

PERENCANAAN BENDUNGANTUGU KABUPATEN TRENGGALEK

Tedy Wibowo, Rizki D Putro, Sri Sangkawati^{*)}, Hari Nugroho^{*)}

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

ABSTRAK

Bendungan Tugu adalah bendungan yang dibangun untuk memenuhi kebutuhan air irigasi dan kebutuhan air baku. Dibangun di atas Sungai Keser yang memiliki luas daerah aliran sungai 43,06 km² dengan panjang sungai 9,295 km. Secara administratif terletak di Desa Nglingsis, Kecamatan Tugu, Kabupaten Trenggalek, Propinsi Jawa Timur dan secara geografis terletak pada posisi 8°1' - 8°3' LS dan 111°34' - 111°37' BT. Sebelum Bendungan Tugu dibangun, pemenuhan kebutuhan air irigasi dilakukan dengan mengambil air dari Sungai Keser, namun pemenuhan kebutuhan air irigasi kurang maksimal karena pengambilan air dari Sungai Keser dilakukan dengan sistem pompa. Bendungan Tugu diharapkan dapat memenuhi kebutuhan air irigasi daerah irigasi (DI) Tugu dengan luas areal 1.106 ha, dan memenuhi kebutuhan air baku di Desa Nglingsis, Pucang Anak, Dermosari, Winong dan Tegaren Kecamatan Tugu Kabupaten Trenggalek dengan proyeksi jumlah penduduk pada tahun 2042 adalah 19.589 jiwa. Sebelum merencanakan bendungan, langkah awal yang dilakukan adalah analisis hidrologi sehingga diketahui besarnya debit andalan, debit kebutuhan air dan debit banjir. Debit andalan untuk perencanaan Bendungan Tugu adalah debit andalan dengan probabilitas 80%. Angka kebutuhan air untuk memenuhi kebutuhan air irigasi sebesar 0,81 liter/detik/ha atau debit kebutuhan air untuk air irigasi sebesar 0,90 m³/detik dan debit kebutuhan air baku sebesar 0,03 m³/detik. Debit banjir metode HSS Gama I untuk periode ulang 1000 tahun sebesar 667,70 m³/detik digunakan sebagai dasar perhitungan penelusuran banjir (flood routing) melalui pelimpah sehingga didapatkan dimensi pelimpah dan bendungan utama. Bendungan Tugu direncanakan menggunakan material urugan batu dengan inti kedap tegak lempung dengan kemiringan lereng 1 : 2,25 di bagian hulu dan 1 : 2,00 di bagian hilir. Tinggi tubuh bendungan 69,00 m, lebar puncak 12,00 m, lebar dasar bendungan 301,00 m serta panjang bendungan 390,26 m dengan umur rencana bendungan 30 tahun dan volume tampungan sebesar 6,12 juta m³. Bangunan pelimpah direncanakan dengan spesifikasi mercu OGEE lebar 10,00 m, kolam olak USBR tipe II dengan dimensi kolam 10x55 m dan terowongan pengelak panjang 553,00 m dengan diameter 3,00 m sebanyak 2 buah. Pembangunan Bendungan Tugu direncanakan dengan biaya ±495,50 Milyar Rupiah, dan rencana waktu pelaksanaan ±560 hari kerja.

kata kunci : irigasi, air baku, bendungan tugu

^{*)} Penulis Penanggung Jawab

ABSTRACT

Tugu Dam is a dam that was built to needs of irrigation water and raw water needs necessary. It had built on the Keser River with catchmen area of river is 43,06 km², with a length of river is 9,295 km. Administratively located in the Nglinggis Village, Tugu Subdistrict, Trenggalek Regency, East Java Province and is geographically located at position 8°1' - 8°3' south latitude and 111°34' - 111°37' east longitude. Before the Tugu Dam was built, water irrigation fulfillment necessary done by taking water from the Keser River, but water irrigation requirement not maximum because the water taking from the Keser River done with pump system. Tugu Dam is expected to fulfill the irrigation water of Tugu irrigation with a total area of 1.106 hectare, and fulfill of the raw water in Nglinggis, Pucang Anak, Dermosari, Winong and Tegaren Village of Tugu District on Trenggalek Regency with a projected total populations in 2042 is 19.589 inhabitants. Before planning a dam, the initial step is the hydrological analysis with the result that be discovered gauge the dependable discharge, needs water discharge and flood discharge. In the Tugu Dam planning dependable discharge used is the discharge with probability 80%. Water needs value to fulfill the irrigation water requirement is 0,81 liters/sec/hectare or water needs discharge for water irrigation is 0,90 m³/sec and water needs discharge for raw water is 0,03 m³/sec. Flood discharge using HSS Gama I method for return period of 1000 years of 667,70 m³/sec is used as the basic for search flood analysis (flood routing) by means of the spillway to obtain the dimensions of the main dam and the spillway. Tugu Dam planned using the rock fill dam material with watertight clay core with a slope of 1 : 2,25 in the upstream and 1 : 2,00 in the downstream. Elevated of dam is 69,00 m, the wide of the peak is 12,00 m, wide of the base dam is 301,00 m and full length of the dam is 309,26 m with a 30-year design lifetime of the dam and reservoir volume of 6.12 million m³. Spillway design with specific such as OGEE peak wide of 10,00 m, USBR type II for stilling basin with pool dimensions of 10x55 m and 553,00 m long tunnel deterrent with a diameter of 3,00 m with a number of 2 pieces. Tugu Dam planned at a cost of +495,50 billions rupiahs, and planned implementation time +560 working days.

keywords: *irrigation, raw water, tugu dam*

PENDAHULUAN

Sungai Keser memiliki potensi sumber daya air yang dapat dikembangkan untuk kesejahteraan masyarakat Jawa Timur, khususnya di Kabupaten Trenggalek. Dalam rangka untuk mengembangkan potensi di wilayah Sungai Keser adalah dengan perencanaan pembangunan Bendungan Tugu di Desa Nglinggis, Kecamatan Tugu, Kabupaten Trenggalek.

Dengan adanya Bendungan Tugu diharapkan dapat memenuhi sasaran yang direncanakan yaitu, untuk mengembangkan areal irigasi dan meningkatkan intensitas tanam dari areal irigasi yang telah ada, penyediaan air baku, adanya kesempatan untuk mengembangkan bidang perikanan air tawar. terbuka lapangan kerja penyediaan air baku (penyediaan air minum, irigasi dan industri), pembangkit tenaga listrik di Kabupaten Trenggalek yang dapat dilayani secara menyeluruh.

Berdasarkan latar belakang tersebut, tugas akhir ini bertujuan untuk merencanakan suatu konstruksi bangunan air berupa bendungan pada Sungai Keser. Pembuatan bendungan ini

adalah upaya untuk memenuhi kebutuhan air irigasi dan air baku di sekitar Sungai Keser, Desa Nglingsis, Kecamatan Tugu, Kabupaten Trenggalek.

Rumusan masalah dalam Tugas Akhir perencanaan Bendungan Tugu meliputi :

1. Berapa besar kebutuhan air irigasi yang dapat disediakan di Bendungan Tugu?
2. Berapa besar kebutuhan air baku yang dapat disediakan di Bendungan Tugu?
3. Adakah kesempatan untuk mengembangkan bidang perikanan air tawar dan lapangan kerja yang baru di bidang pariwisata bagi masyarakat sekitar?
4. Bagaimana detail desain bangunan utama Bendungan Tugu?
5. Bagaimana detail desain bangunan pelimpah Bendungan Tugu?

Maksud dari penulisan Tugas Akhir ini adalah untuk merencanakan Bendungan Tugu beserta bangunan fasilitasnya di Kabupaten Trenggalek. Adapun tujuannya yaitu sebagai berikut

1. Analisis kebutuhan air irigasi untuk mengembangkan areal irigasi dan meningkatkan intensitas tanam dari areal irigasi yang telah ada.
2. Analisis kebutuhan air baku.
3. Analisis kesempatan untuk mengembangkan bidang perikanan air tawar dan terbuka lapangan kerja yang baru di bidang pariwisata bagi masyarakat sekitarnya.
4. Analisis detail desain bangunan utama dan bangunan pelimpah Bendungan Tugu.

Ruang lingkup dalam perencanaan Bendungan Tugumeliputi :

1. Pengumpulan data, meliputi data topografi, hidrologi, mekanika tanah dan geologi.
2. Menganalisis data hidrologi yaitu menghitung debit banjir rencana, debit andalan, kebutuhan air irigasi dan air baku serta volume tampungan.
3. Merencanakan konstruksi bangunan utama dan bangunan pelimpahnya.
4. Membuat gambar detail desain bangunan utama dan bangunan pelimpah Bendungan Tugu.
5. Menghitung rencana anggaran biaya, *Time Schedule* dan *S Curve* serta *Network Planning* yang dibutuhkan dalam pembangunan konstruksi bendungan.

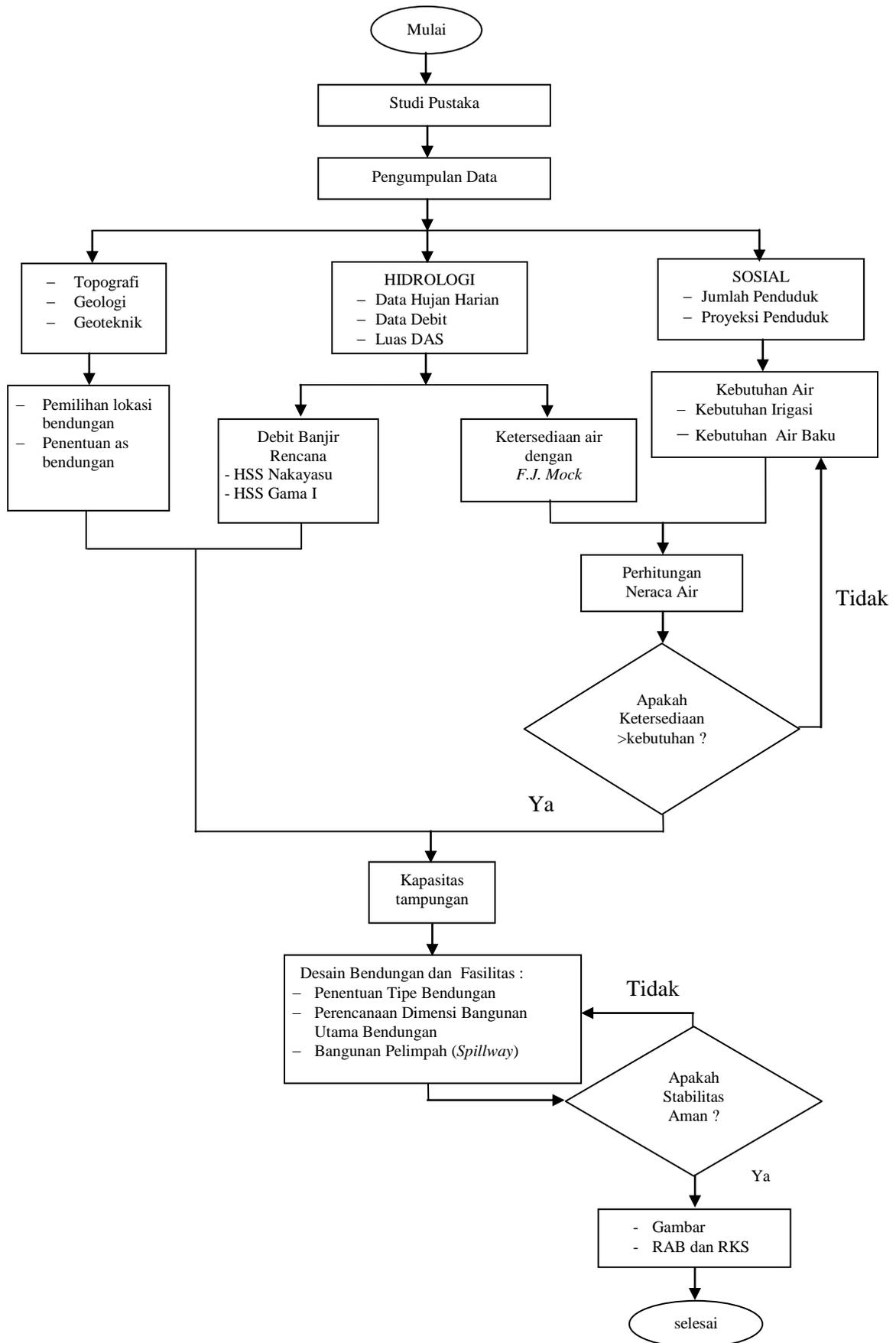
METODOLOGI

Dalam suatu perencanaan bendungan, harus dilakukan survei dan investigasi dari lokasi yang bersangkutan guna memperoleh data yang berhubungan dengan perencanaan yang lengkap dan teliti. Penyusunan metode perencanaan harus dibuat sedetail mungkin agar lebih teliti dalam melaksanakan pekerjaan analisis untuk kegiatan persiapan, pekerjaan lapangan maupun pekerjaan detail desain. Dalam penyusunan laporan Tugas Akhir Perencanaan Bendungan Tugu dibuat metodologi dengan bagan alir seperti pada Gambar 1.

HASIL DAN PEMBAHASAN

Analisis Hidrologi

Analisis hidrologi diperlukan untuk mengetahui informasi besarnya debit andalan untuk memenuhi kebutuhan berdasarkan potensi yang ada seperti kebutuhan air baku dan kebutuhan irigasi. Dengan memperhitungkan berbagai data yang tersedia, diharapkan dapat diperoleh informasi berupa besaran hidrologi yang diperlukan untuk perencanaan Bendungan Tugu Kabupaten Trenggalek dan bangunan pelengkapannya.



Gambar 1. Bagan Alir Metode Perencanaan

Adapun langkah - langkah dalam perhitungan hidrologi adalah sebagai berikut:

Uji Konsistensi Data

Uji konsistensi data dilakukan terhadap data hujan tahunan yang bertujuan untuk mengetahui ada tidaknya penyimpangan data hujan, sehingga dapat diketahui apakah data tersebut layak dipakai dalam perhitungan analisis hidrologi atau tidak. Data hujan yang diuji meliputi data hujan dari stasiun Tugu, Pule, Jabung dan Prambon dengan banyak data sejumlah 32 tahun dari periode curah hujan tahun 1982-2013. Uji konsistensi yang dilakukan dengan menggunakan lengkung massa ganda.

Hasil uji konsistensi data untuk stasiun hujan di atas di dapat nilai koefisien r^2 untuk stasiun Tugu adalah 0,998 dan nilai koefisien r^2 untuk stasiun Pule adalah 0,998 terhadap stasiun hujan pembanding, yang berarti sifat statistik hujan di stasiun Tugu dan Pule hampir seragam. Berdasarkan hasil pengujian tersebut dapat disimpulkan bahwa data konsisten dan layak untuk digunakan dalam analisis selanjutnya.

Curah Hujan Maksimum Tahunan

Analisis data curah hujan maksimum tahunan dimaksudkan untuk mendapatkan besaran curah hujan. Perlunya menentukan curah hujan maksimum tahunan adalah untuk penyusunan suatu rancangan pemanfaatan air dan rancangan pengendalian banjir (Sosrodarsono dan Takeda, 2003). Dalam analisis curah hujan rata – rata digunakan metode *Arithmetic* dengan dua stasiun hujan yang berpengaruh dalam perhitungan yaitu Stasiun Tugu dan Stasiun Pule. Dari data yang didapat, hasil perhitungan curah hujan ditunjukkan pada Tabel 1.

Analisa Distribusi Frekuensi Curah Hujan Rancangan

Analisis distribusi frekuensi didasarkan pada sifat statistik data kejadian yang telah lalu untuk memperoleh probabilitas besaran hujan yang akan datang, sehingga dari sini dimaksudkan untuk untuk menentukan besarnya debit rancangan, dimana dari debit rancangan ini akan digunakan sebagai dasar dalam perencanaan dan perancangan detail konstruksi bendungan.

Analisis curah hujan rancangan dilakukan dengan menggunakan metode distribusi E.J Gumbel, Log Pearson Type III, Log Normal dan Normal.

Uji Pemilihan Sebaran

Penentuan jenis sebaran diperlukan untuk mengetahui suatu rangkaian data cocok untuk suatu sebaran lain. Hal ini dikarenakan masing-masing distribusi mempunyai sifat-sifat yang khas (Soewarno, 1995). Dalam perhitungan dan pemilihan uji sebaran, digunakan beberapa ukuran dispersi sebagai dasar perhitungan. Secara umum beberapa sifat khas masing-masing distribusi adalah sebagai berikut :

Tabel 1. Perhitungan Curah Hujan dengan Metode *Arithmetic*

No	Tahun	Sta. Tugu (mm)	Sta. Pule (mm)	Curah Hujan (mm)	Tanggal	Curah Hujan Max (mm)
1	2013	107	41	74	7-Jan	74
		28	85	56.5	6-Jan	
2	2012	91	73	82	22 Feb	87
		87	87	87	2-Jan	
3	2011	118	95	106.5	3-Jan	106.5
		96	103	99.5	20 Mei	
4	2010	73	0	36.5	26-Mar	67.5
		15	120	67.5	7 Des	
5	2009	78	8	43	23-Jan	70.5
		34	107	70.5	12-Feb	
6	2008	85	11	48	31-Jan	55
		10	100	55	2 Feb	
7	2007	160	29	94.5	27 Des	117
		0	234	117	26 Des	
8	2006	106	74	90	20-Apr	90
		106	74	90	20-Apr	
9	2005	120	0	60	13-Mar	60
		10	70	40	21 Des	
10	2004	98	8	53	22 Nop	53
		16	87	51.5	28 Mei	
11	2003	110	15	62.5	28-Jan	62.5
		0	85	42.5	8 Des	
12	2002	72	8	40	4 Feb	40
		0	67	33.5	9 Feb	
13	2001	71	8	39.5	29 Des	47
		29	65	47	18 Nop	
14	2000	116	60	88	1 Mei	88
		9	65	37	4-Mar	
15	1999	72	0	36	2-Jun	63.5
		36	91	63.5	17 Nop	
16	1998	68	0	34	18-Jan	71
		57	85	71	23-Sep	
17	1997	64	12	38	14 Feb	38
		12	23	17.5	25 Feb	
18	1996	95	5	50	21 Nop	53
		36	70	53	14 Des	
19	1995	92	30	61	19 Okt	64.5
		39	90	64.5	12-Jun	
20	1994	80	56	68	4-Mar	68
		26	67	46.5	26-Apr	
21	1993	97	74	85.5	12-Jun	98.5
		93	104	98.5	6-Apr	
22	1992	160	108	134	31 Ags	134
		76	135	105.5	8 Okt	
23	1991	97	60	78.5	15-Jan	78.5
		17	62	39.5	14 Nop	
24	1990	96	3	49.5	8-Mar	49.5
		45	53	49	31 Okt	
25	1989	97	0	48.5	20-Jul	48.5
		6	75	40.5	15-Jan	
26	1988	90	16	53	15 Okt	54
		46	62	54	5 Feb	
27	1987	98	55	76.5	7 Des	110.5
		96	125	110.5	13 Des	
28	1986	70	41	55.5	28 Nop	55.5
		0	56	28	7-Jan	
29	1985	84	0	42	5 Des	42
		0	71	35.5	14 Feb	
30	1984	46	41	43.5	11 Des	44.5
		0	89	44.5	6 Des	
31	1983	285	0	142.5	4 Feb	142.5
		26	85	55.5	4-Jan	
32	1982	95	15	55	14 Des	55
		4	70	37	16 Des	

- Distribusi E.J Gumbel Type I, memiliki sifat khas yaitu nilai asimetrisnya (*skewness*) $C_s = 1,1396$, sedangkan nilai $C_k = 5,4002$
- Distribusi Log Pearson Type III, tidak mempunyai sifat khas yang dapat dipergunakan untuk memperkirakan jenis distribusi ini
- Distribusi Log Normal, memiliki sifat khas yaitu nilai asimetrisnya (*skewness*) $C_s = 3C_v + C_v^3$, sedangkan nilai $C_k = C_v^8 + 6C_v^6 + 15C_v^4 + 16C_v^2 + 3$.
- Distribusi Normal, nilai asimetris (*skewness*) sama dengan nol $C_s = 0$ dengan kurtosis $C_k = 3$

Uji Kesesuaian Distribusi

Untuk menguji apakah pemilihan distribusi yang digunakan dalam perhitungan curah hujan rencana diterima atau ditolak, maka perlu dilakukan uji kesesuaian distribusi. Uji dilakukan dengan menghitung parameter statistik dan menentukan distribusi sebaran yang akan diuji dengan metode Chi Kuadrat dan Smirnov Kolmogorof. Berdasarkan analisis distribusi data hujan menggunakan distribusi sebaran Log Pearson Tipe III di dapat rekapitulasi curah hujan rencana sebagai berikut :

Tabel 2. Rekapitulasi perhitungan curah hujan rencana Metode Log Pearson Tipe III

No	Kala Ulang (Tahun)	Hujan Rancangan (mm) Metode Log Pearson III
1	2	65.37
2	5	89.34
3	10	106.93
4	20	122.51
5	25	131.14
6	50	150.71
7	100	171.61
8	500	214.48
9	1000	253.46

Curah Hujan Maksimum Yang Mungkin Terjadi

Metode analisis PMP cara statistik yang digunakan yaitu dengan Metode Hershfield (1961, 1986). Pada metode ini PMP dihitung untuk masing-masing pos hujan (point rainfall), yang selanjutnya dicari PMP rata-ratanya, dan akhirnya diubah menjadi hujan DPS yang diperoleh dari perkalian PMP rata-rata dengan koefisien reduksi.

Distribusi Hujan Jam-Jaman

- Intensitas Hujan Rencana

Dengan tersedianya data hujan harian, perhitungan intensitas curah hujan rencana dihitung dengan menggunakan metode Mononobe. Kurva Intensitas Durasi Frekuensi (IDF) diperhitungkan dengan durasi sampai 420 menit (7 jam).

- Hietograf Hujan Rancangan

Karena data distribusi hujan jam-jaman tidak ada di lokasi calon bendungan, maka distribusi hujan rencana di daerah aliran sungai tiap jamnya ditetapkan berdasarkan

pengamatan distribusi hujan. Hietograf hujan rencana yang digunakan untuk perhitungan selanjutnya adalah metode alternating block method. Hietograf hujan rencana yang dihasilkan dalam metode ini adalah berupa distribusi hujan rencana dalam n rangkaian interval waktu dengan durasi Δt selama waktu t (jadi $t = n \times \Delta t$).

Analisa Hidrograf Satuan dan Hidrograf Banjir

Konsep dasar pada hidrograf satuan adalah bahwa hujan satuan yang berbeda-beda besarnya akan menghasilkan grafik distribusi yang hampir sama. Hirograf satuan yang digunakan dalam studi ini adalah hidrograf satuan sintetik Nakayasu dan sidrograf satuan sintetik Gama I. Hasil perhitungan debit rencana dapat dilihat pada tabel berikut:

Tabel 3. Rekapitulasi Hasil Perhitungan Debit Banjir Rencana

Periode Ulang (Tahun)	HSS Gamma 1 (m ³ /dtk)	HSS Nakayasu (m ³ /dtk)
2	126.18	124.90
5	191.58	187.92
10	242.61	236.00
20	287.83	278.61
25	312.85	302.18
50	369.63	355.68
100	430.26	412.81
500	554.63	530.00
1000	667.70	636.53
PMF	1,414.79	1,340.45

Passing Capacity

Dari hasil perhitungan debit banjir rencana terhadap tinggi muka air 3,88 meter dengan metode passing capacity sebesar 313,24 m³/detik digunakan sebagai kontrol dalam menentukan nilai debit banjir rencana yang diperoleh dari metode perhitungan debit banjir rencana yang menggunakan data curah hujan. Maka dipilih debit banjir rencana dari metode HSS Gama I dengan periode ulang 25 tahun yaitu sebesar 312,85 m³/detik.

Ketersediaan Air dan Debit Andalan

Dalam perhitungan ketersediaan air dan debit andalan menggunakan metode *water balance* dari F.J Mock. Untuk memperhitungkan aliran langsung (*stream flow*) yang nantinya digunakan sebagai dasar perhitungan untuk menentukan debit andalan membutuhkan data diantaranya : data jumlah curah hujan bulanan, jumlah hari hujan dalam satu bulan, data klimatologi dan nilai radiasi matahari yang tergantung dari letak lintang dari calon lokasi bendungan. Hasil rekapitulasi perhitungan debit andalan disajikan dalam tabel berikut :

Tabel 4. Rekapitulasi Perhitungan Debit Andalan

Rangking	Debit Andalan (m ³ /detik)											
	Jan	Peb	Mar	Apr	Mei	Jun	Jul	Agt	Sep	Okt	Nop	Des
1	1.15	1.28	0.80	0.69	0.55	0.48	0.37	0.31	0.27	0.22	0.23	0.45
2	1.54	1.81	1.09	0.72	0.56	0.71	0.47	0.36	0.34	0.26	0.39	0.54
3	1.75	2.01	1.23	0.84	0.68	0.74	0.51	0.43	0.38	0.42	0.40	0.64
4	1.80	2.03	1.68	1.14	0.81	0.88	0.55	0.46	0.45	0.44	0.47	0.77
5	1.91	2.03	1.69	1.18	0.83	0.93	0.66	0.58	0.51	0.48	0.48	1.21
6	2.03	2.24	1.80	1.35	0.85	0.93	0.68	0.60	0.53	0.50	0.55	1.41
7	2.11	2.28	1.82	1.37	0.92	0.95	0.71	0.61	0.56	0.50	0.56	1.52
8	2.12	2.40	1.83	1.38	0.95	0.97	0.72	0.61	0.59	0.53	0.59	1.61
9	2.14	2.45	1.89	1.47	1.04	1.02	0.74	0.62	0.59	0.55	0.67	1.72
10	2.15	2.59	1.90	1.53	1.07	1.03	0.76	0.63	0.61	0.59	1.04	1.85
11	2.34	2.69	2.01	1.84	1.22	1.04	0.76	0.69	0.61	0.62	1.37	1.91
12	2.42	2.86	2.08	1.85	1.24	1.20	0.82	0.70	0.63	0.63	1.54	1.95
13	2.46	2.98	2.17	2.22	1.40	1.31	0.83	0.76	0.67	0.77	1.65	2.04
14	2.46	2.90	2.15	2.12	1.33	1.30	0.83	0.70	0.66	0.69	1.61	2.01
15	2.51	3.13	2.21	2.25	1.41	1.35	0.92	0.78	0.73	0.78	1.65	2.05
16	2.57	3.28	2.35	2.54	1.45	1.35	0.95	0.79	0.74	0.80	1.69	2.25
17	2.68	3.37	2.47	2.57	1.47	1.40	0.98	0.83	0.75	0.82	1.69	2.26
18	2.75	3.45	2.56	2.73	1.69	1.49	1.02	0.86	0.81	1.00	1.99	2.30
19	2.75	3.42	2.50	2.72	1.61	1.42	0.99	0.84	0.80	0.92	1.90	2.27
20	2.82	3.58	2.73	3.03	2.11	1.51	1.10	0.90	0.82	1.03	2.00	2.45
21	3.02	3.59	2.88	3.04	2.21	1.57	1.12	0.92	0.85	1.16	2.03	2.48
22	3.09	3.76	3.05	3.06	2.22	1.57	1.14	0.95	0.87	1.27	2.10	2.56
23	3.24	3.97	3.17	3.13	2.34	1.60	1.15	0.96	0.89	1.29	2.14	2.63
24	3.26	4.00	3.18	3.14	2.39	2.05	1.18	0.97	0.95	1.30	2.35	2.65
25	3.32	4.02	3.26	3.14	2.48	2.06	1.33	0.97	0.95	1.58	2.37	2.88
26	3.34	4.05	3.74	3.16	2.56	2.07	1.47	1.07	0.97	1.63	2.64	2.90
27	3.57	4.06	3.85	3.27	2.57	2.50	1.47	1.12	1.11	1.73	2.81	3.63
28	3.97	4.10	4.07	3.38	2.66	2.52	1.68	1.16	1.24	2.10	2.84	3.71
29	4.23	4.33	4.08	3.53	3.30	2.94	1.84	1.27	1.37	2.34	3.61	3.83
30	4.48	5.40	4.40	3.81	3.41	3.05	2.04	1.41	1.92	2.38	3.92	4.44
31	5.09	5.83	4.73	4.11	4.75	3.14	2.35	1.45	2.52	3.15	4.05	4.58
32	5.17	5.86	4.82	5.71	4.79	3.47	2.37	1.98	4.37	4.43	4.21	5.13
Q ₈₀ (m ³ /dtk)	2.11	2.28	1.82	1.37	0.92	0.95	0.71	0.61	0.56	0.50	0.56	1.52

Untuk perencanaan Bendungan Tugu debit andalan yang digunakan adalah debit andalan 80%. Metode yang digunakan untuk menghitung besarnya debit andalan yaitu dengan menggunakan metode *dependable flow* dengan persamaan :

$$m = \frac{n}{5} + 1 = \frac{32}{5} + 1 = 7$$

Dengan : m = ranking
 n = jumlah data

Dengan perhitungan 80% di atas, yang digunakan untuk perhitungan adalah data curah hujan pada ranking ke-7.

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 Tugu adalah DI Tugu seluas 1.106 Ha. Perhitungan kebutuhan air irigasi ini dimaksudkan untuk menentukan besarnya debit yang akan dipakai untuk mengairi daerah irigasi.

Kebutuhan Air Baku

Desain Bendungan Tugu 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 2042 adalah 19.589 jiwa. Berdasarkan jumlah jiwa, daerah rencana bendungan termasuk dalam kategori kota kecil

Kapasitas Tampungan Bendungan

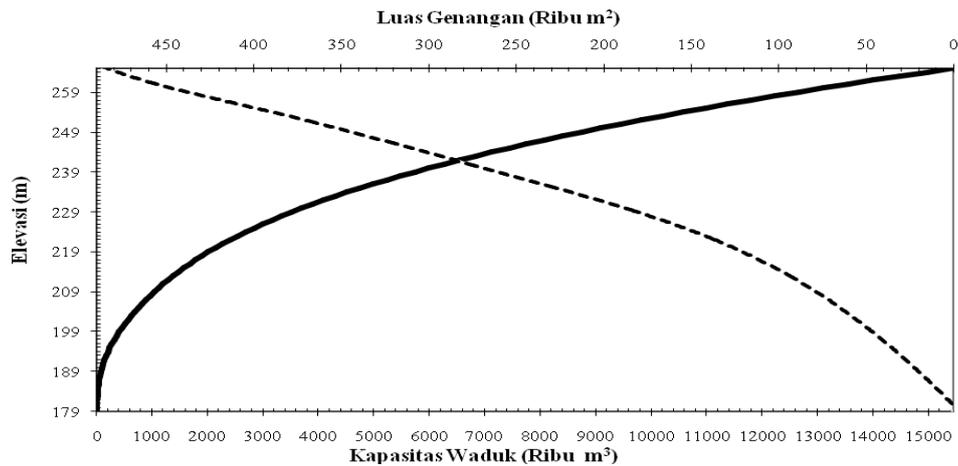
Untuk mengetahui keseimbangan air dan simulasi tampungan bendungan, dilakukan Analisis keseimbangan air untuk mengetahui keseimbangan antara debit air yang tersedia dan besarnya kebutuhan air untuk rencana pengembangan di daerah hilir sehingga dapat diperkirakan besarnya tampungan efektif waduk yang diperlukan. Hasil rekapitulasi perhitungan antara volume tampungan bendungan dan kebutuhan air baku disajikan dalam tabel berikut :

Tabel 5 Perbandingan Kapasitas Volume Tampungan dan Volume Kebutuhan Air

Debit (m ³)	BULAN											
	Jan	Peb	Mar	Apr	Mei	Jun	Jul	Agt	Sep	Okt	Nop	Des
Volume Masuk	5,651,424.00	5,515,776.00	4,874,688.00	3,551,040.00	2,464,128.00	2,462,400.00	1,901,664.00	1,633,824.00	1,451,520.00	1,339,200.00	1,451,520.00	4,071,168.00
Volume Irigasi + Air Baku	1,061,567.39	3,310,084.82	3,188,583.84	3,429,101.63	2,325,656.85	1,316,386.82	694,241.95	1,177,335.37	978,876.63	3,111,124.80	2,866,061.45	3,269,183.36
Evaporasi	2,875.72	2,216.34	2,654.49	2,601.83	3,175.85	3,965.95	3,356.10	3,374.93	3,592.01	3,060.91	2,403.17	2,545.06
Resapan	37,369.86	33,753.42	37,369.86	36,164.38	37,369.86	36,164.38	37,369.86	37,369.86	36,164.38	37,369.86	36,164.38	37,369.86
Total Volume Kebutuhan	1,101,812.97	3,346,054.59	3,228,608.19	3,467,867.84	2,366,202.56	1,356,517.15	734,967.90	1,218,080.16	1,018,633.02	3,151,555.57	2,904,629.00	3,309,098.28
Tampungan Hidup Waduk	4,400,000.00	4,400,000.00	4,400,000.00	4,400,000.00	4,400,000.00	4,400,000.00	4,400,000.00	4,400,000.00	4,400,000.00	2,587,644.43	1,134,535.43	4,400,000.00
Sedimen	693.43	626.32	693.43	671.06	693.43	671.06	693.43	693.43	671.06	693.43	671.06	693.43
Tampungan Total Waduk	4,400,693.43	4,400,626.32	4,400,693.43	4,400,671.06	4,400,693.43	4,400,671.06	4,400,693.43	4,400,693.43	4,400,671.06	2,588,337.86	1,135,206.49	4,400,693.43

Volume tampungan bendungan total dihitung dengan menggunakan persamaan :

$$\begin{aligned}
 V_n &= V_u + V_e + V_i + V_s \\
 &= 4.400.000,00 + 35.822,36 + 440.000,00 + 244.937,15 = 5.120.759,51 \text{ m}^3
 \end{aligned}$$

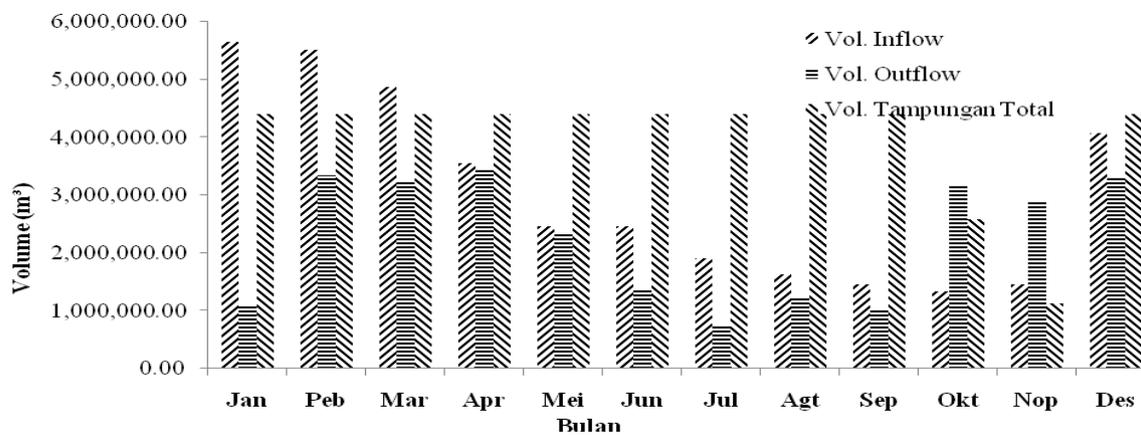


Gambar 2. Grafik Hubungan Antara Elevasi, Luas dan Tampungan Bendungan Total

Penentuan elevasi muka air normal dilakukan berdasarkan pada volume total *storage* yang mampu ditampung bendungan dilakukan pembacaan kurva kapasitas tampungan, sehingga didapat pada elevasi +236,60 .

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.



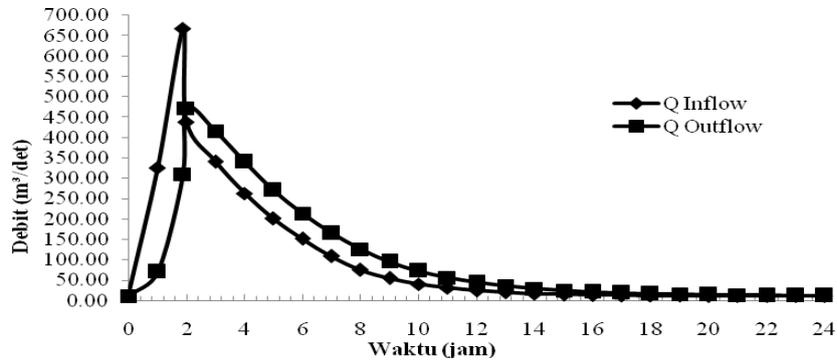
Gambar 3. Grafik Neraca Air

Grafik diatas memperlihatkan bahwa setelah ada bendungan dengan volume tampungan hidup sebesar 4.400.000,00m³ belum dapat mencukupi kebutuhan air selama 1 tahun khususnya pada bulan Oktober dan November yang terjadi kekurangan air.

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 waduk). Penelusuran banjir melalui pelimpah sebagai dasar

untuk perencanaan dimensi lebar pelimpah dan tinggi jagaan bendungan utama. Grafik hasil perhitungan penelusuran banjir (*flood routing*) Q_{1000} tahun melalui pelimpah Bendungan Tugu di sajikan pada **Gambar 4**.



Gambar 4. Grafik Hidrograf Q_{1000} th Inflow – Outflow Pelimpah

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

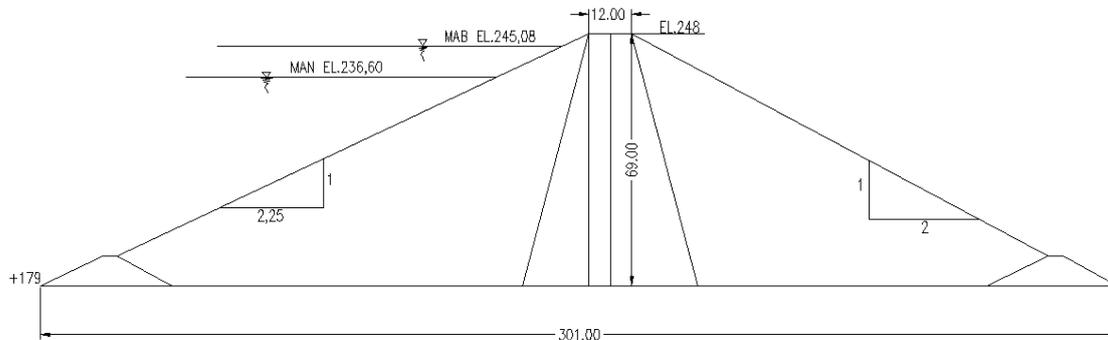
Inflow Q_{1000} th = 667,70 m³/detik

Outflow Q_{1000} th = 472,28 m³/detik

PERENCANAAN KONSTRUKSI BENDUNGAN

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

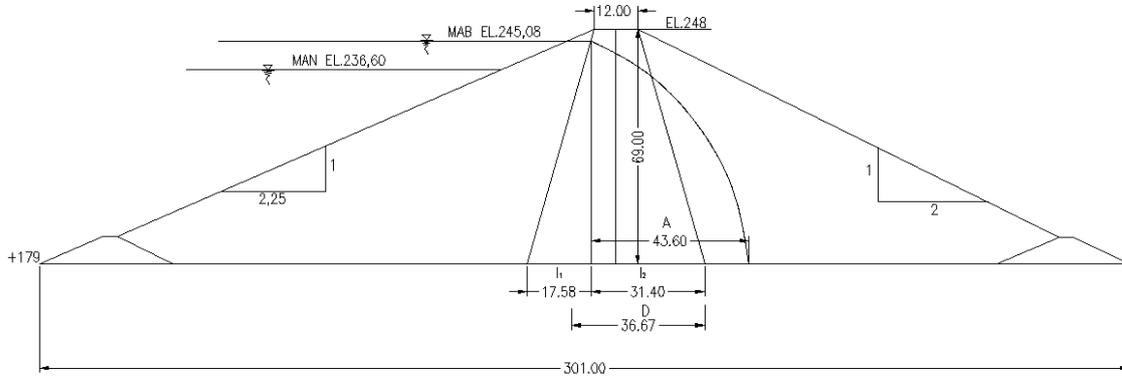
- Tinggi Jagaan 3,00 m
- Tinggi Bendungan 69,00 m
- Lebar Mercu Bendungan 12,00 m
- Lebar Dasar Bendungan 301,00 m
- Panjang Bendungan 390,26 m
- Kemiringan Lereng Bendungan (*slope gradient*) dengan pertimbangan keamanan stabilitas longsor, maka diambil kemiringan 1:2,25 untuk sebelah hulu dan 1:2,0 untuk sebelah hilir.



Gambar 5. Sketsa Penentuan Tinggi, Lebar, dan Panjang Dasar Bendungan

Tinjauan perhitungan stabilitas tubuh bendungan meliputi tinjauan stabilitas lereng bendungan terhadap filtrasi.

Stabilitas Lereng Bendungan Kondisi Sesuai Garis Parabola



Gambar 6. Formasi Garis Depresi Terhadap Bendungan

Kapasitas Aliran Filtrasi

Kapasitas aliran filtrasi adalah kapasitas rembesan air yang mengalir ke hilir melalui tubuh dan pondasi bendungan. Kapasitas aliran filtrasi diperkirakan berdasarkan pada jaringan trayektor aliran filtrasi dengan rumus :

$$N_f = 3 \text{ (asumsi)}$$

$$N_e = 9 \text{ (asumsi)}$$

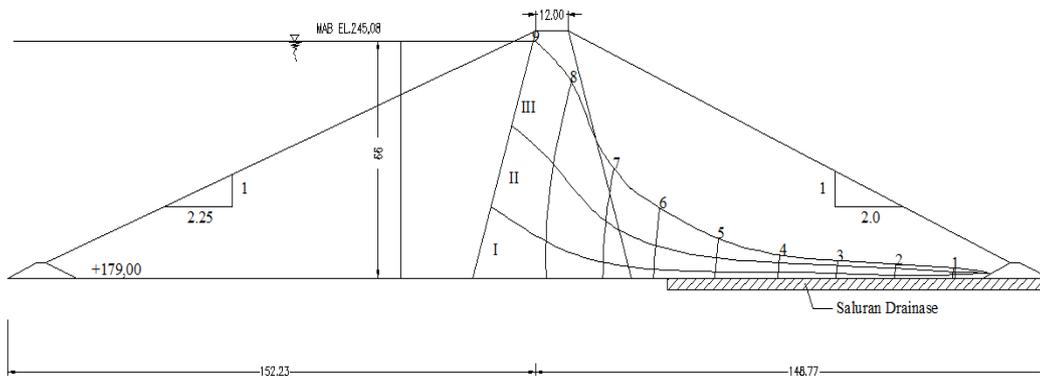
$$Q_f = \frac{N_f}{N_p} \cdot 2,12 \times 10^{-9} \cdot H \cdot B$$

$$Q_f = \frac{9}{3} \cdot 2,12 \times 10^{-9} \cdot 66 \cdot 390$$

$$= 0,000163 \text{ m}^3/\text{detik}$$

Syarat Q_f lebih kecil dari 2% Q_{inflow} rata-rata bendungan ($0,02 \times 667,70$) = 13,354 m^3/detik .

$$Q_f = 0,000163 \text{ m}^3/\text{detik} < 13,354 \text{ m}^3/\text{detik} \quad (\text{Aman})$$



Gambar 7. Jaringan Trayektori Aliran Filtrasi

Tinjauan Terhadap Gejala Sufosi (*Piping*) dan Sembulan (*Boiling*)

Kecepatan aliran keluar ke atas permukaan lereng hilir yang komponen vertikalnya dapat mengakibatkan terjadinya perpindahan butiran-butiran bahan bendungan, kecepatannya dibatasi sebagai berikut:

$$c = \sqrt{\frac{w_1 \cdot g}{F \cdot \gamma_w}} = \sqrt{\frac{2,647 \cdot 9,8}{3,572 \cdot 1}} = 7,26 \text{ m/detik}$$

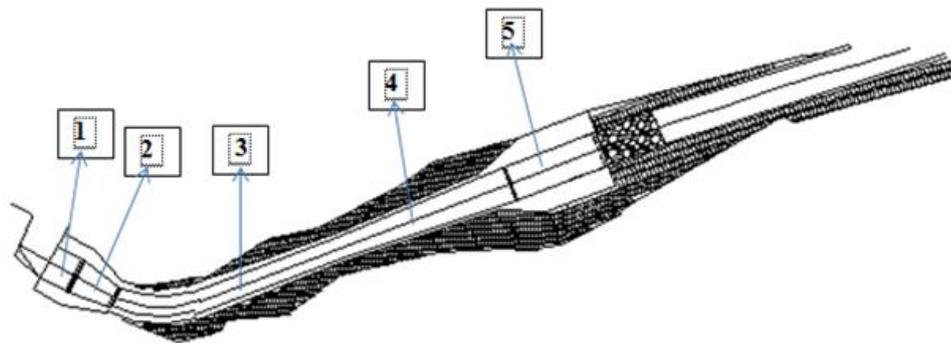
Kecepatan rembesan yang terjadi pada bendungan adalah:

$$V = k \cdot i = k \cdot \frac{h_2}{l}$$

$$V = 2,12 \times 10^{-9} \cdot \frac{4,52}{10,58} = 9,057 \times 10^{-10} \text{ m/detik} < c = 7,26 \text{ m/detik (Aman)}$$

Kecepatan rembesan (V_s) masih di bawah kecepatannya kritisnya (V_c), maka ini berarti tidak akan terjadi peristiwa "*Piping*" ataupun "*Boiling*".

Tinjauan secara keseluruhan bagian-bagian bangunan pelimpah dapat dijelaskan pada **Gambar 8** dibawah ini:



Keterangan:

1. Saluran Pengarah Aliran
2. Saluran Transisi
3. Saluran Peluncur
4. Saluran Transisi Bawah
5. Kolam Olak / Peredam Energi

Gambar 8. Detail Tampak Atas *Spillway*

Saluran Pengarah Aliran

Bagian ini berfungsi sebagai penuntun dan pengarah aliran agar aliran yang masuk ambang dalam kondisi hidrolis yang baik. Kecepatan aliran pada bagian ini tidak boleh melampaui 4 m/detik karena akan menyebabkan aliran helisoidal sehingga kapasitas aliran pada saluran pengatur akan menurun.

Dengan $Q = 667,70 \text{ m}^3/\text{detik}$
 $H_e = 11,60 \text{ m}$
 $L = 10,00 \text{ m}$

$$V = \frac{667,70}{(P + 11,6) \times 10}$$

didapat nilai P = 4

Ambang Pelimpah

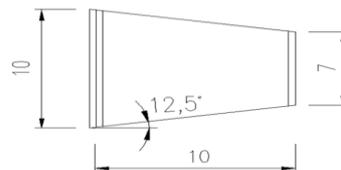
Ambang pelimpah yang digunakan untuk perencanaan Bendungan Tugu adalah tipe OGEE dengan metode US ARMY dengan tipe Hulu Tegak. Tinggi ambang ditetapkan antara puncak pelimpah ke pondasi tanah keras. Untuk pelimpah tidak berpintu, elevasi puncak pelimpah sama dengan elevasi muka air normal yaitu +236,60.

Saluran Transisi

Saluran transisi perlu dibuat karena ada perbedaan antara ambang dan peluncur (ambang \geq peluncur). Selain itu adanya saluran transisi juga penting untuk menenangkan aliran yang mempunyai turbulensi tinggi dan untuk kontrol hidrolis. Panjang saluran transisi untuk bentuk dengan penyempitan dihitung sebagai berikut:

$$B_1 = 10,00\text{m} \quad B_2 = 7,00\text{m} \quad \alpha = 12,5^\circ$$

$$L = \frac{\frac{1}{2}(B_1 - B_2)}{\tan \theta} = \frac{\frac{1}{2}(10 - 7)}{\tan 12,5} = 6,76 = 10\text{m}$$



Gambar 9. Detail Tampak Atas Saluran Transisi

Saluran Peluncur

Saluran peluncur adalah saluran pembawa dari ujung hilir saluran transisi sampai ke peredam energi. Saluran ini berfungsi untuk mengatur aliran agar aliran yang melewati saluran ini dapat mengalir dengan lancar tanpa hambatan hidrolis. Perhitungan Saluran Peluncur selanjutnya disajikan dalam **Tabel 6** berikut:

Tabel 6. Perhitungan Dimensi dan Ketinggian Saluran Peluncur

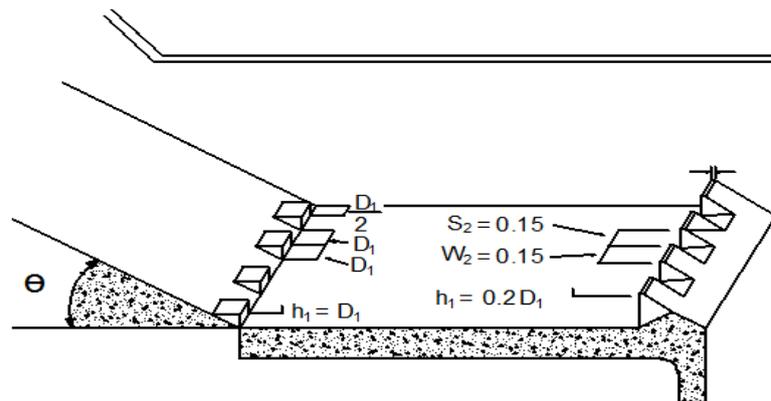
	V ₁	d ₁	S _o	V ₂	d ₂	F _b	A	P	R	S	ΔL	S _o x ΔL	ΔL	Elevasi dasar hulu	Elevasi dasar hilir	Elevasi muka air hulu	Elevasi muka air hilir	hl	Head	Fr
	(m/s)	(m)		(m/s)	(m)		(m ²)	(m)	(m)		(m)	(m)	(m)					(m)	(m)	
Bag 1	8.71	7.74	0.15	10.89	6.19	1.34	43.35	19.39	2.236	0.01	5	0.68	7.00	232.6	231.9	240.3	238.1	0.4	12.65	1.40
Bag 2	10.89	6.19	0.15	13.62	4.95	1.46	34.68	16.91	2.051	0.02	16	2.47	16.00	231.9	229.4	238.1	234.4	0.8	15.21	1.95
Bag 3	13.62	4.95	0.15	17.02	3.96	1.60	27.75	14.93	1.859	0.03	36	5.45	36.00	229.4	224.0	234.4	227.9	1.9	20.63	2.73
Bag 4	17.02	3.96	0.20	21.28	3.17	1.76	22.20	13.34	1.664	0.05	51	10.18	51.00	224.0	213.8	227.9	217.0	3.9	30.15	3.81
Bag 5	21.28	3.17	0.20	26.60	1.78	1.79	12.43	10.55	1.178	0.11	123	24.60	123.00	213.8	189.2	217.0	191.0	14.9	52.78	6.37
Terompet	26.60	1.78		33.24	1.42	1.98	14.21	12.84	1.106	0.16	40	6.54	57.00	189.2	182.6	191.0	184.1	12.3	70.10	8.91

Perencanaan Peredam Energi

Dari perhitungan sebelumnya didapat angka Froude = 8,91 (> 4,5) dan debit = 472,28 m³/detik (> 45 m³/detik) maka digunakan kolam olak USBR tipe II.

- d₁ = 1,42 m
- Fr = 8,91
- d₂ = 12,60 m

Ukuran panjang kolam olakan tergantung pada bilangan Froude aliran yang akan melintasi kolam tersebut. Dengan Fr = 8,91 dari grafik didapatkan nilai L/d₂ = 4,5. Maka panjang kolam olak L = 4.3 * 12,6 = 54,18 m = 55,00 m.



Gambar 10. Rencana Kolam Olak

- d₁ = 1,42 m = 1,25 m
- Jumlah gigi-gigi @ 1,25m = 4 buah
- jarak antara gigi-gigi = d₁ = 1,25 m dan
- jarak tepi ke dinding masing-masing = 1/2 d₁ = 0,6125 m
- Ukuran gigi-gigi pembentur aliran dengan mengacu pada gambar diatas didapatkan :
- tinggi gigi h₂ = 0,2.d₂ = 0,2.12,6 = 2,52 m
- lebar gigi S₂ = 0,15.d₂ = 0,15.9,83 = 1,89 m ≈ 2,00 m
- jarak antar gigi W₂ = 0,15.d₂ = 1,89 m ≈ 2,00 m
- jumlah gigi-gigi = 10 / (S₂+W₂) = 10 / 4 = 3.
- Kemiringan ujung hilir gigi-gigi pembentur 1:2

RENCANA ANGGARAN BIAYA DAN JADWAL PELAKSANAAN

Padapelaksanaan suatu proyek pembangunan tidak terlepas dari anggaran biaya yang diperlukan. Anggaran biaya merupakan harga dari bangunan yang dihitung dengan teliti, cermat dan memenuhi syarat. Rencana Anggaran Biaya untuk desain BendunganTugudapat dilihat pada Tabel 7.

Dalam perencanaan suatu proyek pembangunan perlu adanya rencana jadwal yang efektif dan efisien karena akan berkaitan langsung dengan anggaran biaya yang akan dikeluarkan nantinya. Diharapkan dengan rencana jadwal yang efektif dan efisien dapat menghemat biaya yang akan dikeluarkan. Pelaksanaan konstruksi pada Bendungan Tugudirencanakan ±80 minggu atau ±560 hari kerja.

Tabel 7. Perhitungan Rekapitulasi Rancangan Anggaran Biaya

No	Uraian	Total
I	Pekerjaan Persiapan	Rp. 170,487,136.00
II	Pekerjaan Pengelak	Rp. 73,974,013,544.59
III	Pekerjaan Utama (<i>Main Dam</i>)	Rp. 323,473,052,961.16
IV	Pekerjaan <i>Spillway</i>	Rp. 52,637,662,254.47
V	Pekerjaan Bangunan Sadap	Rp. 112,912,736.90
	Total	450,368,128,633.11
	Pajak Ppn: 10%	45,036,812,863.31
	Total + Pajak Ppn 10%	495,404,941,496.43
	Dibulatkan	495,404,942,000.00
	Terbilang	
	Empat Ratus Sembilan Puluh Lima Milyar Empat Ratus Empat Juta Sembilan Ratus Empat Puluh Dua Ribu Rupiah	

KESIMPULAN

Berdasarkan perhitungan analisis hidrologi, besarnya volume air yang tersedia (*inflow*) tidak cukup untuk memenuhi berbagai kebutuhan air (*outflow*) seperti kebutuhan air irigasi dan air baku. Kekurangan air terjadi pada bulan Oktober dan November, sedangkan kelebihan air terjadi pada bulan Januari sampai September dan November.

Untuk memenuhi kebutuhan air irigasi, pengambilan air untuk pemenuhan kebutuhan air irigasi dilakukan dengan sistem pompa sehingga pemenuhan kebutuhan air irigasi kurang maksimal. Maka perlu dibangun Bendungan Tugu untuk menaikkan tinggi muka air dan menampung air untuk memenuhi kebutuhan air irigasi, sehingga pengambilan air untuk pemenuhan kebutuhan air irigasi tidak lagi dilakukan dengan sistem pompa tetapi dengan sistem irigasi gravitasi dengan memanfaatkan kenaikan tinggi muka air pada tampungan bendungan.

Kebutuhan air diperhitungkan berdasarkan kebutuhan air irigasi dan kebutuhan air baku. Bendungan Tugu memiliki kapasitas tampungan $5.120.759,21 \text{ m}^3$ yang dapat digunakan untuk mengairi areal irigasi dan meningkatkan intensitas tanam dari daerah irigasi (DI) Tugu dengan luas areal 1.106 ha. Kebutuhan air irigasi dengan pola tanam padi-padi-palawija besarnya kebutuhan air irigasi adalah 0,83 liter/detik/ha.

Untuk kebutuhan air baku dalam studi tugas akhir ini, pemenuhan air baku Desa Nglingsis, Desa Pucang Anak, Desa Dermosari, Desa Winong dan Desa Tegaren karena lokasinya yang dapat dijangkau dengan pengaliran gravitasi, kelima desa tersebut saat ini juga masih kekurangan air. Besarnya kebutuhan air baku adalah 33,21 liter/detik dan direncanakan dapat memenuhi kebutuhan penduduk sampai tahun 2042.

Dengan adanya Bendungan Tugu maka adanya kesempatan untuk mengembangkan bidang perikanan air tawar dan terbukanya lapangan pekerjaan yang baru di bidang pariwisata bagi masyarakat sekitarnya dengan luas area genangan waduk $0,25 \text{ km}^2$.

Data yang diperoleh dari hasil perhitungan konstruksi bendungan, Bendungan Tugu direncanakan dengan tipe bendungan urugan batu dengan inti kedap lempung dimana elevasi puncak bendungan berada pada +248,00. Dari hasil perhitungan didapatkan :

1. Perhitungan *flood routing* bangunan pelimpah (*spillway*) direncanakan dengan debit banjir periode ulang Q_{1000} tahun sebesar 667,70 m³/detik, sehingga didapatkan lebar saluran pengarah aliran sebesar 10,00 m dengan panjang 356,00 m.
2. Berdasarkan perhitungan bangunan pelimpah (*spillway*) didapatkan kolam olak dengan ukuran 10x55 m USBR tipe II.
3. Tinggi bendungan 69,00 m dan panjang bendungan 301,00 m.
4. Berdasarkan perhitungan lebar mercu bendungan, didapatkan lebar mercu bendungan sebesar 12,00 m.
5. Kemiringan lereng bendungan bagian hulu 1:2,25 dan kemiringan lereng bendungan bagian hilir 1:2,00.

SARAN

1. Berdasarkan perhitungan analisis hidrologi, volume air yang tersedia (*inflow*) lebih besar dari pada kebutuhan air (*outflow*), hanya terjadi kekurangan pada bulan Oktober dan November. Dengan tampungan hidup bendungan sebesar 4,40 juta m³ yang digunakan untuk memenuhi kebutuhan irigasi daerah irigasi (DI) Tugu dengan luas areal 1.106 ha dan kebutuhan air baku di 5 (lima) desa di Kecamatan Tugu, besarnya volume tampungan tersebut juga mempunyai potensi untuk mengembangkan areal irigasi baru pada daerah irigasi non teknis (DI) Pogalan dengan luas areal 98 ha dan (DI) Trenggalek dengan luas areal 206 ha.
2. Perlu adanya penghijauan pada DAS mengingat cukup besarnya sedimentasi endapan yang terjadi pada kolam tampungan bendungan dalam kurun waktu 30 tahun.

DAFTAR PUSTAKA

- Soedibyo. 2003. *Teknik Bendungan*. Jakarta : Pradnya Paramita.
Soewarno. 1995. *Hidrologi Jilid-1*. Bandung : Nova.
Soewarno. 1995. *Hidrologi Jilid-2*. Bandung : Nova.
Sosrodarsono, Suyono. 1983. *Hidrologi untuk Pengairan*. Jakarta : Pradnya Paramita.