

MODIFIKASI *SPILLWAY* PADA BENDUNGAN TUKUL PACITAN DENGAN TIPE *MORNING GLORY*

Eko Suwarno¹, Januarico Alif Darmawan¹, dan Mujiyono¹

¹ Universitas Negeri Malang, Jl Semarang No. 5, Malang, 65311, Indonesia

*Penulis korespondensi

januarico.alif.1805236@students.um.ac.id;_eko.suwarno.ft@um.ac.id; mujiyono.ft@um.ac.id

Abstrak: Bendungan Tukul yang berlokasi di Desa Karanggede, Kecamatan Arjosari, Kabupaten Pacitan, Jawa Timur, selama proses pengerjaan terdapat berbagai macam kendala, salah satunya adalah yang diakibatkan oleh kondisi struktur geologis yang ada di lokasi. Tanah yang mudah longsor mengakibatkan terhambatnya pekerjaan pada proyek seperti contohnya pekerjaan penggalian. Sehingga pada artikel ilmiah ini digunakan alternatif modifikasi tipe spillway pada Bendungan Tukul dari tipe pelimpah samping menjadi tipe Morning Glory, dikarenakan pelimpah tipe Morning Glory ini memiliki struktur yang terpisah dengan tanah terutama bagian inlet sehingga tidak memberikan beban pada tanah terutama di bagian tebing yang mudah longsor. Dalam perencanaan modifikasi ini terdapat analisis hidrolika yang berupa perhitungan dimensi pelimpah, conduit, dan kolam olak. Dari perhitungan hidrolika juga diketahui 3 kondisi air yang terjadi pada spillway Morning Glory yaitu kondisi 1 (*Crest Control*), kondisi 2 (*Tube or Orifice Control*), kondisi 3 (*Full Pipe Flow*). Untuk mencari debit banjir rancangan dipilih metode hidrograf debit banjir rancangan yang paling sesuai hasilnya dari segi keamanan yaitu metode Gama 1. Dengan menggunakan pelimpah Morning Glory debit banjir dapat tereduksi sebesar 203,20 m³/dt. Lebih efektif mereduksi banjir dibandingkan desain pelimpah sebelum dimodifikasi yaitu pelimpah jenis ogee yang hanya mampu mereduksi debit banjir sebesar 90,59 m³/dt. Penggunaan spillway Morning Glory ini diharapkan bisa menjadi rujukan dalam mengatasi permasalahan struktur geologis pada proyek bendungan kedepannya dan mampu menjadi opsi optimalisasi dalam mereduksi banjir.

Katakunci: Bendungan Tukul, Geologis, *Morning Glory*, Pelimpah.

PENDAHULUAN

Dengan iklim tropisnya Indonesia merupakan negara dengan sumber daya air yang sangat melimpah namun juga berpotensi kekeringan ketika musim kemarau apabila air tidak dikelola dengan baik. Pada saat musim hujan ketersediaan air sangat berlimpah namun sayangnya sebagian banyak air yang turun tidak dimanfaatkan sepenuhnya, kebanyakan hanya mengalir ke sungai lalu menuju laut. Hujan yang deras juga kadang menyebabkan air sungai meluap sehingga terjadi banjir karena sungai tidak mampu menampung debit yang melimpas. Sebaliknya pada saat musim kemarau ketersediaan air berkurang. Sedangkan masih banyak kebutuhan air yang harus tetap dipenuhi seperti kebutuhan air rumah tangga, irigasi, listrik, dan lain-lain. Sehingga dibutuhkan sebuah bendungan yang berfungsi sebagai tampungan untuk menyimpan air berlebih di musim hujan yang kemudian digunakan untuk memenuhi kebutuhan air di musim kemarau.

Bendungan Tukul yang berlokasi di Desa Karanggede, Kecamatan Arjosari, Kabupaten Pacitan, Jawa Timur, yang membendung aliran air dari Sungai Kali Telu memiliki banyak manfaat diantaranya untuk penyediaan air irigasi 600 liter/detik, untuk air baku RKI 300 liter/detik, serta untuk pemeliharaan sungai 50 liter/detik. Bendungan ini juga bermanfaat untuk konservasi daerah aliran sungai (DAS), serta pengendalian banjir maupun untuk perikanan air tawar, pariwisata dan olahraga air. (PT. Brantas Abipraya. 2012)

Daerah Waduk Tukul di desa Karanggede, Kecamatan Arjosari, Kabupaten Pacitan berdasarkan tataan fisiografi Van Bemmelen (1949) termasuk dalam Lajur Pegunungan Selatan Jawa Timur.

Menurut Geologi Lembar Pacitan (Lembar 1507 – 4) termasuk dalam Satuan Pebukitan yang disusun oleh batuan gunungapi dan batuan sedimen. Tingkat pelapukan pada satuan pebukitan ini cukup tinggi yang ditunjukkan oleh tanah pelapukan yang mencapai lebih dari sepuluh meter. (PT. Brantas Abipraya, 2012)

Selama proses pengerjaan, proyek Bendungan Tukul ini terdapat berbagai macam kendala, salah satunya adalah yang diakibatkan oleh kondisi struktur geologis yang ada di lokasi. Tanah yang mudah longsor mengakibatkan terhambatnya pekerjaan pada proyek seperti contohnya pekerjaan penggalian. Sehingga dibutuhkan perkuatan tebing dan memasang portal untuk menahan runtuhan. (PT. Brantas Abipraya, 2012)

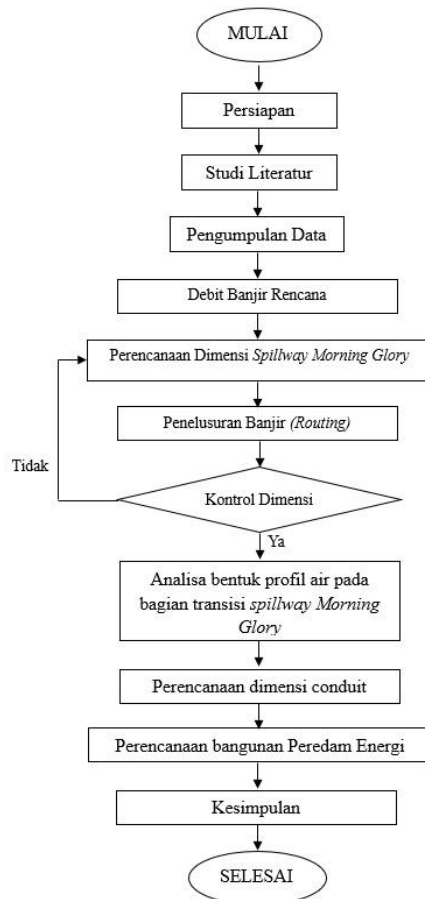
Sebagai bentuk antisipasi jangka panjang dibutuhkan pengurangan beban struktur yang langsung berhubungan pada tanah di atasnya. Pada skripsi kali ini untuk mengatasi permasalahan struktur geologis direncanakan modifikasi tipe *spillway* pada Bendungan Tukul dari tipe pelimpah samping menjadi tipe corong (*Shaft or Morning Glory*).

Dibandingkan dengan tipe *Side Spillway*, tipe pelimpah *Morning Glory* mempunyai kelebihan tersendiri yaitu lebih efektif dalam menghemat ruang. Kelebihan ruang tersebut dapat dialokasikan menjadi lahan yang menunjang sektor pariwisata. Bentuk dari tipe *Spillway Morning Glory* ini tergolong unik dan masih jarang digunakan di Indonesia, sehingga mampu menjadi daya tarik tersendiri untuk wisatawan.

Dari artikel ini diharapkan kita dapat mengetahui hasil penelusuran banjir (*flood routing*) dan bentuk desain profil pelimpah Bendungan Tukul Pacitan setelah tipe pelimpah samping diubah menjadi tipe *Morning Glory*, juga bentuk profil air pada bagian transisi *spillway*.

METODE

Tahapan penelitian modifikasi *spillway* pada Bendungan Tukul Pacitan menggunakan tipe *morning glory* dapat dilihat pada diagram alir berikut ini:

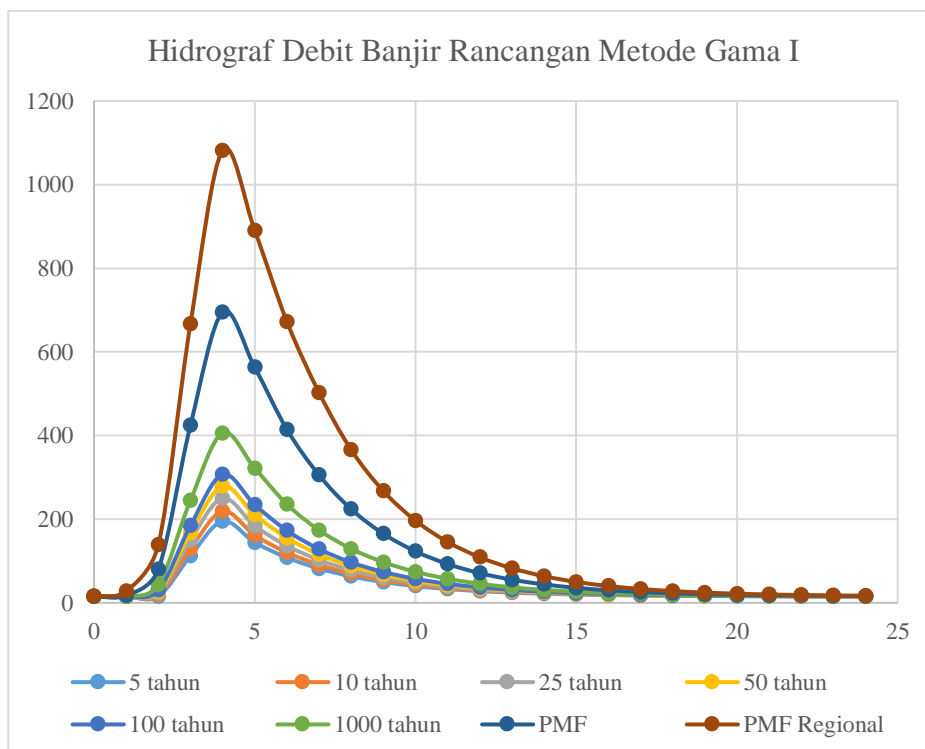


Gambar 1 Diagram Alir Penelitian

Berdasarkan study yang telah dilakukan oleh PT.Global Parasindo Jaya dipilih metode hidrograf debit banjir rancangan yang paling sesuai hasilnya dari segi keamanan yaitu metode Gama 1. Sehingga dalam penelitian ini digunakan data debit hidrograf metode Gama 1 mulai dari analisis penelusuran banjir hingga perhitungan desain profil pelimpah. Untuk data debit hidrograf dapat dilihat pada Tabel 1 dan Gambar 2.

Tabel 1. Rekapitulasi Hidrograf Banjir Rancangan Gama 1. (Distribusi Hujan 6 jam)

Waktu (Jam)	Kala Ulang						PMF	PMF Regional
	5	10	25	50	100	1000		
0	15,1	15,1	15,1	15,1	15,1	15,1	15,1	15,1
1	15,1	15,1	15,1	15,1	15,1	15,1	17,69	28,11
2	15,43	18,92	22,48	26,68	30,14	42,96	79,82	138,29
3	112,2	129,02	149,8	167,55	184,59	244,91	424,36	667,32
4	195,03	218,91	250,02	278,82	306,85	105,96	694,81	1081,79
5	144,51	161,69	184,06	210,13	234,49	321,89	563,02	890,41
6	108,18	120,53	136,62	155,37	172,89	235,75	414,72	672,5
7	82,05	90,93	102,5	115,99	128,59	173,8	305,47	502,77
8	63,25	69,64	77,96	87,66	96,73	129,24	223,95	365,85
9	49,73	54,33	60,31	67,29	73,81	97,2	165,31	267,37
10	40,01	43,31	47,62	52,64	57,33	74,15	123,14	196,54
11	33,02	35,39	38,49	42,1	45,47	57,57	92,8	145,6
12	27,99	29,7	31,93	34,52	36,95	45,65	70,99	108,96
13	24,37	25,6	27,2	29,07	30,81	37,07	55,3	82,61
14	21,77	22,65	23,81	25,15	26,4	30,9	44,01	63,65
15	19,9	20,53	21,36	22,33	23,23	26,47	35,9	50,02
16	18,55	19,01	19,61	20,3	20,95	23,28	30,06	40,22
17	17,58	17,91	18,34	18,84	19,31	20,98	25,86	33,17
18	16,89	17,12	17,43	17,79	18,13	19,33	22,84	28,1
19	16,39	16,56	16,78	17,04	17,28	18,15	20,67	24,45
20	16,03	16,15	16,31	16,49	16,67	17,29	19,11	21,82
21	15,77	15,86	15,97	16,1	16,23	16,68	17,98	19,94
22	15,58	15,65	15,73	15,82	15,91	16,24	17,17	18,58
23	15,45	15,49	15,55	15,62	15,69	15,92	16,59	17,6
24	15,35	15,38	15,43	15,48	15,52	15,69	16,18	16,9



Gambar 2. Hidrograf Debit Banjir Rancangan Metode Gama I (sumber: BBWS Bengawan Solo)

HASIL DAN PEMBAHASAN

1. HASIL

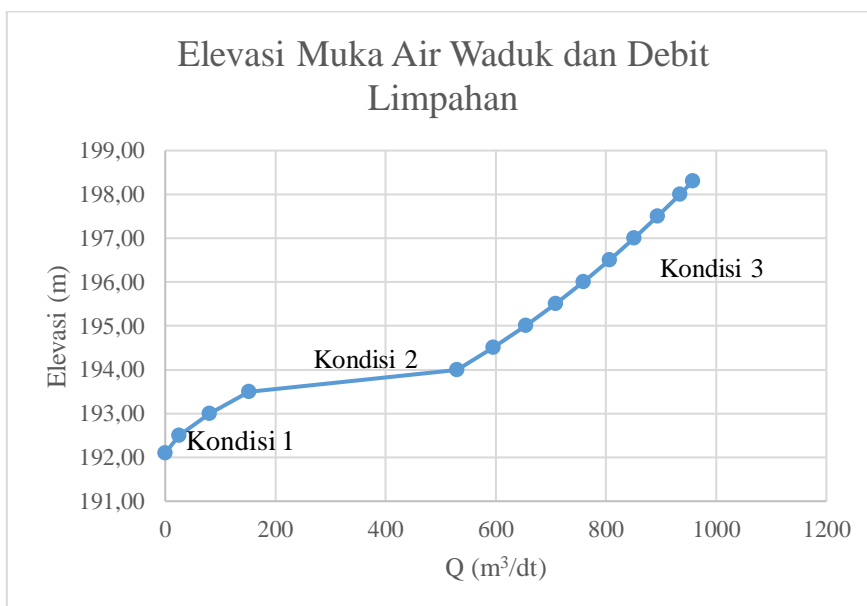
Berikut ini data hasil analisis pada Bendungan Tukul Pacitan setelah dimodifikasi dengan spillway tipe *Morning Glory*.

1.1 Hubungan Elevasi Air Waduk dan Debit Limpasan

Dari hasil analisis didapatkan data hubungan elevasi air waduk dan debit limpasan seperti yang dapat dilihat pada tabel 2 dan untuk grafiknya dapat dilihat pada gambar 3.

Tabel 2. Hubungan elevasi air waduk dan debit limpasan

El (m)	Ho (m)	Ho/Rs	Co	O (m ³ /dt)
(1)	(2)	(3)	(4)	(5)
192.10	0	0		0
192.50	0.4	0.10	4.00	25,43
193.00	0.9	0.23	3.85	82,62
193.50	1.4	0.35	3.65	151,96
194.00	1.9	0.48		529,95
194.50	2.4	0.60		595,61
195.00	2.9	0.73		654,72
195.50	3.4	0.85		708,92
196.00	3.9	0.98		759,26
196.50	4.4	1.10		806,47
197.00	4.9	1.23		851,06
197.50	5.4	1.35		893,42
198.00	5.9	1.48		933,87
198.30	6.2	1.55		957,32

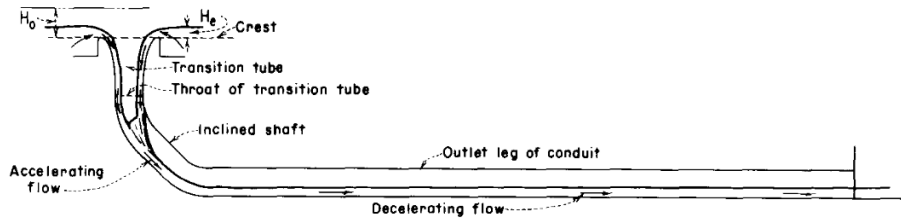


Gambar 3. Grafik elevasi muka air waduk vs debit limpasan

Dari grafik di atas dapat kita simpulkan 3 kondisi air yang terjadi pada tiap tiap elevasi sebagai berikut:

a. Kondisi 1

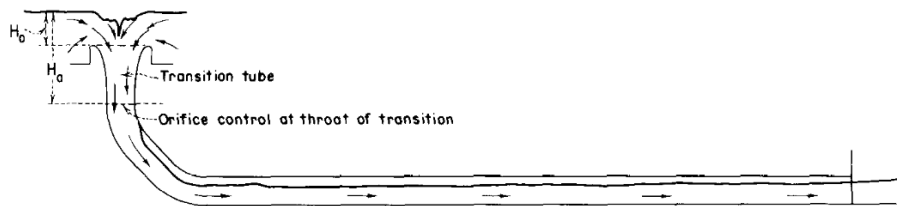
Mulai pada elevasi air mencapai 192,1 m hingga 193,5 m saluran berada pada kondisi 1 atau *Crest Control*, yang mana pada kondisi ini pipa pelepasan terisi sebagian. Contoh gambar dapat dilihat pada Gambar 4.



Gambar 4. Kondisi 1 (*Crest Control*), pipa pelepasan terisi sebagian

b. Kondisi 2

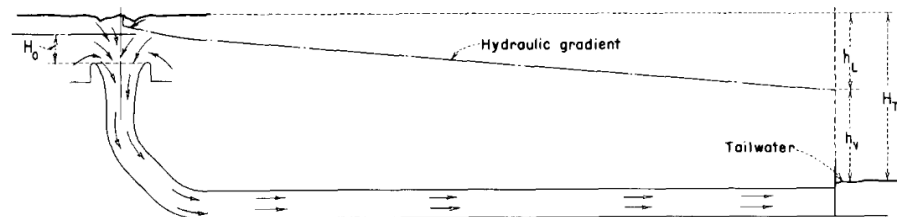
Mulai pada elevasi air mencapai 193,5 m hingga 194,0 m saluran berada pada kondisi 2 atau *Tube or Orifice Control*, yang mana ini adalah kondisi peralihan. Contoh gambar dapat dilihat pada Gambar 5.



Gambar 5. Kondisi 2 (*Tube or Orifice Control*), kondisi peralihan

c. Kondisi 3

Mulai pada elevasi air mencapai 194,0 m hingga 198,3 m saluran berada pada kondisi 3 atau *Full Pipe Flow*, yang mana pada kondisi ini pipa terendam penuh. Contoh gambar dapat dilihat pada Gambar 6.



Gambar 6. Kondisi 3 (*Full Pipe Flow*), kondisi terendam
(Sumber: USBR, 1987)

1.2 Penelusuran Banjir

Untuk mengetahui daya tampung waduk terhadap banjir rencana yang terjadi, maka dicari besar tampungan *inflow* dan *outflow* melalui penelusuran banjir (*flood routing*). Untuk faktor keamanan jangka panjang maka digunakan debit banjir rencana $Q_{PMF\ Regional}$.

Pertama dibuat terlebih dahulu tabel yang menunjukkan hubungan antara elevasi, volume tampungan (V), luas tampungan (S), dan debit pada bendungan. Seperti pada tabel 3. Kemudian dibuat tabel perhitungan *flood routing* seperti pada tabel 4.

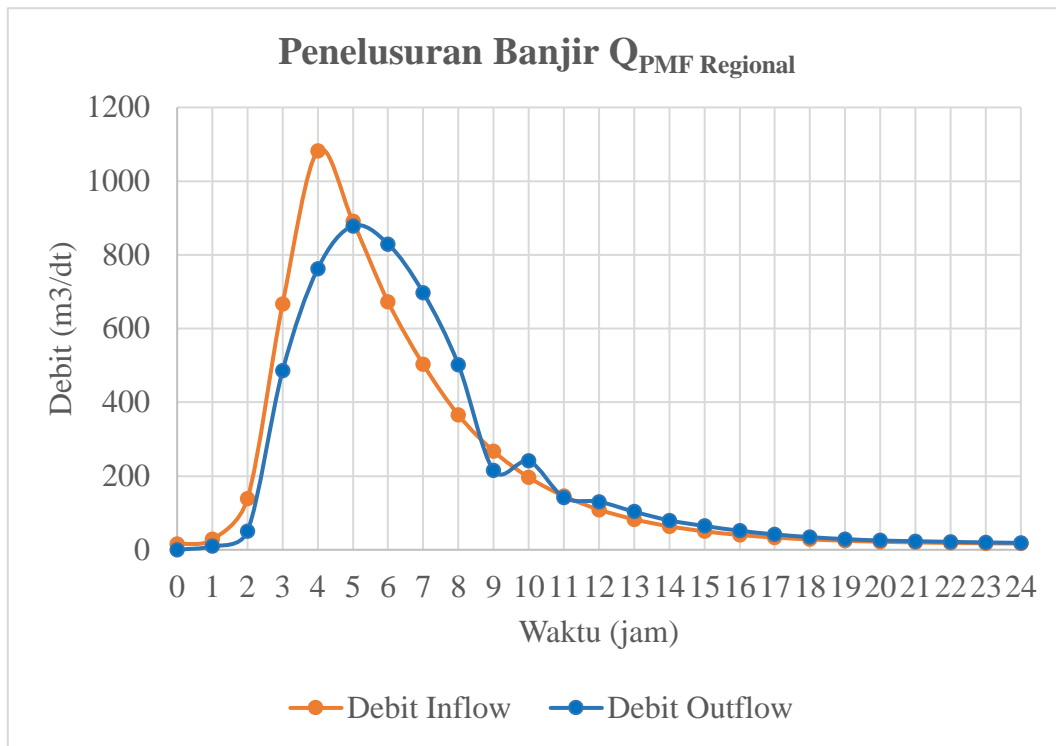
Tabel 3. Hubungan Elevasi, Tampungan, dan Debit

El (m)	H_0 (m)	H_0/R_s	C_0	O (m^3/dt)	V (m^3)	S (m^2)	$(2S/\Delta t)+O$ (m^3/dt)
(1)	(2)	(3)	(4)	(5)	(6)	(7)	(8)
192,10	0	0		0	8673875,81	0,00	0
192,50	0,4	0,10	4,00	25,43	8833538,76	159662,95	114,134185
193,00	0,9	0,23	3,85	82,62	9033117,45	359241,64	282,194724

193,50	1,4	0,35	3,65	151,96	9232696,14	558820,33	462,414159
194,00	1,9	0,48		529,95	9432274,83	758399,01	951,284678
194,50	2,4	0,60		595,61	9631853,51	957977,70	1127,82434
195,00	2,9	0,73		654,72	9831432,20	1157556,39	1297,81146
195,50	3,4	0,85		708,92	10062629,09	1388753,28	1480,45266
196,00	3,9	0,98		759,26	10293825,98	1619950,16	1659,23481
196,50	4,4	1,10		806,47	10525022,86	1851147,05	1834,88089
197,00	4,9	1,23		851,06	10756219,75	2082343,94	2007,91286
197,50	5,4	1,35		893,42	10987416,64	2313540,83	2178,72222
198,00	5,9	1,48		933,87	11218613,53	2544737,71	2347,61152
198,30	6,2	1,55		957,32	11357331,66	2683455,85	2448,12519

Tabel 4. Perhitungan *Flood Routing* Pada Q_{PMF} Regional

j	Waktu jam	I_j (m ³ /dt)	I_j+I_{j+1} (m ³ /dt)	$(2S/\Delta t)-O$ (m ³ /dt)	$(S+1/dt)+O_{j+1}$ (m ³ /dt)	O_j (m ³ /dt)	H_j (m)	Elevasi (m)
(1)	(2)	(3)	(4)	(5)	(6)	(7)	(8)	(9)
1	0	15,1	-	0	-	0		
2	1	28,11	43,21	23,953	43,21	9,63	0,1514	192,251
3	2	138,29	166,4	87,6202	190,35	51,37	0,6268	192,727
4	3	667,32	805,61	-76,898	893,23	485,06	1,8406	193,941
5	4	1081,79	1749,11	146,712	1672,21	762,75	3,9363	196,037
6	5	890,41	1972,2	361,738	2118,91	878,59	5,2249	197,325
7	6	672,5	1562,91	265,452	1924,65	829,60	4,6594	196,759
8	7	502,77	1175,27	46,4557	1440,72	697,13	3,2912	195,391
9	8	365,85	868,62	-88,835	915,08	501,96	1,8630	193,963
10	9	267,37	633,22	113,709	544,39	215,34	1,4838	193,584
11	10	196,54	463,91	95,5501	577,62	241,03	1,5178	193,618
12	11	145,6	342,14	152,799	437,69	142,45	1,3314	193,431
13	12	108,96	254,56	145,809	407,36	130,78	1,2473	193,347
14	13	82,61	191,57	129,681	337,38	103,85	1,0531	193,153
15	14	63,65	146,26	114,965	275,94	80,49	0,8814	192,983
16	15	50,02	113,67	99,8508	228,63	64,39	0,7407	192,841
17	16	40,22	90,24	87,5364	190,09	51,28	0,6260	192,726
18	17	33,17	73,39	78,2187	160,93	41,35	0,5392	192,639
19	18	28,1	61,27	71,3696	139,49	34,06	0,4754	192,575
20	19	24,45	52,55	66,3954	123,92	28,76	0,4291	192,529
21	20	21,82	46,27	62,4549	112,67	25,11	0,3949	192,495
22	21	19,94	41,76	57,7704	104,21	23,22	0,3652	192,465
23	22	18,58	38,52	53,3776	96,29	21,46	0,3375	192,437
24	23	17,6	36,18	49,6453	89,56	19,96	0,3139	192,414
25	24	16,9	34,5	46,6451	84,15	18,75	0,2949	192,395



Gambar 6. Grafik Hasil Perhitungan Flood Routing Pada Q_{PMF} Regional

1.3 Desain Profil Puncak Pelimpah

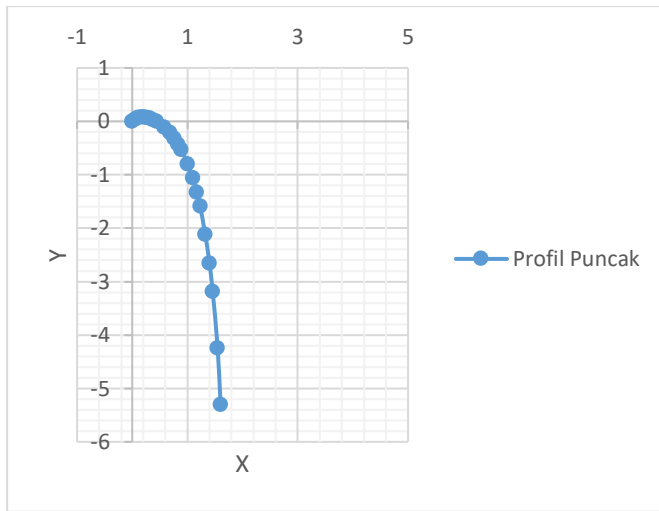
Dari hasil analisis perencanaan desain profil puncak pelimpah didapatkan koordinat yang ditunjukkan pada tabel 5.

Tabel 5. Koordinat X dan Y pada $H_s = 5,3$ m

X/ H_s (m)	X (m)	Y/ H_s (m)	Y (m)	Elevasi (m)
0,000	0,000	0,000	0,000	192,02
0,010	0,053	0,008	0,044	192,06
0,020	0,106	0,013	0,069	192,09
0,030	0,159	0,015	0,080	192,10
0,040	0,212	0,015	0,080	192,10
0,050	0,265	0,014	0,072	192,09
0,060	0,318	0,011	0,057	192,08
0,070	0,371	0,007	0,035	192,06
0,083	0,442	0,000	0,000	192,02
0,110	0,583	-0,020	-0,106	191,91
0,130	0,687	-0,040	-0,212	191,81
0,144	0,764	-0,060	-0,318	191,70
0,157	0,832	-0,080	-0,424	191,60
0,167	0,888	-0,100	-0,530	191,49
0,190	1,006	-0,150	-0,795	191,22
0,207	1,099	-0,200	-1,060	190,96
0,221	1,172	-0,250	-1,326	190,69
0,232	1,231	-0,300	-1,591	190,43
0,250	1,324	-0,400	-2,121	189,90
0,264	1,400	-0,500	-2,651	189,37
0,275	1,458	-0,600	-3,181	188,84

0,292	1,548	-0,800	-4,242	187,78
0,302	1,601	-1,000	-5,302	186,72

Dari koordinat X dan Y yang sudah ditemukan maka didapatkan bentuk profil puncak sebagai berikut:



Gambar 7. Grafik Bentuk Profil Puncak

1.4 Desain Bagian Transisi

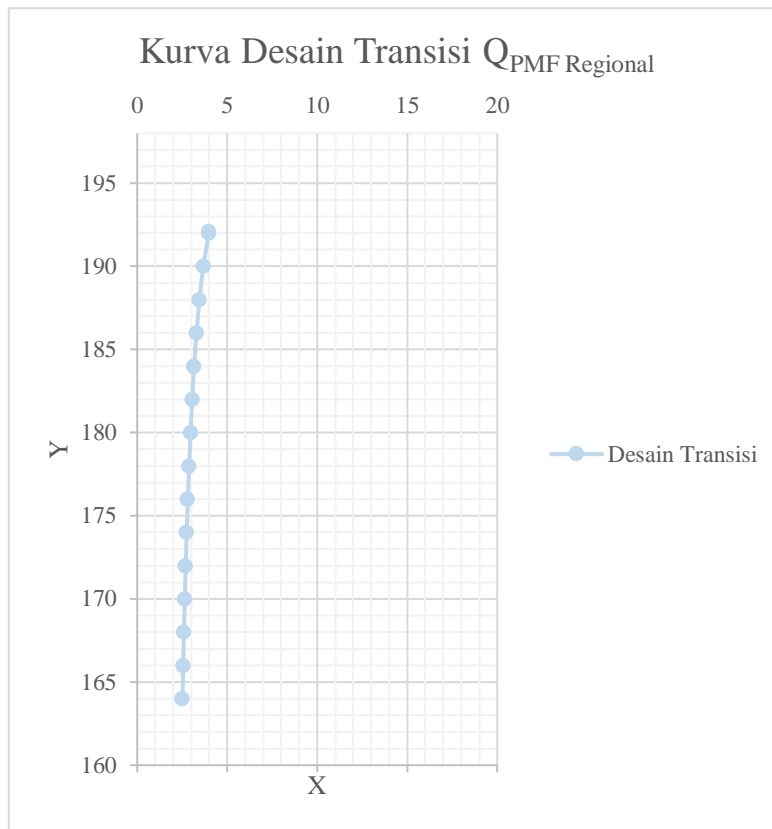
Untuk mendesain bagian transisi digunakan debit Q_{max} di pelimpah = $878,59 \text{ m}^3/\text{dt}$. Dengan elevasi muka air banjir +197,325 m. Dan digunakan rumus:

$$R = 0,204 \frac{Q^{1/2}}{Ha^{1/4}} \rightarrow Q = 878,59 \text{ m}^3/\text{dt}$$

Yang kemudian hasil data ditabelkan seperti tabel 6. Dan bentuk kurjanya dapat dilihat pada gambar 8.

Tabel 6. Hasil Perhitungan Jari-jari Transisi Pada Q_{PMF} Regional

Elevasi	Ha (m)	R tunnel
192,10	5,22	4,00
192,00	5,32	3,98
190,00	7,32	3,68
188,00	9,32	3,46
186,00	11,32	3,30
184,00	13,32	3,16
182,00	15,32	3,06
180,00	17,32	2,96
178,00	19,32	2,88
176,00	21,32	2,81
174,00	23,32	2,75
172,00	25,32	2,70
170,00	27,32	2,64
168,00	29,32	2,60
166,00	31,32	2,56
164,00	33,32	2,52



Gambar 8. Bentuk Kurva Desain Transisi Q_{PMF} Regional

PEMBAHASAN

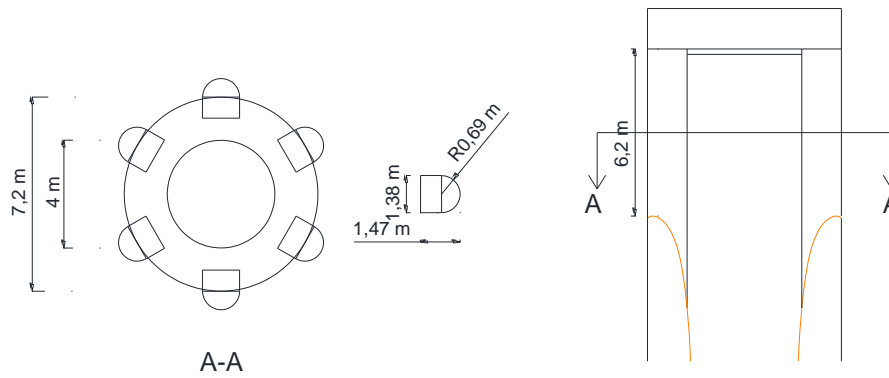
1 Hasil Penelusuran Banjir (*Flood Routing*)

Dari hasil penelusuran banjir didapatkan hasil untuk merancang bangunan pelimpah yang mana demi keamanan jangka panjang maka digunakan debit banjir Q_{PMF} Regional. Dari hasil penelusuran banjir tabel 4 dan grafik pada gambar 6 dari debit awal inflow maksimum 1081,79 m³/dt mampu tereduksi menjadi 878,59 m³/dt. Sehingga debit banjir yang dapat tereduksi adalah sebesar 203,28 m³/dt. Sedangkan berdasarkan hasil penelitian PT. Brantas Abipraya tahun 2012 pada Bendungan Tukul dengan pelimpah jenis Ogee pada debit banjir Q_{PMF} Regional debit hanya mampu tereduksi sebesar 90,59 m³/dt. Sehingga dari debit awal inflow maksimum 1081,79 m³/dt tereduksi menjadi 991,20 m³/dt.

Sehingga dari perbandingan tersebut dapat dinyatakan bahwa dengan menggunakan pelimpah jenis Morning Glory ini lebih efektif dalam mereduksi banjir karena debit yang di reduksi lebih besar dibandingkan menggunakan pelimpah jenis Ogee.

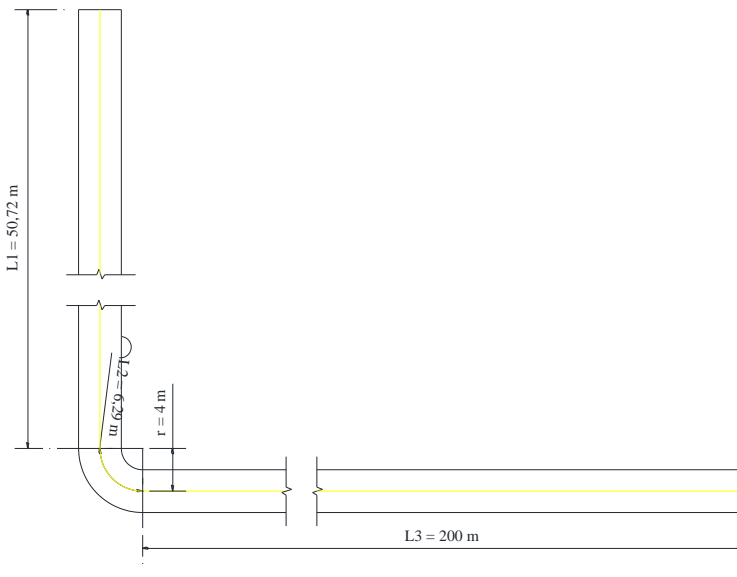
2 Dimensi Hidrolis *Spillway Morning Glory*

Dari hasil analisis perencanaan dimensi spillway morning glory maka didapatkan diameter puncak pelimpahnya adalah 7,2 m dengan bentuk profil yang dapat dilihat pada gambar 7. Untuk bentuk transisi pada spillway morning glory dapat dilihat pada gambar 8. Spillway morning glory hasil modifikasi pada Bendungan Tukul Pacitan dilengkapi 6 pilar setinggi 5,22 m bidang bundar dengan jari-jari 0,69 m, panjang 1,47 m, dan lebar 1,38 m. Untuk sketsa desain dapat dilihat pada gambar 9.

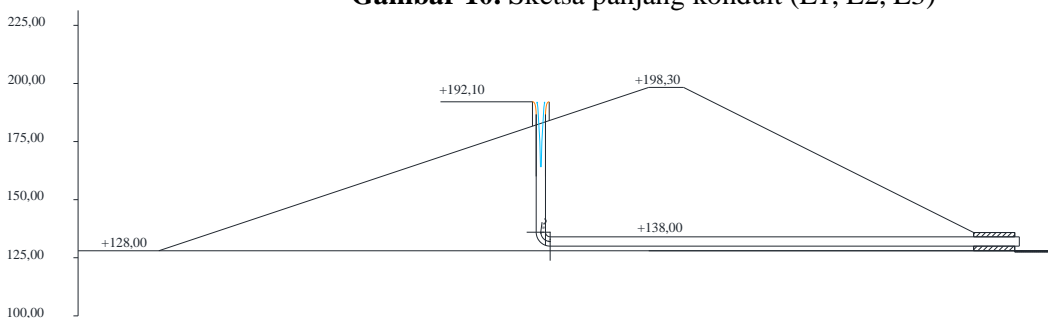


Gambar 9. Detail dimensi pilar

Untuk konduit yang nantinya mengalirkan air masuk dari pelimpah menuju hilir bendungan memiliki panjang 257,01 m dengan diameter 4 m . Dengan panjang L1 adalah 50,72 m, L2 sepanjang 6,29 m, dan L3 sepanjang 200 m. Sesuai dengan peraturan yang telah ditetapkan Departemen PU pada tahun 1999, sudah dilakukan kontrol pada dimensi konduit yang direncanakan dan konduit tidak mengalirkan aliran lebih dari 75% aliran penuh debit maksimum pada ujung hilir, sehingga dapat dinyatakan aman karena masih dapat mengijinkan masuknya udara, gelombang dan lainnya di ujung hilir. Untuk sketsa desain konduit dapat dilihat pada gambar 10 dan gambar 11.



Gambar 10. Sketsa panjang konduit (L1, L2, L3)



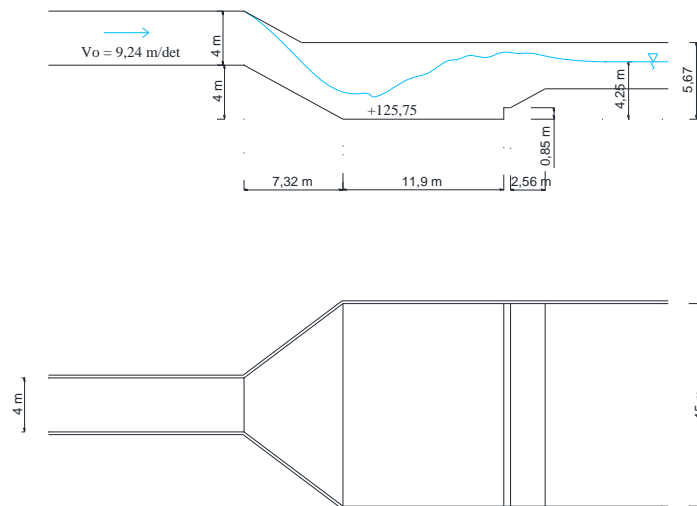
Gambar 11. Sketsa detail elevasi *Spillway*, konduit ,dan tubuh bendungan

3 Bentuk Profil Air Bagian Transisi

Dari hasil analisis didapatkan bahwa semakin besar debit yang terjadi maka semakin melingkar bentuk kurva profil airnya. Begitu juga sebaliknya semakin kecil debit yang terjadi maka semakin linear bentuk profil airnya. Untuk gambar bentuk profil air pada bagian transisi dapat dilihat pada gambar 8.

4 Kolam Olak

Pada bagian hilir outlet kondukt bendungan sebelum dilakukan perencanaan kolam olak dilakukan analisis terlebih dahulu sehingga ditemukan nilai *Froud*-nya yaitu sebesar 0,52. Berdasarkan pada buku Bendungan Type Urugan yang ditulis oleh Sosrodarsono pada tahun 1977, karena nilai *froud* yang didapat pada Bendungan Tukul Pacitan masih lebih kecil dari 1,7 maka tidak diperlukan kolam olak. Namun karena kondisi geologis di area bendungan tingkat pelapukannya tinggi maka pada saluran tanah di bagian hilir harus diberi pelindung dari bahaya erosi. Sehingga untuk alasan keamanan tetap direncanakan kolam olak yaitu menggunakan kolam olak USBR tipe 1. Untuk hasil desain kolam olak dapat dilihat pada gambar 12.



Gambar 12. Sketsa Dimensi Kolam Olak USBR Tipe 1

KESIMPULAN

Dari hasil perhitungan analisis dan penjabaran pada bab-bab sebelumnya maka ditarik beberapa kesimpulan sebagai berikut:

- Berdasarkan hasil dari penelusuran banjir lewat waduk menggunakan *spillway morning glory* ketika Q_{PMF} didapatkan debit *outflow* sebesar 878,59 m³/dt dari debit awal *inflow* sebesar 1081,79 m³/dt. Sehingga dapat disimpulkan bahwa debit banjir dapat tereduksi sebesar 203,20 m³/dt. Lebih efektif mereduksi banjir dibandingkan desain pelimpah sebelum dimodifikasi yaitu pelimpah jenis Ogee yang hanya mampu mereduksi debit banjir menjadi 991,20 m³/dt.
- Dari hasil analisis perencanaan dimensi *spillway morning glory* maka didapatkan diameter puncak pelimpahnya adalah 7,2 m dilengkapi dengan 6 pilar setinggi 5,22 m dan kondukt berdiameter 4 m sepanjang 257,01 m. Dan besar kehilangan energinya adalah 22,89 m.
- Dari hasil analisis disimpulkan terdapat 3 kondisi air pada *spillway* yang terjadi pada elevasi yang berbeda-beda. Kondisi 1 (*Crest Control*) terjadi mulai pada elevasi air mencapai 192,1 m hingga 193,5 m. Kondisi 2 (*Tube or Orifice Control*) terjadi pada elevasi air mencapai 193,5 m hingga 194,0 m. Dan kondisi 3 (*Full Pipe Flow*) terjadi pada elevasi air mencapai 194,0 m hingga 198,3 m.

Untuk nilai *froude* didapatkan $Fr = 0,52 \leq 1,7$ sehingga cukup direncanakan kolam olak USBR tipe 1 guna melindungi tanah di bagian hilir sebagai pelindung dari bahaya erosi.

DAFTAR PUSTAKA

- Anggrahini. 2005. *Hidrolika Saluran Terbuka*. Surabaya: Srikandi
- Aslam, Muhyiddin. 2015. *Perencanaan Spillway Submersible Pada Bendungan Titab, Kabupaten Buleleng, Provinsi Bali*. Surabaya: Institut Teknologi Sepuluh Nopember.
- Bagheri A, dkk.2010. *Hydraulic Evaluation of the Flow over Polyhedral Morning Glory Spillways*. Iran: Islamic Azzad University.
- Bradley, J.N. 1952. *Prototype Behavior of Morning Glory Shaft Spillways*. Colorado: Denver Office.
- Bruce R. Munson, dkk. 2009. *Mekanika Fluida Jilid 2*. Jakarta : Erlangga.
- Claudio A. Fattor, Jorge D. Bacchiega. 2008. *Design Conditions For Morning-Glory Spillways: Application To Potrerillos Dam Spillway*. Argentina: National Institute of Water.
- Direktorat Jenderal Pengairan. 1995. *Bendungan Besar Di Indonesia Tahun 1995*. Jakarta: Departemen Pekerjaan Umum.
- Kamiana, I Made. 2011. *Teknik Perhitungan Debit Rencana Bangunan Air*. Yogyakarta: Graha Ilmu.
- Kementrian PUPR. 2017. *Modul Desain Bangunan Pelengkap Pelatihan Perencanaan Bendungan Tingkat Dasar*. Bandung: Departemen Pekerjaan Umum.
- Munson, Bruce R. 2006. *Mekanika fluida jilid 2*. Jakarta: Erlangga
- PT. Brantas Abipraya. 2012. *Laporan Akhir Waduk Tukul Pacitan*. Sukoharjo. PT. Brantas Abipraya.
- Ridha, Wildan S. 2016. *Perencanaan Spillway Morning Glory Pada Bendungan Semantok Nganjuk*. Surabaya: Institut Teknologi Sepuluh Nopember.
- Soewarno. 1995. *Hidrologi Aplikasi Metode Statistik Untuk Analisa Data*. Bandung: NOVA.
- Sosrodarsono, Suyono dan Kensaku Takeda. 1977. *Bendungan Type Urugan*. Jakarta: Pradnya Paramita.
- USBR. 1987. *Design of Small Dams*. US Government Printing Office