

Uji Model Fisik Alternatif Pelimpah Waduk Suplesi Pejok dengan Skala 1:40 (*Undistorted Scale*)

Dr. Ir. Aniek Masrevaniah, Dipl.HE.
Ir. Heri Suprijanto, MS.
Agil Priyanto

Abstraksi: Kondisi aliran dipelimpah sulit didekati dengan perhitungan analitik oleh karena itu perlu dilakukan pemodelan untuk mengetahui kondisi aliran yang sebenarnya. Dalam skripsi ini digunakan studi kasus model fisik pelimpah Waduk Suplesi Pejok dengan skala 1:40. Waduk ini memiliki kombinasi pelimpah langsung (*overflow*) dan saluran samping (*side channel*) dengan peredam energi USBR tipe II. Perhitungan hidrolika pelimpah menggunakan persamaan energi, untuk saluran samping menggunakan persamaan Hinds, sedangkan untuk peredam energi USBR tipe II menggunakan persamaan momentum. Untuk mendapatkan kondisi aliran yang baik maka dilakukan 4 alternatif pengujian. Pada seri 1 perubahan dilakukan penambahan ambang (*sill*) pada ujung saluran samping berbentuk persegi setinggi 0,5 cm pada model. Perubahan seri 2 dengan meninggikan dasar saluran samping setinggi 1,5 cm pada model. Perubahan seri 3 adalah dengan penambahan ambang (*sill*) membentuk lengkung setinggi 1,5 cm pada model. Perubahan seri 4 adalah menghilangkan kombinasi pelimpah samping menjadi pelimpah *overflow* dengan penyempitan dihilir sebesar 40°. Pengamatan akan dilakukan dengan variasi debit banjir rancangan Q_{2th} sampai Q_{pmf} dengan fokus pengamatan pada pelimpah (*spillway*), saluran samping (*side channel*), peredam energi (*stilling basin*) dan geruaan dihilir bangunan. Kapasitas pengaliran pelimpah dan peredam energi untuk semua debit pada seri 1 sampai 4 masih memenuhi syarat. Bahaya kavitasi untuk semua seri model tidak mengkhawatirkan. Peredam energi USBR tipe II masih efektif untuk mematahkan energi, namun dibagian hilir kolam olak masih terdapat gerusan lokal. Secara keseluruhan kondisi hidrolik yang paling baik dipresentasikan oleh model seri 3.

Kata kunci: pelimpah, model fisik

Abstract: Hydraulic performance in spillway can't estimate with analitic equation. It's can estimate with physical model. In this research using Pejok dams physical model used undistorted scale 1:40. This dams have overflow spillway, 2 side channel, stilling basin USBR type II. The spillway measuremen using energy equation, side channel using hinds method, and stilling basin use momentum equation. There are 4 alternative condition in physical modelling, model seri 1 until 3 is combination overflow spillway with side channel and model seri 4 overflow spillway gradually to narrow. The research using variation discharge to do Q_{2yr} until Q_{pmf} . and observe hydraulic performance in spillway, side channel, stilling basin and local scourig section of river. Discharge capacity operation in spillway and energy dissipator ensure for model seri 1 until model seri 4, that's mean non overtoping. Cavitation hazard to break energy of water, but destruction bottom section of river yet. The best hydraulic performance result showed by model ser3.

Key word: spillway, physical model

I. PENDAHULUAN

1.1 Latar Belakang

Latar belakang studi ini adalah adanya beberapa permasalahan sebagai berikut:

1. Pelimpah merupakan bangunan pelengkap suatu bendungan yang berfungsi untuk membuang kelebihan air kearah hilir..
2. Kondisi aliran di konstruksi pelimpah yang direncanakan tidak teridentifikasi dengan cara pendekatan perhitungan analitik dan model matematik.
3. Diperlukan pengujian terhadap dimensi-dimensi bangunan yang telah direncanakan dalam bentuk uji model fisik untuk penijauan bangunan dari segi hiraulika.
4. Menggunakan Studi kasus Waduk Suplesi Pejok yang terletak di desa Pejok Kabupaten Bojonegoro dengan skala 1:40.

1.2 Identifikasi Masalah

Dari beberapa masalah di atas dapat diambil beberapa identifikasi masalah dari studi ini antara lain:

1. Waduk suplesi pejok memakai pelimpah langsung dengan kombinasi 2 saluran samping pada bagian kanan dan kiri pelimpah dan menggunakan peredam energi USBR tipe II.
2. Kondisi hidrolika pelimpah tersebut sulit didekati dengan perhitungan teoritis, maka diperlukan pengujian model fisik. Dari pengujian model fisik dapat diketahui kapasitas dari sistem pelimpah tersebut dan kondisi hidrolika yang sama pada prototipe..

1.3 Batasan Masalah

Dalam kajian uji model fisik ini, agar tidak menyimpang dari pokok bahasan

yang dikaji maka diberikan batasan-batasan masalah sebagai berikut :

1. Model yang digunakan adalah pada model fisik Waduk Suplesi Pejok pada Laboratorium Hidrolika Terapan dengan skala *undistorsted* (horizontal dan vertikal = 1 : 40).
2. Jenis pelimpah pada Waduk Suplesi Pejok adalah Pelimpah langsung dengan dua saluran samping pada sisi kanan dan kiri pelimpah.
3. Menganalisa aspek hidraulika pada sistem pelimpah Waduk Suplesi Pejok yang dilakukan dengan variasi debit banjir rancangan Q_{2th} , Q_{20th} , Q_{200th} , $Q_{0.5PMF}$ dan Q_{PMF} .
4. Data analisa menggunakan data primer dari hasil pengukuran di Laboratorium Teknik Terapan Jurusan Pengairan Fakultas Teknik Universitas Brawijaya

1.4 Rumusan Masalah

Berdasarkan batasan-batasan masalah tersebut di atas, maka permasalahan dalam kajian ini dapat dirumuskan sebagai berikut :

1. Bagaimana perbandingan uji model pelimpah waduk suplesi pejok dengan perhitungan analitik?
2. Bagaimana kondisi aliran dan kapasitas pelimpah (*spillway*), saluran samping (*side channel*) dan kolam olak (*Stiling Basin*) pada model fisik?
3. Apakah desain pelimpah aman terhadap bahaya kavitasi ?
4. Bagaimana gerusan lokal (*local scouring*) yang terjadi di hilir peredam energi ?
5. Bagaimana kondisi aliran terbaik dari setiap seri pengujian model fisik?

1.5 Maksud dan Tujuan Studi

Maksud dari penelitian ini adalah untuk mempelajari perilaku hidrolika dan mengetahui alternatif pemecahan permasalahan yang terjadi pada desain

awal (*original design*) yang paling sesuai diterapkan pada utilitas pelimpah Waduk Suplesi Pejok.

Tujuan yang ingin dicapai adalah untuk menganalisa sampai sejauh mana penyimpangan hitungan empirik dan hasil model fisik, sehingga dapat diperoleh informasi yang akurat guna menetapkan upaya-upaya perbaikan hidrolika apabila suatu saat terdapat perencanaan bendungan lain dengan kondisi bangunan pelimpah dan bangunan pelengkap yang hampir sama.

II. METODE PENELITIAN

Langkah-langkah dalam pengerjaan kajian hidrolika model fisik Waduk Suplesi Pejok sebagai berikut :

1. Fasilitas pengujian:

Untuk mendukung pelaksanaan pekerjaan uji model fisik hidrolika digunakan fasilitas Laboratorium Hidrolika Terapan Fakultas Teknik Universitas Brawijaya Malang. Alat-alat pendukung percobaan model yang digunakan terdiri dari:

- Empat buah pompa listrik masing-masing berkapasitas 25 l/dt, 45 l/dt, 30 l/dt dan 30 l/dt.
- Kolam penampung air sebagai sistem distribusi air di model.
- Alat pengukur tinggi muka air berupa meteran taraf (*point gauge*), pengukuran kecepatan berupa tabung pitot dan alat pengukur tekanan berupa *pizometer*.
- Model bangunan pelimpah, saluran samping, peredam energi sesuai dengan skala yang digunakan.
- Rencana bangunan yang dimodelkan.

2. Skala model :

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

- Tujuan dari pengujian.
- Ketelitian yang diharapkan.
- Fasilitas yang tersedia di laboratorium.

d. Waktu dan biaya yang tersedia.

Perhitungan penetapan skala :

Jenis skala tanpa distorsi (*undistorted*)

Ketelitian yang diharapkan 95 % (Kesalahan Relatif 5%)

Ketinggian air minimum di atas pelimpah adalah 0,777 m (hitungan desain pelimpah, $Q_{pmf (outflow)} = 59,78 \text{ m}^3/\text{dt}$)

Menggunakan persamaan (2.40) diperoleh :

$$\frac{\Delta q}{q} = 1 - \left\{ \frac{H_e}{H} \right\}^{3/2}$$

$$0.05 = 1 - \left\{ \frac{H - 0.457}{H} \right\}^{3/2}$$

$$H = 13.326 \text{ mm}$$

$$\text{Skala model } L_r = \frac{13,326}{777} = \frac{1}{57,216}$$

dalam hal ini ditetapkan skala 1 : 40.

3. Tahap dan Rancangan pengujian :

a. Tahapan pengujian

- Persiapan awal, adalah pengumpulan semua data-data teknis debit operasi yang akan diuji :

No	Kala Ulang	Q (m ³ /dt)	H. Rechbox (cm)
1	2	59,780	4.0
2	20	79,140	4.9
3	200	97,250	5.6
4	0.5 PMF	192,460	9.0
5	PMF	396,902	14.7

- Perancangan skala model, Penetapan skala yang akan dibuat sebagai model dengan maksud agar kesalahan relatif yang diperoleh bila dibandingkan dengan prototipe maksimal adalah 10%

b. Rancangan pengujian.

Pengujian perilaku hidrolika aliran di bangunan pelimpah serta bangunan-bangunan pelengkapnya diuji dalam beberapa kondisi model sebagai berikut :

- Model seri 0, merupakan model yang dibuat berdasarkan konstruksi dari Waduk Suplesi Pejok.
- Model *Development Test*, merupakan *alternatif design* (modifikasi), bila hasil dari pengujian model seri 0 kurang baik. Adapun *alternatif design* (modifikasi) dilakukan dengan 4 perlakuan sebagai berikut :



4. Jenis Pengamatan dan Pengukuran:

- Model seri 1, dengan pemberian ambang lebar (*sill*) pada saluran samping setinggi 0,5 cm pada model



- Model seri 2, adalah meninggikan elevasi dasar saluran samping setinggi 1,5 cm pada model.



- Model seri 3, adalah pemberian ambang lebar (*sill*) berbentuk setengah lingkaran dengan $R 1,5$ cm pada model.



- Model seri 4, adalah menghilangkan saluran samping bagian kanan dan kiri dengan penyempitan dibagian hilir peredam energi 40°

No.	Bagian yang akan diuji	Data yang diperlukan	Rancangan hasil pengujian
1.	Pelimpah	<ul style="list-style-type: none"> • Kecepatan • Tinggi muka air • Tinggi Tekan 	<ul style="list-style-type: none"> • Kapasitas pelimpah • Kavitasi • Kondisi aliran
2.	Saluran samping	<ul style="list-style-type: none"> • Kecepatan • Tinggi muka air 	<ul style="list-style-type: none"> • Efektifitas redaman pada saluran samping terhadap aliran dari pelimpah • Kondisi aliran
3.	Peredam energi	<ul style="list-style-type: none"> • Kecepatan • Tinggi muka air 	<ul style="list-style-type: none"> • Pola peredaman energi yang notabene dipengaruhi aliran dari saluran samping • Efektifitas perdam energy • Kondisi aliran
4.	Hilir Peredam Energi	<ul style="list-style-type: none"> • Kecepatan • Tinggi Muka Air • Kedalaman Gerusan 	<ul style="list-style-type: none"> • Gerusan Lokal • Kondisi aliran

Sumber : Anonim, 2009

III. HASIL DAN PEMBAHASAN

3.1 Kebenaran Model

3.1.1 Kalibrasi Model

Kalibrasi dapat didefinisikan sebagai penyesuaian parameter yang ada di model dengan parameter yang ada di prototipe, sehingga didapat fenomena yang menyerupai.

Tabel 3.1 Koefisien Debit Model Seri 0

Tabel 3.2 Koefisien Debit Metode USBR

3.1.2 Verifikasi Model

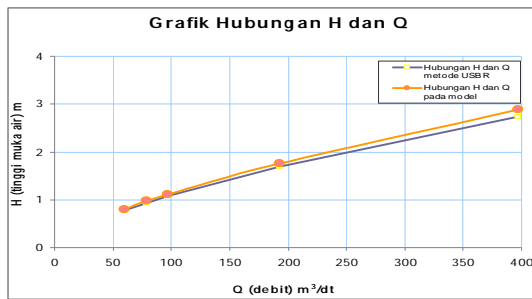
Merupakan tahapan pembuktian kebenaran parameter model dan prototipe sehingga diperoleh validasi sesuai dengan ketelitian yang diharapkan. Perbandingan Nilai kebenaran model didasarkan pada perbandingan tinggi muka air di atas pelimpah (H_d) dan *Tail Water Level* yang merupakan hasil pengujian model dengan penghitungan yang telah dilakukan.

Tabel 3.3 Tingkat Kesalahan Relatif H_d Hasil Pengujian seri 0

3.2. Perbandingan perhitungan dan hasil pengukuran.

3.2.1. Perbandingan Hasil pada Pelimpah

Dari tabel 3.1 dan 3.2 dapat diperoleh perbandingan sebagai berikut:



Gambar 3.1 Perbandingan Grafik Hubungan H dan Q

Tabel 3.3 Perhitungan Profil Muka Air

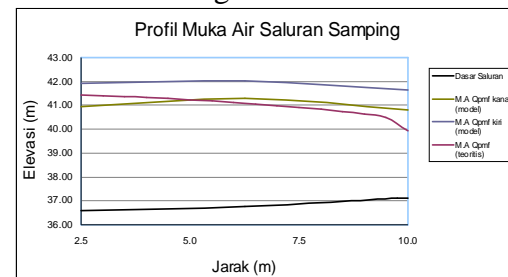
Tabel.3.4 Pengukuran Profil M.A. Seri 1

Station	Station	Jarak	Elevasi	Elevasi	Tingg	Kecepatan	Bilangan	Jenis
		Kumulatif	Dasar Salur	Muka Air	Muka Air			
		(m)	(m)	(m)	(m)			
Pegajah	I	400	31,00	43,80	12,80			
Rimpah	0	000	41,00	43,40	2,40	60149	1,224	sup.kritis
	1	500	37,80	40,80	3,00	7463	1,264	sup.kritis
	3	1500	30,00	37,50	7,50	5926	0,635	sub.kritis

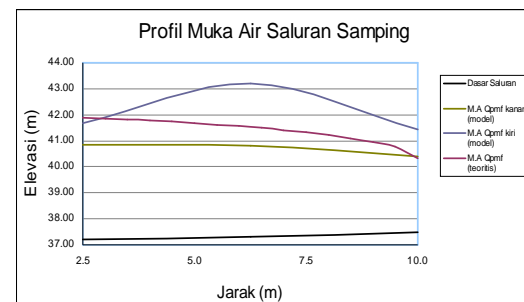
Perhitungan teoritis tinggi muka air diatas pelimpah menggunakan persamaan energi. Kesesuaian antara perhitungan secara teoritis dan kondisi di model berbeda jauh, hal ini disebabkan karena Waduk Suplesi Pejok memiliki dua saluran samping. Air yang masuk lewat pelimpah sebagian akan masuk ke saluran samping dan terjadi peredaman energi disana. Dari kondisi tersebut dapat disimpulkan perhitungan menggunakan persamaan energi tidak sesuai untuk pelimpah dengan saluran samping.

3.2.3. Perbandingan Hasil pada Saluran samping.

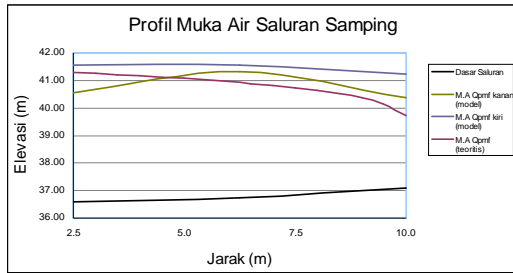
Perbandingan profil muka air pada tiap seri adalah sebagai berikut :



Gambar 3.2. Profil Muka Air Saluran Samping Model Seri 1 QPMF



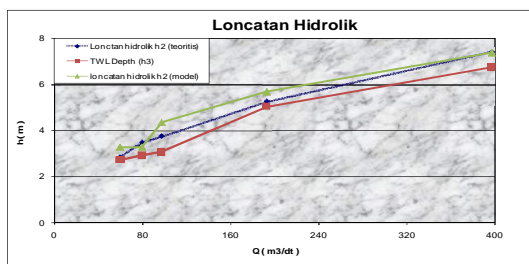
Gambar 3.3. Profil Muka Air Saluran Samping Model Seri 2 QPMF



Gambar 3.4. Profil Muka Air Saluran Samping Model Seri 3 QPMF

Perhitungan profil aliran pada saluran samping menggunakan metode Hinds dengan didasarkan pada persamaan momentum dengan anggapan bahwa saluran samping bagian kanan dan kiri sama. Kesesuaian antara perhitungan dan kondisi di model berbeda jauh, hal ini dapat dilihat pada gambar 3.3-3.4. Hal ini disebabkan karena air yang mengalir masuk ke saluran samping langsung terbentur oleh dinding, sedangkan pendekatan teoritis tidak mempertimbangkan hal tersebut. Dari kondisi tersebut dapat disimpulkan perhitungan menggunakan metode Hinds tidak sesuai untuk perhitungan saluran samping.

3.2.4 Perbandingan Hasil pada Peredam Energi.



Gambar 3.4 Perbandingan Loncatan Hidrolik dan TWL

Perhitungan peredam energi menggunakan persamaan momentum dengan asumsi tidak ada distorsi dari saluran samping kanan dan kiri. Tinggi loncatan hidrolik dengan perhitungan teoritis dan model hampir sama untuk setiap debitnya, sehingga kesesuaian perhitungan dengan pengukuran pada model cukup baik. Dari gambar diatas dapat diketahui bahwa nilai dari h_3/h_2 antara 0,8 - 1,2 sehingga kontrol

penampang dari USBR tipe II dapat tercapai baik pada perhitungan teoritis maupun pada model.

3.3. Pengujian pada Model

A. Unjuk hasil model seri 0

Adapun deskripsi hasil pengujian model fisik dengan skala 1 : 40 pada model seri 0 adalah sebagai berikut :

1. Pelimpah

Pelimpah yang digunakan adalah *over flow spilway* dan dilakukan pengujian dengan variasi debit banjir pada tabel 3.1. Kondisi aliran pada pelimpah adalah *freeflow* yang berarti pada setiap pengujian dapat mengalirkan debit banjir Q_{2th} sampai dengan Q_{PMF} . Saat kondisi Q_{PMF} pelimpah dapat mengalirkan air tanpa adanya *overtopping*.

2. Saluran Samping

Kapasitas saluran samping cukup baik karena dapat mengalirkan semua debit banjir outflow dengan baik tanpa adanya *overtopping*. Aliran yang menuju saluran samping adalah aliran jatuh bebas hal ini disebabkan tidak adanya saluran pengarah yang didesain untuk saluran samping. Air yang masuk kedalam saluran samping langsung membentur dinding saluran dan terjadi aliran turbulen. Panjang saluran samping 10 m maka kecepatan air yang datang sangat besar dan kondisi aliran pada bagian hilir superkritis sehingga Y_c pada hilir saluran samping belum tercapai.

3. Perdam Energi

Peredam energi yang dipakai adalah USBR tipe II. Peredam energi ini dapat berfungsi dengan baik untuk semua debit banjir *outflow*, kondisi ini ditunjukkan dengan kondisi aliran air di hilir yang cukup tenang. Proses peredaman pada perdam energi ini dibantu dengan aliran yang jatuh dari saluran samping

B. Unjuk hasil model seri 1

Perubahan model seri ini adalah penambahan ambang pada pelimpah

setinggi 0,2 m, dengan adanya penambahan ini diharapkan nilai Y_c dapat terjadi pada hilir saluran samping. Adapun deskripsi hasil pengujian model fisik dengan skala 1 : 40 pada model seri 1 difokuskan pada saluran samping dan efeknya kebagian hilir pelimpah adalah sebagai berikut :

1. Saluran Samping

- Kapasitas saluran samping tetap dalam kondisi baik karena dapat mengalirkan semua debit banjir outflow dengan baik tanpa adanya overtoping meskipun terjadi peninggian muka air bagian hilir saluran.
- Kondisi aliran pada seri ini tidak berbeda jauh dengan kondisi pada seri 0.
- Terdapat perbedaan profil muka air pada saluran samping bagian kanan dan bagian kiri yaitu pada saluran samping kiri lebih tinggi dari saluran samping sebelah kanan.
- Aliran pada hulu saluran samping dan bagian tengah saluran samping subkritis dan bagian hilir saluran samping superkritis. Pada debit Q_{pmf} dan $Q_{0.5pmf}$ kondisi aliran pada hilir saluran mempunyai bilangan frode yang mendekati kritis.
- Efek terjunan yang jatuh ke peredam energi masih cukup besar.

2. Peredam Energi

Kondisi aliran pada peredam energi cukup baik meskipun terjadi perubahan pada saluran samping hal ini dapat dilihat pada aliran setelah melewati peredam energi cukup tenang.

3. Hilir Bangunan

Kondisi aliran dibagian hilir untuk semua debit banjir *outflow* subkritis. Setelah dilakukan pengaliran pada pelimpah untuk semua debit banjir Q_{2th} sampai Q_{pmf} kondisi di hilir bangunan mengalami kerusakan dengan gerusan terdalam 3,56 m

C. Unjuk hasil model seri 2

Perubahan model seri ini adalah meninggikan elevasi dasar saluran samping bagian kanan dan kiri setinggi 1,5 cm pada model, dengan adanya penambahan ini diharapkan nilai Y_c dapat terjadi pada hilir saluran samping dan efek terjunan yang jatuh ke saluaran samping bisa berkurang. Adapun deskripsi hasil pengujian model fisik dengan skala 1 : 40 pada model seri 2 difokuskan pada saluran samping dan efeknya kebagian hilir pelimpah adalah sebagai berikut :

1. Pelimpah

Kondisi aliran pada pelimpah adalah *freeflow* yang berarti pada setiap pengujian dapat mengalirkan debit banjir Q_{2th} sampai dengan Q_{PMF} . Saat kondisi Q_{PMF} pelimpah dapat mengalirkan air tanpa adanya *overtopping*.

- Kapasitas saluran samping tetap dalam kondisi baik karena dapat mengalirkan semua debit banjir outflow meskipun terdapat peninggian dasar saluran, untuk Q_{pmf} percikan air keluar bangunan akibat benturan dengan dinding dapat dicegah dengan adanya reflektor pada bagian atas dinding saluran samping dengan jari-jari kelengkungan $R = 1,00$ m.
- Kondisi aliran pada seri ini tidak berbeda jauh dengan kondisi pada seri 0.
- Terdapat perbedaan profil muka air pada saluran samping bagian kanan dan bagian kiri yaitu pada saluran samping kiri lebih tinggi dari saluran samping sebelah kanan.
- Aliran pada hulu saluran samping dan bagian tengah saluran samping subkritis dan bagian hilir saluran samping superkritis. Kondisi bagian hilir kritis pada seri ini hanya terjadi pada saluran samping kiri pada debit Q_{pmf} dan $Q_{0.5pmf}$.

- Loncatan air menuju keperedam energi lebih jauh dan lebih besar dari seri 1.
2. Peredam Energi
Terjadi kenaikan tinggi muka air pada peredam energi hal ini disebabkan dari perubahan saluran samping yang mengakibatkan air yang masuk keperedam eergi semakin besar. Kapasitas peredam energi masih tetap baik untuk semua debit banjir outflow hal ini dapat dilihat pada aliran setelah melewati peredam energi cukup tenang.
 3. Hilir Bangunan
Kondisi aliran dibagian hilir untuk semua debit banjir *outflow* subkritis. Setelah dilakukan pengaliran pada pelimpah untuk semua debit banjir Q2th sampai Qpmf kerusakan yang terjadi lebih besar dari model seri 1 dengan gerusan terdalam 4,08 m.

D. Unjuk hasil model seri 3

Perubahan model seri ini adalah penambahan ambang pada pelimpah berbentuk setengah lingkaran dengan diameter 1,5 cm pada model atau 0,6 m pada prototipe dengan adanya penambahan ini diharapkan nilai Y_c dapat terjadi pada hilir saluran samping. Adapun deskripsi hasil pengujian model fisik dengan skala 1 : 40 pada model seri 3 difokuskan pada saluran samping dan efeknya kebagian hilir pelimpah adalah sebagai berikut :

1. Saluran Samping
 - Kapasitas saluran samping tetap dalam kondisi baik karena dapat mengalirkan semua debit banjir outflow meskipun terdapat peninggian muka air dibagian hulu saluran.
 - Kondisi aliran pada saluran samping seri ini tidak berbeda jauh dengan kondisi pada seri sebelumnya.
 - Terdapat perbedaan profil muka air pada saluran samping bagian kanan dan bagian kiri yaitu pada saluran

samping kiri lebih tinggi dari saluran samping sebelah kanan.

- Aliran pada hulu saluran samping dan bagian tengah saluran samping subkritis dan bagian hilir saluran samping superkritis. Nilai bilangan froude mendekati 1 (kondisi kritis) terjadi pada Q_{20th} sampai Q_{pmf} .
 - Loncatan air menuju keperedam energi lebih pendek dan tenaga loncatannya bekurang dari seri-seri sebelumnya.
2. Peredam Energi
Profil muka air pada peredam energi relatif lebih rendah dari seri sebelumnya sehingga. Kapasitas peredam energi masih tetap baik untuk semua debit banjir outflow hal ini dapat dilihat pada aliran setelah melewati peredam energi cukup tenang.
 3. Hilir Bangunan
Kondisi aliran dibagian hilir untuk semua debit banjir *outflow* subkritis. Setelah dilakukan pengaliran pada pelimpah untuk semua debit banjir Q2th sampai Qpmf kerusakan yang terjadi pada hilir bangunan berkurang dari model seri sebelumnya dengan gerusan terdalam 1,8 m.

E. Unjuk Hasil Model Seri 4

Perubahan model seri ini adalah dengan menghilangkan saluran samping kanan dan kiri dengan penyempitan dibagian hilir (peredam energi) sebesar 40° . Dengan perubahan ini dapat diketahui perbedaan kondisi hidrolis pada model dengan kombinasi pelimpah dan saluran samping. Adapun deskripsi hasil pengujian model fisik dengan skala 1 : 40 pada model seri 4 adalah sebagai berikut :

1. Pelimpah
Kapasitas pelimpah untuk menglirkan debit banjir *outflow* cukup baik tanpa adanya overtoping untuk semua debit dengan kondisi aliran pada pelimpah adalah *freeflow*.
2. Peredam Energi
Air yang masuk keperedam energi adalah aliran jatuh bebas, terjadi

loncatan hidrolis yang cukup tinggi dihilir pelimpah. Pada saat $Q_{0,5pmf}$ dan Q_{pmf} tidak terjadi *overtopping* namun percikan-percikan air sampai keluar bangunan peredam energi. Kondisi aliran diperedam energi juga kurang baik bila dibandingkan seri model sebelumnya.

3. Hilir Bangunan

Kondisi aliran dibagian hilir untuk semua debit banjir *outflow* subkritis dengan kecepatan aliran yang lebih besar dari model seri sebelumnya. Setelah dilakukan pengaliran pada pelimpah untuk semua debit banjir Q_{2th} sampai Q_{pmf} kondisi di hilir bangunan mengalami kehancuran dengan lebih banyak terjadi gerusan namun gerusan yang terdalam 3,24 m.

IV. KESIMPULAN DAN SARAN

5.1. Kesimpulan

Dari keseluruhan analisis yang dilakukan Berdasarkan percobaan dan analisa yang dilakukan pada studi ini maka dapat ditarik kesimpulan sebagai berikut :

1. Kesesuaian antara perhitungan analitik dan hasil uji model pelimpah Waduk Suplesi Pejok adalah sebagai berikut :

a. Pelimpah (*Over Flow Spillway*)

Perhitungan analitik profil muka air di atas pelimpah menggunakan pendekatan persamaan energi. Kesesuaian perhitungan berbedah dengan kondisi pada model, hal ini disebabkan adanya aliran yang jatuh dari saluran samping kiri dan kanan yang mengakibatkan terjadinya tumbukan.

b. Saluran Samping (*Side Channel*)

Perhitungan saluran samping dengan metode Hinds tidak dapat menyerupai keadaan di model, hal ini disebabkan karena air yang masuk ke saluran samping adalah aliran jatuh bebas selain itu panjang saluran samping yang cukup pendek sehingga kondisi

aliran kritis tidak terjadi pada bagian hilir saluran samping.

c. Peredam Energi (*Stilling Basin*)

Dari hasil hasil uji model fisik didapatkan kesesuaian dengan perhitungan loncatan hidrolis peredam energi USBR tipe II menggunakan persamaan momentum.

2. Berdasarkan uji model fisik Waduk Suplesi Pejok kondisi aliran sebagai berikut :

a. Pelimpah (*Over Flow Spillway*)

Pada setiap seri pengujian pelimpah mampu mengalirkan semua debit *outflow* dengan baik berarti aliran pada kondisi *freeflow*. Pada kondisi pmf untuk semua seri elevasi muka air masih berada dibawah level +45,00 m (elevasi dinding pengaman) dengan demikian pelimpah dikatakan aman kerana terhindar dari bahaya *overtopping*.

b. Saluran Samping (*Side Channel*)

Pada semua seri pengujian saluran samping mampu mengalirkan debit *outflow* dengan baik. Kondisi aliran di model pada bagian hulu saluran subkritis, untuk aliran pada hilir mendekati kritis dengan bilangan froude mendekati satu kondisi tersebut banyak terjadi pada model seri 3. Kekuatan terjunan kearah peredam energi yang terbesar terjadi pada model seri 2 dan yang paling baik terjadi pada model seri 3.

c. Peredam Energi (*Stilling Basin*)

Peredam energi USBR tipe II efektif untuk mengalirkan debit Q_2 sampai Q_{pmf} , artinya pengempangan atau peredaman air dalam kondisi superkritis dapat teredam sempurna sampai melebihi debit rancangan (debit rancangan kolam olak Q_{200}). Pada model seri 4 terjadi loncatan hidrolis pada bagian hulu peredam

energi sehingga aliran menjadi superkritis untuk bagian hilir aliran subkritis dan untuk Qpmf terjadi percikan air keluar dari bangunan.

3. Dari hasil pengujian pada model bahaya kavitasi terjadi pada setiap seri pengujian kavitasi terbesar -0,24 m. Pengaruh kavitasi tersebut tidak mengakibatkan kerusakan karena batas aman saluran beton adalah -4 m.
4. Kondisi hilir peredam energi setelah dilakukan pengaliran semua debit mengalami gerusan yang cukup dalam. Gerusan terdalam terjadi pada pengujian seri 2 dengan 4,28 m dengan jarak 5,8 m dari peredam energi dan kedalaman gerusan yang terendah adalah pada seri 3 sedalam 1,80 m dengan jarak 6.5 m dari peredam energi. Kondisi gerusan yang terbaik adalah pada seri 3 bila dibandingkan dengan seri-seri lainnya.
5. Kondisi terbaik didapat pada pengujian seri 3 dengan peninggian di ujung saluran samping berbentuk R (melengkung). Pada seri ini memiliki profil muka air dan kondisi aliran terbaik pada pelimpah, saluran samping dan saluran setelah peredam energi hal ini dibuktikan dengan gerusan yang terjadi sedalam 1,8 m.

5.2. Saran

Dari kesimpulan yang diperoleh berdasarkan perhitungan analitik dan uji model yang dilakukan, maka saran berikut diberikan sebagai bahan pertimbangan bagi studi yang lebih baik, antara lain :

1. Pendekatan hidrolika sebaiknya mengacu pada uji model karena teori yang ada belum dapat memenuhi kesesuaian kondisi lapangan.
2. Diperlukan penelitian lebih lanjut berkaitan dengan kombinasi pelimpah menggunakan saluran samping untuk

melengkapi penelitian yang telah dilakukan.

V. DAFTAR PUSTAKA

- Anggrahini, 1998. *Hidrolika Saluran Terbuka*. Bandung : Bintang.
- Anonim. 2007. *Laporan Akhir Uji Model Fisik Waduk Suplesi Pejok Kabupaten Bojonegoro dan Lamongan Propinsi Jawa Timur* . Malang : Jurusan Pengairan FT Unibraw
- Chow, Ven Te. 1997. *Hidrolika Saluran Terbuka, terjemahan E.V. Nensi Rosalina*. Jakarta : Erlangga.
- De Vries, M. 1997. *Scalling Model Hydraulics*. Netherland. IHE Published.
- Direktorat Jendral Sumber Daya Air, 1994. *Panduan Perencanaan Bendungan Urugan*. Jakarta : Dirjen SDA.
- Hager, Willi H. 1992. *Energy Dissipators And Hydraulic Jump*, Dordrecht : Kluwer Academic Publishers.
- Patty, O.F. 1995. *Tenaga Air*. Jakarta : Airlangga.
- Pemberton, Ernest dan Joseph, Lara. Bureau of Reclamation 1984. *Computating Degradating and Local Scouring*, Colorado : Si Metric.
- Prastumi dan Masrevaniah, Aniek. 2008. *Bangunan Air*. Surabaya : Srikandi.
- Priyantoro, Dwi. 1987. *Teknik Pengangkutan Sedimen*, Malang : Himpunan Mahasiswa Pengiran FT-UB.
- Raju, K.G.R. 1986. *Aliran Melalui Saluran Terbuka, terjemahan Yan Piter Pangaribuan B.E., M.Eng.* Jakarta : Erlangga
- Ray dan Joseph. 1986. *Teknik Sumberdaya Air Jilid II*, Jakarta : Airlangga
- Roberson Cassidy dan Chaudry. 1997. *Hidraulic Engineering*, New York. Chisester, Weiham, Brisbane, Singapore, Toronto : Jhon Willey dan Sons, Inc.

- Sosrodarsono, Suyono dan Tekeda, Kensaku. 2002. *Bendungan Type Urugan*. Jakarta : Erlangga.
- Subramanya, K. 1986. *Flow In Open Channels*, New Delhi : Tata McGraw-Hill Publishing Company Limited.
- Triadmodjo, Bambang. 1996. *Hidrolika II*, Yogyakarta : Beta Offset.
- United States Department of The Interior : Bureau of Reclamation. 1973. *Design of Small Dams*. Oxford & IBH Publishing CO. New Delhi Bombay Calcutta.