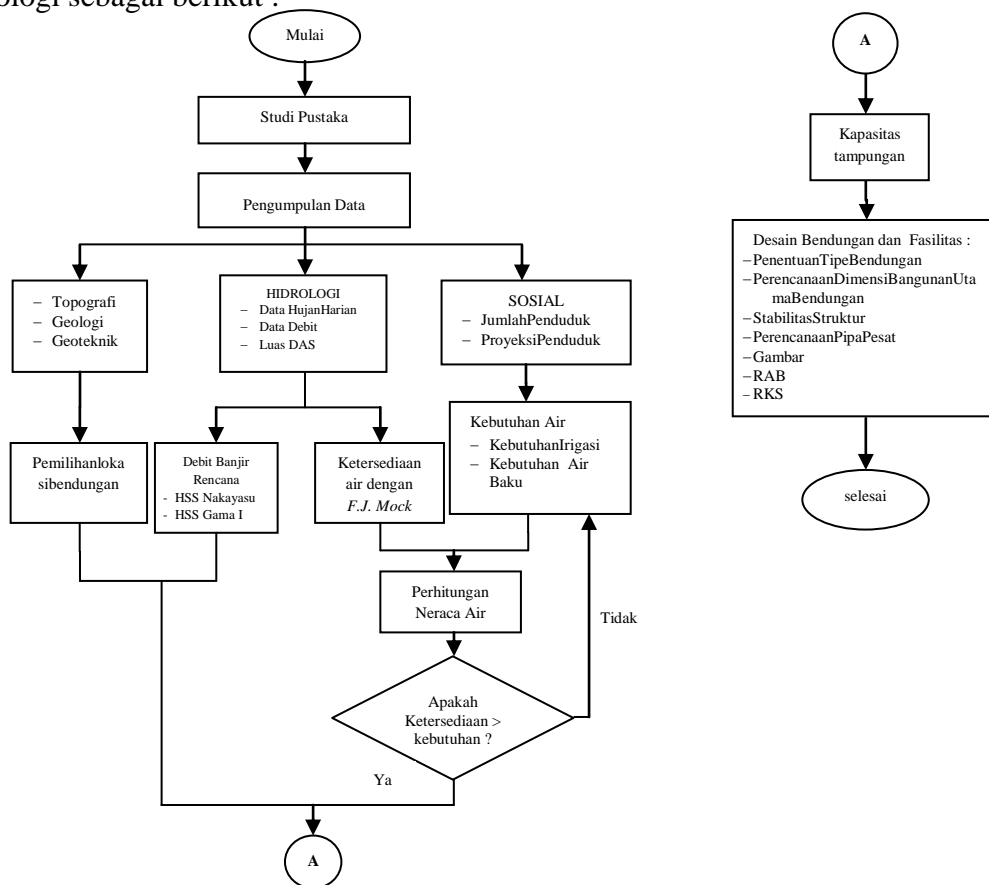
^{*)} Penulis Penanggung Jawab

PENDAHULUAN

Sejumlah wilayah di Kabupaten Ponorogo, Provinsi Jawa Timur memiliki beragam permasalahan pengelolaan SDA, diantaranya banjir yang tersebar di beberapa titik diantaranya Kecamatan Bungkal, Balong, Slahung, dan Sukorejo, sedangkan Kecamatan lainnya rawan kekeringan atau krisis air bersih seperti Kecamatan Jambon, Jenangan, Badegan, Mlarak, dan Sawoo. Daerah-daerah ini berada di pegunungan tandus yang selalu menjadi langganan kekeringan. Sehubungan dengan berbagai permasalahan tersebut, diperlukan pengembangan sumber daya air di Wilayah Kabupaten Ponorogo yang layak dari sisi teknik, ekonomi dan sosial dengan tetap menjaga kelestarian lingkungan, maka perlu direncanakan untuk membangun Bendungan Bendo yang terletak pada aliran Kali Keyang di Desa Ngindeng, Kecamatan Sawoo, Kabupaten Ponorogo, Jawa Timur.

METODE PERENCANAAN

Dalam suatu perencanaan bendung, diawali dengan survei dan investigasi dari lokasi yang bersangkutan guna memperoleh data yang berhubungan dengan perencanaan yang lengkap dan teliti. Setelah data yang diperoleh lengkap maka dilakukan perhitungan untuk mencari debit, kebutuhan air dan ketersediaan air. Selanjutnya adalah merencanakan bendung dan bangunan pelengkap yang ditinjau terhadap guling, geser dan daya dukung tanah. Penyusunan metode perencanaan harus dibuat sedetail mungkin agar lebih teliti dalam melaksanakan pekerjaan analisis untuk kegiatan persiapan, pekerjaan lapangan maupun pekerjaan detail desain. Penyusunan akhir Perencanaan Bendung Bendo menggunakan metodologi sebagai berikut :



Gambar 1. Bagan Alir Metode Perencanaan.

ANALISIS HIDROLOGI

Analisis Lokasi Rencana Bendungan

Lokasi Bendungan pada DAS, ditentukan berdasarkan perbandingan volume tampungan di 3 alternatif lokasi bendungan Untuk mencari volume tampungan dari kondisi topografi eksisting, dapat dicari melalui luas permukaan genangan air waduk yang dibatasi garis kontur, kemudian dicari volume yang dibatasi oleh dua garis kontur yang berurutan dengan menggunakan persamaan 1 :

$$V = (E/3) \times (A + B + \sqrt{A \cdot B}) \dots\dots\dots (1)$$

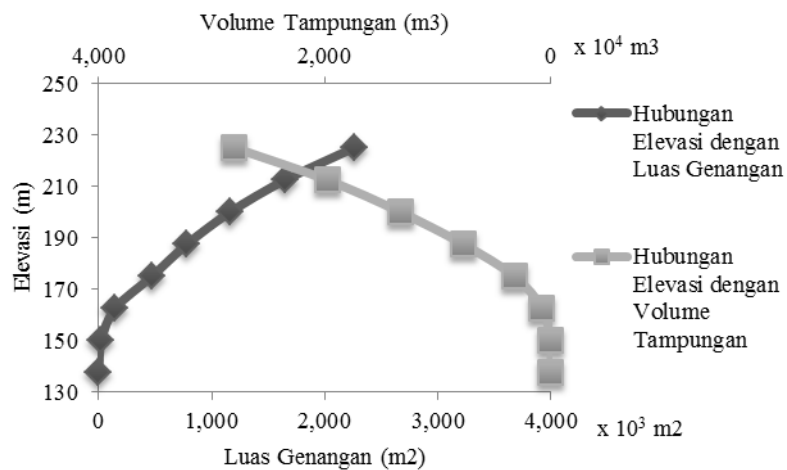
dimana:

V = volume bendungan (m³)

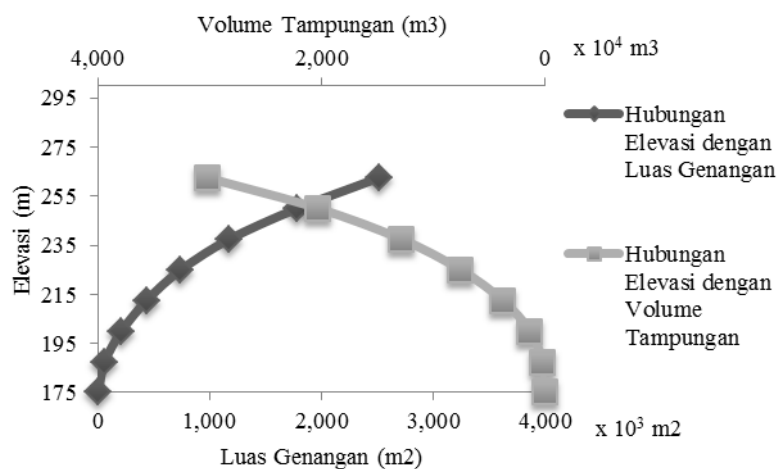
A = luas kontur A (m²)

E = beda elevasi antara permukaan A dan B (m)

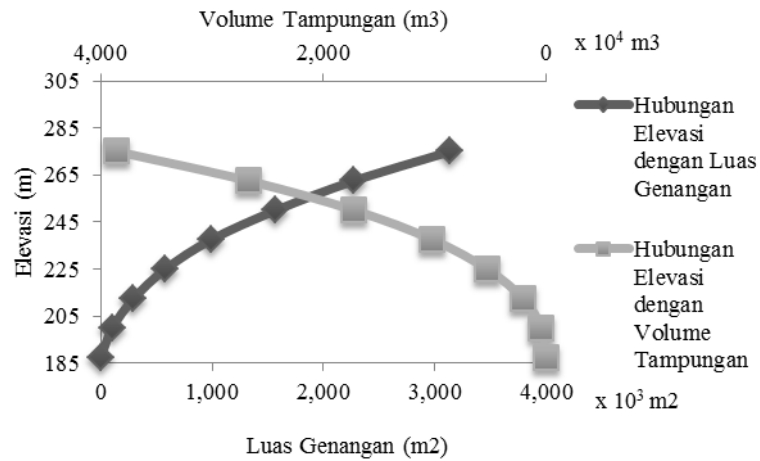
B = luas kontur B (m²)



Gambar 2. Kurva Tampungan di Lokasi A

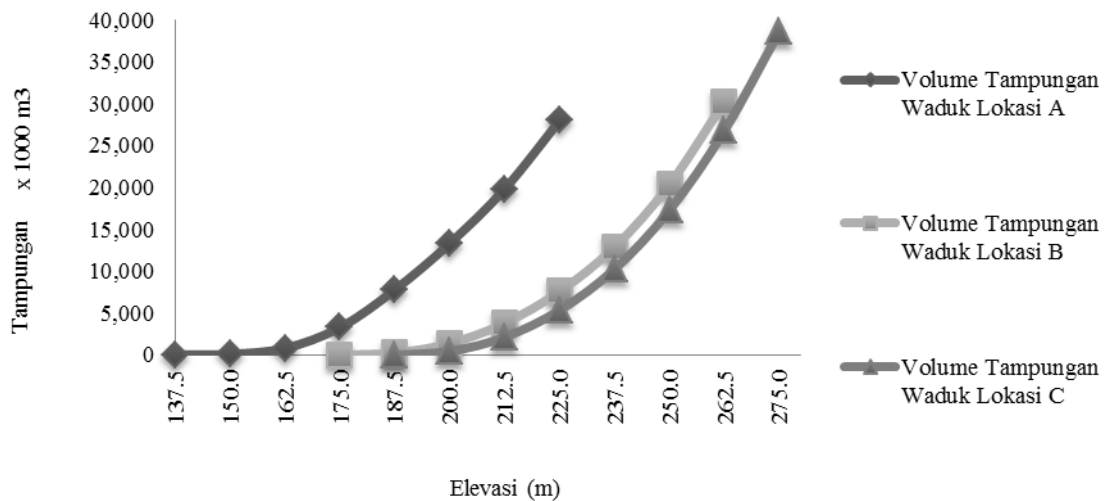


Gambar 3. Kurva Tampungan di Lokasi B



Gambar 4. Kurva Tampung di Lokasi C

Dari hasil perhitungan volume tampungan bendungan tiap elevasi kemudian diakumulasi dan dibuat grafik hubungan antara elevasi kontur dengan luas area dan grafik hubungan antara elevasi kontur dengan volume bendungan.

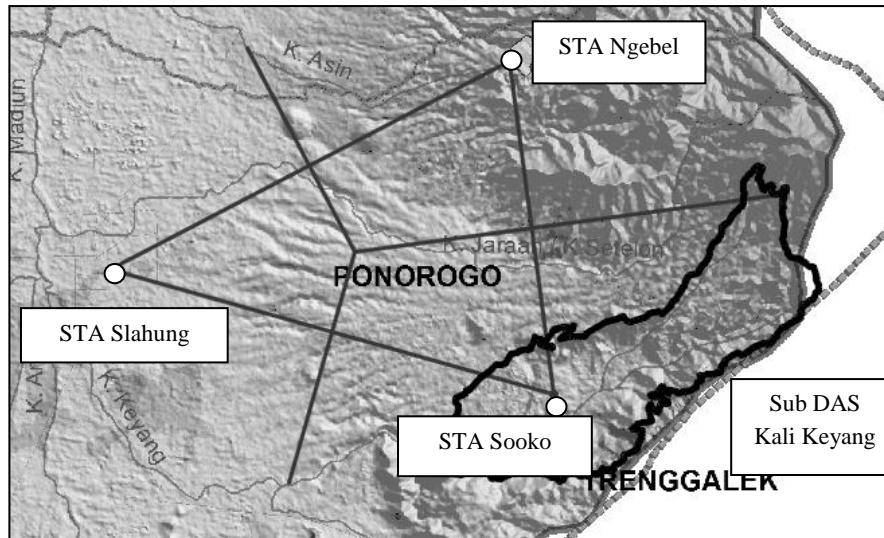


Gambar 5. Grafik Perbandingan Kapasitas Volume Tampungan Masing-masing Alternatif Lokasi

Dari ketiga lokasi tersebut (lokasi A, B, dan C), dengan beda elevasi yang sama, didapat volume kapasitas tampungan bendungan maksimal di lokasi C. Dengan demikian lokasi bendungan terpilih ada di lokasi C dengan beberapa pertimbangan seperti pengaruh kapasitas tampungan dan panjang bendungan, dimana alternatif lokasi C lebih efektif dan efisien dibandingkan dengan alternative lainnya karena mempunyai panjang badan bendungan yang lebih pendek dengan kapasitas tampungan yang lebih besar.

Analisis Curah Hujan Maksimum

Data yang digunakan adalah data hujan harian yang diolah menjadi data curah hujan rencana, yang kemudian diolah menjadi debit banjir rencana. Data hujan harian didapatkan dari beberapa stasiun di sekitar lokasi rencana bendungan. Dalam analisis curah hujan rata-rata digunakan metode *Thiessen* dengan tiga stasiun hujan yang berpengaruh dalam perhitungan yaitu Stasiun Sooko, Stasiun Slahung, dan Stasiun Ngebel.



Gambar 6. Poligon Thiessen Sub DAS Kali Keyang

Perhitungan Curah Hujan Rencana

Pada perhitungan hujan rencana, terlebih dahulu dilakukan analisis curah hujan rencana. Hal tersebut bertujuan untuk menentukan dan menguji data sebaran curah hujan rencana. Setelah dilakukan perhitungan, distribusi yang mendekati adalah metode *Log Pearson Tipe III*. Setelah itu di uji kecocokan menggunakan uji *chi kuadrat* dan uji *smirnov kolmogorof* dan hipotesa diterima.

Tabel 1. Curah Hujan Rencana dengan Metode *Log Pearson Tipe III*

Periode Ulang	Curah Hujan Rencana (mm)
2	90.72
5	106.18
10	117.23
20	126.94
25	132.09
50	143.75
100	156.02
200	168.74
1000	201.54

Debit Banjir Rencana

Perhitungan debit rencana menggunakan metode *HSS Nakayasu*, dan *HSS Gamma I*. Dari perhitungan kedua cara tersebut diatas dipilih satu metode yang akan digunakan dalam perencanaan yaitu yang paling besar dan sesuai dengan karakteristik daerah aliran, dalam studi ini adalah metode *HSS Nakayasu* dengan periode ulang 1000 tahun dan debit banjir sebesar 676,37 m³/dtk.

Ketersediaan Air dan Debit Andalan

Analisis debit andalan (*dependable flow*) merupakan perhitungan debit minimum sungai untuk memenuhi debit yang telah ditentukan agar dapat digunakan untuk memenuhi

kebutuhan air irigasi. Perhitungan debit andalan diperoleh dari perhitungan ketersediaan air dengan menggunakan cara analisis *water balance* dari Dr. F.J. Mock. Hasil dari perhitungan ini dilakukan rangking dari urutan hasil paling kecil ke hasil yang paling besar lalu diambil dengan peluang 80%. Hasil rekapitulasi perhitungan debit andalan disajikan dalam tabel berikut :

Tabel 2. Rekapitulasi Debit Andalan

Debit Andalan (m ³ /detik)											
Jan	Peb	Mar	Apr	Mei	Jun	Jul	Agt	Sep	Okt	Nop	Des
3,02	3,85	3,90	4,73	2,63	1,58	1,15	1,08	0,69	0,23	1,65	4,54

Kebutuhan Air Irigasi

Kebutuhan air irigasi adalah sejumlah air irigasi yang diperlukan untuk mencukupi keperluan bercocok tanam pada petak sawah ditambah dengan kehilangan air pada jaringan irigasi. Daerah irigasi yang akan dilayani oleh Bendungan Bendo adalah DI Ngindeng 113 Ha, DI Kori 966 Ha dan DI Tambakwatu 597 Ha, dengan pola tanam padi - padi - palawija. Perhitungan kebutuhan air irigasi ini dimaksudkan untuk menentukan besarnya debit yang akan dipakai untuk mengairi daerah irigasi.

Kebutuhan Air Baku

Desain Bendungan Bendo juga bertujuan untuk menyediakan air baku di daerah sekitarnya. Besarnya kebutuhan air untuk penduduk berdasarkan prediksi jumlah penduduk 30 tahun. Perhitungan dilakukan untuk beberapa wilayah diatas, sehingga didapatkan proyeksi jumlah penduduk pada Tahun 2041 adalah 325.561 jiwa.

Kapasitas Volume Tampungan Bendungan Total

Volume tampungan bendungan total dihitung dengan menggunakan Persamaan 2:

$$V_n = V_u + V_e + V_i + V_s \dots\dots\dots (2)$$

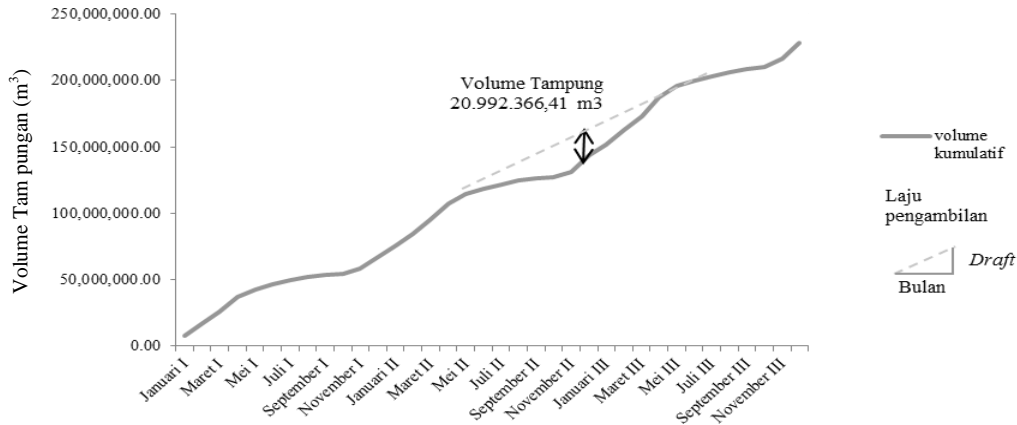
dimana:

- V_n = Volume tampungan bendungan total (m³)
- V_u = Volume hidup untuk melayani kebutuhan seperti air baku, irigasi dll (m³) diperoleh dengan menggunakan *mass curve* yaitu selisih maksimum *outflow* rata-rata terhadap *inflow* sebesar 20.992.336,41 m³. *Mass curve* kumulatif *inflow* – *outflow* disajikan pada Gambar. 7 .
- V_e = Volume penguapan dari kolam bendungan (m³) yang dipengaruhi oleh klimatologi setiap bulan dalam satu tahun yaitu sebesar 35.882,36 m³
- V_i = Jumlah resapan melalui dasar, dinding, dan tubuh bendungan (m³)
 = 10% x V_u
 = 2.099.236,64 m³
- V_s = (Laju Erosi (0,2 kg/m²/tahun) / berat jenis tanah (1232 kg/m³)) x Luas Daerah Tangkapan (79,16 km²) x Umur Rencana (50 tahun) Sehingga Ruang yang disediakan untuk sedimen adalah 642.532,468 m³

$$V_n = 20.992.366,41 + 35.822,36 + 2.099.236,64 + 642.532,47$$

$$= 23.769.857,88\text{m}^3$$

Penentuan elevasi muka air normal dilakukan berdasarkan pada volume total *storage* yang mampu ditampung bendungan dilakukan pembacaan kurva tampungan, sehingga didapat pada elevasi +258,59.



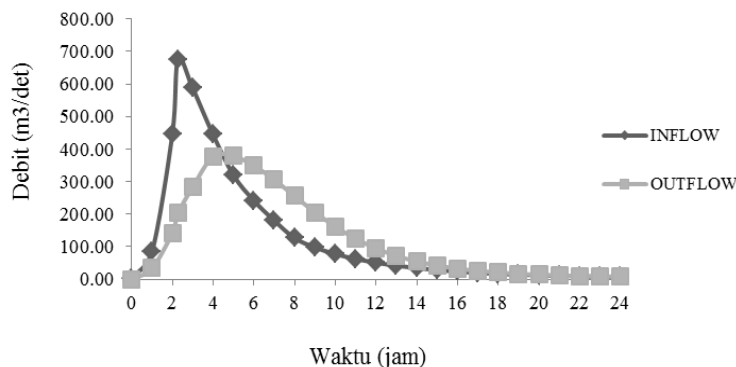
Gambar 7. Mass curve kumulatif inflow – outflow

Neraca Air

Dari neraca air ini dapat diketahui tentang ketersediaan air (*water available*) maupun jumlah kebutuhan air (*water requirement*). Dari perhitungan debit andalan dan kebutuhan air, kemudian dibuat neraca air untuk mengetahui kemampuan bendungan untuk melayani kebutuhan air. Pada perhitungan neraca air ini di asumsikan diawal bulan Januari volume tampungan hidup bendungan dalam keadaan penuh sebesar sebesar 20.992.366,41 m³.

Penelusuran Banjir (*Flood Routing*) Melalui Pelimpah

Penelusuran banjir adalah sebuah cara untuk menentukan nilai hidrograf *outflow* dari suatu hidrograf *inflow*. Hal ini berdasar pada konfigurasi gelombang banjir yang bergerak pada suatu tampungan (saluran atau Bendungan). Penelusuran banjir melalui pelimpah sebagai dasar untuk perencanaan dimensi lebar pelimpah dan tinggi jagaan bendungan utama. Grafik hasil perhitungan penelusuran banjir (*flood routing*) Q₁₀₀₀ tahun melalui pelimpah Bendungan Bendo di sajikan pada Gambar 8.



Gambar 8. Grafik Hidrograf Q 1000th Inflow – Outflow Pelimpah

Berdasarkan analisa penelusuran banjir (*flood routing*) melalui pelimpah dengan menggunakan debit banjir rencana dengan kala ulang 1000 tahun diatas didapatkan hasil sebagai berikut :

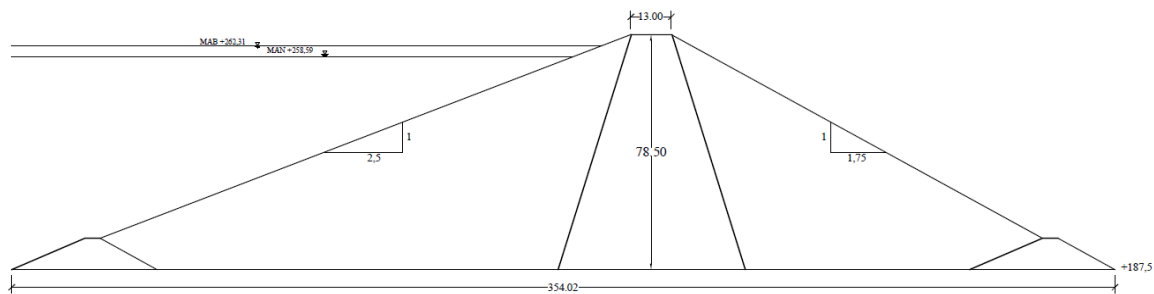
- *Inflow* Q_{1000th} = 676,37m³/detik
- *Outflow* Q_{1000th} = 378,35 m³/detik

Dimana debit banjir rencana *outflow* Q_{1000} tahun digunakan sebagai standar perencanaan dimensi pelimpah sesuai dengan kriteria yang direkomendasikan oleh Komisi Keamanan Bendungan Indonesia. Berdasarkan perhitungan di atas, didapatkan elevasi maksimum +262,31 sehingga elevasi puncak bendungan = elevasi muka air banjir + tinggi jagaan = +262,31+ 3 = +265,31 m.

PERENCANAAN KONSTRUKSI BENDUNGAN

Dalam perencanaan konstruksi Bendungan Bendo ini dibatasi pada perencanaan tubuh bendungan, analisis stabilitas, dan bangunan pelimpah. Berdasarkan analisis tumpungan bendungan, muka air normal, banjir dan tumpungan mati, didapat dimensi tubuh bendungan sebagai berikut :

- Tinggi Jagaan 3,00 m
- Tinggi Bendungan 78,50 m
- Lebar Mercu Bendungan 13,00 m
- Lebar Dasar Bendungan 307,00 m
- Panjang Bendungan 391,82 m
- Kemiringan lereng 1:2,5 di bagian hulu dan 1:1,75 di bagian hilir



Gambar 9. Sketsa Penentuan Tinggi, Lebar dan Panjang Dasar

Perencanaan Pipa Pesat (*Penstock*)

Dalam perencanaan pipa pesat ini direncanakan menggunakan pipa pesat baja (*steel penstock*) karena kekuatannya yang tinggi sehingga tahan lama dan diproduksi dalam ukuran-ukuran yang bervariasi.

Perhitungan dimensi pipa pesat

- Data : Debit desain (Q) = 3,41 m³/det
- Tinggi jatuh (H) = 72,31 m
- Koefisien manning baja (n) = 0,017
- Panjang Pipa Pesat (L) = 350 m

$$\begin{aligned} \text{Diameter pipa (D)} &= 2,69 \left(\frac{n^2 \cdot Q \cdot L}{H} \right)^{0,1875} \\ &= 2,69 \left(\frac{0,017^2 \cdot 3,41 \cdot 350}{72,31} \right)^{0,1875} \\ &= 0,987 \text{ m} = 987 \text{ mm (minimum)} \end{aligned}$$

Dari perhitungan tersebut, maka digunakan pipa baja berdasarkan ASME/ANSI B36.10 *Welded and Seamless Wrought Steel Pipe* dan ASME/ANSI B36.19 *Stainless Steel Pipe* dengan diameter luar 1066,8 mm, diameter dalam 1041,4 mm dan ketebalan 12,7 mm.

Perhitungan Daya Listrik

Besarnya tenaga air yang tersedia dari suatu sumber tenaga air bergantung pada besarnya head dan debit air. Dalam hubungan dengan reservoir air maka head adalah beda tinggi antara muka air pada reservoir dengan muka air keluar pada turbin. Total daya yang terbangkitkan dari suatu turbin adalah merupakan reaksi antara head dan debit air seperti ditunjukkan pada persamaan berikut :

$$P = Q \times g \times h_e \times \mu_{\text{turbin}} \times \mu_{\text{generator}} \dots\dots\dots (3)$$

dimana :

- P = daya (watt)
- Q = debit kebutuhan air = 3,41 m³/det
- g = gaya gravitasi
- h_e = tinggi jatuh efektif
- μ_{turbin} = 0,8 - 0,9 untuk turbin francis, diambil 0,85
- μ_{generator} = 0,8 - 0,95 diambil 0,9

Tinggi efektif (H_e)

$$H_e = H - \Sigma h_f$$

- Mayor Losses (akibat gesekan pipa)

$$V = Q/A = 3,41/0,817 = 4,174 \text{ m}^3/\text{det}$$

Angka reynold:

$$Re = \frac{VD}{\nu} = \frac{4,174 \times 1,0414}{0,804 \times 10^{-6}} = 5406472,139 \text{ (Pipa kasar)}$$

Maka koefisien gesekan :

$$\frac{1}{\sqrt{f}} = 2 \log \frac{3,7 D}{k} = 2 \log \frac{3,7 \times 1,0414}{0,0006} = 7,615$$

$$\frac{1}{\sqrt{f}} = 7,615 \text{ maka } f = 0,02$$

$$\text{Jadi, } h_f = f \cdot \frac{L V^2}{D 2g} = 0,02 \times \frac{350}{1,0414} \times \frac{4,174^2}{2 \times 9,81}$$

$$h_f = 5,96 \text{ m}$$

- Minor Losses

Akibat Trashrack (he1), Inlet (he2) dan belokan (he3)

$$a. \quad he1 = \varphi \times \left(\frac{s}{b}\right)^{\frac{4}{3}} \times \frac{v^2}{2g} \times \sin \alpha$$

$$he1 = 2,42 \times \left(\frac{1}{10}\right)^{\frac{4}{3}} \times \frac{4,174^2}{2g} \times \sin 65$$

$$he1 = 0,599 \text{ m}$$

$$b. \quad he2 = k \times \frac{v^2}{2g}$$

$$he2 = 0,5 \times \frac{4,174^2}{2g}$$

$$he2 = 0,444 \text{ m}$$

$$c. \quad he3 = kb \times \frac{v^2}{2g}$$

$$he3 = 0,98 \times \frac{4,174^2}{2g}$$

$$he3 = 0,87 \text{ m}$$

$$\Sigma hf = hf + he1 + he2 + he3 = 5,96 + 0,599 + 0,444 + 0,87 = 7,873$$

Maka:

$$He = 72,31 - 7,873 = 66,35$$

$$P = Q \times g \times he \times \mu_{\text{turbin}} \times \mu_{\text{generator}}$$

$$= 3,41 \times 9,81 \times 64,437 \times 0,85 \times 0,9$$

$$= 1630,675 \text{ kW}$$

RENCANA ANGGARAN BIAYA

Dalam perhitungan biaya meliputi biaya struktur bendungan itu sendiri beserta pelengkapannya, namun dalam perhitungan biaya Bendungan Bendo ini, hanya pekerjaan Cofferdam, saluran pengelak, pekerjaan Main Dam, dan pekerjaan pipa pesat saja yang direncanakan. Dari perhitungan volume dan analisis harga satuan didapatkan Rencana Anggaran Biaya untuk desain Bendungan Bendo dengan total biaya Rp 378.359.086.000.

KESIMPULAN

Kebutuhan air diperhitungkan berdasarkan kebutuhan air irigasi dan kebutuhan air baku. Bendungan Bendo memiliki kapasitas tampungan 23.769.857,88 m³ yang dapat digunakan untuk mengairi areal irigasi dengan luas 1.676 Ha. Kebutuhan air irigasi dengan pola tanam padi-padi-palawija, besarnya kebutuhan air irigasi adalah 2,19 liter/detik/Ha.

Bendungan Bendo juga direncanakan untuk memenuhi air baku di Desa Sawoo, Desa Jambon, Desa Mlarak, Desa Jenangan dan Desa Badengan dengan besarnya kebutuhan air baku adalah 823,7 liter/detik dan direncanakan dapat memenuhi kebutuhan penduduk sampai tahun 2041.

Bendungan Bendo direncanakan dengan tipe bendungan urugan batu dengan inti kedap lempung. Dari hasil perhitungan didapatkan :

1. Elevasi muka air banjir (MAB) berada pada elevasi +262,31 dan elevasi puncak bendungan pada elevasi +265,31.
2. Tinggi bendungan 78,5 m dan panjang bendungan 354,02 m.
3. Berdasarkan perhitungan lebar mercu bendungan, didapatkan lebar mercu bendungan sebesar 13,00 m.
4. Kemiringan lereng bendungan bagian hulu 1:2,5 dan kemiringan lereng bendungan bagian hilir 1:1,75.

DAFTAR PUSTAKA

- Joetata et. Al., 1997. *Irigasi dan Bangunan Air*, Penerbit Gunadarma, Jakarta.
- Kodoatie, R.J., Sjarief, R., 2005. *Pengelolaan Sumber Daya air Terpadu*, Penerbit Andi, Yogyakarta.
- Kodoatie, R.J., 2002. *Hidrolika Terapan*. Penerbit Andi, Yogyakarta.
- Loebis, Joesron., 1987. *Banjir Rencana untuk bangunan Air*, Penerbit Pekerjaan Umum, Bandung.
- Sosrodarsono, Suyono., 2002. *Bendungan Tipe Urugan*, Pradnya Paramita, Jakarta.
- Suripin, 2001. *Pelestarian Sumber Daya Tanah dan Air*, Penerbit Andi, Yogyakarta.