

# ANALISA MODEL FISIK HIDROLIKA BENDUNGAN SEPAKU SEMOI KABUPATEN PENAJAM PASER UTARA

Ir. Dwi Priyantoro, MS  
Fakultas Teknik Universitas Brawijaya

## ABSTRACT

*Penajam Paser Utara (PPU) is one of regency in East Borneo province. Based on BPS statistic data, showed that the Economy and population were increase. The increasing of Economy and population increased the water demand in PPU regency. In the aim of solving the problem, government planed to build dam. Hidraulic Model Test is one of Dam Planning procedure. The aim of model test is giving the recomendation and making the complete dam planning. There were several design modification based on dam safe factor qualification. The result of hidraulic model test, showed that the most safe design was based on series 7 as a final design.*

## ABSTRAK

Penajam Paser Utara merupakan salah satu kabupaten di Kalimantan Tiimur. Berdasarkan data BPS menunjukkan bahwa Perekonomian dan pertumbuhan berkembang menyebabkan peningkatan kebutuhan air. Untuk menyelesaikan permasalahan ini, pemerintah merencanakan pembangunan bendungan. Hidraulika model tes merupakan salah satu prosedur pada perencanaan dam. Tujuan dari model tes adalah memberikan rekomendasi dan penyempurnaan pada perencanaan desain bendungan. Ada beberapa modifikasi desain berdasarkan criteria keamanan bendungan pada analisa model tes ini. Hasil dari model tes menunjukkan bahwa desain paling aman adala seri 7 sebagai desain akhir.

## PENDAHULUAN

Kabupaten Penajam Paser Utara (PPU) merupakan salah satu kabupaten yang terdapat di propinsi Kalimantan Timur bagian selatan. Berdasarkan data statistic dari BPS setempat menunjukkan bahwa tingkat pertumbuhan penduduk dan perekonomian makro daerah dari tahun ke tahun menunjukan trend yang sangat meningkat.

Seiring dengan peningkatan jumlah penduduk di kabupaten PPU tersebut maka perkembangan dan pertumbuhan wilayah secara otomatis juga akan meningkat. Kondisi tersebut secara langsung memberikan dampak yang signifikan terhadap kebutuhan sarana dan prasarana bagi kehidupan masyarakat maupun infrastruktur sebagai penunjang perkembangan wilayah. Salah satu kebutuhan utama bagi masyarakat maupun sebagai sarana penunjang pertumbuhan wilayah adalah terpenuhinya kebutuhan air baku.

Saat ini untuk memenuhi kebutuhan air baku di seluruh Kabupaten Penajam Paser Utara pihak Pemerintah Kabupaten setempat telah mengupayakan untuk memenuhi kebutuhan air baku bagi penduduk melalui PDAM yang dibagi dalam 2 wilayah pelayanan yaitu :

1. Wilayah Kecamatan Penajam dan sekitarnya disuplai dari aliran sungai Lawe-lawe dengan kapasitas instalasi Pengolahan Air Bersih  $\pm 60$  liter/detik.
2. Wilayah Kecamatan Sepaku Semoi yang disuplai dari sumber air sungai Tengin dengan kapasitas 7,5 liter/detik.

Pada tahun anggaran 2009 ini Departemen Pekerjaan Umum Direktorat Sumber Daya Air melalui Balai Wilayah Sungai Kalimantan III telah menindak lanjuti usulan dari pemerintah Kabupaten Penajam Pasir Utara untuk melakukan suatu kajian desain infrastruktur/sarana

untuk memenuhi kebutuhan air bersih khususnya bagi penduduk di wilayah Kecamatan Sepaku Semoi. Untuk itu maka dibuat suatu kegiatan studi perencanaan detail berupa Bendungan yang fungsi utamanya adalah mensuplai kebutuhan air baku. Salah satu pekerjaan dalam kegiatan tersebut adalah Uji Model Fisik Hidrolika.

Dengan adanya dukungan Uji Model Fisik Hidrolika ini diharapkan bisa memantapkan hasil perencanaan, sehingga keamanan bendungan tersebut dapat dipenuhi.

Maksud dari uji model fisik hidrolika ini adalah untuk mempelajari perilaku hidrolika pada bangunan pelimpah tipe pelimpah samping yang ditunjang dengan beberapa bangunan yang terdiri atas 3 bagian bangunan yaitu saluran transisi, saluran peluncur dan bangunan peredam energi (*stilling basin*).

Tujuan uji model fisik hidrolika ini adalah memberikan saran penyempurnaan dari aspek hidrolika yang berupa alternatif desain berdasarkan perencanaan yang sudah ada, bila dari hasil percobaan diketahui bahwa desain yang ada kurang memuaskan.

## **BAHAN DAN METODE**

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

1. Empat buah pompa listrik masing-masing berkapasitas 25 l/dt, 45 l/dt, 30 l/dt dan 30 l/dt.
2. Kolam penampung air sebagai sistem distribusi air di model sebagaimana disajikan pada gambar 3.3 (Denah Laboratorium Hidrolika). Bangunan ukur debit Rechbox yang terbuat dari fiberglass tebal 5 mm dengan ukuran yang disesuaikan dengan standar.
3. Alat pengukur tinggi muka air berupa meteran taraf (*point gauge*), pengukuran kecepatan berupa tabung pitot dan *small current meter*.

4. Model bangunan pelimpah, transisi, peluncur, peredam energi sesuai dengan skala yang digunakan.
5. Rencana bangunan yang dimodelkan.

Tahapan pelaksanaan pekerjaan pengujian model fisik hidrolika ini secara sistematis disajikan dalam Gambar.1.

### **Rancangan Percobaan**

Sesuai dengan investigasi lapangan dan berdasarkan desain konstruksi konsultan perencanaan, pengujian perilaku hidrolika aliran di bangunan pelimpah diuji dengan beberapa tahapan dan kondisi model.

### **Kalibrasi**

Kalibrasi adalah tahapan mencocokkan parameter model dan prototype agar diperoleh suatu fenomena yang menyerupai.

### **Verifikasi**

Merupakan tahapan pembuktian kebenaran parameter model dan prototype sehingga diperoleh validasi sesuai dengan ketelitian yang diharapkan.

### **Development Test**

Merupakan tahapan pengujian model yang bertujuan untuk mengetahui perkembangan perilaku hidrolika aliran sehubungan dengan upaya meminimalkan kondisi aliran yang kurang memuaskan, dan untuk juga mengetahui gejala-gejala lain yang berpotensi timbul seperti kavitasi.

### **Model Seri 0**

Model Seri 0 merupakan model yang dibuat berdasarkan original desain konsultan.

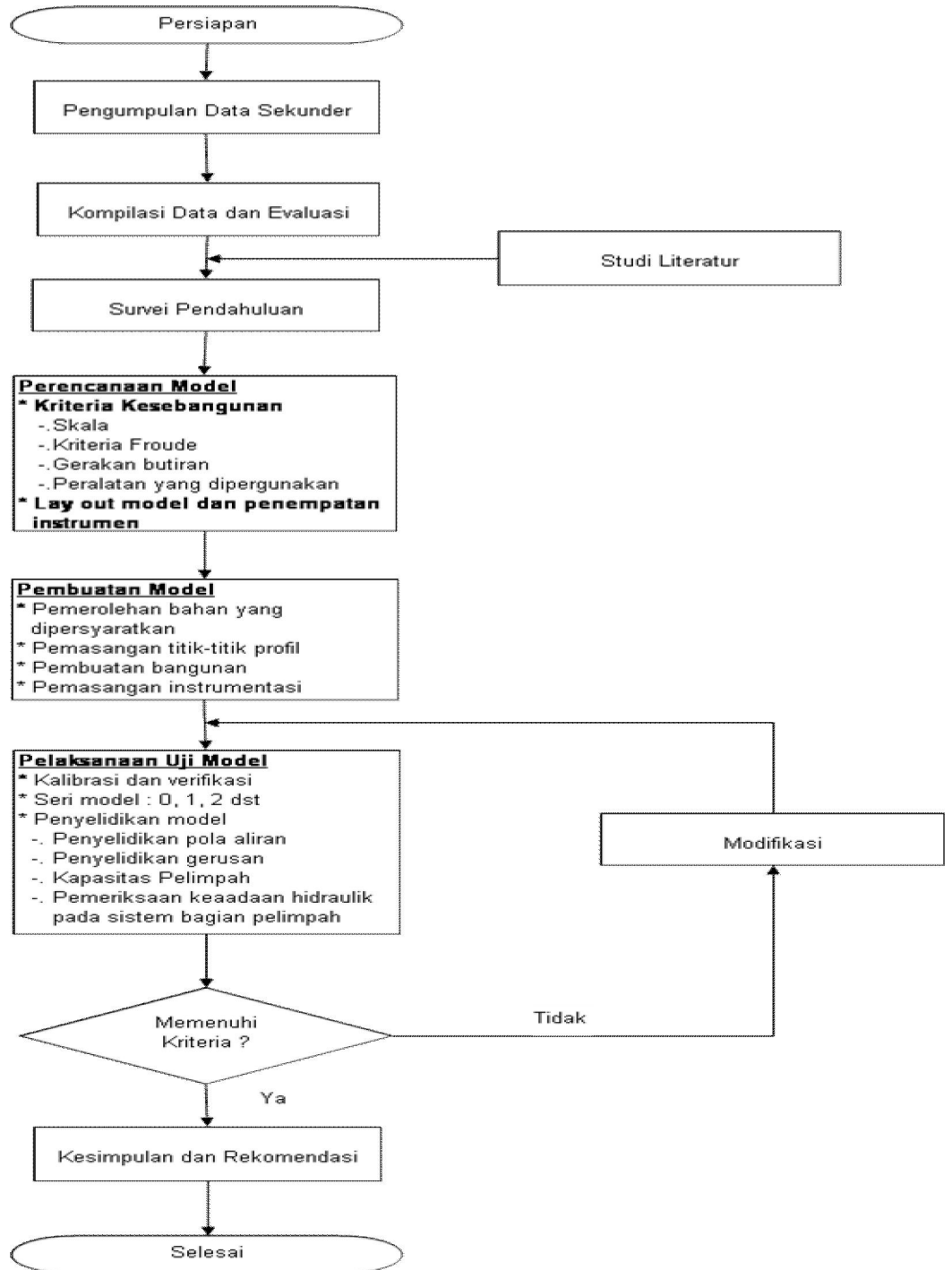
### **Model Seri 1, 2 dst.**

Model Seri ini merupakan alternatif desain (modifikasi), bila hasil Model Seri 0 kurang baik.

### **Final Design**

Merupakan usulan penyempurnaan yang terbaik di antara model seri.

Masing-masing model seri tersebut diuji dengan beberapa variasi banjir rencana yaitu kondisi banjir rancangan  $Q_{100}$ ,  $Q_{1000}$  dan  $Q_{PMF}$ .



Gambar 1. Tahapan pelaksanaan pekerjaan pengujian model fisik hidrolika

## HASIL DAN PEMBAHASAN

Untuk memperoleh unjuk hasil (*performance*) dari desain bangunan, dilakukan uji pengembangan (*development test*). Dalam pengujian ini sekaligus untuk mengetahui kebenaran model yang dibuat terhadap skala yang digunakan.

Mengacu pada penetapan skala dengan tingkat ketelitian sampai dengan 5 %, terlihat bahwa hasil model secara keseluruhan telah memenuhi persyaratan (Tabel 4.9). Sehingga dengan skala 1 : 40 hasil model tidak menimbulkan efek skala pada prototipe.

**Tabel .1. Tingkat Kesalahan Relatif Hasil Pengujian**

Debit	Tinggi air (Hd)		Kesalahan (%)
	Hitungan (m)	Model (m)	
Q <sub>2</sub>	0.779	0.810	3.970
Q <sub>100</sub>	1.652	1.580	4.360
Q <sub>1000</sub>	2.186	2.080	4.800
Q <sub>PMF</sub>	4.380	4.180	4.500

### Unjuk Hasil Model Seri 0 (*Original Design*)

Pengujian pada kondisi *original design* diperoleh hasil yang kurang memuaskan dengan beberapa permasalahan yang terjadi sebagai berikut:

1. Aliran air di atas pelimpah tidak merata akibat tebing sebelah kanan saluran pengarah yang tidak teratur.
2. Pada Bagian ujung sebelah kiri saluran pengarah terjadi aliran mati akibat dinding tegak. Kapasitas saluran transisi dan peluncur sangat memadai (QPMF terdapat tinggi jagaan 1.41 m)
3. Loncatan air merupakan “*Submerged Jump*”, hal ini disebabkan oleh kenaikan dasar saluran di hilir peredam energi USBR III naik dari el 6.50 ke El 8.50. Oleh sebab itu, tinggi air (*Sequent depth h2*) di lantai peredam energi menjadi lebih tinggi dari perhitungan rencana yaitu  $h_2$  (rencana) = 4.70 m, sedangkan  $h_2$  (model)

= 7.10 m. Sehingga dengan rencana dinding peredam energi pada El. 12.10 hanya mampu menampung air setinggi 5.60 m (tanpa tinggi jagaan). Selain itu, pemasangan *Baffle Block* menjadi tidak efektif karena peredaman terjadi pada bagian *Chute Block*



**Gambar 2. Running model test Seri O pada spillway dan stilling Basin.**

### Unjuk Hasil Model Seri 1

#### A. Perubahan Desain

Untuk memperbaiki kondisi aliran pada *original design* dilakukan beberapa perubahan seperti berikut ini:

1. Memotong tebing sebelah kiri hulu pelimpah dari EL 21.00 sampai El 26.00 dengan kemiringan tebing 1 : 1.
2. Membuat Kelengkungan dinding ujung saluran Pengarah sebelah Kiri dengan R = 1.50 m

#### Unjuk Hasil

Pengujian pada model seri 1 ini diperoleh hasil yang kurang memuaskan dengan beberapa permasalahan yang terjadi sebagai berikut :

Dengan alternatif tersebut hanya mampu meratakan aliran di atas pelimpah dan menghindari aliran mati di ujung sebelah kiri saluran pengarah, namun masih belum mampu menurunkan muka air pada *stilling basin*.



**Gambar 3. Perubahan pada seri I dan Running model test Seri I pada spillway.**

## Unjuk Hasil Model Seri 2 Perubahan desain

Untuk memperbaiki kondisi aliran pada seri 1 dilakukan perubahan dengan meluruskan saluran *Outlet* dan memperbesar radius belokan saluran tersebut.

### Unjuk Hasil

Pengujian pada model seri 2 ini diperoleh hasil yang kurang memuaskan dengan beberapa permasalahan belum mampu menurunkan muka air di *stilling basin*, tetapi gerusan tidak terjadi untuk semua debit.



Gambar 4. *Running model test* Seri II pada *stilling basin*.

## Model Seri 3

### A. Perubahan Desain

Untuk memperbaiki kondisi aliran pada seri 2 dilakukan beberapa perubahan seperti berikut ini:

- 1 Meningkatkan dinding *Stiling Basin* dan saluran pengarahnya dari El. 12.10 menjadi EL 13.00
- 2 Melepas *Baffle block* pada *stilling basin*

### B. Unjuk Hasil

Pengujian pada model seri 3 ini diperoleh hasil yang cukup memuaskan dengan uraian sebagai berikut :

Dengan alternatif tersebut dinding *stilling basin* dan saluran pengarah cukup menampung tinggi air untuk Q100 th dengan tinggi jagaan 0.5 m, sedangkan untuk Q1000 th air meluap. Pada QPMF terjadi *free jump* dimana *sequent depth* bergeser ke hilir saluran pengarah *stilling basin*.



Gambar 5. Perubahan pada seri III *Running model test* Seri III pada *stilling basin*.

## Unjuk Hasil Model Seri 4

### A. Perubahan Desain

Untuk memperbaiki kondisi aliran pada seri 3 dilakukan perubahan yaitu, merubah posisi lantai saluran pengarah di hilir *stilling basin* menjadi datar terletak pada El +7.50 m rata dengan posisi *end sill*.

### B. Unjuk Hasil

Pengujian pada model seri 4 ini diperoleh hasil yang memuaskan dengan uraian sebagai berikut:  
Dengan perubahan ini tidak memberikan penurunan muka air di *stilling basin* yang *significant*, hasilnya hampir sama dengan model seri III.



Gambar 6. Perubahan pada seri IV *Running model test* Seri IV pada *stilling basin*.

## Unjuk Hasil Model Seri 5

### A. Perubahan Desain

Memperhatikan model seri II sampai dengan seri IV dimana gerusan yang terjadi masih aman maka model seri ini melakukan perubahan :

Menaikkan elevasi dinding *stilling basin* dan saluran pengarah dari El +13.00 menjadi El + 14.00.

Lantai saluran pengarah dibuat dari batuan rip-rap dari El +7.50 menuju El +8.25 dan diberi sub dam (penahan rip-rap)

## B. Unjuk Hasil

Pengujian pada model seri 5 ini diperoleh hasil yang memuaskan dengan uraian sebagai berikut:

1. Dengan perubahan ini dinding *stilling basin* dan saluran pengarah mampu menampung Q1000 th dengan tinggi jagaan 0.25 m. Pada saat QPMF awal loncatan air secara periodik berada di bagian tengah sampai ujung *stilling basin*.
2. Walaupun dari aspek pengaruh gerusan aman, tetapi untuk kestabilan tubuh bendungan terhadap bahaya *piping* sangat mengkhawatirkan. Hal ini disebabkan oleh elevasi muka air akibat *back water* di hilir *outlet* (pertemuan antara saluran hilir pelimpah dengan sungai asli) berada pada elevasi di atas penempatan *toe drain* (El. +11,00).



**Gambar 7. Perubahan pada seri V Running model test Seri V pada *stilling basin*.**

Tabel .2. Elevasi muka air pada hilir bendungan

Debit	Elevasi Muka Air di Kaki Hilir Bendungan (m)	Elevasi Dasar (m)
Q2	10.700	10.000
Q100	12.620	10.000
Q1000	13.580	10.000
QPMF	16.760	10.000

## Unjuk Hasil Model Seri 6

### A. Perubahan Desain

Untuk mengurangi terjadinya *back water* yang dikhawatirkan melebihi elevasi drainasi dari tubuh bendungan maka dibuatlah *multiple short cut* sehingga elevasi muka air pada hilir menjadi turun. Kanal drainasi diarahkan pada sec 25

## B. Unjuk Hasil

Dengan adanya *multiple shortcut*, maka *back water* yang disebabkan adanya penyempitan dan belokan pada alur sungai menjadi berkurang, sehingga elevasi muka air pada hilir menjadi lebih rendah. Namun demikian akibat tidak adanya *baffle block* pada *stilling basin* maka kecepatan aliran pada *stilling basin* mengakibatkan fungsi peredaman menjadi tidak optimal. Hal ini diperlihatkan oleh batuan lindung di hilir *stilling basin* sudah mulai bergerak pada  $Q_{1000th}$  dan menimbulkan gerusan di bagian hilirnya.



**Gambar 8. Perubahan pada seri VI Running model test Seri VI pada *stilling basin*.**

## Unjuk Hasil Model Seri 7

### A. Perubahan Desain

1. Menambahkan *baffle block* pada *stilling basin* sesuai dengan desain awal konsultan.
2. Dinding *stilling basin* diturunkan dari elevasi + 14,00 menjadi elevasi + 13,50 m.

## B. Unjuk Hasil

Dengan model seri ini diperoleh hasil sebagai berikut :

1. Lindungan batuan di hilir *stilling basin* stabil sampai dengan  $Q_{1000th}$  dengan gerusan terdalam 1,00 m
2. Dengan elevasi dinding *stilling basin* + 13,50 m mampu melewati air untuk semua seri debit tanpa menimbulkan *over topping*.
3. Keamanan terhadap *piping* dan terjaganya fungsi *toe drain* dapat dicapai dengan baik.



**Gambar 9. Perubahan pada seri VII Running model test Seri VII pada stilling basin.**

## KESIMPULAN

Berdasarkan hasil pengujian beberapa model seri (Seri I – VII) dapat disimpulkan bahwa **Model Seri VII** merupakan *final design* yang diusulkan oleh tim peneliti pengujian fisik hidraulik dengan hasil sebagai berikut :

1. Kapasitas pelimpah dan saluran samping mampu untuk mengalirkan debit  $Q_{PMF}$ .
2. Pada saat  $Q_{PMF}$  tinggi muka air waduk maksimum antara El +27,20 sampai El +27,50. Dengan elevasi puncak bendungan El +28,13 tinggi jagaan masih mencukupi.
3. Kapasitas saluran pengarah-transisi dengan El +24,41 kurang efisien karena tinggi air maksimum untuk  $Q_{PMF}$  pada El +23,00. Oleh sebab itu dinding diturunkan menjadi El +23,50.
4. Saluran pengarah/transisi berfungsi dengan baik, hal ini diperlihatkan oleh kondisi aliran yang subkritis dan pada saluran peluncur tidak menimbulkan gejala *pulsating flow*.
5. Gejala kavitasi tidak timbul untuk semua komponen bangunan hal ini ditunjukkan oleh tinggi pizometric yang mempunyai nilai positif
6. Bagian saluran pengarah pelimpah berfungsi dengan baik dan kecepatan maksimum yang terjadi di saluran tersebut lebih kecil 4 m/detik, sehingga tidak menimbulkan bahaya kavitasi.

7. Untuk mengoptimalkan fungsi peredam energi maka :
  - a. *Stilling Basin* dengan USBR III tetap digunakan sesuai dengan desain konsultan.
  - b. Untuk melindungi dasar sungai di hilir *stilling basin* terhadap bahaya gerusan setempat diperlukan penambahan lindungan dasar sungai dengan batu kosong sepanjang 20,00 m dimana di bagian ujung hilirnya ditambahkan bangunan *sub dam*.
  - c. Ukuran batuan rip-rap berdiameter  $\geq 0,30$  m, berat  $\geq 30$  kg dengan  $ps = 2100$  kg/m<sup>3</sup>
  - d. Dinding *stilling basin* pada El. 13,50 m mampu untuk melewati semua seri debit.
8. Gerusan terdalam yang terjadi adalah 1,00 m untuk  $Q_{1000th}$  dan 3,00 m untuk  $Q_{PMF}$  dengan pola gerusan.
9. Dengan perubahan *alignment* saluran di hilir *stilling basin* dan melakukan *multiple short cut*, fungsi *toe drain* dapat berjalan dengan sempurna. Hal ini ditunjukkan oleh *back water* yang terjadi di hilir *toe drain* tidak sampai mengganggu fungsi *toe drain* ( El. + 11,00 m) sebagaimana diperlihatkan dalam hasil pengukuran berikut :

**Tabel .3. Elevasi pengaruh muka air hilir.**

Debit	Elevasi Muka Air di Kaki Hilir Bendungan (m)	Elevasi Dasar (m)
$Q_2$	0.000	10.000
$Q_{100}$	10.140	10.000
$Q_{1000}$	10.600	10.000
$Q_{PMF}$	12.000	10.000

## DAFTAR PUSTAKA

- Chow, Ven Te. 1997. *Hidrolika Saluran Terbuka*, terjemahan E.V. Nensi Rosalina. Jakarta : Erlangga.
- Hager, Willi H. 1992. *Energy Dissipators And Hydraulic*

- Jump*, Dordrecht : Kluwer Academic Publishers.
- Peterka, A.J. 1978. *Hydraulic Design of Stilling Basins and Energy Dissipators*. United States Department of The Interior : Bureau of Reclamation.
- Raju, K.G.R. 1986. *Aliran Melalui Saluran Terbuka, terjemahan Yan Piter Pangaribuan B.E., M.Eng.* Jakarta : Erlangga
- 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.
- United States Department of The Interior : Bureau of Reclamation. 1973. *Design of Small Dams*. Oxford & IBH Publishing CO. New Delhi Bombay Calcutta.