TINJAUAN EKOHIDRAULIK PADA UJI MODEL FISIK BANGUNAN PELIMPAH WADUK PIDEKSO KABUPATEN WONOGIRI

Heri Suprijanto[1)], Aniek Masrevaniah[1)], Hari Prasetijo[1)], Dian Sisinggih[1)], Andre Primantyo[1)]
[1)] Dosen Jurusan Teknik Pengairan Fakultas Teknik Universitas Brawijaya

***Abstrak**: Pada penelitian model fisik pelimpah bendungan pidekso ini terdiri dari 9 model seri , yaitu 4 model seri merupakan penyempitan saluran transisi sebesar 24°, dan 5 model seri lainnya dengan penyempitan saluran transisi 12°. Untuk kapasitas pengaliran dengan variasi debit pada pelimpah dan peredam energi, model seri 0 sampai model seri 8 masih memenuhi syarat. Secara keseluruhan, kondisi hidraulik terbaik ditinjau dari kerataan aliran ditunjukkan pada model seri-4, yaitu model dengan sudut penyempitan pada saluran transisi sebesar 12^0 tanpa menggunakan bafled apron.*
Pada prinsipnya semua perlakuan model seri 0 sampai model seri 8 memberikan dampak positif di bagian hilir (section 36) ditinjau keterjaminan kadar DO yang berkesinambungan secara sistem dengan nilai 11,1 mg/lt sampai 14,2 mg/lt. Berdasarkan hasil pengukuran DO, maka model seri 0 sampai model seri 3 merupakan alternatif untuk pilihan ditinjau kadar DO yang menggunakan sudut penyempitan 24^0 pada saluran transisi dengan berbagai macam variasi bentuk bafled apron, karena memiliki pola perubahan DO yang teratur dan juga nilai DO yang didapatkan masih di atas batas minimum kadar oksigen yang diperlukan oleh ikan sehingga tidak mengganggu habitat ikan. Untuk tujuan ekohidraulik, maka pada saluran hantar/pengarah hilir dibuat dari susunan batu kosong yang dikombinasikan dengan vegetasi. Kemudian di sekitar bantaran sungai bagian hilir yang masih berupa lahan kosong dapat upayakan penghijauan.

***Kata kunci**: bendungan, pelimpah, bafled apron, kadar oksigen*

***Abstract:** Within this physical hydraulic model of spillway of the Pidekso Dam, the experiment consisted of 9-series of testing; 4-series were testing of narrowing the angle of transition channel by 24 degree while 5-others were by 12 degree. For the testing of series No.0 (original design) to No.8, the flow capacity was adequate for various discharges over spillway and outlet structure. Overall, the best hydraulic performance of the model was achieved by series No.4 in term of flow condition (uniformly distributed). This was a model of transition channel with angle of transition of 12 degree and no baffle apron used.*
Basically, all of testing of the model series No.0 to No.8 brought the positive impact to the downstream-part (section No.36) by considering the dissolved oxygen (DO) level. It was ranging from 11.1 mg/l to 14.2 mg/l. According to the results of DO level, then only the series No.0 to No.3 were chosen as alternatives design for the case of transition channel with the angle of 24 degree combined with various dimensions of baffle apron. There were regular changes of DO level but the values were still lying above the minimum requirement level and were not harmful for fishery.
By respecting to the eco-hydraulic concept, the downstream waterway was designed to be the stone pitching combined with vegetation. It was suggested that the bare floodplain at downstream-part need to be greening by mean of vegetation.

***Key word:** dam, spillway, baffle apron, dissolved oxygen*

Kualitas air hujan yang mengalir dari DAS bagian hulu, selanjutnya tertampung di waduk sangat dimungkinkan tercemari oleh berbagai macam polutan berasal dari domestik, limbah industri dan aktifitas pertanian, seperti sisa insektisida yang diindikasikan oleh tumbuhnya rumpun enceng gondok sejenis tanaman air (*aquatic weed*). Secara luas kondisi kondisi air ditandai oleh perubahan drastis pada temperatur, *turbidity*, pH ataupun *dissolved oxygen* (DO) dan terlebih masuknya racun yang dapat merusak biota air.

Untuk melimpahkan kelebihan debit air akibat banjir, bendungan dilengkapi fasilitas bangunan pelepasan terdiri dari pelimpah, saluran transisi, saluran peluncur, peredam energi (*energy dissipator*) dan saluran pengarah hilir. Bangunan tersebut di desain

untuk mengaliran debit banjir dengan berbagai kala ulang dengan aman secara hidraulik, akan tetapi diharapkan juga dapat memperbaiki atau mempertahankan kualitas air yang lewat melalui proses aerasi dari benturan partikel air pada blok-blok halang. Untuk mengetahui fenomena hidraulik dan perubahan kualitas air yang terjadi dapat diidentifikasi dengan pengujian model fisik hidraulik.

IDENTIFIKASI MASALAH

Pembangunan bendungan dapat merubah regime aliran sungai yang masih asli, seperti halnya rencana pembangunan bendungan pidekso sudah barang tentu juga akan mempengaruhi kondisi hidraulik pada ruas sungai yang menjadi daerah genangan dan di bagian hilir yakni di bagian pelepasan air waduk ketika terjadi banjir. Dengan pembendungan sungai dari elevasi +157.00. m menjadi elevasi + 185.00 m, pelimpah dengan lebar b = 24 m dan di bagian peluncur sampai peredam energi dengan lebar 16 m serta lebar saluran pengarah hilir 16 m kemudian masuk ke sungai dengan lebar ± 30 m, permasalahan yang perlu diwaspadai adalah kondisi hidraulik ketika banjir pada bangunan pelimpah dan saluran transisi yang berada di bagian bukit yang relatip sempit menjadi tidak kondusif. Dukungan uji model fisik hidraulik sangat diperlukan untuk mecari solusi terbaik dalam hal melestarikan lingkungan sungai khususnya di bagian pelepasan air ditinjau dari kondisi hidraulik dan keterjaminan kehidupan biota air khususnya ikan.

BATASAN MASALAH

Batasan-batasan yang diberikan dalam penelitian ini adalah:

a. Penelitian dilakukan di Laboratorium Hidrolika Terapan, Jurusan Teknik Pengairan Fakultas Teknik Universitas Brawijaya.
b. Pada penelitian ini menggunakan model fisik skala sama (*undistorted scale*).
c. Pengamatan akan dilakukan pada berbagai debit banjir rancangan Q_{2th} sampai dengan debit Q_{PMF}.

TUJUAN PENELITIAN

Tujuan kegiatan dari uji model fisik hidrolika ini adalah untuk mempelajari perilaku hidrolika pada bangunan pelimpah tipe pelimpah langsung (*overflow*) dengan 2 (dua) alternatif saluran transisi disertai penyempitan, selain itu juga mempelajari kondisi aliran serta perubahan kandungan *dissolved oxygen* (DO) yang terjadi pada bagian hulu (*approach channel*), saluran transisi, saluran peluncur , bangunan peredam energi yang menggunakan modifikasi tipe USBR III sampai di bagian hilir.

LANDASAN TEORI

1. Model Fisik Hidraulik

Model fisik hidraulik atau sering disebut sebagai model skala adalah peniruan bangunan prototipe ke dalam suatu model miniatur skala tertentu, dengan memperhatikan prinsip kesebangunan dan hubungan antar skala parameter yang harus dipenuhi (De Vries, M, 1977).

2. Penetapan Skala Model

Apabila hubungan antar skala dan kesebangunan telah dipenuhi, maka sebelum menetapkan besaran skala yang akan digunakan terlebih dahulu harus memperhatikan tingkat ketelitian (Sharp J.J., 1981).

Skala model yang digunakan dalam pengujian ini didasarkan pada beberapa pertimbangan berikut:

a. Tujuan dari pengujian
b. Ketelitian yang diharapkan
c. Fasilitas yang tersedia di laboratorium
d. Waktu dan biaya yang tersedia

Berdasar ketentuan tersebut, maka digunakan skala geometri 1:50,

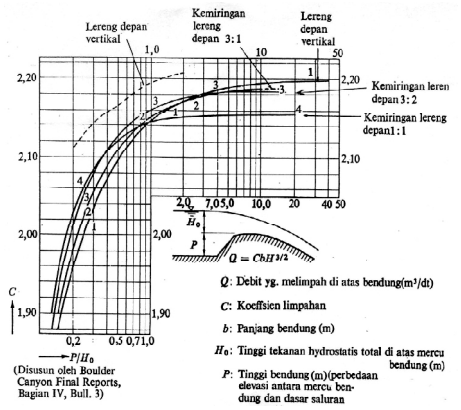
3. Kapasitas Pengaliran Melalui Pelimpah

Untuk menentukan besarnya debit yang melewati pelimpah (*spillway*) dipergunakan rumus (Sosrodarsono, Suyono dkk, 1977):

$$Q = C \cdot L \cdot H^{3/2}$$

dengan:

Q = debit (m^3/dt)
C = koefisien limpahan ($m^{0.5}$/dt)
L = lebar efektif mercu pelimpah (m)
H = total tinggi tekanan air (m)



Gambar 1. Koefisien Limpahan dari Berbagai Tipe Pelimpah

4. Profil Muka Air

A. Profil Muka Air pada Pelimpah

Perhitungan muka air pada pelimpah dengan panjang L < 10 m, dapat menggunakan persamaan kontinuitas berikut (Ven Te Chow, 1959):

$$V_Z = \sqrt{2g(Z + H_0 - Y_Z)}$$

$$Q/W = V_Z . Y_Z$$

dengan:

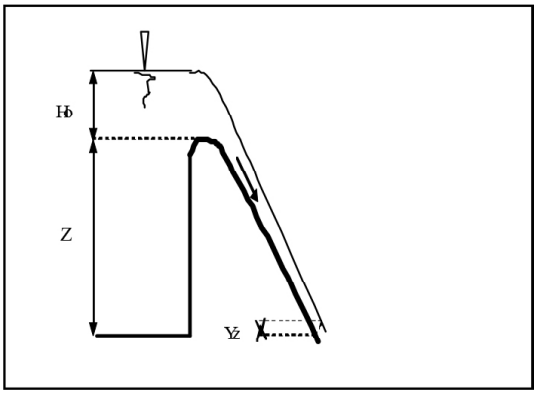
V_Z = kecepatan di titik Z

Y_Z = kedalaman air di titik Z

Z = tinggi titik tinjau di bawah elevasi pelimpah

H_0 = tinggi energi rencana di atas pelimpah

W = lebar pelimpah



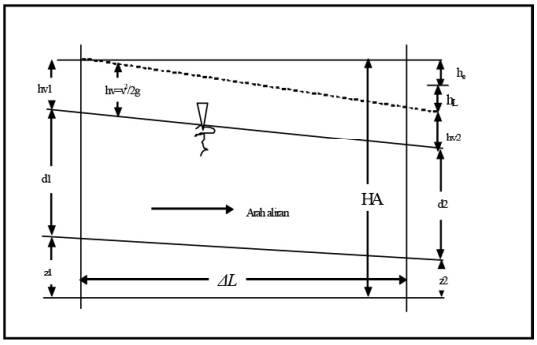
Gambar 2. Sketsa aliran pada pelimpah

Untuk panjang pelimpah L > 10 m, persamaan menjadi:

$$V_Z = \sqrt{2g(Z + H_0 - Y_Z - h_f)}$$

B. Metode Tahapan Standard

Perhitungan hidrolika aliran permanen tidak beraturan yang melalui saluran didekati menggunakan hukum Bernoulli, dimana hukum ini didasarkan pada hukum kekekalan energi seperti berikut:



Gambar 3. Skema Hidraulik Saluran Terbuka

$$z_1 + d_1 + h_{v1} = z_2 + d_2 + h_{v2} + h_L + h_e$$

dengan (Ranga Raju, 1986):

z = elevasi dasar saluran pada suatu bidang vertikal (m)

d = kedalaman air pada bidang tersebut (m)

h_v = tinggi tekan kecepatan pada bidang tersebut (m)

h_L = kehilangan tinggi tekan akibat gesekan (m), dinyatakan:

$$h_L - Sf.\Delta x \quad ; \quad S_f - \frac{\overline{n}^2 \overline{v}^2}{\overline{R}^{4/3}}$$

h_e = Kehilangan tinggi tekan akibat perubahan penampang

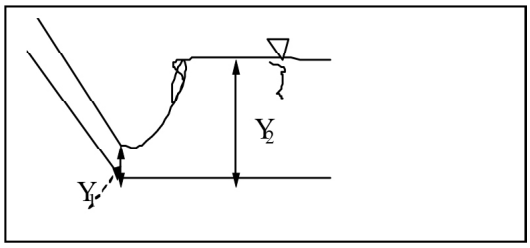
$$h_e = K.\left|\frac{v_1^2 - v_2^2}{2g}\right|$$

g = percepatan gravitasi (m/dt²)

5. Loncatan Hidraulik

Pada pengujian model, loncatan hidraulik umumnya masih berada di dalam ruang peredam energi sehingga aman terhadap saluran/sungai di bagian hilir.

Sebagai ilustrasi kejadian loncatan hidraulik ditunjukkan pada gambar sket berikut (Anonim, 1979):



Gambar 4. Skema Loncatan hidraulik

$$Y_2 / Y_1 = 1/2.\left(\left(\sqrt{1 + 8F_r^2}\right) - 1\right)$$

6. Tinjauan kadar Oxygen

Kandungan oksigen dalam air dapat diidentifikasi dengan alat pemantau *dissolved oxygen* (DO), pengukuran dimulai di bagian saluran pengarah (*approach channel*) menuju pelimpah, saluran transisi, saluran peluncur, peredam energi, dan saluran pengarah hilir yang menuju sungai. Pada titik pantau/pengukuran DO, di tiap penampang/section juga dilakukan evaluasi perubahan koefisien dispersi D_x dengan persamaan (Vijay P.Singh dan Willi H.Hager, 1996):

$$D_x = \frac{14{,}3.\sqrt{2g}}{C_z}.U.R_h$$

dengan:
U = kecepatan aliran (m/det)
C_z = koefisien Chezy
g = gravitasi (9,81 m/det^2)

$$D_x = \frac{14{,}3.n.\sqrt{2g}}{1{,}49}.\frac{v.R_e}{R_h^{1/6}}$$

dengan:
n = koefisien Manning's
υ = viskositas kinematik (m^2/det)
R_e = bilangan Reynold
R_h = jari-jari hidraulik (m)

7. Laju Penggunaan Oksigen (*Oxygen Utilisation Rate*)

Untuk mengetahui nilai laju penggunaan oksigen tertinggi dapat didekati dengan persamaan berikut (Novak P., 1984):

$$K_{\max} = \frac{C_s}{C_p.\beta}$$

dengan:
C_s = konsentrasi jenuh oksigen (g/cm^3 atau mg/l),
C_p = konsentrasi oksigen di udara (g/cm^3 atau mg/l)
β = V_a/(Q.t),
V_a = komponen volume oksigen (liter atau m^3)
Q = debit (l/det atau m^3/det),
t = waktu (detik).

METODE PENELITIAN

Perencanaan Model Bendungan

Beberapa bagian prototipe yang ditirukan ke dalam model dengan menggunakan jenis dan besarnya nilai skala tersebut di atas terdiri dari:

1. Bendungan Utama yang dibuat dari pasangan batu bata dan semen.
2. Untuk ambang pelimpah, dan peredam energi (*stilling basin*) dibuat dari kayu yang diperhalus dan dicat untuk kesamaan kekasaran dengan keadaan lapangan, sedangkan untuk dinding saluran samping dan peredam energi (*stilling basin*) dibuat dari bahan *fiber glass*.

Langkah-langkah Penelitian

1. Kalibrasi dan Verifikasi Model

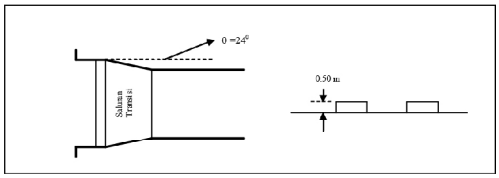
   Proses kalibrasi dan verifikasi pada model dilakukan untuk memastikan penelitian ini, apakah skala tanpa distorsi yang dipilih 1 : 50 tidak terdapat efek skala.
2. Perlakuan Debit Percobaan

   Ketentuan pengujian aliran dalam model test ini adalah mengacu pada debit banjir rancangan yang direkomendasikan dari hasil perhitungan hidrologi Q_{2th} sampai Q_{PMF}.
3. Seri Perlakuan Model

   Yang dimaksud seri perlakuan model dalam penelitian ini adalah macam pengujian yang dilakukan mulai kondisi awal (*original design*) sampai alternatif perubahan utilitas bangunan pelimpah sesuai judul penelitian ini dengan tahapan berikut ini dan diagram alir penelitian seperti pada gambar 5:

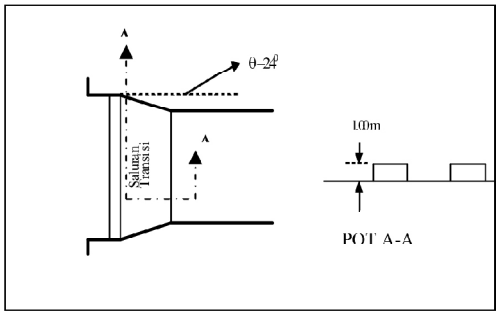
   - Seri 0

     Pengujian sesuai desain awal dengan debit percobaan sebagaimana telah ditentukan seperti gambar sketsa berikut ini.



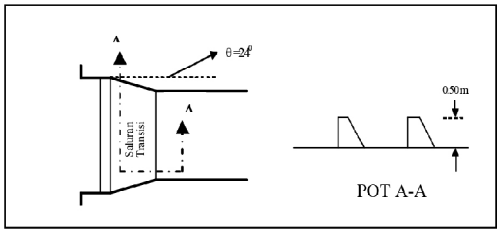
   - Seri 1

     Pada pengujian seri 1 adalah seperti pengujian seri 0, dengan baffle apron saluran transisi ditinggikan dari 0,5 m menjadi 1,00 m

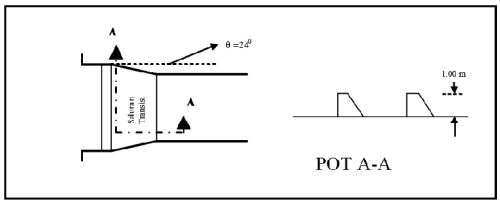


   - Seri 2

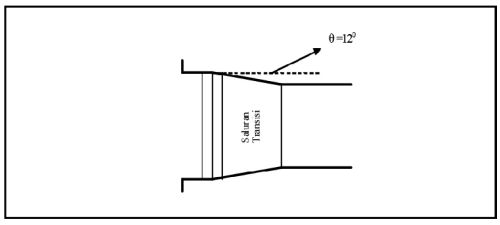
     Pada pengujian ini adalah merubah bentuk baffle apron pada saluran transisi dari bentuk segi empat menjadi bentuk trapesium dengan tinggi 0,50 m



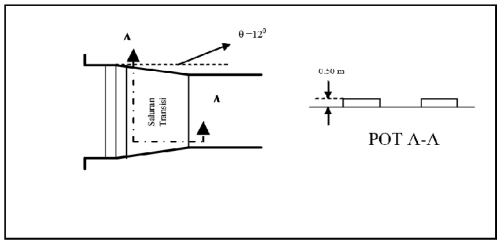
- Seri 3
  Pada pengujian seri 3 ini seperti pengujian seri 2, yaitu meninggikan baffle apron bentuk trapesium pada saluran transisi dari 0,50 m menjadi 1,00 m



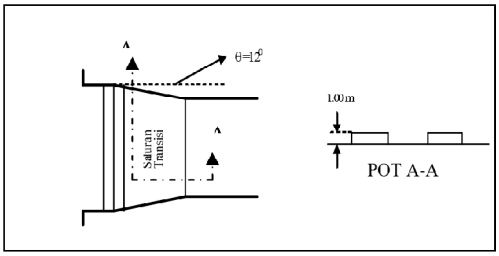
- Seri 4
  Pada pengujian seri 4 adalah merubah saluran transisi dari penyempitan 24° menjadi 12° tanpa menggunakan *bafled apron*.



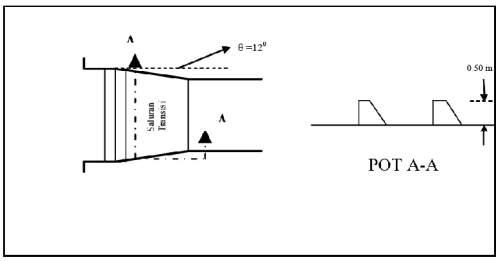
- Seri 5
  Pada pengujian seri 5 adalah merubah saluran transisi dari penyempitan 24° menjadi 12°. Formasi baffle apron berbentuk segi empat dengan tinggi 0,5 m



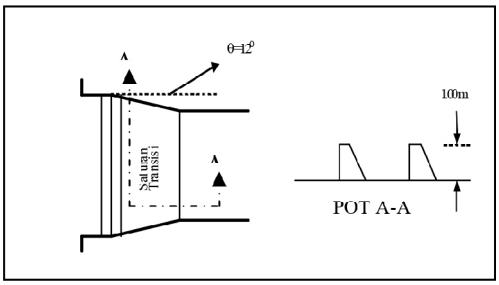
- Seri 6
  Pada pengujian seri 6 adalah seperti pengujian seri 5, dengan baffle apron saluran transisi ditinggikan dari 0,5 m menjadi 1,00 m



- Seri 7
  Pada pengujian seri 7 adalah seperti pengujian seri 6, dengan baffle apron saluran transisi diubah menjadi bentuk trapesium dengan tinggi 0,5 m.



- Seri 8
  Pada pengujian seri 8 adalah seperti pengujian seri 7, dengan baffle apron saluran transisi bentuk trapesium ditinggikan dari 0,5 m menjadi 1,00 m



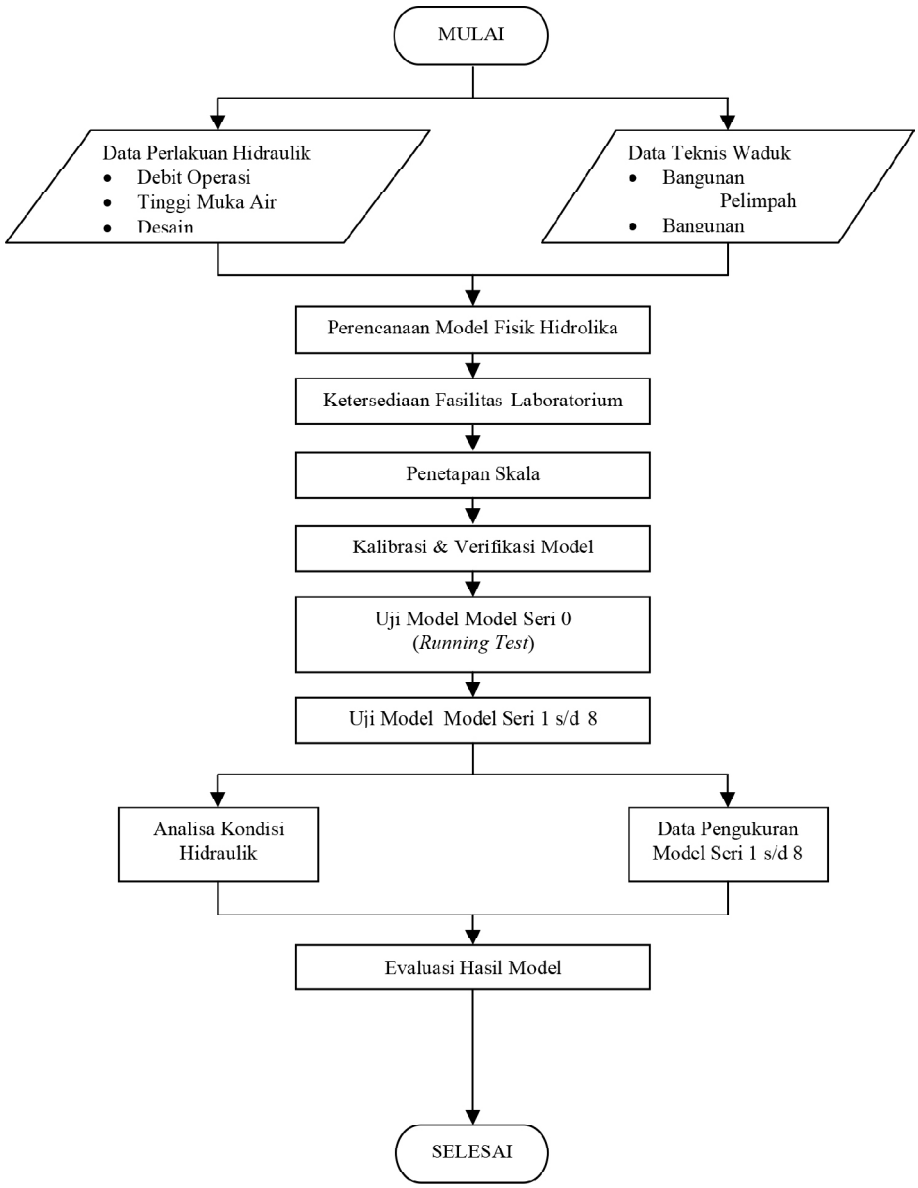
HASIL DAN PEMBAHASAN

1. Kondisi Hidraulik

Untuk semua model seri (0 s/d 8) yang diujikan dengan perlakuan debit mulai Q_{2th} sampai Q_{PMF} pada umumnya menunjukkan kondisi hidraulik yang baik mulai dari bagian hulu pelimpah, saluran transisi, saluran peluncur, peredam energi, saluran pengarah hilir sampai di pertemuan sungai section 36.

2. Tinjauan Kadar Oksigen /*Dissolve Oxygen* (DO)

Titik pengukuran kadar oksigen/*Dissolve oxygen* (DO) dilakukan pada hulu pelimpah (section IV),

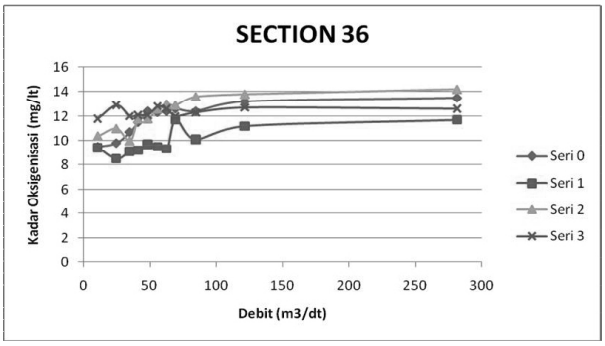


Gambar 5. Diagram alir pelaksanaan penelitian

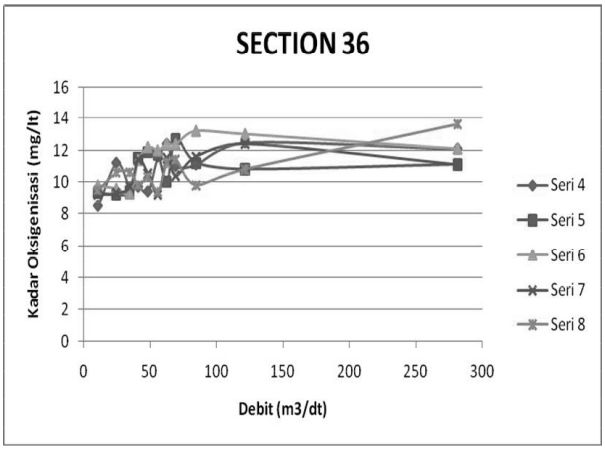
peredam energi hulu (section 2), saluran transisi (section 7), saluran peluncur (section 14), peredam energi hilir (section 20), saluran pengarah hilir (section 24) dan pertemuan pengarah hilir dengan sungai (section 36). Selain pengukuran DO, juga akan dilakukan evaluasi perubahan koefisien dispersi D_x dengan menggunakan persamaan di atas. Berikut merupakan contoh perhitungan koefisien dispersi Dx berdasarkan hasil pengukuran model seri 0 pada debit Q_{2th} :

- Diketahui data hasil pengukuran pada section III:
  Tinggi muka air (h) = 2,675 m
  Kecepatan (v) = U = 0,971 m/dt
  Lebar saluran (B) = 24 m
- Hitung luas area penampang : A = B.h = 24 . 2,675 = 64,200 m^2
- Hitung perimeter basah : P = b + 2h = 24 + 2 . 2,675 = 29,350 m
- Hitung jari-jari hidrolis : R_h = A/P = 64,200/29,350 = 2,187 m
- Hitung koefisien Chezy : C_z = == 81,379
- $D_x = \frac{14,3.\sqrt{2g}}{C_z}.U.R_h = \frac{14,3.\sqrt{2.9,81}}{81,379}.0,971.2,187 = 1,653$

Aliran air yang melalui pelimpah pasti akan kembali ke sungai sehingga perlu diperhatikan pula pengaruh perubahan kadar oksigen saat air masuk ke sungai yaitu pada section 36.



Gambar 6. Hasil pengukuran DO pada section 36 untuk model seri 0 – seri 3



Gambar 7. Hasil pengukuran DO Pada section 36 untuk model seri 4 – seri 8

Berdasarkan hasil pengukuran DO pada section 36, pada model seri 0 sampai seri 3 yang menggunakan dengan sudut penyempitan 24^0 pada saluran transisi memiliki nilai perubahan DO yang teratur daripada model seri 4 sampai seri 8 yang menggunakan sudut penyempitan 12^0.

Setelah diketahui nilai perubahan DO pada aliran air yang masuk ke sungai, maka perlu diketahui pula kondisi lingkungan sungai agar tidak mengganggu habitat yang ada, salah satu contohnya adalah habitat ikan. Dalam berbagai macam penelitian ikan dapat digunakan sebagai indikator kualitas air pada suatu lingkungan. Berikut merupakan batas minimum kadar oksigen yang diperlukan ikan berdasarkan perubahan suhu pada air. Gambar 7. Hasil pengukuran DO pada section 36 untuk model seri 4 – seri 8

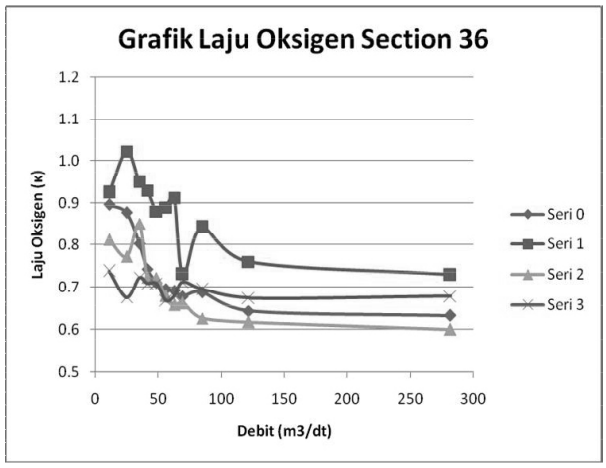
3. Tinjauan Laju Penggunaan Oksigen (*Oxygen Utilisation Rate*)

Perhitungan laju penggunaan oksigen K juga mengikuti section perhitungan kadar oksigen (DO) dan contoh perhitungan seperti ditunjukkan pada tabel 2. berikut ini. Hasil penelitian pada section 36 menunjukkan semakin besar debit, maka laju penggunaan oksigen K semakin kecil pula (lihat gambar 8 dan gambar 9).

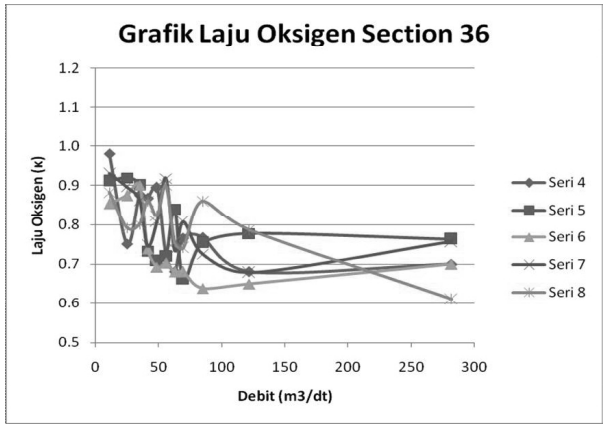
Tabel 1. Batas Kadar Oksigen yang Diperlukan Ikan

Suhu	Kadar Oksigen				
5^0C	12,8	mg/lt	-	9,1	mg/lt
10^0C	11,3	mg/lt	-	8,8	mg/lt
15^0C	10,2	mg/lt	-	8,3	mg/lt
20^0C	9,2	mg/lt	-	7,8	mg/lt
25^0C	8,2	mg/lt	-	7,4	mg/lt
30^0C	7,5	mg/lt	-	6,9	mg/lt

Sumber: www.Stripers247.com,2012



Gambar 8. Grafik Laju penggunaan oksigen pada section 36 untuk model seri 0 – seri 3



Gambar 9. Grafik Laju penggunaan oksigen pada section 36 untuk model seri 4 – seri 8

KESIMPULAN

Berdasarkan data pengukuran di laboratorium dan hasil analisis penelitian ekohidraulik pada uji model fisik Pelimpah Bendungan Pidekso, dapat disimpulkan:

Tabel 2. Perhitungan laju penggunaan oksigen

$Q_{1,25}$ prototipe	=	10.932 m^3/dt			γ udara =	1.21 kg/m^3	=	1210 mg/lt
$Q_{1,25}$ model	=	0.0006 m^3/dt	=	0.6184 lt/dt	γ O_2 =	0.253 kg/m^3	=	253.495 mg/lt
t = 5 menit	=	300 dt						

SALURAN	SEC.	DO (mg/lt)	Suhu ^{0}C	m O_2 (mg)	Cp (mg/lt)	Va (lt)	Cs (mg/lt)	□	□
Hulu Pelimpah	IV	9.5	22.2	1762	253.495	6.953	8.69	0.03748	0.915
Stilling Basin Hulu	2	8.4	22.3	1558	253.495	6.148	8.67	0.03314	1.032
Saluran Transisi	7	9.9	22.4	1837	253.495	7.245	8.66	0.03905	0.874
Saluran Peluncur	14	8.9	22.3	1651	253.495	6.514	8.67	0.03511	0.974
Pengarah Hilir	24	8.9	22.2	1651	253.495	6.514	8.69	0.03511	0.976

a) Untuk perlakuan debit aliran mulai dari $Q_{1,25}$, Q_2, Q_5, Q_{10}, Q_{25}, Q_{50}, Q_{100}, Q_{200}, Q_{1000}, $Q_{0,5PMF}$, dan Q_{PMF}, kapasitas pelimpah pada model seri 0 sampai dengan model seri 8 semua memenuhi syarat (tidak *overtopping*).

b) Kondisi hidraulik terbaik ditinjau dari kerataan aliran ditunjukkan pada model seri-4, yaitu model dengan sudut penyempitan pada saluran transisi sebesar 12^0 tanpa menggunakan *baffle apron*.

c) Bahaya kavitasi yang disebabkan oleh masuknya udara pada aliran tipis dengan kecepatan tinggi tidak mengkhawatirkan dikarenakan tekanan sub atmosfir (tekanan negatif) yang terjadi pada semua model seri sangat kecil, dengan demikian konstruksi pelimpah dan saluran peluncur aman terhadap keausan permukaan beton.

d) Untuk perlakuan model seri 1 sampai 3, terdeteksi indikasi terjadinya aliran getar pada pengaliran debit kecil. Akan tetapi, secara keseluruhan saluran peluncur aman terhadap bahaya aliran getar.

e) Hasil pengukuran DO menunjukkan bahwa perubahan nilai DO pada peredam energi hulu (section 3), saluran transisi (section 7), saluran peluncur (section 14), peredam energi hilir (section 20), dan saluran pengarah hilir (section 24) tidak beraturan untuk semua model seri dikarenakan pengambilan data pengukuran dilakukan pada saat proses aerasi sehingga kadar oksigen yang diperoleh selalu berbeda. Untuk mendapatkan pola yang lebih teratur maka pengambilan data pengukuran dilakukan pada air yang lebih tenang, yaitu pada pertemuan saluran pengarah hilir dengan sungai (section 36).

f) Hasil perhitungan koefisien dispersi menunjukkan bahwa semakin besar debit yang dialirkan maka semakin besar pula nilai koefisien dispersi yang diperoleh

g) Laju penggunaan oksigen (*oxygen utilisation rate*) di section 36 (pertemuan saluran pengarah hilir dan sungai) menunjukkan semakin besar debit, maka laju penggunaan oksigen K semakin kecil pula.

h) Pada prinsipnya semua perlakuan model seri 0 sampai model seri 8 memberikan dampak positif di bagian hilir (section 36) ditinjau keterjaminan kadar DO yang berkesinambungan secara sistem dengan nilai 11,1 mg/lt sampai 14,2 mg/lt. Berdasarkan hasil pengukuran DO, maka model seri 0 sampai model seri 3 merupakan alternatif untuk pilihan ditinjau kadar DO karena memiliki pola perubahan DO yang teratur dan juga nilai DO yang didapatkan masih di atas batas minimum kadar oksigen yang diperlukan oleh ikan sehingga tidak mengganggu habitat ikan.

i) Untuk tujuan ekohidraulik, maka pada saluran hantar/pengarah hilir dibuat dari susunan batu kosong yang dikombinasikan dengan vegetasi (Agus Maryono, 2005). Kemudian di sekitar bantaran sungai bagian hilir yang masih berupa lahan kosong dapat diupayakan penghijauan.

DAFTAR PUSTAKA

Agus, M. 2005. *Eko-Hidraulik Pembangunan Sungai (Ecological Hydraulics of River development),* Edisi Kedua, Magister Sistem Teknik Program Pascasarjana, Universitas Gadjah Mada Yogyakarta.

Anonim. 1979. *Design Of Small Dams,* Second Edition, USBR, Oxford & IBH Publishing Co., New Delhi.

De Vries, M, 1977. *Scale Model in Hydraulics Engineering,* Delft.

Novak P., 1984. *Developments In Hydraulic Engineering-2*, Else-vier Applied Science Publishers LTD, New York - USA

Ranga, R., 1986. *Flow Trough Open Channel*, New York, McGraw Hill Book company.

Sharp, J.J. 1981. *Hydraulic Modelling*, Butterworth & Co. (publishers) Ltd, London.

Sosrodarsono, Suyono dkk, 1977, *Bendungan Type Urugan*, PT. Pradnya Paramita, Jakarta.

Ven Te Chow, 1959, *Open Channel Hydraulics*, McGraw-Hill Book company, Tokyo

Vijay P.Singh dan Willi H.Hager, 1996, *Environmental Hydraulics*, Kluwer Academic Publisher, Netherlands

www.Stripers247.com,2012,*file:///C:/Users/user/Documents/Downloads/Oxygen%20Saturation%20and%20Water% 20Temperature%20,%20 Stripers247.com%20Forums.htm*