

PERBAIKAN DESAIN BANGUNAN PELIMPAH WADUK PACAL DENGAN UJI MODEL HIDRAULIK FISIK

Darto*, Novianingrum Ekarina Sudaryanto, Indrawan, dan Anton Tri Asmoro
Balai Teknik Sungai, Direktorat Sungai dan Pantai, Direktorat Jenderal Sumber
Daya Air, Kementerian PUPR/HATHI Cabang Solo

*darto98@pu.go.id

Pemasukan: 28 Juni 2024 Perbaikan: 29 September 2024 Diterima: 16 Desember 2024

Intisari

Desain hidraulik bangunan pelimpah bendungan dapat dilakukan dengan uji model hidraulik (UMH) fisik di laboratorium. Tujuan dari pengujian ini adalah untuk mempelajari perilaku hidraulik bangunan pelimpah dengan komponen pelengkapannya. Metode yang digunakan dalam pemodelan adalah mencakup pembuatan model fisik, dan uji pengaliran hidraulik. Pengujian hidraulik dilakukan dalam 3 seri, antara lain: seri I tes desain; seri II, dan III merupakan tes perbaikan/penyempurnaan dimensi saluran lurus, modifikasi kolam olakan yang lebih baik dan pengamanan gerusan lokal akibat loncatan air dari kolam olakan dengan menambah tinggi elevasi endsill. Perbaikan dengan memodifikasi secara coba-coba, sehingga didapat desain bangunan pelimpah yang aman dari segi hidraulik, dimana tinggi jagaan untuk semua debit rencana aman, pola aliran di saluran lurus tidak terjadi aliran silang. Juga kolam olakan dapat meredam energi dengan baik, serta gerusan lokal di hilir kolam olakan dapat dikendalikan. Hasil penyempurnaan yang diperoleh dari modifikasi adalah seri terbaik yang akan digunakan sebagai bahan rekomendasi untuk diterapkan di lapangan.

Kata kunci: Bangunan pelimpah, kolam olak, UMH fisik, Waduk Pacal

Latar Belakang

keberlanjutan pemanfaatan sumber daya air secara umum dan khususnya irigasi sangat penting sehingga pemerintah dalam hal ini Balai Besar Wilayah Sungai Bengawan Solo pada tahun 2015 telah melaksanakan kajian untuk meningkatkan pelestarian dan pemanfaatan potensi sumber air serta pengendalian banjir di Daerah Aliran Sungai (DAS) Bengawan Solo. Waduk Pacal telah dibangun oleh pemerintah Hindia Belanda pada tahun 1927 sampai 1935 dan Kontraktor pelaksana pembangunan bendungan ini juga dilakukan oleh Pemerintah Hindia Belanda.

Pada Tahun 2014 terjadi kerusakan pada bagian Spillway yang disebabkan oleh longsornya tebing tumpuan kanan dari *Spillway* Waduk Pacal. Kerusakan ini mengakibatkan berkurangnya tampungan air pada Waduk Pacal yang cukup besar, sehingga dikhawatirkan mengganggu kinerja waduk sebagai sumber pemenuhan air irigasi maupun untuk pemanfaatan lainnya.

Waduk Pacal terletak di Kali Pacal, tepatnya di Desa Kedungsumber, Kecamatan Temayang, Kabupaten Bojonegoro, Provinsi Jawa Timur. Secara geografis Waduk Pacal terletak pada $111^{\circ} 52' 14,75''$ BT dan $7^{\circ} 21' 44,75''$ LS.



Gambar 1. Lokasi Waduk Pacal (google maps, 2024)



Gambar 2. Kerusakan Pada Bagian *Spillway* Sisi Kanan (beritajatim.com, 2019)

Berdasarkan data volume tampungan yang diperoleh dari hasil pengukuran situasi topografi tahun 2012 (kondisi waduk kering), diperoleh tampungan $28.522.779 \text{ m}^3$ dengan elevasi $+115,00$ (elevasi *spillway*), sedangkan kondisi awal berdasarkan referensi data terdahulu volume tampungan mencapai $41,18$ juta m^3 (tahun 1933) mengingat adanya pengaruh sedimentasi.

Pada Tahun 2014 terjadi kerusakan pada bagian *Spillway* yang disebabkan oleh longsornya tebing tumpuan kanan. Kerusakan ini mengakibatkan berkurangnya tampungan air cukup besar, sehingga dikhawatirkan mengganggu kinerja waduk sebagai sumber pemenuhan air irigasi maupun untuk pemanfaatan lainnya.

Pelimpah langsung sebagai salah satu komponen dari saluran pengatur aliran dibuat untuk lebih meningkatkan pengaturan serta memperbesar debit air yang akan melintasi bangunan pelimpah (Sosrodarsono, 1981:181). Saluran transisi pada bangunan pelimpah diperlukan untuk menghubungkan perubahan penampang dari ukuran dimensi yang lebih besar ke ukuran yang lebih kecil pada ruas hilir profil pelimpah sampai ke suatu potongan sebelum menuju ke saluran peluncur

Maksud dilakukannya uji model fisik untuk menyelidiki kapasitas pelimpah, pola aliran, mengamati elevasi muka air, kecepatan aliran, dan gerusan lokal pada sungai di hilir kolam olakan. Adapun tujuan dari pemodelan ini adalah menguji kehandalan desain bangunan pelimpah Waduk Pacal dan mempelajari efek bangunan terhadap efek hidraulik, mengevaluasi dan memodifikasi desain untuk penyempurnaan desain bangunan pelimpah tersebut, dan memberikan saran teknik penyempurnaan desain bangunan pelimpah Waduk Pacal dipandang dari segi hidraulik.

Metodologi Studi

Data Teknis

1. Pelimpah

- Desain mercu bangunan pelimpah tipe: *Ogee* (bentuk paruh bebek 1/2 lingkaran)

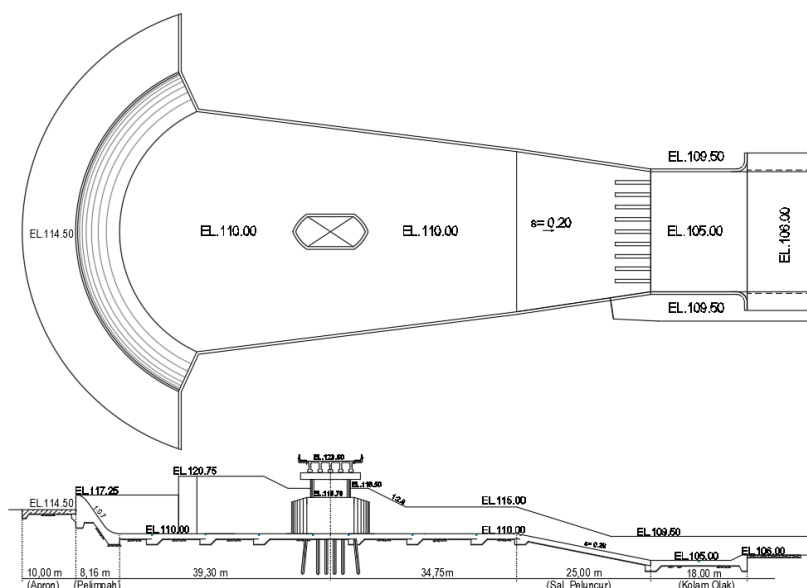
- Elevasi puncak ambang = + 117,25 m
 - Elevasi dasar pelimpah = + 114,50 m
 - Panjang ambang = 65,00 m
2. Saluran transisi
- Panjang saluran transisi : 60,40 m
 - Lebar saluran transisi: dari 45,00 m mengecil ke 23,50 m
 - Elevasi dasar saluran transisi + 110,00 m
3. Saluran Luncur (saluran terbuka)
- Panjang saluran luncur = 21,22 m
 - Kemiringan saluran luncur (i) = 0,20.
 - Peredam Energi
 - Kolam peredam: *USBR III*
 - Panjang Kolam olak 21,16 m
 - Elevasi Kolam oalak + 115,00 m
4. Data Hidrologi, debit yang keluar lewat pelimpah *Spillway* Waduk Pacal dapat dilihat pada Tabel 1. di bawah ini.

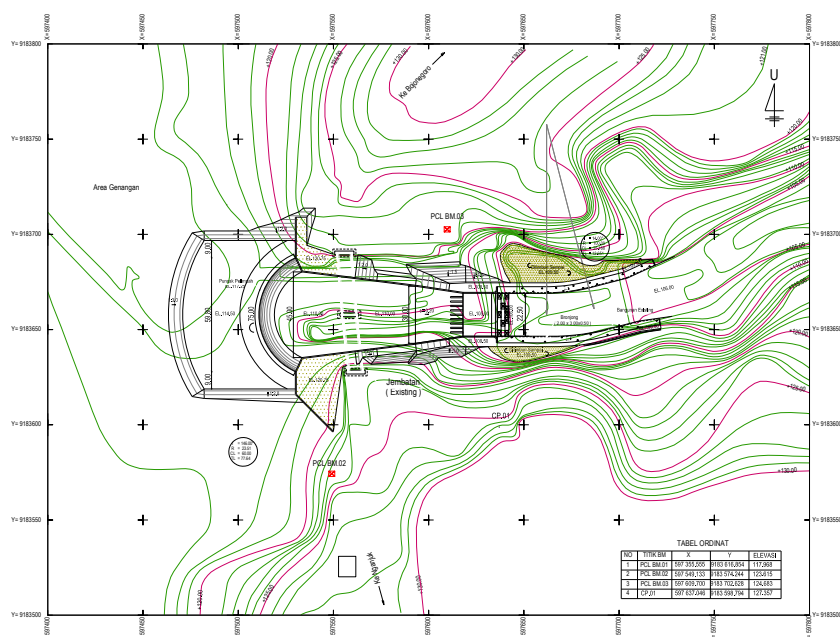
Tabel 1. Debit *Outflow* Pelimpah *Spillway* Waduk Pacal

Debit Kala Ulang	Debit Pelimpah (m ³ /dt)
Q ₅	71
Q ₁₀	79
Q ₁₀₀	110
Q ₁₀₀₀	148
Q _{PMF}	526

Sumber: perhitungan konsultan, 2014

5. Angkutan Sedimen, pemodelan sedimen dari serbuk batubara dibuat dengan diameter sekecil mungkin yang bisa dihasilkan oleh mesin pemecah batu.

**Gambar 3.** Tampak Atas Dan Potongan Memanjang Bangunan Pelimpah Desain Waduk Pacal (desain konsultan, 2014)



Gambar 4. Situasi Waduk Pacal (desain konsultan, 2014)

Metode Pelaksanaan

Analisa dari pengkajian penyempurnaan desain bangunan Pelimpah Waduk Pacal dengan uji model hidraulik fisik ini didasarkan pada kaidah-kaidah teori perencanaan kapasitas pengaliran melalui pelimpah, panjang efektif bendung, hidrolika saluran transisi, saluran peluncur, peredam energi, baik itu rumus yang sifatnya khusus maupun rumus-rumus umum yang masih terkait dengan pemodelan tersebut.

Penentuan skala model

Model dibuat dengan skala 1:33,333 dari prototip di lapangan, baik skala tegak (Nh) maupun skala datar (NL). Skala Parameter hidraulik dapat diturunkan dari kriteria kesebangunan bilangan *Froude* sehingga diperoleh skala parameter-parameter hidraulik sebagaimana disajikan pada Tabel 2.

Model Froude (Gaya gravitasi) – Skala Model Sama

Jika gaya gravitasi dominan dalam suatu sistem, maka skala model yang dipakai berdasarkan bilangan Froude. Bilangan Froude harus sama antara model dan prototipe.

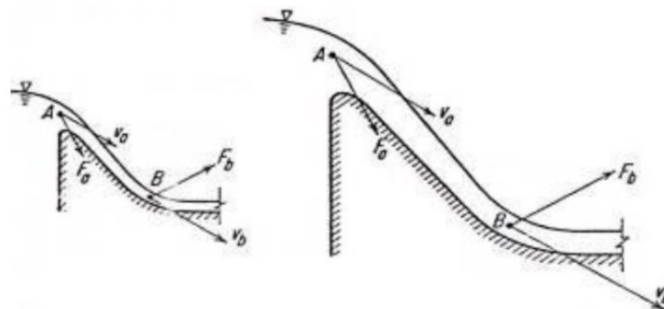
$$(Fr)_m = (Fr)_p$$

$$\left(\frac{v}{\sqrt{g \cdot L}}\right)_m = \left(\frac{v}{\sqrt{g \cdot L}}\right)_p \quad (1)$$

Dimana subskrip m dan p menunjukkan model dan prototipe. Dengan menganggap bahwa percepatan gravitasi adalah konstan diseluruh muka bumi, maka :

$$\frac{v_m}{v_p} = \left(\frac{L_m}{L_p}\right)^{1/2} \quad (2)$$

Dalam hal ini $L_r = L_m/L_p$ dinamakan skala geometri.



Gambar 5. Kesebangunan Hidraulika

Tabel 2. Skala Parameter Pemodelan

Parameter	Notasi	Rumus	Rasio ($n_h = n_L = 33,33$)
Kecepatan Aliran	v	$n_v = n_h^{1/2}$	$n_v = 5,77$
Waktu Aliran	t	$n_t = n_h^{1/2}$	$n_v = 5,77$
Debit Aliran	Q	$n_Q = n_h^{5/2}$	$n_v = 6.413$
Volume	V	$n_v = n_h^3$	$n_v = 37.026$
Koefisien <i>Manning</i>	n	$n_n = n_h^{1/6}$	$n_v = 1,79$

Sumber: Hasil Perhitungan

Fasilitas dan peralatan

Lahan Laboratorium Indoor untuk mengerjakan uji model dengan ukuran 20 m x 50 m, dan *outdoor* ukuran 100m x 80 m, Kolam penampung air kapasitas 5000 m³, Sistem sirkulasi air untuk memenuhi kebutuhan maksimum dan minimum pengaliran debit model dengan Pompa. Peralatan observasi, antara lain: *Waterpass*, *currentmeter*, *counter*, *pointgauge*, batang jarum dan kamera sebagai dokumentasi

Skenario pengamatan

Urutan kegiatan uji model hidraulik fisik adalah sebagai berikut:

- Debit masukan, dari debit kecil sampai debit maksimum. Lengkung debit ini nantinya sebagai dasar operasi di lapangan.
- Pengujian desain awal, yaitu menguji desain untuk mengetahui dampak hidraulik, terutama elevasi muka air untuk mengetahui kapasitas Dam, pola aliran, kecepatan aliran pada saluran luncur, Stilling basin, dan sungai di hilir kolam olakan.
- Modifikasi I, yaitu memodifikasi dimensi sayap pelimpah untuk mengetahui dampak hidraulik, pola aliran di saluran transisi, elevasi muka air, kecepatan aliran pada awal saluran luncur, stilling basin, dan sungai di hilir kolam olakan.
- Modifikasi II, yaitu menambah bangunan ambang dasar pada akhir saluran transisi. Tujuan bangunan ini adalah untuk menstabilkan pola aliran yang liar di saluran transisi.
- Modifikasi III, yaitu mempertinggi endsill dari + 106,00 menjadi +106,17 m untuk meredam energi di kolam olak, dan perlindungan dasar sungai akibat gerusan lokal di hilir endsill.

Pembuatan garis lengkung debit *out flow* pada pelimpah, dengan cara mengalirkan debit *inflow* yang diukur dengan alat ukur debit *rech bock*. Setelah daerah genangan penuh air, akan terjadi limpasan di bangunan pelimpah. sehingga tinggi muka air di atas mercu pelimpah dapat diukur, pengamatan ini dilakukan dengan beberapa variasi pengaliran direncanakan dengan skenario sebagai berikut.

Tabel 3. Skenario Pengujian Pengaliran

Pengaliran dan Pengamatan	Debit Pengaliran (kala ulang)				
	Q ₅	Q ₁₀	Q ₁₀₀	Q ₁₀₀₀	PMF
• Seri I					
Profil muka air	√	√	√	√	√
Kecepatan aliran	√	√	√	√	√
Pola aliran	√	√	√	√	√
Pola gerusan		√	√		
• Seri-II					
Profil muka air			√	√	√
Kecepatan aliran			√	√	√
Pola aliran			√	√	√
• Seri-III					
Profil muka air			√	√	√
Kecepatan aliran			√	√	√
Pola aliran			√	√	√
Pola gerusan			√	√	√

Hasil Studi Dan Pembahasan

Tes Desain (Model seri- I)

1. Pengamatan lengkung debit di hulu mercu pelimpah. Hasil pengamatan debit *inflow* yang menggenangi waduk dan keluar lewat pelimpah dapat diukur elevasi muka air, dengan anggapan debit *inflow* sama dengan debit *outflow* yang melimpas di atas pelimpah dan mengalir dengan konstan. Ketinggian air di atas pelimpah (h) sama dengan elevasi muka air dikurangi elevasi puncak pelimpah (+ 117,25 m). Nilai koefisien pelimpah C dihitung dengan Rumus:

$$Q = C \cdot Le \cdot He^{3/2}$$

$$V = (Q/Le) / (P+h)$$

$$Le = 65,00 \text{ m} ; e = v^2/2.g$$

$$He = h + v^2/2.g \text{ atau } He = h + e \quad (3)$$

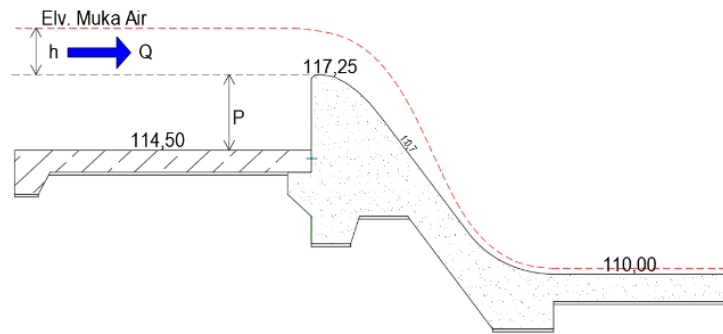
Keterangan:

Q : debit *out flow* (m³/s)

V : kecepatan aliran (m/s)

Le : lebar efektif pelimpah = 65,00 m

P : tinggi pelimpah = 2,75 m



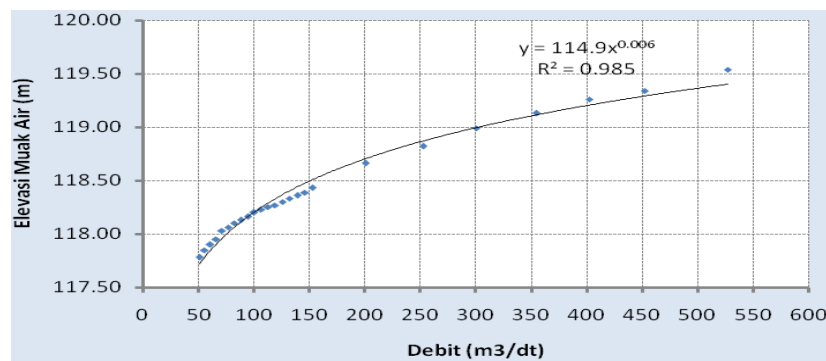
Gambar 6. Pengamatan di Hulu Mercu Pelimpah

Kapasitas pelimpah dinyatakan memenuhi kebutuhan apabila dialiri banjir dengan debit desain Q_{1000} menimbulkan tinggi genangan di waduk masih di bawah tinggi jagaan yang disyaratkan sebesar 2,00 m, sedangkan apabila dialiri banjir PMF genangan waduk tidak melampaui mercu bendungan.

Tabel 4. Hasil Pengamatan Tinggi Muka Air Waduk Untuk Q_{1000} dan Q_{PMF}

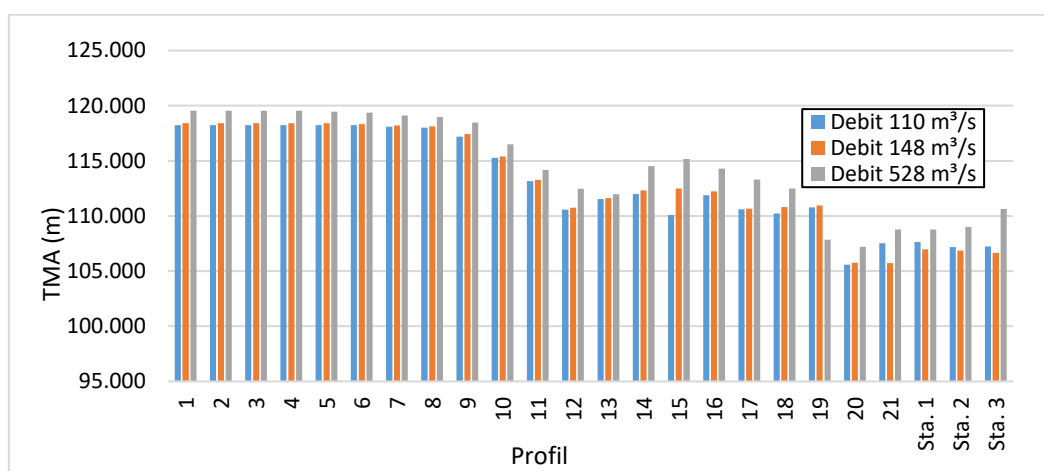
No.	Debit aliran (m^3/s)	Elevasi muka air (m)	Sisa Jagaan (m)	Elevasi Puncak Bendungan
1	$Q_{1000} = 148.05$	118.37	2.38	+120.75
2	$PMF = 526.70$	119.47	1.28	

Hasil pengamatan *rating curve* aliran pada pelimpah waduk dibuat sebagai grafik hubungan antara data debit pelimpah dengan data tinggi air waduk di atas pelimpah muka air waduk. gambar lengkung debit dengan elevasi muka air pada Gambar 7. Secara matematik *rating curve* dinyatakan dalam formulasi: $Y = 114,9x^{0.006}$



Gambar 7. Garis Lengkung Hubungan Antara Debit Dengan Elevasi Muka Air (2015)

- Hasil Pengamatan elevasi muka air. Pengamatan elevasi muka air dilakukan untuk setiap debit kala ulang dan dimulai dari hulu pelimpah sampai sungai di hilir kolam olakan. Dalam tulisan ini hanya ditampilkan debit kala ulang Q_{100} ($110 m^3/dt$) untuk mengontrol kapasitas kolam olak, Q_{1000} ($148 m^3/dt$) untuk mengontrol kapasitas dinding saluran luncur dan Q_{PMF} ($528 m^3/dt$) untuk mengontrol kapasitas dam. Hasil pengamatan elevasi muka air disajikan dalam Gambar 8.



Gambar 8. Elevasi Muka Air, Seri-I (2015)

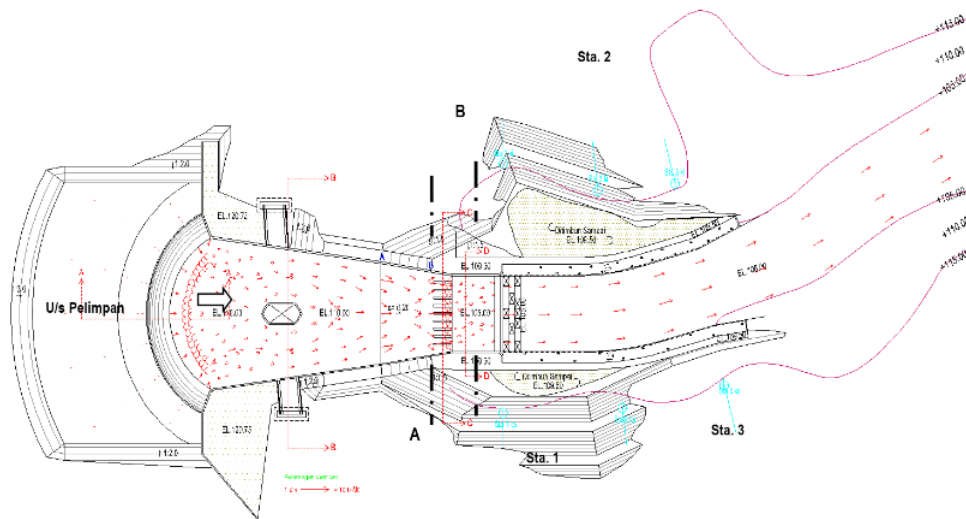
3. Kecepatan aliran model seri- I (desain awal). Kecepatan aliran dilakukan pengukuran hanya pada tertentu saja antara lain: di hulu pelimpah, di saluran lurus dan di hilir kolam olak (saluran pembuang). Letak pengamatan kecepatan aliran seperti gambar 5 yaitu di *upstream* pelimpah, di *crosssection* A, B dan di Sta 1, 2 dan 3. Hasil pengamatan kecepatan aliran seperti Tabel 5.

Tabel 5. Kecepatan Aliran (m/dt) Model Seri -I

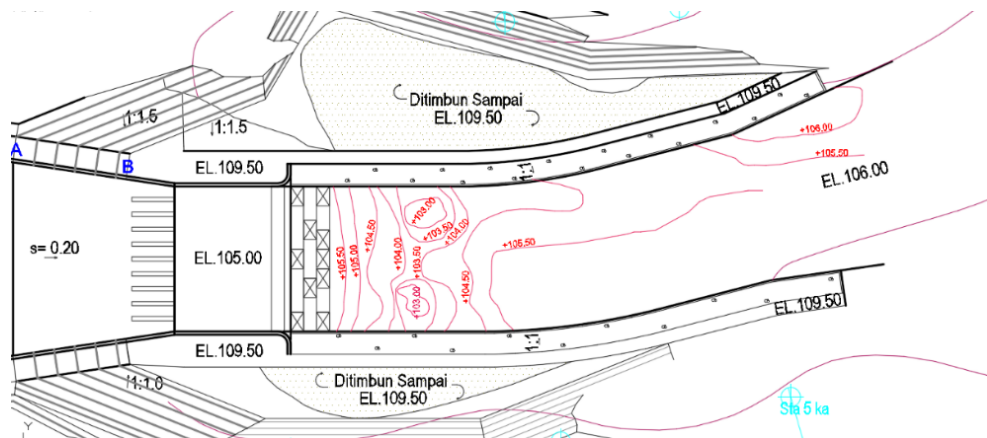
No.Sta	Debit Kala Ulang			
	Q ₅	Q ₁₀	Q ₁₀₀	Q ₁₀₀₀
U/s. Cross	0,32	0,33	0,40	0,60
A	3,31	3,51	4,09	5,32
B	5,15	5,39	6,58	7,33
Sta.1	2,15	2,39	3,11	6,45
Sta.2	2,88	3,40	4,13	7,23
Sta.3	2,79	3,40	4,65	6,46

Sumber: Balai Sungai, 2015

4. Pola aliran, aliran di hulu pelimpah mengalir merata mengali tegak lurus terhadap As pelimpah. Tetapi aliran yang berada disaluran transisi, terjadi aliran silang dan tebal aliran tidak merata (Gambar 9) di saluran lurus terjadi aliran yang bergelombang, dan kolam olak hanya mampu meredam energi debit kala ulang 5 tahun saja.
5. Gerusan Lokal. Gerusan lokal yang dilakukan Seri-I adalah debit kala ulang 10 tahun untuk mengetahui kecenderungan terjadinya gerusan lokal di hilirkolam olak (pada saluran pembuang). Dari hasil pengamatan gerusan lokal terjadi gerusan sedalam 3,00 m. Dari dasar rencana + 106,00 m gerusan terdalam +103,00 m (Gambar 10).



Gambar 9. Letak Pengukuran Kecepatan Aliran



Gambar 10. Gerusan lokal pada saluran pembuang

Tes Modifikasi I (Model Seri-II)

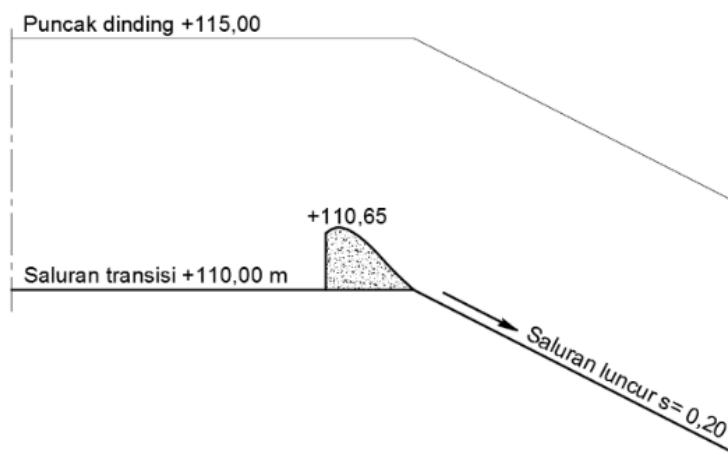
Tes modifikasi I adalah menyempurnakan bentuk pola aliran di saluran transisi, supaya tidak terjadi aliran silang yang liar, sehingga dapat di saluran lurus maupun di kolam olak akan lebih sempurna.

Dengan dipasangnya ambang dasar (*bottom controle*) di perubahan elevasi antara saluran transisi dengan saluran lurus. Elevasi ambang dasar ini didapat dengan cara *trial and error* hasil pengaliran, sehingga didapat elevasi puncak optimum ambang dasar + 110,65 m(atau 0,65 m dari dasar saluran transisi) Gambar 11.

Tujuan ambang dasar ini adalah untuk membentuk aliran super kritis menjadi subkritis, sehingga aliran bisa tenang.

1. Elevasi muka arah memanjang kondisinya berdasarkan hasil pengamatan kecepatan aliran sebagai berikut:
 - a. Dam mampu menampung kapasitas debit PMF.
 - b. Dinding saluran lurus mampu mengalirkan debit dengan kala ulang 1000 tahunan, begitu pula dinding kolam olak.

- c. Aliran silang dan kecepatan aliran pada saluran luncur telah terdistribusi merata.
- d. Muka air untuk debit PMF di saluran pembuang tidak terkontrol.
- e. Tabel hasil pengamatan disajikan pada Tabel 6.



Gambar 11. Ambang Dasar Di Akhir Salurah Transisi

Tabel 6. Kecepatan Aliran Model Seri -II

No.Sta	Debit Kala ulang			
	Q ₅	Q ₁₀	Q ₁₀₀	Q ₁₀₀₀
U/s. Cress	0,32	0,33	0,40	0,60
A	3,34	3,51	4,96	5,20
B	5,39	5,39	5,29	7,93
Sta.1	2,73	2,40	3,14	3,69
Sta.2	2,39	3,40	3,78	3,21
Sta.3	3,39	3,40	3,78	3,68

Sumber: Balai Sungai, 2015

2. Pola Aliran. Dengan adanya ambang dasar yang berada di akhir saluran transisi ini aliran di saluran transisi lebih merata dibanding model seri – I. Kondisi aliran di saluran luncur seragam dan merata, bentuk pola aliran di kolam olak, untuk debit dibawah 110 m³/dt energinya dapat pecahkan, tetapi untuk > 110 m³/dt masih perlu adanya modifikasi desain kolam olak. (Gambar 12 dan 13)



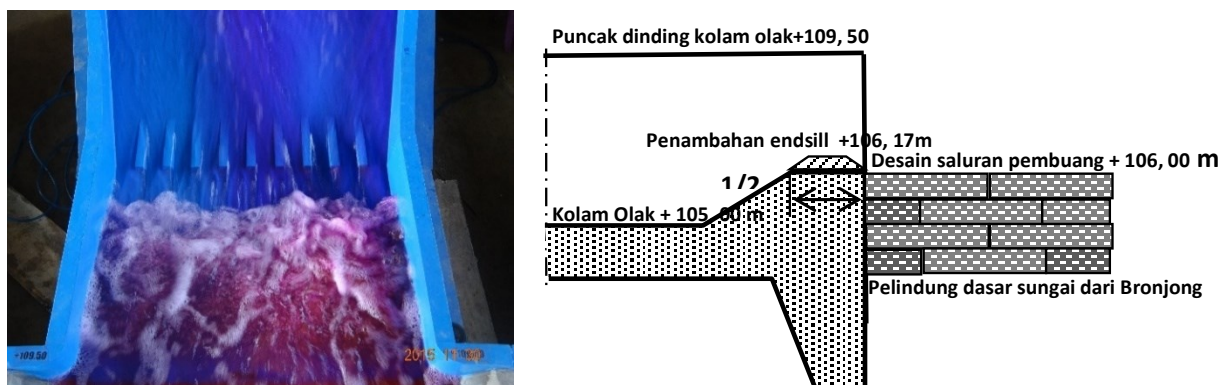
Gambar 12. Kolam Olak Berfungsi Maksimum Q_{10 th}



Gambar 13. Kolam Olak Tidak Berfungsi, Bila > Q_{10th}

Tes Modifikasi II (Model Seri-III)

Model Seri-III atau modifikasi II adalah menyempurnakan kolam olak supaya untuk setiap debit mengalir khususnya untuk debit kala ulang 100 tahun energinya harus dapat dipecahkan. Untuk membuat kolam olak supaya berfungsi dengan sempurna ada beberapa cara antara lain dasar kolam olak elevasi diturunkan, menambah blok beton diantara *chute block* dan *endsill*. Mengingat kolam olak ini sudah bisa meredam debit sampai $110 \text{ m}^3/\text{dt}$ maka cukup meninggikan *end sill* setinggi 17 cm. Penentuan tinggi ini berdasarkan *trial and error* percobaan aliran di model fisik.



Gambar 14. Modifikasi *End Sill*

1. Kecepatan aliran.

Hasil pengamatan kecepatan aliran seperti tabel berikut:

Tabel 7. Kecepatan Aliran Model Seri -III

No.Sta	Debit Kala ulang			
	Q ₅	Q ₁₀	Q ₁₀₀	Q ₁₀₀₀
U/s. Cress	0,32	0,33	0,40	0,60
A	3,34	3,51	4,96	5,39
B	5,39	5,39	6,59	8,30
Sta.1	2,73	2,40	3,56	3,80
Sta.2	2,39	3,40	2,78	3,21
Sta.3	3,39	3,40	3,08	3,27

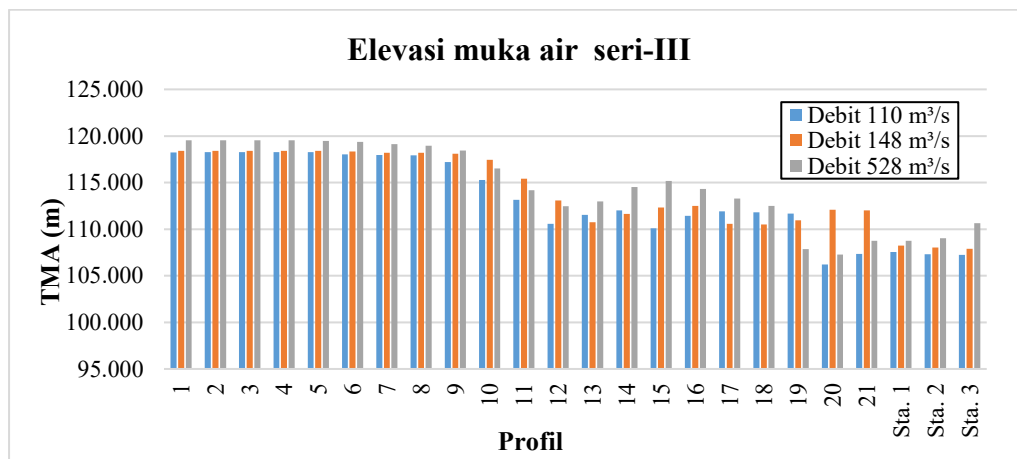
Sumber: Balai Sungai 2015

Setelah dilakukan modifikasi desain pada kolam olakan terjadi perubahan terhadap karakteristik aliran. Pada debit Q_{100} dan Q_{1000} terlihat aliran pada kolam olakan telah teredam dengan sempurna sebelum masuk ke alur sungai.

2. Elevasi muka air

Hasil pengamatan elevasi tinggi muka air arah memanjang kondisinya sbb:

- Dam mampu menampung kapasitas debit PMF.
- Dinding saluran lurus mampu mengalirkan debit dengan kala ulang 1000 tahunan, begitu pula dinding kolam olak.
- Muka air untuk debit PMF di saluran pembuang tidak terkontrol.



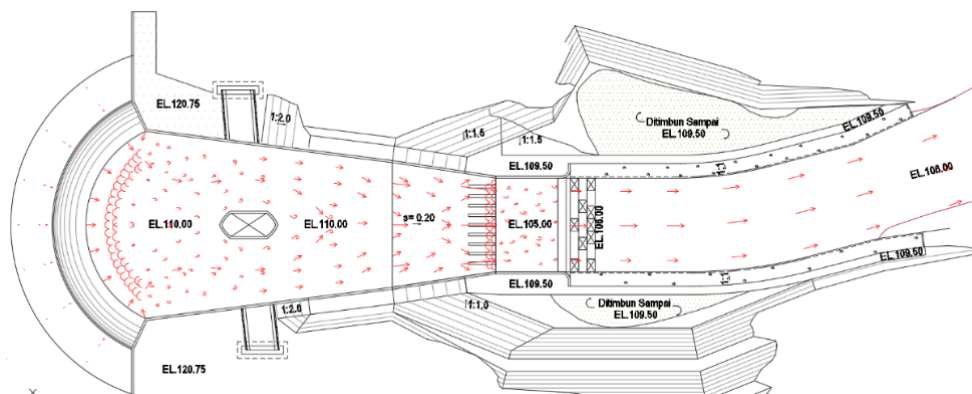
Gambar 15. Elevasi Muka Air, Seri-I (2015)

3. Pola Aliran

Dengan adanya ambang dasar di akhir saluran transisi dan penambahan tinggi end sill, aliran di saluran luncur dari pelimpah sampai saluran pembuang menjadi lebih sempurna. Khususnya untuk debit kala ulang 100 tahun kebawah. Kolam olak berfungsi pemecah energi sehingga diharapkan gerusan lokal di hilir kolam olak tidak membahayakan (Gambar 16 dan 17).



Gambar 16. Aliran Model Fisik Dengan Debit Kala Ulang 100 Tahun. ($110 \text{ m}^3/\text{dt}$)



Gambar 17. Pola Aliran Dengan Debit Kala Ulang 100 Tahun. ($110 \text{ m}^3/\text{dt}$)

4. Gerusan Lokal

Setelah didapat hasil uji model fisik (Gambar 17) yang terbaik ditinjau dari segi hidraulik, lalu dilakukan uji gerusan lokal khususnya di hilir kolam olak pada saluran pembuang (Gambar 18).

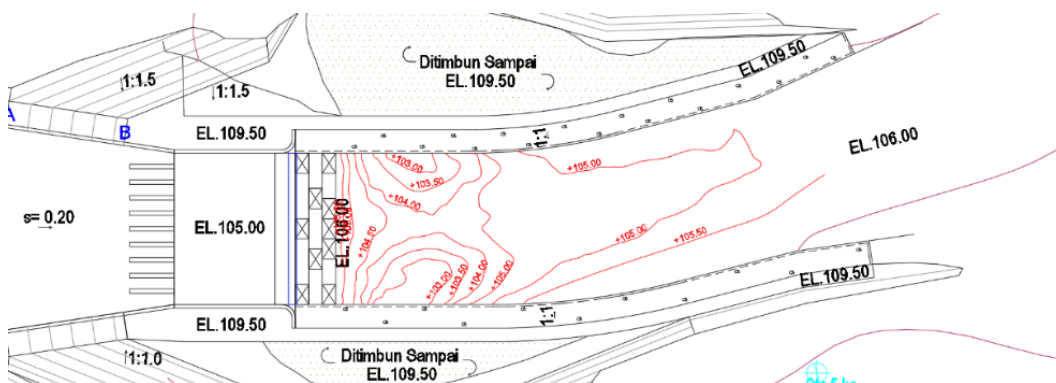
Hasil pengamatan gerusan sbb:

a. Debit aliran Q_{10} tahun ($79 \text{ m}^3/\text{dt}$)

- Gerusan terdalam mencapai 2,00 m dibawah dasar saluran pembuang rencana (Elevasi dasar saluran pembuang desain +106,00 m)
- Letak gerusan terdalam berada di alur kanan dan kiri sejauh 15,00 m dari *endsill*, gerusan terdalam mencapai elevasi $1 = 104,00 \text{ m}$.

b. Debit aliran Q_{100} tahun ($110 \text{ m}^3/\text{dt}$)

- Gerusan terdalam mencapai 3,00 m dibawah dasar saluran pembuang rencana (Elevasi dasar saluran pembuang desain +106,00 m)
- Letak gerusan terdalam berada di alur kanan dan kiri sejauh 15,00 m dari *endsill* gerusan terdalam mencapai elevasi $1 = 103,00 \text{ m}$



Gambar 18. Gerusan Lokal Akibat Debit Aliran $110 \text{ m}^3/\text{dt}$

Kesimpulan dan Saran

Kesimpulan

Hasil pengujian terhadap desain bendung/dam masih aman pada saat bedit PMF dengan debit kala ulang 1000 tahun. Tinggi jagaan bendung pada saat Q_{1000} adalah 2,38 m, dimana persyaratan minimal adalah 2,00 m.

Bangunan ambang dasar sangat bermanfaat, untuk menyeragamkan pola aliran di saluran transisi dan bisa menstabilkan aliran yang bergelombang di kolam olak. Dengan memodifikasi mempertinggi bangunan *endsill* sebesar 17 cm, kolam olak berfungsi secara sempurna untuk segala debit aliran.

Saran

Perlu di lakukan penambahan ambang datar pada saluran pembuang untuk meminimalisir gerusan yang diakibatkan oleh debit kala ulang Q_{100} tahun ($110 \text{ m}^3/\text{dt}$).

Ucapan Terima Kasih

Ucapan terimakasih disampaikan kepada seluruh tim Peneliti dan Perekayasa Balai Sungai dan semua pihak yang telah membantu sehingga terwujudnya tulisan ini.

Daftar Referensi

- Anonim. 2013 Kriteria Perencanaan Bagian Bangunan Utama KP-02. Jakarta: Departemen Pekerjaan Umum.
- Anonim. 2015. Laporan Akhir Uji Model Fisik Bendungan Sukamahi Kabupaten Bogor Propinsi Jawa Barat. Malang : Jurusan Pengairan FT UB.
- Daud F S, Reza A, Andi Rani. (2018) “Uji Model Pengaruh Bentuk Pelimpah Terhadap Karakteristik Pengaliran” Jurnal Teknik Hidro. Maksar.
- Lutfi Moh M, Eko N, Azizah R. 2018. “Studi Perencanaan Bendung Pelimpah(Spillway) pada Bendung Tugu Kabupaten Trenggalek” Jurnal Rekayasa Sipil. Malang.
- Kirno dan Sarwono. (2014) “Penyempurnaan Desain Bangunan Pelimpah Cileuweung Dengan Uji Model Hidraulik Fisik” Jurnal PUSAIR Bandung.
- PT. Daya Cipta Dianrancana. 2015 “Laporan Detail Desain Rehabilitasi Spillway Waduk Pacal di Kabupaten Bojonegoro” BBWS Bengawan Solo.
- Sosrodarsono, Ir. Suyono & Kensaku Takeda. 1997. Bendungan Tipe Urugan. Jakarta : Pradnya Paramita.