

**UJI MODEL FISIK HIDROLIK EFEKTIFITAS BENDUNG  
BERTERAP DENGAN ANAK TANGGA DATAR  
DAN BERPUNGGUNG HALUS TERHADAP PERUBAHAN  
KANDUNGAN OKSIGEN TERLARUT DALAM ALIRAN**

**SKRIPSI**

**DIAJUKAN UNTUK MEMENUHI SEBAGIAN PERSYARATAN MEMPEROLEH  
GELAR SARJANA TEKNIK**



**Disusun oleh :**

**ADITIA ARYA GUNTORO**

**NIM. 0310640003**

**DEPARTEMEN PENDIDIKAN NASIONAL**

**UNIVERSITAS BRAWIJAYA**

**FAKULTAS TEKNIK**

**MALANG**

**2008**

LEMBAR PERSETUJUAN

**UJI MODEL FISIK HIDROLIK EFEKTIFITAS BENDUNG BERTERAP  
DENGAN ANAK TANGGA DATAR  
DAN BERPUNGGUNG HALUS TERHADAP PERUBAHAN KANDUNGAN  
OKSIGEN TERLARUT DALAM ALIRAN**

**SKRIPSI  
DIAJUKAN UNTUK MEMENUHI SEBAGIAN PERSYARATAN MEMPEROLEH  
GELAR SARJANA TEKNIK**

**Disusun oleh :  
ADITIA ARYA GUNTORO  
NIM. 0310640003**

MENGETAHUI:

**Pembimbing I**

**Pembimbing II**

**Ir.Aniek Masrevaniah,Dipl.HE.  
NIP. 130 682 591**

**Emma Yuliani, ST, MT.  
NIP. 132 258 184**

## KATA PENGANTAR

Puji syukur kehadirat Allah SWT atas rahmat dan hidayah serta karunia-NYA sehingga penyusun mampu menyelesaikan laporan Skripsi dengan judul **“Uji Model Fisik Hidrolik Efektifitas Bendung Berterap Dengan Anak Tangga Datar Dan Berpunggung Halus Terhadap Perubahan Kandungan Oksigen Terlarut Dalam Aliran”** dengan lancar dan baik.

Laporan skripsi ini disusun untuk memperoleh gelar Sarjana Teknik. Penyusun menyadari sepenuhnya bahwa dalam pengerjaan tugas ini masih banyak kekurangan sehingga laporan skripsi ini masih jauh dari sempurna, hal ini dikarenakan keterbatasan pengetahuan dan pengalaman yang dimiliki penyusun.

Dengan kesungguhan serta rasa rendah hati, penulis mengucapkan terima kasih kepada:

1. Ibu DR. IR. Aniek M, Dipl, He dan ibu Emma Yuliani, ST, MT. selaku dosen pembimbing yang dengan sabar memberikan bimbingan, ide, motivasi, pengarahan serta saran dalam penyusunan laporan ini.
2. Bapak. Rupiadi, bapak Usman, bapak Tiran dan ibu Tutik selaku pembimbing lapangan yang telah banyak memberikan informasi dan membantu penyelesaian laporan ini.
3. Bapak Wasis, atas pemberian literatur laporan skripsi
4. Kedua Orang Tua dan Keluargaku yang selama ini sudah memberikan dukungan moril dan materiil serta yang tak henti-hentinya selalu berdo'a untuk penulis.
5. Teman lumajang Dan WG 36 selaku motifator bagi penulis dalam penyelesaian laporan
6. Teman-teman Teknik Pengairan khususnya angkatan 2003 dan semua pihak yang sudah membantu penyusunan laporan skripsi ini yang tidak dapat disebutkan namanya satu persatu.

Akhir kata penyusun mengharapkan saran dan kritik yang konstruktif guna kesempurnaan tugas ini, serta penyusun berharap semoga laporan ini dapat bermanfaat.

Malang, April 2008

Penulis,

Aditia Arya Guntoro

## DAFTAR ISI

	Halaman
KATA PENGANTAR.....	i
DAFTAR ISI .....	ii
DAFTAR GAMBAR.....	iv
DAFTAR TABEL.....	vi
DAFTAR LAMPIRAN.....	viii
ABSTRAK.....	xii
<b>I. PENDAHULUAN</b>	
1.1 Latar Belakang.....	1
1.2. Identifikasi Masalah.....	1
1.3. Batasan Masalah .....	2
1.4. Rumusan Masalah.....	2
1.5. Tujuan .....	3
1.6. Manfaat .....	3
<b>II. TINJAUAN PUSTAKA</b>	
2.1 Kualitas Air.....	4
2.2 Parameter Kualitas Air.....	5
2.2.1 Oksigen Terlarut ( <i>Dissolved Oxygen</i> ).....	5
2.2.2 Bahan Buangan yang Memerlukan Oksigen .....	6
2.3 Proses Tranformasi Oksigen Terlarut.....	7
2.4 Laju Pelepasan Oksigen.....	8
2.4.1 Koefisien Laju Pelepasan Oksigen .....	8
2.5 Laju Penyerapan Oksigen .....	9
2.5.1 Koefisien Laju Penyerapan Oksigen.....	9
2.6 Bendung Berterap .....	10
2.7 Loncatan Hidrolik.....	14
2.7.1 Jenis Loncatan Hidrolik.....	16
2.7.2 Sifat-Sifat Dasar Loncatan Hidrolik .....	18
2.8 Visual Basic (VB.6).....	20
2.8.1 Analisis Regresi Linear Berganda .....	21
2.9 Analisis Statistik .....	22
2.9.1 Analisa Regresi dan Penyesuaian Kurva .....	22

2.9.2 Pengujian Hipotesa .....	25
--------------------------------	----

### III. METODE PENELITIAN

3.1 .....	Lingkup Penelitian .....	27
3.2 .....	Persiapan Penelitian.....	27
3.3 .....	Macam Variabel dan Parameter Penelitian .....	30
3.4 .....	Langkah-langkah Penelitian .....	32
3.4.1	Kalibrasi Pitot(Alat Ukur Kecepatan).....	32
3.4.2	Urutan Penelitian .....	33

### IV DATA DAN ANALISA DATA

4.1 Model Fisik .....	35	
4.1.1 Desain Bendung .....	35	
4.1.1.1	Perhitungan Debit yang Melewati Desain Bendung.....	36
4.1.1.2	Perhitungan Profil Muka air di Atas Bendung.....	37
4.1.2 Desain Kolam Olak.....	39	
4.1.2.1	Dimensi Kolam Olak .....	39
4.1.3	Dimensi Susunan Anak Tangga.....	41
4.2 Kalibrasi dan Verifikasi Model .....	43	
4.2.1	Kalibrasi Alat Ukur Debit.....	43
4.2.2	Kalibrasi Alat Ukur Kecepatan.....	47
4.2.3	Syarat Akurasi Model .....	49
4.3 Analisis Kandungan DO (Oksigen Terlarut) .....	50	
4.4 Peramalan Nilai DO dengan Visual Basic.....	54	

### KESIMPULAN DAN SARAN

5.1 Kesimpulan .....	62
5.2 Saran .....	63

### DAFTAR PUSTAKA

### LAMPIRAN

## DAFTAR GAMBAR

	Halaman
Gambar 2.1	11
a. Aliran Nappe dengan loncatan hidrolik yang berkembang secara penuh;	
b. Aliran Nappe dengan loncatan hidrolik yang berkembang secara partial;	
c. Aliran Skimming di atas bendung berterap.....	11
Gambar 2.2	13
Tekanan pada mercu bendung sebagai fungsi perbandingan $H_1/r$ ....	
Gambar 2.3	13
Harga-harga koefisien $C_0$ untuk bendung ambang bulat sebagai fungsi perbandingan $H_1/r$ .....	
Gambar 2.4	14
Koefisien $C_1$ sebagai fungsi perbandingan $p/H_1$ .....	
Gambar 2.5	14
Harga-harga koefisien $C_1$ untuk bendung mercu ogee dengan muka hulu melengkung.....	
Gambar 2.6	15
Faktor pengurangan aliran tenggelam sebagai fungsi $H_2/H_1$ .....	
Gambar 2.7	15
Persamaan momentum dalam loncatan hidrolik pada saluran segi empat .....	
Gambar 2.8	17
Kurva hubungan antara $F_1$ dan $y_2/y_1$ .....	
Gambar 2.9	17
Loncatan berombak.....	
Gambar 2.10	18
Loncatan lemah.....	
Gambar 2.11	18
Loncatan berisolasi .....	
Gambar 2.12	18
Loncatan tetap.....	
Gambar 2.13	19
Loncatan kuat.....	
Gambar 2.14	20
Kurva hubungan $L/y_2$ dengan bilangan froude .....	
Gambar 3.15	21
Kurva hubungan antara $x/h_j$ terhadap $y/h_j$ .....	
Gambar 3.1	31
Sketsa lokasi penelitian.....	
Gambar 3.2	31
Desain Bendung Konvensional (cm) .....	
Gambar 3.3	32
Pembagian titik pengukuran (section) .....	
Gambar 3.4	35
Diagram alir pengerjaan skripsi.....	
Gambar 4.1	37
Desain Bendung Konvensional (cm) .....	
Gambar 4.2	40
Tinggi Muka Air diatas bendung.....	
Gambar 4.3	41
Peredam Energi USBR Tipe III.....	
Gambar 4.4	42
Desain Anak Tangga.....	
Gambar 4.5	42
Bendung Berterap dengan Anak Tangga Datar .....	
Gambar 4.6	42
Bendung Berterap dengan Anak Tangga Miring $20^\circ$ .....	
Gambar 4.7	44
Sketsa Lokasi Pengambilan Data untuk Kalibrasi Alat Ukur Debit..	
Gambar 4.8	46
Dimensi alat ukur debit rechbox.....	

Gambar 4.9	Grafik Hubungan Debit dengan Tinggi Air.....	48
Gambar 4.10	Sketsa Lokasi Pengambilan Data Kecepatan untuk Kalibrasi.....	48
Gambar 4.11	Grafik Hubungan Debit dengan Tinggi Air.....	50
Gambar 4.12	Hasil tampilan program visual basic.....	58

## DAFTAR TABEL

		Halaman
Tabel 2.1	Koefisien Re-aerasi $k_2$ $20^0\text{C}$ .....	10
Tabel 3.1	Pengelompokan parameter penelitian.....	30
Tabel 3.2	Pengelompokan variabel penelitian.....	31
Tabel 4.1	Koordinat Lengkung Harold.....	35
Tabel 4.2	Debit yang Melimpah diatas bendung .....	37
Tabel 4.3	Perhitungan profil muka air di atas bendung .....	38
Tabel 4.4	Perhitungan Profil Muka Air .....	40
Tabel 4.5	Perhitungan Kesalahan Relatif Debit.....	44
Tabel 4.6	Perhitungan Debit Kalibrasi.....	46
Tabel 4.7	Perhitungan Kesalahan Relatif Antara $V_{\text{pitot}}$ dengan $V_{\text{aktual}}$ .....	48
Tabel 4.8	Kalibrasi Alat Ukur Kecepatan.....	48
Tabel 4.9	Rekapitulasi Kesalahan Relatif Uji Fisik ( $KR < 10\%$ ).....	50
Tabel 4.10	Hasil Pengujian Sampel Pada Bendung Konvensional.....	51
Tabel 4.11	Hasil pengujian sampel pada bendung berterap dengan anak Tangga datar .....	51
Tabel 4.12	Hasil pengujian sampel pada bendung berterap dengan kemiringan anak tangga $20^0$ .....	51
Tabel 4.13	Hasil pengujian sampel pada bendung berterap dengan kemiringan anak tangga $30^0$ .....	51
Tabel 4.14	Kandungan DO sebelum bendung .....	52
Tabel 4.15	Kandungan DO setelah bendung .....	52
Tabel 4.16	Perhitungan selisih kenaikan DO.....	53
Tabel 4.17	Hasil peramalan DO pada bendung konvensional ( $H_d=2$ ).....	58
Tabel 4.18	Hasil Peramalan DO pada Bendung berterap dengan anak tangga Datar ( $H_d=2$ ).....	58
Tabel 4.19	Hasil Peramalan DO pada Bendung berterap dengan kemiringan Anak tangga $20^0$ ( $H_d=2$ ) .....	58
Tabel 4.20	Hasil Peramalan DO pada Bendung berterap dengan kemiringan Anak tangga $30^0$ ( $H_d=2$ ) .....	59
Tabel 4.21	Perhitungan kesalahan relatif peramalan DO pada bendung konvensional .....	59

Tabel 4.22	Perhitungan kesalahan relatif peramalan DO pada bendung berterap dengan anak tangga Datar.....	59
Tabel 4.23	Perhitungan kesalahan relatif peramalan DO pada bendung berterap dengan kemiringan Anak tangga $20^0$ .....	60
Tabel 4.24	Perhitungan kesalahan relatif peramalan DO pada bendung berterap dengan kemiringan Anak tangga $30^0$ .....	61
Tabel 5.1	Kenaikan DO pada bendung konvensional.....	62
Tabel 5.2	Kenaikan DO pada bendung berterap.....	62

## DAFTAR LAMPIRAN

Halaman

### Data Bendung Konvensional

Tabel II.1	Perhitungan Tinggi Muka Air dan Kecepatan Bendung Konvensional di Masing-Masing Section pada saat $hd = 2$ cm .....	64
Tabel II.2	Perhitungan Tinggi Muka Air dan Kecepatan Bendung Konvensional di Masing-Masing Section pada saat $hd = 3$ cm .....	65
Tabel II.3	Perhitungan Tinggi Muka Air dan Kecepatan Bendung Konvensional di Masing-Masing Section pada saat $hd = 4$ cm .....	66
Tabel II.4	Perhitungan Tinggi Muka Air dan Kecepatan Bendung Konvensional di Masing-Masing Section pada saat $hd = 5$ cm .....	67
Tabel II.5	Perhitungan Tinggi Muka Air dan Kecepatan Bendung Konvensional di Masing-Masing Section pada saat $hd = 6$ cm .....	68
Gambar II.1	Tinggi Muka Air Bendung Konvensional Tiap Section Saat $Hd = 2$ cm .....	69
Gambar II.2	Tinggi Muka Air Bendung Konvensional Tiap Section Saat $Hd = 3$ cm .....	70
Gambar II.3	Tinggi Muka Air Bendung Konvensional Tiap Section Saat $Hd = 4$ cm .....	71
Gambar II.4	Tinggi Muka Air Bendung Konvensional Tiap Section Saat $Hd = 5$ cm .....	72
Gambar II.5	Tinggi Muka Air Bendung Konvensional Tiap Section Saat $Hd = 6$ cm .....	73

### Data Bendung Berterap dengan Anak Tangga Datar

Tabel III.1	Perhitungan Tinggi Muka Air dan Kecepatan Bendung Berterap dengan Anak Tangga Datar di Masing-Masing Section pada saat $hd = 2$ cm .....	74
Tabel III.2	Perhitungan Tinggi Muka Air dan Kecepatan Bendung Berterap dengan Anak Tangga Datar di Masing-Masing Section pada saat $hd = 3$ cm .....	75

Tabel III.3	Perhitungan Tinggi Muka Air dan Kecepatan Bendung Berterap dengan Anak Tangga Datar di Masing-Masing Section pada saat $hd = 4 \text{ cm}$ .....	76
Tabel III.4	Perhitungan Tinggi Muka Air dan Kecepatan Bendung Berterap dengan Anak Tangga Datar di Masing-Masing Section pada saat $hd = 5 \text{ cm}$ .....	77
Tabel III.5	Perhitungan Tinggi Muka Air dan Kecepatan Bendung Berterap dengan Anak Tangga Datar di Masing-Masing Section pada saat $hd = 6 \text{ cm}$ .....	78
Gambar III.1	Tinggi Muka Air Bendung Berterap (Datar) Tiap Section Saat $Hd = 2\text{cm}$ .....	79
Gambar III.2	Tinggi Muka Air Bendung Berterap (Datar) Tiap Section Saat $Hd = 3\text{cm}$ .....	80
Gambar III.3	Tinggi Muka Air Bendung Berterap (Datar) Tiap Section Saat $Hd = 4\text{cm}$ .....	81
Gambar III.4	Tinggi Muka Air Bendung Berterap (Datar) Tiap Section Saat $Hd = 5\text{cm}$ .....	82
Gambar III.5	Tinggi Muka Air Bendung Berterap (Datar) Tiap Section Saat $Hd = 6\text{cm}$ .....	83

### **Data Bendung Berterap Dengan Kemiringan Anak Tangga $20^0$**

Tabel IV.1	Perhitungan Tinggi Muka Air dan Kecepatan Bendung Berterap Dengan Kemiringan Anak Tangga $20^0$ di Masing-Masing Section pada saat $hd = 2 \text{ cm}$ .....	84
Tabel IV.2	Perhitungan Tinggi Muka Air dan Kecepatan Bendung Berterap Dengan Kemiringan Anak Tangga $20^0$ di Masing-Masing Section pada saat $hd = 3 \text{ cm}$ .....	85
Tabel IV.3	Perhitungan Tinggi Muka Air dan Kecepatan Bendung Berterap Dengan Kemiringan Anak Tangga $20^0$ di Masing-Masing Section pada saat $hd = 4 \text{ cm}$ .....	86
Tabel IV.4	Perhitungan Tinggi Muka Air dan Kecepatan Bendung Berterap Dengan Kemiringan Anak Tangga $20^0$ di Masing-Masing Section pada saat $hd = 5 \text{ cm}$ .....	87

Tabel IV.5	Perhitungan Tinggi Muka Air dan Kecepatan Bendung Berterap Dengan Kemiringan Anak Tangga 20 <sup>0</sup> di Masing-Masing Section pada saat hd = 6 cm .....	88
Gambar IV.1	Tinggi Muka Air Berterap (Miring 20 <sup>0</sup> ) Tiap Section Saat Hd = 2cm .....	89
Gambar IV.2	Tinggi Muka Air Berterap (Miring 20 <sup>0</sup> ) Tiap Section Saat Hd = 3cm .....	90
Gambar IV.3	Tinggi Muka Air Berterap (Miring 20 <sup>0</sup> ) Tiap Section Saat Hd = 4cm .....	91
Gambar IV.4	Tinggi Muka Air Berterap (Miring 20 <sup>0</sup> ) Tiap Section Saat Hd = 5cm .....	92
Gambar IV.5	Tinggi Muka Air Berterap (Miring 20 <sup>0</sup> ) Tiap Section Saat Hd = 6cm .....	93

#### **Data Bendung Berterap Dengan Kemiringan Anak Tangga 30<sup>0</sup>**

Tabel V.1	Perhitungan Tinggi Muka Air dan Kecepatan Bendung Berterap Dengan Kemiringan Anak Tangga 30 <sup>0</sup> di Masing-Masing Section pada saat hd = 2 cm .....	94
Tabel V.2	Perhitungan Tinggi Muka Air dan Kecepatan Bendung Berterap Dengan Kemiringan Anak Tangga 30 <sup>0</sup> di Masing-Masing Section pada saat hd = 3 cm .....	95
Tabel V.3	Perhitungan Tinggi Muka Air dan Kecepatan Bendung Berterap Dengan Kemiringan Anak Tangga 30 <sup>0</sup> di Masing-Masing Section pada saat hd = 4 cm .....	96
Tabel V.4	Perhitungan Tinggi Muka Air dan Kecepatan Bendung Berterap Dengan Kemiringan Anak Tangga 30 <sup>0</sup> di Masing-Masing Section pada saat hd = 5 cm .....	97
Tabel V.5	Perhitungan Tinggi Muka Air dan Kecepatan Bendung Berterap Dengan Kemiringan Anak Tangga 30 <sup>0</sup> di Masing-Masing Section pada saat hd = 6 cm .....	98
Gambar V.1	Tinggi Muka Air Berterap (Miring 30 <sup>0</sup> ) Tiap Section Saat Hd = 2cm .....	99
Gambar V.2	Tinggi Muka Air Berterap (Miring 30 <sup>0</sup> ) Tiap Section	

	Saat Hd = 3cm .....	100
Gambar V.3	Tinggi Muka Air Berterap (Miring 30°) Tiap Section	
	Saat Hd = 4cm .....	101
Gambar V.4	Tinggi Muka Air Berterap (Miring 30°) Tiap Section	
	Saat Hd = 5cm .....	102
Gambar V.5	Tinggi Muka Air Berterap (Miring 30°) Tiap Section	
	Saat Hd = 6cm .....	103
Data Kalibrasi	.....	104
Dokumentasi	.....	105

## ABSTRAK

Aditia Arya Guntoro, Jurusan Pengairan, Fakultas Teknik Universitas Brawijaya, Februari 2008. Uji Model Fisik Hidrolik Efektifitas Bendung Berterap Dengan Anak Tangga Datar Dan Berpunggung Halus Terhadap Perubahan Kandungan Oksigen Terlarut Dalam Aliran. Dosen Pembimbing : Dr. Ir. Aniek Masrehan, Dipl. HE dan Emma Yulianti, ST. MT

Aliran air pada bendung konvensional menghasilkan aliran superkritis dan subkritis sehingga pada hilir bendung air akan mengolak. Adanya proses olakan air ini akan meningkatkan kandungan oksigen dalam air (*Dissolved Oxygen*) akibat meningkatnya kontak air dengan udara (proses reaerasi) dan berakibat baik serta mendukung proses mandiri aliran air memperbaiki kualitasnya (*self purification*). Dalam upaya ingin mengetahui gambaran peningkatan kandungan oksigen dalam air, maka dalam penelitian ini diuji empat jenis bendung dengan lima variasi debit.

Maksud dan tujuan studi ini adalah untuk mengetahui perubahan konsentrasi DO diantara jenis bendung yang diuji dengan adanya variasi debit pada hulu hingga hilir bendung sehingga pada penelitian ini nantinya akan dibuatkan suatu program yang dapat meramalkan perubahan konsentrasi DO dari empat jenis bendung yang memiliki empat jenis pelimpah dengan tinggi konstan (0,17 m), yaitu: bendung konvensional, bendung berterap dengan anak tangga datar, bendung berterap dengan anak tangga miring  $20^\circ$ , bendung berterap dengan anak tangga miring  $30^\circ$ . Ditempatkan dalam sebuah flume segi empat di laboratorium dengan panjang 6 m dan lebarnya 0,30 m. Di dasar kaki bendung diteruskan dengan sebuah saluran dengan kemiringan dasar datar. Masing bendung dialiri dengan seri debit yang tergantung pada tinggi air diatas bendung (hd), yaitu: 2 cm, 3 cm, 4 cm, 5 cm dan 6 cm.

Untuk mencapai tujuan di atas, digunakan model fisik hidrolika dengan spesifikasi: profil bendung dibangun mengikuti *Standard Waterways Experiment Station* (WES) dengan kemiringan punggung bendung konstan yaitu  $45^\circ$ . Dipasangkan alat kontrol berupa kolam olak USBR tipe III dihilirnya sehingga akan terbentuk loncatan hidrolik, dimana kolam olak USBR tipe III didesain dengan debit pada saat  $hd = 4\text{cm}$ . Analisa yang dilakukan meliputi pembuatan grafik hubungan antara prosentase kenaikan kadar DO pada setiap jenis bendung. Hasilnya akan dibuatkan program untuk meramalkan kadar DO sepanjang pelimpah dengan penyimpangan maksimum 7,31 %

Dari hasil pengamatan pada model diketahui kenaikan kadar DO terbesar terjadi pada bendung berterap dengan anak tangga miring  $20^\circ$  yaitu 1,5 ppm (18,98%). Hasil pengamatan pada hulu hingga hilir bendung akibat lima perlakuan debit sebagai berikut: Bendung konvensional sebesar 0,3 – 0,8 ppm, bendung berterap sebesar 0,5 – 1,2 ppm, bendung berterap dengan anak tangga miring  $20^\circ$  sebesar 0,6 – 1,5 ppm, bendung berterap dengan anak tangga miring  $30^\circ$  sebesar 0,6 – 1,1 ppm. Sehingga dapat dibuatkan program untuk meramalkan kadar DO dengan kesalahan relatif antara 0,369 – 5,649 pada bendung konvensional, antara 0,240 – 4,846 pada bendung berterap dengan anak tangga datar, antara 0,075 – 7,310 pada bendung berterap dengan anak tangga miring  $20^\circ$ , antara 0,550 – 6,544 pada bendung berterap dengan anak tangga miring  $30^\circ$

# **BAB I**

## **PENDAHULUAN**

### **1.2 Latar Belakang**

Dengan keberadaan bangunan air yang melintang pada suatu aliran air baik berupa bendungan, bendung, atau bangunan yang lain dimaksudkan untuk menaikkan muka air untuk suplai air irigasi dan keperluan pengelolaan yang lain, disamping fungsi diatas tersebut diharapkan dengan adanya bangunan tersebut dapat digunakan untuk memperbaiki kualitas air yang melintasi bangunan tersebut.

Aliran normal yang terjadi disaluran air biasanya adalah aliran sub kritis. Pada saat aliran air melintasi bendung, selalu terjadi proses perubahan aliran air dari aliran sub kritis menuju aliran kritis dan super kritis sehingga harus terjadi pelepasan energi akibat perubahan bentuk aliran untuk menjadikan aliran tersebut kembali menjadi sub kritis. Dampak pelepasan energi tersebut selalu ditandai dengan terjadinya olakan air.

Adanya proses olakan air ini akan meningkatkan kandungan oksigen dalam air (*Dissolved Oxygen*) akibat meningkatnya kontak air dengan udara (proses reaerasi) dan berakibat baik serta mendukung proses mandiri aliran air memperbaiki kualitasnya (*self purification*).

Mengingat pentingnya proses reaerasi dalam peningkatan kualitas air sungai maka penelitian mengenai proses reaerasi ini perlu dilakukan sehingga proses reaerasi tersebut dapat dimanfaatkan sebaik baiknya dalam rangka pelestarian sumber daya air.

Penelitian ini adalah penelitian yang menggabungkan bidang ilmu hidrolik dengan lingkungan khususnya kualitas air untuk mengetahui bahwa adanya bangunan air juga memiliki andil dalam proses perbaikan lingkungan khususnya air.

### **2.2. Identifikasi Masalah**

Aliran air yang melimpas di punggung bendung akan mengalami 2 (dua) fase aliran ; yaitu kondisi aliran kritis sampai dengan aliran super kritis dan kondisi aliran super kritis kembali ke sub kritis. Pada kondisi pertama akan terjadi limpasan air dan pada kondisi kedua akan terjadi olakan air. Adanya proses limpasan dan olakan ini akan meningkatkan kandungan oksigen dalam air (oksigen terlarut) akibat meningkatnya kontak air dengan udara.

Analisis kandungan oksigen dalam air yang diambil sebelum dan setelah bendung diharapkan akan memberikan gambaran peningkatan kandungan oksigen dalam air.

### **2.3. Batasan Masalah**

Studi ini perlu diadakan pembatasan masalah agar dapat mengarah sesuai tujuan. Adapun batasan masalah dalam penyusunan laporan tugas akhir ini adalah

2. Data yang dipakai adalah data hasil penelitian dilaboratorium hidrolika saluran terbuka Fakultas Teknik Pengairan Universitas Brawijaya dengan menggunakan flume segiempat.
3. Data oksigen terlarut adalah data hasil pengujian oleh Laboratorium Air dan Tanah Jurusan Teknik Pengairan Fakultas Teknik Universitas Brawijaya Malang dengan menggunakan alat DO meter.
4. Penelitian dilakukan dengan menggunakan perlakuan yang berbeda berupa 5 variasi debit pengaliran dan 3 variasi anak tangga yaitu datar, miring  $20^{\circ}$  dan miring  $30^{\circ}$ .
5. Model yang dibuat dengan ketinggian 17 cm.
6. Bagian hulu dari bendung dibuat tegak sesuai standart *USBR*.
7. Bahan bendung terbuat dari kayu jati.
8. Penelitian dilakukan terhadap kondisi aliran skimming (air mengalir melalui permukaan berterap sebagai suatu aliran yang tidak terputus) dan nappe (aliran yang mengalir dari setiap anaktangga yang lebih tinggi letaknya memancar dan jatuh membentur anaktangga di bawahnya.).
9. Penampang saluran terbuka berbentuk segi empat
10. Kemiringan slope saluran adalah datar ( $S \approx 0$ )

### **1.4. Rumusan Masalah**

Dengan berpedoman pada permasalahan diatas maka dapat dirumuskan suatu permasalahan sebagai berikut :

1. Bagaimana pengaruh perubahan debit dan penambahan anak tangga pada bendung konvensional terhadap kandungan DO ?
2. Bagaimana pengaruh perubahan debit dan variasi anak tangga (datar, kemiringan  $20^{\circ}$  dan  $30^{\circ}$ ) terhadap kandungan DO pada bendung berterap?
3. Bagaimana menggunakan regresi linier berganda dalam meramalkan hasil pengukuran DO.

## **2.5. Tujuan**

Tujuan dari penelitian adalah :

1. Mengetahui perubahan konsentrasi DO dengan penambahan anak tangga pada bendung konvensional
2. Mengetahui perubahan konsentrasi DO dengan perubahan debit dan variasi anak tangga (datar, kemiringan  $20^0$  dan  $30^0$ ) pada bendung berterap.
3. Menggunakan regresi linier berganda dalam meramalkan hasil pengukuran DO.

## **1.6 Manfaat**

Manfaat dari penelitian ini adalah diharapkan akan didapatkan keunggulan bendung berterap dalam meningkatkan konsentrasi oksigen terlarut yang merupakan salah satu parameter kualitas air.

## **BAB II**

### **TINJAUAN PUSTAKA**

#### **2.1. Kualitas Air**

Keberadaan air baik secara kualitas maupun kuantitas menjadi suatu permasalahan yang tidak dapat dianggap remeh. Secara kuantitas jumlah air tawar yang ada di bumi dan dapat dimanfaatkan manusia relatif tidak berubah, sementara jumlah kebutuhan akan air meningkat. Sehingga air menjadi terbatas baik jumlah ataupun kualitasnya. Kondisi diatas diperburuk lagi dengan pencemaran yang terjadi akibat limbah proses penggunaan air, baik dari rumah tangga, pertanian maupun industri, sehingga tidak saja menjadikan ketersediaan air bersih menjadi semakin sulit didapatkan tetapi juga diikuti dengan dampak yang buruk bagi lingkungan dan kesehatan makhluk hidup. Oleh karena itu upaya menjaga kelestarian kualitas air yang ada bisa dimanfaatkan secara optimal.

Teknik kualitas air pada dasarnya dibagi menjadi 2 (dua) bagian, yaitu proses pembersihan air (*Water Treatment*) dan proses penanganan air limbah (*Waste Water Treatment*). Proses pembersihan air umumnya ditujukan untuk keperluan air minum, air untuk industri dan air untuk pertanian., sedang proses penanganan air limbah adalah penanganan air yang telah pernah digunakan. Proses yang dilakukan adalah dengan pengumpulan dan pengolahan secara fisik, kimia maupun biologis sampai tataran tertentu sesuai dengan syarat yang telah ditentukan, sebelum air dikembalikan ke badan air.

Peraturan Pemerintah Republik Indonesia Nomor 82 tahun 2001 tentang pengelolaan kualitas air dan pengendalian pencemaran air, menetapkan bahwa menurut peruntukannya , kualitas air dibagi menjadi 4 (empat) golongan yaitu:

1. Golongan I

Adalah air yang peruntukannya dapat digunakan untuk baku air minum, dan atau peruntukan lain yang mempersyaratkan mutu air yang sama dengan kegunaan tersebut.

2. Golongan II

Adalah air yang peruntukannya dapat digunakan untuk prasarana/sarana rekreasi air, pembudidayaan ikan air tawar, peternakan, air untuk mengairi tanaman, dan atau peruntukan lain yang mempersyaratkan mutu air yang sama dengan kegunaan tersebut.

### 3. Golongan III

Adalah air yang peruntukannya dapat digunakan untuk pembudidayaan ikan air tawar, peternakan air untuk mengairi pertanian, dan atau Peruntukan lain yang sama dengan kegunaan tersebut.

### 4. Golongan IV

Adalah air yang peruntukannya hanya dapat digunakan untuk mengairi tanaman, dan atau peruntukan lain yang mempersyaratkan mutu air yang sama dengan kegunaan tersebut.

## 2.2 Parameter Kualitas Air

Untuk mengetahui apakah suatu air tercemar atau tidak, diperlukan pengujian untuk menentukan sifat-sifat air sehingga dapat diketahui apakah terjadi penyimpangan dari batasan-batasan yang sudah ditentukan. Parameter kualitas air yang umum diuji dan dapat digunakan sebagai penentu tingkat pencemaran air adalah (Fardiaz, 1992 : 21) :

1. Nilai pH,
2. Suhu,
3. Warna, bau dan rasa,
4. Jumlah padatan,
5. Nilai DO, BOD dan COD,
6. Pencemaran mikroorganisme pathogen,
7. Kandungan minyak,
8. Kandungan logam berat, dan
9. Kandungan bahan radio aktif

### 2.2.1 Oksigen Terlarut (*Dissolved Oxygen*)

Oksigen terlarut merupakan kebutuhan dasar untuk kehidupan tanaman dan hewan didalam air. Kehidupan makhluk hidup didalam air sangat bergantung dari kemampuan air untuk mempertahankan konsentrasi oksigen minimal yang dibutuhkan untuk kehidupan makhluk hidup tersebut. Ikan merupakan makhluk air yang memerlukan oksigen tertinggi, kemudian invertebrate, dan yang terkecil kebutuhannya adalah adalah bakteri. Biota air hangat memerlukan oksigen terlarut minimal 5 ppm, sedang biota air dingin memerlukan Oksigen terlarut mendekati jenuh. Konsentrasi oksigen terlarut minimal untuk kehidupan biota tidak kurang dari 6 ppm.

Oksigen terlarut (*dissolved oxygen*) dapat berasal dari proses fotosintesis tanaman air dan dari udara yang masuk ke dalam air dengan kecepatan terbatas. Konsentrasi oksigen terlarut dalam keadaan jenuh, bervariasi tergantung dari suhu dan tekanan atmosfer. Pada suhu 20°C dengan tekanan 1 atmosfer, konsentrasi oksigen terlarut dalam keadaan jenuh adalah 9,2 ppm, sedangkan pada suhu 50°C dengan tekanan yang sama, tingkat kejenuhannya hanya 5.6 ppm. Untuk lebih jelasnya dapat dilihat dari tabel 2.1.

Konsentrasi oksigen terlarut yang terlalu rendah akan mengakibatkan ikan-ikan dan binatang lainnya serta tanaman air yang membutuhkan oksigen akan mati, sedang bila oksigen terlarut terlalu tinggi juga bisa mengakibatkan proses pengkaratan semakin cepat, karena oksigen akan mengikat hidrogen yang melapisi permukaan logam.

Air yang sehat minimal mempunyai kadar oksigen terlarut 5 – 7 ppm pada suhu 20°C. Penetapan kadar oksigen terlarut dapat dilakukan dengan metode titrimetri Winkler. Prinsip dasarnya oksigen yang terdapat di dalam air diikat dengan Mn(OH)<sub>2</sub>. Senyawa Mn(OH)<sub>2</sub> yang terjadi direaksikan dengan larutan KI dalam suasana asam. Senyawa I<sub>2</sub> yang dibebaskan dapat dititrasi dengan larutan baku Na<sub>2</sub>S<sub>2</sub>O<sub>3</sub> dan sebagai indikator digunakan larutan amilum. Adapun perhitungan reaksinya sebagai berikut:

$$\text{Kadar Oksigen Terlarut (mg/L)} = \frac{1000 \times V_1 \times N_{\text{thio}}}{(V_2 - 2)} \times 8 \quad (2-1)$$

Dimana :

V<sub>1</sub> = volume Na<sub>2</sub>S<sub>2</sub>O<sub>3</sub> yang digunakan untuk titrasi

N<sub>thio</sub> = Konsentrasi larutan Na<sub>2</sub>S<sub>2</sub>O<sub>3</sub>

V<sub>2</sub> = volume sampel air yang diperiksa

### 2.2.2 Bahan buangan yang memerlukan Oksigen

Air dikategorikan tercemar jika konsentrasi oksigen terlarut menurun dibawah batas yang dibutuhkan untuk kehidupan biota air. Penyebab utama berkurangnya oksigen terlarut dalam air adalah adanya bahan-bahan buangan yang mengkonsumsi oksigen. Bahan-bahan tersebut adalah bahan yang mudah dibusukkan atau mudah dipecahkan bakteri dengan adanya oksigen, dengan kata lain oksigen terlarut dalam air dikonsumsi oleh bakteri untuk menguraikan bahan buangan tersebut. Oleh karena itu semakin tinggi kandungan bahan buangan tersebut makin berkurang konsentrasi oksigen terlarut.

Bahan-bahan buangan yang memerlukan oksigen terutama terdiri dari bahan-bahan organik dan mungkin beberapa bahan anorganik. Bahan-bahan buangan semacam itu biasanya berasal dari sampah rumah tangga, kotoran manusia dan hewan, tanaman mati, bangkai hewan, bahan buangan industri pengolahan pangan, pabrik kertas, industri penyamakan kulit, pemotongan daging, pembekuan ikan dan udang, pabrik gula, pengolahan susu, dan lain sebagainya. Konsentrasi bahan buangan tersebut selain dipengaruhi oleh jumlah bahan buangan, juga dipengaruhi oleh jumlah air yang dicemari. Oleh karena itu, pada waktu musim panas pada saat air sungai atau danau sedang surut, maka konsentrasi bahan buangan tersebut akan meningkat sehingga konsentrasi oksigen terlarut juga akan turun.

Bahan buangan yang memerlukan oksigen biasanya mengandung karbon sebagai unsur yang terbanyak. Salah satu reaksi yang terjadi dengan pertolongan bakteri adalah oksidasi karbon menjadi karbondioksida ( $C + O_2 \rightarrow CO_2$ ). Pada reaksi oksidasi tersebut, diperlukan 32 gram oksigen untuk mengoksidasi 12 gram karbon. Jadi karbon memerlukan oksigen sebanyak tiga kali beratnya untuk melangsungkan reaksi tersebut atau diperlukan 9 ppm oksigen untuk bereaksi dengan kira-kira 3 ppm karbon terlarut. (Ferdiaz, 1992 : 34)

Reaksi oksidasi diatas disebut reaksi pembakaran sempurna. Tetapi sebelum terbentuknya  $CO_2$ , biasanya akan terbentuk hasil oksidasi sementara seperti alkohol, asam, amina, ammonia dan hydrogen sulfida. Senyawa hasil sementara tersebut selain berbau busuk juga bersifat racun terhadap hewan dan manusia.

Karena bahan buangan yang memerlukan oksigen tersebut dapat menurunkan kadar oksigen terlarut dengan cepat, maka uji terhadap bahan buangan tersebut sangat penting dilakukan untuk mengetahui tingkat pencemaran air. Ada dua cara yang bisa digunakan untuk mengetahui, yaitu dengan uji BOD (Biological Oxygen Demand) dan uji COD (Chemical Oxygen Demand). Pada prinsipnya kedua uji tersebut mengukur kebutuhan oksigen untuk proses oksidasi bahan buangan, hanya saja dalam uji BOD melalui reaksi biokimia oleh bakteri, sedang dalam uji COD melalui reaksi kimia murni.

### **2.3 Proses Transformasi Oksigen Terlarut**

Proses Transformasi Oksigen Terlarut (DO) banyak dibuat dalam bentuk model oksigen terlarut. Banyak model Oksigen Terlarut yang kini digunakan berdasarkan model yang telah dibuat oleh Streeter dan Phelps pada tahun 1925. model tersebut

memprediksi perubahan defisit oksigen sebagai fungsi dari BOD yang digunakan dan re-aerasi dari aliran (tchobanoglous, 1987 : 84) :

$$D = C_s - C \quad (2-2)$$

Dimana :

$D$  = Defisit oksigen terlarut ( mg/l)

$C_s$  = Kandungan oksigen dalam keadaan jenuh (mg/l)

$C$  = Kandungan oksigen pada suhu tertentu (mg/l)

Dalam kondisi kesetimbangan yang konstan, harga  $C_s$  tidak berubah. Jadi, defisit meningkat setara dengan meningkatnya penggunaan oksigen. Defisit oksigen terlarut mengendalikan kekuatan dari re-aerasi. Semakin besar defisit semakin besar pula harga re-aerasi.

## 2.4 Laju Pelepasan Oksigen (*Deoksigenasi*)

Tchobanoglous (1987 : 85) berpendapat bahwa proses berkurangnya DO bersamaan dengan proses meningkatnya BOD. Semakin meningkatnya penggunaan BOD maka akan meningkatkan pula nilai defisit oksigen. BOD<sub>5</sub> hanya menunjukkan kebutuhan oksigen selama 5 (lima) hari. Total BOD atau BOD untuk suatu periode waktu tertentu dapat ditentukan dengan penambahan beberapa informasi. Konstanta yang menunjukkan penggunaan bahan organik oleh mikroorganisme diasumsikan merupakan reaksi orde satu, konstanta reaksi tersebut dinyatakan sudah cukup untuk mendapatkan jumlah BOD yang ada (Metcalf & Eddy, 1991:72)

Yang mana keadaan tersebut merupakan reaksi orde satu dan menunjukkan besarnya perubahan pengurangan Oksigen Terlarut pada saat  $t$  daripada BOD adalah sebanding dengan oksigen ekuivalen bahan organik yang tersisa. Dan persamaan laju pelepasan oksigen dirumuskan sebagai berikut :

$$r_1 = k_1 \cdot L_1 \quad (2-3)$$

Dimana :

$r_1$  = Laju pelepasan oksigen (mg/L.hari)

$k_1$  = Konstanta laju pelepasan (hari<sup>-1</sup>)

$L_1$  = sisa BOD dari karbon pada waktu  $t$  (mg/L)

### 2.4.1 Koefisien Laju Pelepasan Oksigen

Koefisien laju pelepasan oksigen ( $k_1$ ) tidak hanya bergantung pada waktu dan temperature saja akan tetapi bergantung pada tipe bahan organik yang ada dan kondisi

biologis, kimiawi dan fisik dari air limbah yang ada. Perhitungan koefisien ini biasanya dilakukan pada suhu 20<sup>0</sup>C. oleh karena itu terkadang disebut k<sub>1,20</sub>.

Nilai k<sub>1,20</sub> biasanya sekitar 0,05 sampai 0,2 per-hari untuk buangan proses biologis kisarannya adalah 0,05-0,10 per-hari. Untuk limbah suatu air tertentu, nilai k<sub>1,20</sub> dapat dicari melalui percobaan dengan mengamati variasi waktu dan oksigen terlarut pada suatu seri contoh yang sudah diinkubasi.

Telah diketahui bahwa variasi k<sub>1</sub> adalah berubah menurut suhu, yaitu sebagai berikut :

$$k_{1,T} = k_{1,20} - 1.047^{T-20} \quad (2-4)$$

dengan :

k<sub>1,20</sub> = koefisien laju pelepasan oksigen pada suhu 20<sup>0</sup>C (hari<sup>-1</sup>)

T = Temperatur (C<sup>0</sup>)

(Linsley,1991:256)

## 2.5 Laju Penyerapan Oksigen (*Reoksigenasi*)

Telah dijelaskan di atas bahwa besarnya reaerasi reaksi orde satu berkenaan dengan besarnya defisit oksigen. Secara matematis laju penyerapan oksigen dapat diekspresikan sebagai berikut : ( Tchobanoglous, 1987 :86)

$$r_2 = k_2 \cdot D \quad (2-5)$$

Dimana :

r<sub>2</sub> = Laju penyerapan oksigen (mg/L.hari)

k<sub>2</sub> = Konstanta laju reaerasi (hari<sup>-1</sup>)

D = Defisit Oksigen Terlarut (mg/L)

Tanda negatif pada persamaan diatas hanya menunjukkan secara fakta bahwa penambahan oksigen mereduksi pengurangan oksigen. Nilai k<sub>2</sub> merupakan nilai yang spesifik. Factor yang mempengaruhi k<sub>2</sub> meliputi turbulensi aliran (merupakan fungsi dari kecepatan dan karakteristik saluran/sungai), luas permukaan, kedalaman air dan suhu.

### 2.5.1 Koefisien Laju Penyerapan Oksigen

Koefisien laju penyerapan oksigen atau re-aerasi (k<sub>2</sub>) merupakan nilai yang spesifik. Faktor yang mempengaruhi k<sub>2</sub> meliputi turbulensi aliran, merupakan fungsi dan kecepatan dan karakteristik saluran atau sungai, luas permukaan, kedalaman air dan suhu. (Metcalf dan Eddy, 1991:1203). Nilai koefisien laju rearasi dinyatakan melalui suatu rumus yang diajukan oleh O'Connor dan Dobbins yaitu : (Linsley,1991 :266)

$$K_2 = 1.27 \frac{(MU)^{1/2}}{H^{2/3}} \quad (2-6)$$

Dimana :

M = koefisien difusi molekuler pada suhu 20<sup>0</sup>C, (ft<sup>2</sup>/hari)

U = kecepatan sungai/saluran rata-rata (ft/s)

H = kedalaman aliran rata-rata (ft)

Koefisien difusi molekuler pada suhu T didapat dari persamaan : (Linsley, 1991:266)

$$M_T(\text{ft}^2/\text{hari}) = 0.00192 \times 1.04^{(T-20)}$$

**Tabel 2.1** Koefisien Re-aerasi k<sub>2</sub> 20<sup>0</sup> C

No	Jenis Badan Air	Nilai*(hari <sup>-1</sup> )
1	Kolam kecil	0.05 - 0.10
2	Sungai dengan aliran lambat	0.10 - 0.15
3	Danau besar	0.10 - 0.15
4	Sungai besar	0.15 - 0.30
5	Sungai besar dengan aliran cepat	0.30 - 0.50
6	Jeram	>0.50

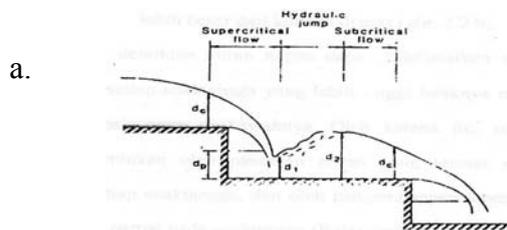
Sumber : Linsley dan Franzini, (1986:267)

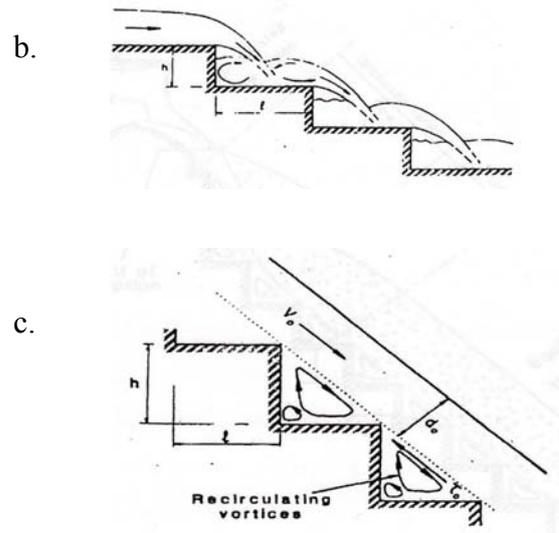
## 2.6 Bendung Berterap

Bendung berterap semakin populer pada tahun belakangan ini terutama disebabkan oleh pengeluaran biaya untuk konstruksi secara intrinsik rendah dan cepat proses pembangunannya (Logie, (1985) dan Parker, (1992) dalam Chamani *et.al* (1999)).

Bendung berterap adalah bendung yang bagian punggungnya dibangun serangkaian terap-terap anaktangga-anaktangga dengan ukuran tertentu sehingga terbentuklah kemiringan punggung bendung sesuai dengan keinginan perencananya. Jelasnya adalah bahwa kemiringan punggung bendung didapatkan dengan cara menghubungkan puncak-puncak dari serangkaian anaktangga- anaktangga.

Diketahui Rajaratnam (1990) dan Chanson (1994) bahwa aliran yang terjadi pada model bendung berterap dapat diklasifikasikan menjadi dua jenis rezim aliran yaitu aliran nappe dan aliran skimming (gambar 2.2a, 2.2b dan 2.2c).





**Gambar 2.1.**

- a. Aliran Nappe dengan loncatan hidrolik yang berkembang secara penuh;
- b. Aliran Nappe dengan loncatan hidrolik yang berkembang secara partial;
- c. Aliran Skimming di atas bendung berterap.

Sumber: (Chanson, 1993: 423).

Aliran nappe dengan loncatan hidrolik secara penuh terjadi untuk debit aliran yang relatif lebih rendah dan kedalaman aliran yang relatif kecil (gbr. 2.1 a), sedangkan aliran nappe dengan loncatan hidrolik secara partial terjadi dengan debit yang sedikit lebih besar dari kondisi di atas (gbr. 2.1 b).

Dengan demikian aliran nappe dapat didefinisikan sebagai aliran yang mengalir dari setiap anaktangga yang lebih tinggi letaknya memancar dan jatuh membentur anaktangga di bawahnya. Oleh karena itu, kuantitas peredaman energinya ditentukan oleh pancaran aliran yang terurai di udara, benturan pancaran di setiap anaktangga, dan oleh pengembangan loncatan hidrolik secara penuh maupun partial pada anaktangga (Rajaratnam, 1990).

Dalam aliran skimming, air mengalir melalui permukaan berterap sebagai suatu aliran yang tidak terputus. Hal ini terjadi karena debit yang mengalir relatif besar dan tepi luar anaktangga-anaktangga dapat dianggap sebagai dasar saluran semu dengan aliran melimpas di atasnya. Di bawah dasar saluran semu berkembang pusaran air berulang - ulang pada sumbu horisontal, mengisi daerah antara aliran utama dengan anaktangga-anaktangga. Pusaran ini terjadi secara terus menerus menghasilkan tegangan geser dari aliran yang melimpas di anaktangga-anaktangga (gbr. 2.1 c).

Di bagian hulu dekat puncak, alirannya nampak halus dan tidak terjadi pemasukkan udara / teraerasi, namun di bagian hilirnya karakteristik alir sebagian besar

mengandung udara dan terjadi pusaran air yang kuat di setiap kaki anaktangga. Sehingga peredaman energinya sebagian besar ditentukan oleh perpindahan momentum antara aliran utama dan perputaran berulang - ulang dari air yang terjebak di antara anaktangga.

Persamaan tinggi energi- debit yang digunakan yaitu

$$Q = C_d \frac{2}{3} \sqrt{2/3gb} H_1^{1.5}$$

dimana : Q = debit

$C_d$  = koefisien debit

g = percepatan gravitasi

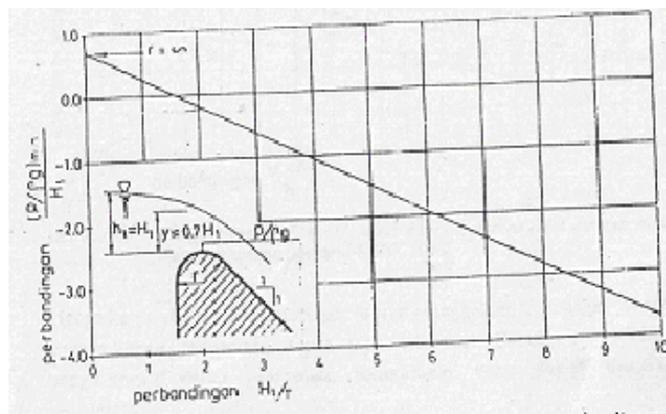
b = panjang mercu

$H_1$  = tinggi energi diatas bendung

Koefisien debit  $C_d$  adalah hasil dari :

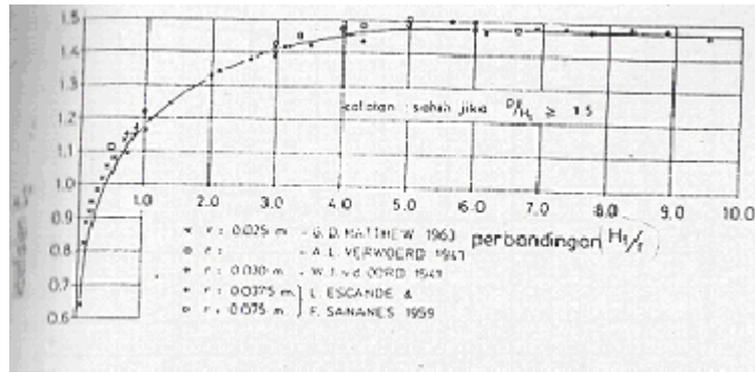
- $C_0$  adalah konstanta
- $C_1$  adalah fungsi  $p/hd$  dan  $H/hd$
- $C_2$  adalah faktor koreksi untuk permukaan hulu bendung

$C_0$  mempunyai harga maksimum 1,49 jika  $H_1/r$  lebih dari 5,0 seperti diperlihatkan pada gambar

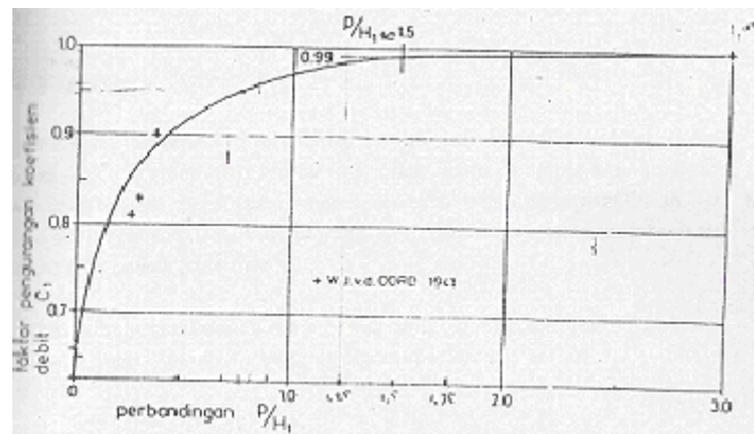


**Gambar 2.2** tekanan pada mercu bendung sebagai fungsi perbandingan  $H_1/r$

Harga harga  $C_0$  pada gambar 4.5 valid apabila mercu bendung cukup tinggi diatas rata rata alur pengarah ( $p/H_1 \geq 1,5$ ) dalam tahap perencanaan p dapat diambil setengah dari jarak dari mercu sampai dasar rata rata sungai sebelum bendung tersebut dibuat. Untuk harga harga  $p/H_1$  yang kurang dari 1,5 maka gambar 4.6 dapat dipakai untuk menemukan faktor pengurangan  $C_1$

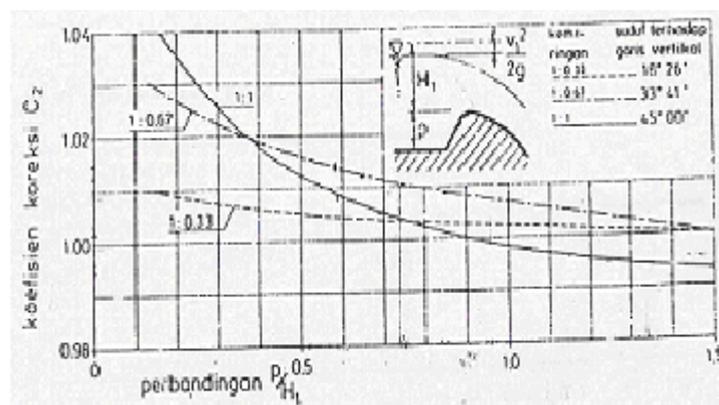


**Gambar 2.3** Harga-harga koefisien  $C_0$  untuk bendung ambang gulat sebagai fungsi perbandingan  $H_1/r$



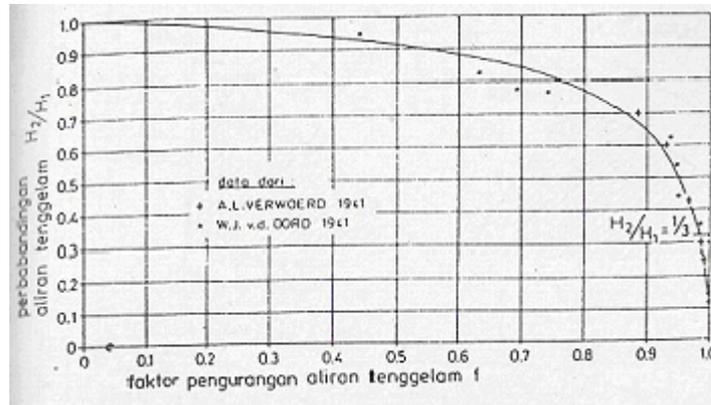
**Gambar 2.4** Koefisien  $C_1$  sebagai fungsi perbandingan  $p/H_1$

Harga harga koefisien koreksi untuk pengaruh kemiringan muka bendung bagian hulu terhadap debit diberikan pada gambar 4.7. harga koefisien koreksi  $C_2$  diandaikan kurang lebih sama dengan harga faktor koreksi untuk bentuk bentuk mercu tipe Ogee.



**Gambar 2.5** Harga harga koefisien  $C_2$  untuk bendung mercu Ogee dengan muka hulu melengkung (menurut USBR. 1960)

Harga harga aktor pengurangan aliran tenggelam  $f$  sebagai fungsi perbandingan tenggelam dapat diperoleh dari gambar 4.8 faktor pengurangan aliran tenggelam mengurangi debit dalam keadaan tenggelam.

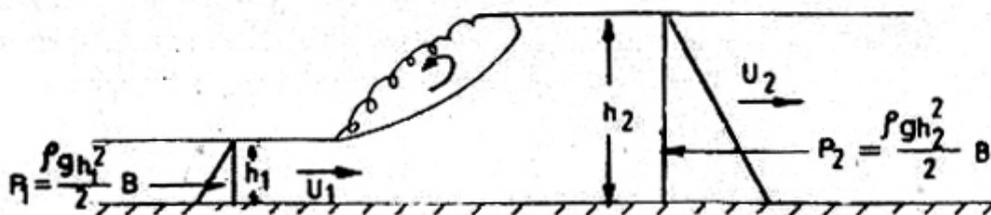


**Gambar 2.6** Faktor pengurangan aliran tenggelam sebagai fungsi  $H_2/H_1$

## 2.7 Loncatan Hidrolik

Loncatan hidrolik terjadi jika aliran superkritis berubah menjadi aliran subkritis pada jarak dan kedalaman tertentu. Aliran superkritis akan mengalami loncatan sampai pada kedalaman aliran yang merupakan pertemuan 2 jenis aliran tersebut, yang dinamakan kedalaman konjugasi. Umumnya loncatan hidrolik disertai dengan kenaikan permukaan air secara mendadak dan kehilangan tinggi energi yang cukup besar.

Pada loncatan hidrolik akan terjadi pergolakan air di permukaan yang terjadi pada awal loncatan dan berakhir pada ujung loncatan, disinilah proses kehilangan energi terjadi. Pada peristiwa loncatan hidrolik komponen dasar yang berpengaruh pada perhitungan energi adalah momentum.



**Gambar 2.7**

Persamaan momentum dalam loncatan hidrolik pada saluran segiempat

Sumber : Ranga Raju, 1986 : 12

Pada saluran persegi empat, horisontal tanpa gesekan, persamaan momentum yang terjadi adalah (Ranga Raju, 1986 : 12)

$$P_1 - P_2 = \rho \cdot Q \cdot (U_2 - U_1) \quad (2-7)$$

$$\text{atau} \quad \left( \frac{1}{2} \cdot \rho \cdot g \cdot h_1^2 - \frac{1}{2} \cdot \rho \cdot g \cdot h_2^2 \right) \cdot B = \rho \cdot U_1 \cdot h_1 \cdot B \cdot (U_2 - U_1) \quad (2-8)$$

$$\text{yaitu} \quad (h_1 - h_2) \cdot (h_1 + h_2) = \frac{2 \cdot U_1 \cdot h_1}{g} \cdot (U_2 - U_1) \quad (2-9)$$

$$\text{Sedangkan dari persamaan kontinuitas : } q = U_1 \cdot h_1 = U_2 \cdot h_2 \quad (2-10)$$

Dengan menggabungkan persamaan (2-8) dan (2-9) diperoleh :

$$(h_1 - h_2) \cdot (h_1 + h_2) = \frac{2 \cdot U_1^2 \cdot h_1}{g \cdot h_2} \cdot [h_1 - h_2] \quad (2-11)$$

$$\text{atau} \quad (h_1 + h_2) = \frac{2 \cdot U_1^2}{g} \cdot \frac{h_1}{h_2} \quad (2-12)$$

$$\text{yaitu} \quad \frac{h_2}{h_1} \cdot \left( 1 + \frac{h_2}{h_1} \right) = 2 \cdot F_1^2 \quad (2-13)$$

$$\text{dimana} \quad F_1 = \frac{U_1}{\sqrt{g \cdot h_1}} \quad (2-14)$$

dengan menyederhanakannya, akan didapat :

$$\frac{h_2}{h_1} = \frac{1}{2} \cdot \left[ \sqrt{1 + 8 \cdot F_1^2} - 1 \right] \quad (2-15)$$

Dimana :

$P_1$  = tekanan hidrostatis pada hulu (sebelum loncatan) (kg.m/dt<sup>2</sup>)

$P_2$  = tekanan hidrostatis pada hilir (setelah loncatan) (kg.m/dt<sup>2</sup>)

$\rho$  = rapat massa air (kg/m<sup>3</sup>)

$h_1$  = tinggi air sebelum loncatan (*sequent depths*) (m)

$h_2$  = tinggi air setelah loncatan (*conjugate depths*) (m)

$B$  = lebar saluran (m)

$U_1$  = kecepatan air sebelum loncatan (m/dt)

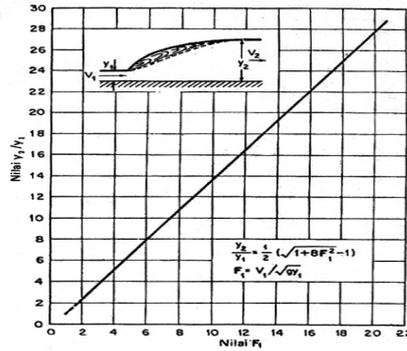
$U_2$  = kecepatan air setelah loncatan (m/dt)

$g$  = percepatan gravitasi (m/dt<sup>2</sup>)

$q$  = debit per satuan lebar saluran (m<sup>3</sup>/dt/m)

$F_1$  = bilangan Froude yang terjadi di daerah hulu (sebelum loncatan)

Sehingga dari persamaan tersebut dapat terlihat hubungan antara  $F_1$  dan  $h_2/h_1$  seperti pada gambar kurva berikut berikut:

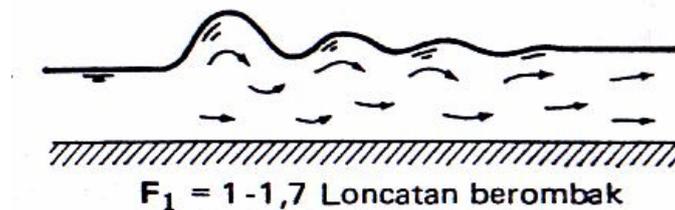


**Gambar 2.8** Kurva hubungan antara  $F_1$  dan  $y_2/y_1$   
 Sumber : Ven Te Chow, 1997 : 357

### 2.7.1 Jenis Loncatan Hidrolik

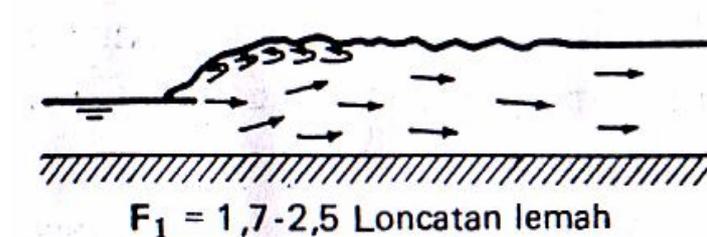
Loncatan hidrolik yang terjadi pada dasar mendatar, terdiri dari beberapa jenis yang berbeda-beda. Sesuai dengan penelitian yang dilakukan oleh Biro Reklamasi Amerika Serikat, jenis tersebut dapat dibeda-bedakan berdasarkan bilangan Froude  $F_1$  aliran sebagai berikut (Chow, 1997 : 358) :

1. Untuk  $F_1 = 1$ , aliran kritis, sehingga tidak dapat terbentuk loncatan.
2. Untuk  $F_1 = 1$  sampai 1.7, terjadi ombak pada permukaan air dan loncatan yang terjadi dinamakan loncatan berombak.



**Gambar 2.9** Loncatan berombak  
 Sumber : Ven Te Chow, 1997 : 358

3. Untuk  $F_1 = 1.7$  sampai 2.5 terbentuk gulungan ombak pada permukaan loncatan, tetapi permukaan air di hilir tetap halus. Kecepatannya seragam dan kehilangan energinya kecil. Loncatan ini dinamakan loncatan lemah .



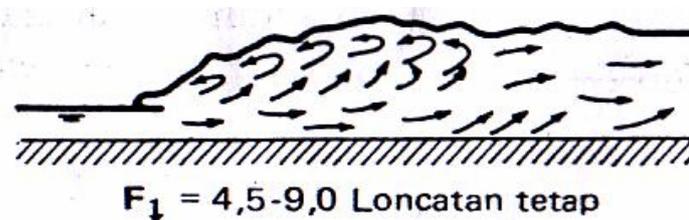
**Gambar 2.10** Loncatan lemah  
 Sumber : Ven Te Chow, 1997 : 358

4. Untuk  $F_1 = 2.5$  sampai  $4.5$  terbentuk semburan berosilasi menyertai dasar loncatan bergerak ke permukaan dan kembali lagi. Setiap osilasi menghasilkan gelombang tak teratur yang besar dan menjalar, menyebabkan kerusakan pada lapis lindung. Loncatan ini dinamakan loncatan berosilasi.



**Gambar 2.11** Loncatan berosilasi  
Sumber : Ven Te Chow, 1997 : 358

5. Untuk  $F_1 = 4.5$  sampai  $9.0$  ujung permukaan hilir akan bergulung dan titik di mana kecepatan semburannya tinggi cenderung memisahkan diri dari aliran. Loncatan hidroliknya sangat seimbang dan karakteristiknya adalah yang terbaik. Peredaman energinya antara  $45$  sampai  $70\%$ . Loncatan ini dinamakan loncatan tunak.



**Gambar 2.12** Loncatan tetap  
Sumber : Ven Te Chow, 1997 : 357

6. Untuk  $F_1 = 9.0$  dan yang lebih besar, kecepatan semburan yang tinggi akan memisahkan hempasan gelombang gulung dari permukaan loncatan, menimbulkan gelombang hilir. Gerakan loncatan jarang terjadi, tetapi efektif karena peredaman energinya dapat mencapai  $85\%$ . Loncatan ini dinamakan loncatan kuat.



$F_1 > 9,0$ , Loncatan kuat

**Gambar 2.13** Loncatan kuat  
Sumber : Ven Te Chow, 1997 : 358

### 2.7.2 Sifat-Sifat Dasar Loncatan Hidrolik

Beberapa sifat-sifat dasar loncatan hidrolik pada saluran persegi dengan dasar mendatar dapat diuraikan sebagai berikut (Chow, 1997: 359):

#### 1. Kehilangan Energi

Adalah sama dengan perbedaan energi spesifik sebelum dan sesudah terjadinya loncatan besarnya kehilangan energi adalah :

$$\Delta E = E_1 - E_2 = \frac{(y_2 - y_1)^3}{4y_1 y_2} \quad (2-16)$$

dengan :

$\Delta E$  = kehilangan energi (m)

$E_1$  = energi spesifik sebelum loncatan (m)

$E_2$  = energi spesifik sesudah loncatan (m)

$y_1$  = tinggi muka air sebelum loncatan (m)

$y_2$  = tinggi muka air sesudah loncatan (m)

Perbedaan  $E_1/E_2$  dinamakan kehilangan relatif

#### 2. Efisiensi Loncatan

Adalah rasio antara energi spesifik setelah loncatan dan sebelum loncatan. Jadi besarnya adalah

$$\frac{E_2}{E_1} = \frac{(8F_1^2 + 1)^{3/2} - 4F_1^2 + 1}{8F_1^2 (2 + F_1^2)} \quad (2-17)$$

#### 3. Tinggi loncatan

Adalah perbedaan antara kedalaman sesudah dan sebelum loncatan atau dapat dinotasikan sebagai berikut :

$$h_j = y_2 - y_1 \quad (2-18)$$

#### 4. Panjang Loncatan

Panjang loncatan dapat didefinisikan sebagai jarak antara permukaan depan pintu loncatan hidrolik sampai suatu titik pada permukaan gulungan ombak yang segera menuju ke hilir. Secara teoritis panjang loncatan ini sukar untuk ditentukan, tetapi telah diselidiki dengan berbagai percobaan oleh ahli-ahli hidrolika. Rumus yang sering digunakan untuk mencari panjang loncatan adalah sebagai berikut :

$$L_j = 6,9 (y_2 - y_1) \quad (2-19)$$

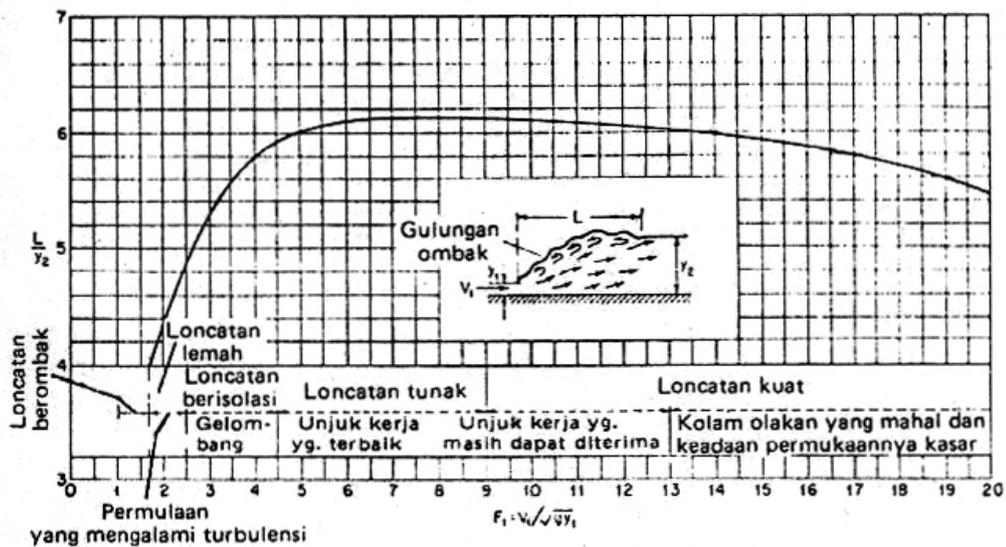
dengan :

$y_1$  = tinggi muka air sebelum loncatan (m)

$y_2$  = tinggi muka air sesudah loncatan (m)

$L_j$  = panjang loncatan (m)

Sesuai dengan penelitian yang dilakukan oleh Biro Reklamasi Amerika Serikat, menghasilkan kurva hubungan antara bilangan Froude  $F$  dan nisbah panjang loncatan terhadap kedalaman lanjutan  $L/y_2$ . Kurva tersebut menunjukkan keteraturan dimana loncatan terbentuk. Untuk lebih jelasnya mengenai kurva hubungan tersebut, dapat dilihat pada gambar berikut.

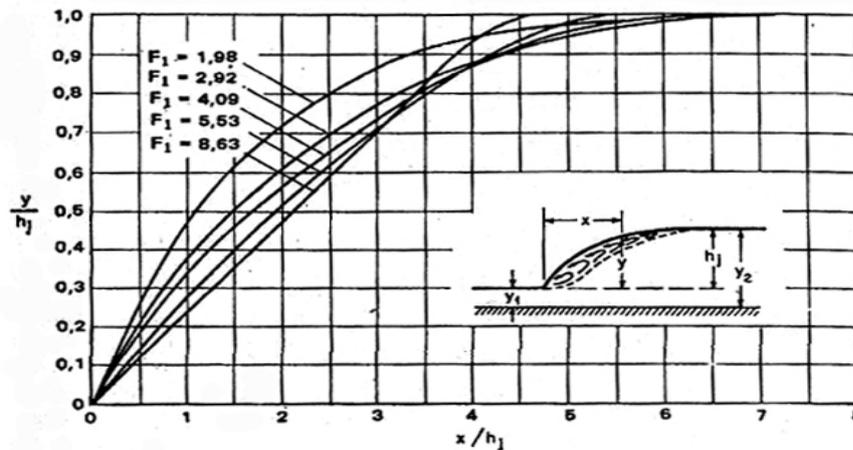


**Gambar 2.14** Kurva hubungan  $L/y_2$  dengan bilangan Froude

#### 5. Profil Permukaan

Pengetahuan mengenai profil suatu loncatan diperlukan dalam merancang tinggi bebas dari dinding penahan suatu kolam olakan, dimana loncatan tersebut terjadi. Disamping itu juga diperlukan untuk menentukan tekanan yang digunakan pada rancangan struktur.

Berdasarkan data-data percobaan yang dilakukan Bakhmeteff dan matzke, didapat bukti bahwa profil permukaan loncatan hidrolis dapat digambarkan dengan kurva-kurva tak berdimensi berbagai harga  $F$  seperti ditunjukkan pada gambar berikut.



**Gambar 2.15** Kurva hubungan antara  $x/h_1$  terhadap  $y/h_1$   
 Sumber : Ven Te Chow, 1997 : 362

## 2.8 Visual Basic (VB.6)

Terdapat dua prinsip dasar kerja program ini yaitu :

1. Pemrograman berbasis prosedur, yaitu program dibagi bagi menjadi prosedur-prosedur sesuai dengan fungsi kumpulan instruksi program.
2. Pemrograman berbasis objek, yaitu beberapa prosedur dikelompokkan lagi yang berhubungan menjadi sebuah objek.

Pemrograman berorientasi prosedur mulai ditinggalkan dan beralih pemrograman berorientasi objek (object oriented programming).

Aplikasi pada VB.6 terdiri dari :

- a. Form : bidang kerja dimana program kerja didesain dengan meletakkan object-object yang merupakan rangkaian dari perintah-perintah yang akan dikerjakan oleh aplikasi tersebut.
- b. Control : mempunyai bentuk grafis yang akan diletakkan diatas bidang kerja yang disebut form yang dapat berinteraksi dengan pemakai, seperti : TextBox, LabelBox, CommandButton
- c. Properties : Variabel atau predikat yang melekat pada setiap object (form dan control). Contoh : nama, caption, ukuran, warna, posisi, dan isi. Nilai dapat diubah sesuai keinginan pemrograman.
- d. Method : prosedur yang sudah dibuat pada setiap object yang sewaktu waktu dapat digunakan sesuai dengan tujuan method tersebut.

- e. Event Procedure : adalah kode yang dihubungkan dengan setiap object, yang akan melaksanakan tugasnya sesuai dengan nama event yang dimaksud. Kode ini akan bereaksi bila ada aksi dari unsur pada object yang bersangkutan.
- f. General Procedure : adalah kode-kode yang tidak berhubungan langsung dengan object-object yang ada. Prosedur ini akan dijalankan apabila dipanggil namanya dalam sebuah pernyataan pada baris program.
- g. Modules : adalah kumpulan dari beberapa general procedure, deklarasi variable dan definisi konstanta yang digunakan dalam sebuah aplikasi.
- h. Project (.VBP, .MAK)

Algoritma yang digunakan dalam analisa data adalah menggunakan metode analisis regresi berganda

### 2.8.1 Analisis Regresi Linier Berganda

Dalam berbagai hal, ingin diketahui bentuk hubungan antara dua peubah atau lebih, yang dapat dinyatakan sebagai suatu fungsi peubah Y terhadap peubah X. Peubah Y merupakan peubah respon yang tergantung dari peubah penjelas yaitu X. Bentuk hubungan ini dalam statistika disebut regresi Y pada X. Pola hubungan antara X dan Y dikatakan linier apabila besar perubahan nilai Y yang diakibatkan oleh perubahan nilai-nilai X konstan atau tetap pada jangkauan nilai X yang diperhitungkan (Handayani, 1996).

Menurut Gujarati (1995), model regresi berganda adalah model di mana peubah respon Y tergantung pada dua atau lebih peubah penjelas. Apabila model tersebut digunakan untuk menganalisis bentuk hubungan linier antara beberapa peubah penjelas secara bersama-sama dengan satu peubah respon, maka model tersebut disebut juga model regresi linier berganda.

Model regresi linier berganda dengan  $k$  peubah bebas, menurut Drapper dan Smith (1992) didefinisikan sebagai berikut :

$$Y_i = \beta_0 + \beta_1 X_{1i} + \beta_2 X_{2i} + \dots + \beta_k X_{ki} + \varepsilon_i$$

di mana :

$$i = 1, 2, 3, \dots, n$$

$$Y_i = \text{nilai pengamatan ke-}i$$

$$X_{1i}, X_{2i}, \dots, X_{ki} = \text{peubah-peubah penjelas}$$

$\beta_0$  = intersep (titik potong garis regresi dengan sumbu Y)

$\beta_1, \beta_2, \dots, \beta_k$  = koefisien regresi parsial untuk setiap peubah penjelas  
 $X_{1i}, X_{2i}, \dots, X_{ki}$  secara berturut-turut

$\varepsilon_i$  = galat ke-i

n = banyaknya pengamatan

k = banyaknya peubah penjelas

## 2.9 Analisa Statistik

### 2.9.1. Analisa Regresi dan Penyesuaian Kurva

Untuk membantu menentukan persamaan yang menyatakan hubungan antara variabel, maka langkah pertama adalah mengumpulkan data yang menunjukkan nilai dari hubungan variabel yang diamati. Hubungan yang didapat bisa dinyatakan dalam persamaan matematik.

Untuk menentukan persamaan yang menyatakan hubungan antar variabel, terlebih dahulu dibuat diagram pencar (*Scatter Diagram*) dari data yang telah dikumpulkan. Dari diagram pencar tersebut, maka dapat dibayangkan suatu kurva regresi yang paling sesuai. Bentuk kurva dari peubah-peubah dapat berupa hubungan linier maupun tidak linier.

Penilaian subyektif harus dihindari saat penggambaran garis dari diagram pencar, untuk itu perlu dilakukan analisa statistika. Prosedur analisa statistika telah memberikan hasil yang lebih baik dalam mendapatkan kurva yang diinginkan. Salah satu cara yang dapat digunakan untuk penyesuaian kurva adalah metode kuadrat terkecil (*least square method*). Dalam hal ini jumlah kuadrat jarak vertikal dari titik-titik ( $X_i, Y_i$ ) ke garis regresi adalah sekecil mungkin. Model regresi yang biasa digunakan adalah model regresi linier, eksponensial, berpangkat, logaritmik, dan polinomial, namun dalam penelitian kali ini yang dipakai adalah model regresi linier, berpangkat, dan polinomial.

#### A. Model Regresi Linier

Dua variabel yang saling berpasangan  $\{X_i, Y_i; i = 1, 2, 3, \dots, n\}$ , apabila dibuat hubungan secara linier maka model persamaan garis lurusnya adalah (Soewarno, 1995 : 140) :  $Y = a.X + b$  (2-34)

Dimana :

Y = persamaan garis lurus Y atas X

a = koefisien regresi, merupakan koefisien arah dari garis regresi

b = konstanta yang merupakan titik potong dari garis regresi

Dengan metode kuadrat terkecil, besarnya koefisien a dan b dapat dihitung dengan :

$$a = \frac{\sum_{i=1}^n (X_i - \bar{X}) \cdot (Y_i - \bar{Y})}{\sum_{i=1}^n (X_i - \bar{X})} \quad (2-35)$$

$$b = \bar{Y} - a \cdot \bar{X} \quad (2-36)$$

Besarnya koefisien korelasi yang menunjukkan derajat hubungan antara variabel Xi dan variabel Yi adalah :

$$R = \frac{\sum_{i=1}^n (X_i - \bar{X}) \cdot (Y_i - \bar{Y})}{\left[ \left\{ \sum_{i=1}^n (X_i - \bar{X})^2 \right\} \cdot \left\{ \sum_{i=1}^n (Y_i - \bar{Y})^2 \right\} \right]^{1/2}} \quad (2-37)$$

Dimana :

$\bar{X}$  = rerata nilai X

$\bar{Y}$  = rerata nilai Y

Sehingga persamaan garis lurus Y pada X menjadi :

$$Y = \bar{Y} + r \cdot \left( \frac{\sigma_y}{\sigma_x} \right) \cdot (X - \bar{X}) \quad (2-38)$$

Dengan :

$\sigma_x$  = deviasi standar dari nilai X

$$\sigma_x = \left[ \frac{\sum_{i=1}^n (X_i - \bar{X})^2}{n-1} \right]^{1/2} \quad (2-39)$$

$\sigma_y$  = deviasi standar dari nilai Y

$$\sigma_y = \left[ \frac{\sum_{i=1}^n (Y_i - \bar{Y})^2}{n-1} \right]^{1/2} \quad (2-40)$$

## B. Model Regresi Berpangkat

Model regresi berpangkat mempunyai persamaan umum matematik sebagai berikut (Soewarno, 1995) :  $Y = b \cdot X^a$  (2-41)

Dengan : Y = regresi berpangkat Y terhadap X, merupakan variabel tak bebas

X = variabel bebas

a,b = parameter

Persamaan di atas dapat ditransformasikan ke dalam persamaan linier fungsi (log), sehingga menjadi :

$$\text{Log } Y_i = \log b + a \cdot \log X_i \quad (2-42)$$

Dimana :  $Y_i > 0$  dan  $X_i > 0$

Persamaan (2.27) merupakan hubungan logaritma-logaritma antara log Y dengan log X yang berupa garis lurus dengan kemiringan (a) serta memotong sumbu log Y pada log b.

### C. Model Regresi Polinomial

Persamaan regresi polinomial mempunyai beberapa orde yang dinyatakan hubungan dua atau lebih variabel. Untuk persamaan regresi polinomial orde 2 dapat dinyatakan sebagai berikut (Soewarno, 1995) :

$$Y = A + B \cdot X + C \cdot X^2 \quad (2-43)$$

Sebagai penyelesaiannya dapat dilakukan dengan 3 persamaan sebagai berikut :

$$\begin{aligned} A \cdot n + B \cdot \sum X_i + C \cdot \sum X_i^2 &= \sum Y_i \\ A \cdot \sum X_i + B \cdot \sum X_i^2 + C \cdot \sum X_i^3 &= \sum Y_i \cdot X_i \\ A \cdot \sum X_i^2 + B \cdot \sum X_i^3 + C \cdot \sum X_i^4 &= \sum Y_i \cdot X_i^2 \end{aligned} \quad (2-44)$$

Persamaan (2.30) dapat diselesaikan sebagai berikut :

$$A = \frac{\sum X_i \cdot \sum X_i^2 \cdot Y_i}{(\sum X_i^2)^2 - n \cdot \sum X_i^4} \quad (2-45)$$

$$B = \frac{\sum X_i \cdot Y_i}{\sum X_i^2} \quad (2-46)$$

$$C = \frac{-n \cdot A}{\sum X_i^2} \quad (2-47)$$

Untuk mengetahui kuat tidaknya hubungan antara 2 peubah, digunakan koefisien korelasi dengan rumus :

$$R = \frac{\sum XY - n \cdot (\bar{X} \cdot \bar{Y})}{\sqrt{(\sum X^2 - n \cdot \bar{X}^2) \cdot (\sum Y^2 - n \cdot \bar{Y}^2)}} \quad (2-48)$$

Bila nilai  $R = 0$  atau mendekati nol, maka dikatakan bahwa hubungan peubah-peubah sangat lemah. Bila  $R = 1$  atau mendekati satu, dikatakan bahwa hubungan peubah-peubah sangat kuat, sedangkan bila nilai  $R = -1$ , maka dikatakan bahwa hubungan peubah sangat kuat tetapi dengan negatif (slope kurva bernilai negatif).

Untuk mengetahui kemantapan kurva regresi digunakan koefisien determinasi ( $R^2$ ) yang merupakan fungsi kuadrat dari koefisien korelasi. Bila koefisien determinasi  $R^2 = 0$  atau mendekati nol, dikatakan bahwa prediksi kurva regresi perlu dikaji kembali. Sebaliknya bila nilai  $R^2 = 1$  atau mendekati satu, maka prediksi kurva regresi dapat diharapkan.

### 2.9.2. Pengujian Hipotesa

Dalam upaya untuk memahami, mempelajari dan mengamati suatu fenomena yang dilakukan dengan penelitian, perlu adanya kesimpulan atau dugaan sementara tentang fenomena tersebut. Untuk mengetahui sejauh mana kesesuaian dugaan sementara dan untuk menetapkan keputusan yang akan diambil, maka perlu dilakukan pengujian secara statistik (Yitnosumarto, 1990 : 289).

Pengujian hipotesa dapat terdiri dari uji t untuk data-data berpasangan dan Uji F untuk pengujian secara keseluruhan dengan tingkat kepercayaan tertentu.

#### A. Uji t untuk data berpasangan

$$d_j = X_{1j} - X_{2j}; \{j = 1, 2, 3, \dots, n\}$$

Jika rata-rata perbedaan simbol  $\bar{d}$  dan deviasi standar dari perbedaan adalah S, serta kesalahan standar (standar error) dari data adalah  $S/\sqrt{N}$ , maka dapat digunakan Uji t sebagai berikut :

$$t = \frac{\bar{d}}{SE} \tag{2-49}$$

$$SE = \frac{S}{N^{0,5}} \tag{2-50}$$

Dengan : t = nilai hitung

d = perbedaan rata-rata

SE = kesalahan rata-rata

S = deviasi standar

N = jumlah data

Dalam pengambilan keputusan diperlukan syarat-syarat sebagai berikut :

Jika nilai  $t_{hitung} < t_{tabel}$ , maka hipotesa diterima.

#### B. Uji F (Fisher-Test) untuk data keseluruhan

Sumber Variasi	Derajat Kebebasan	Jumlah Varian	Perkiraan Varian	Uji F
Antar Kelas	$k - 1$	$V_2$	$S_1^2 = \frac{V_2}{k - 1}$	$\frac{S_1^2}{S_2^2}$
Dalam Kelas	$N - k$	$V_1$	$S_2^2 = \frac{V_1}{N - k}$	
Total	$N - 1$	$N_t$	$\frac{V_t}{N - 1}$	

$$V_t = \sum_{i=1}^{i=k} \sum_{j=1}^{j=n_j} (X_{ji} - \bar{X})^2 \quad (2-51)$$

Dengan :

$V_t$  = variasi total diantara pengamatan

$i$  = 1, 2, 3, ...  $k$  = jumlah kelas

$k$  = total jumlah kelas

$j$  = 1, 2, 3, ...  $k$  = data dalam sebuah kelas

$n_j$  = jumlah data dalam kelas ke- $i$

$\bar{X}$  = rata-rata total

$N$  = total jumlah pengamatan dari seluruh kelas

$X_{ji}$  = data  $j$  dalam pengamatan kelas ke- $i$

$$V_1 = \sum_{i=1}^{i=k} \sum_{j=1}^{j=n_j} (X_{ji} - \bar{X})^2 \quad (2-52)$$

$$V_2 = \sum_{i=1}^{i=k} n_i \cdot (\bar{X}_i - \bar{X})^2 \quad (2-53)$$

$$F = \frac{S_1^2}{S_2^2} = \frac{V_2 \cdot (N - k)}{N_1 \cdot (k - 1)} \quad (2-54)$$

Untuk aturan dalam pengambilan keputusan adalah :

Jika  $F_{\text{test}} < F_{\text{tabel}}$ , maka hipotesa diterima.

### C. Koefisien Determinasi ( $R^2$ )

Digunakan untuk mengetahui kemantapan kurva regresinya. Bila nilai koefisien determinasi kecil, maka prediksi kurva regresi perlu untuk dikaji ulang. dapat diharapkan mendekati kesesuaian.

## **BAB III**

### **METODOLOGI PENELITIAN**

#### **3.1. Lingkup Penelitian**

Penelitian ini bertujuan untuk mengetahui pengaruh penempatan bendung berterap dengan anak tangga datar terhadap Konsentrasi kandungan oksigen terlarut (DO) dan karakteristik loncatan,. Sehingga dapat memberikan informasi dan masukan dalam perencanaan bendung dalam hubungannya dengan proses mandiri aliran air memperbaiki kualitasnya (*self Purification*)

Penelitian ini bersifat eksperimental di laboratorium dan tidak berskala (*nonscale*), dengan demikian pemakaian alat dalam percobaan tentunya mempunyai perbedaan karakteristik fisik dengan kondisi yang sebenarnya di lapangan.

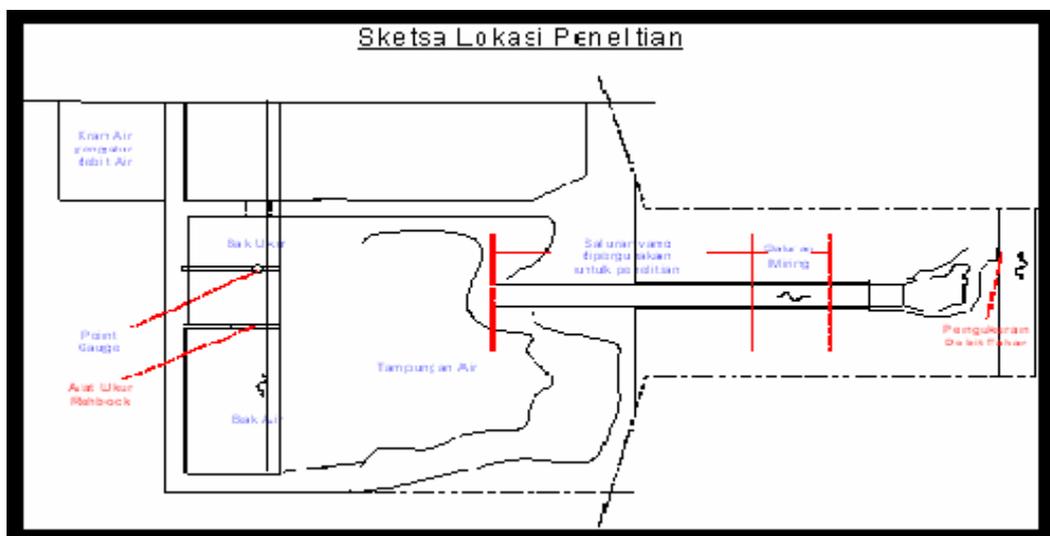
#### **3.2. Persiapan Penelitian**

Penelitian ini memakai fasilitas yang tersedia pada Laboratorium Hidrolika Dasar Jurusan Pengairan Fakultas Teknik Universitas Brawijaya dan beberapa peralatan yang dibuat sendiri sesuai dengan keperluan penelitian. Alat yang digunakan untuk menunjang perolehan data dalam penelitian model fisik ini adalah :

- Saluran persegi panjang  
Saluran yang digunakan ialah saluran persegi-panjang dengan kemiringan (slope) mendekati nol, dengan lebar 30 cm yang terbuat dari lapisan semen di dasar saluran dan kaca pada dinding saluran.
- Alat ukur kecepatan aliran.  
Disebut *pitot tube* yang dipergunakan untuk mengukur kecepatan aliran pada saluran. Perhitungan kecepatan didasarkan pada beda tinggi tekan air pada selang pitot.
- Model bendung  
Jenis bendung yang digunakan ialah :
  - Bendung konvensional bentuk ogee standard USBR dengan persamaan  $X^{1,85} = 2.0 h_d^{0,85} Y$ .
  - Bendung berterap dengan 3 variasi anak tangga yaitu datar, miring  $20^0$  dan miring  $30^0$ . Perencanaan bendung berterap ini didasarkan pada perencanaan bendung konvensional.
- Pompa  
Berfungsi untuk memompa air dari bak penampungan air dialirkan ke saluran peraga melalui pipa-pipa yang ada. Pompa ini dilengkapi dengan kran-kran pengatur yang berfungsi untuk mengatur debit yang akan disalurkan ke saluran peraga. Pompa yang digunakan berjumlah dua buah, agar dapat memenuhi debit yang direncanakan.
- Bak penampung air untuk mengalirkan air ke model yang dilengkapi dengan kran pengatur aliran dan pengukur debit sehingga dapat diatur agar aliran tersebut konstan.
- Meteran taraf ( Point gauge ) untuk mengukur ketinggian aliran.  
Alat ini digunakan untuk mengukur kedalaman air, alat ini terdiri dari jarum baja dengan ujung meruncing yang dapat digerakkan naik turun sesuai dengan kedalaman air yang diukur. *Point gauge* ini digunakan untuk menentukan kestabilan debit yang mengalir. Karena debit air yang mengalir melalui pompa mudah berubah-ubah. Sehingga diperlukan alat untuk memantau kestabilan debit yang mengalir. Sedangkan *point gauge* yang lainnya dipergunakan untuk mengukur kedalaman air pada jarak-jarak yang telah ditetapkan.

- Gelas Ukur  
Digunakan untuk mengukur debit yang keluar dari *outlet* saluran (debit takar). Gelas ukur terbuat dari bahan kaca transparan yang dilengkapi dengan angka-angka pembacaan.
- *Stopwatch*  
Dipergunakan untuk mencatat waktu pada saat melakukan penakaran debit. Debit takar persatuan waktu dapat diketahui melalui volume air pada gelas ukur dibagi dengan lama waktu penakaran.
- Peralatan Pengujian oksigen terlarut  
untuk pengujian oksigen terlarut digunakan alat DO<sub>2</sub> meter.

Sketsa model digambarkan pada gambar 3.1

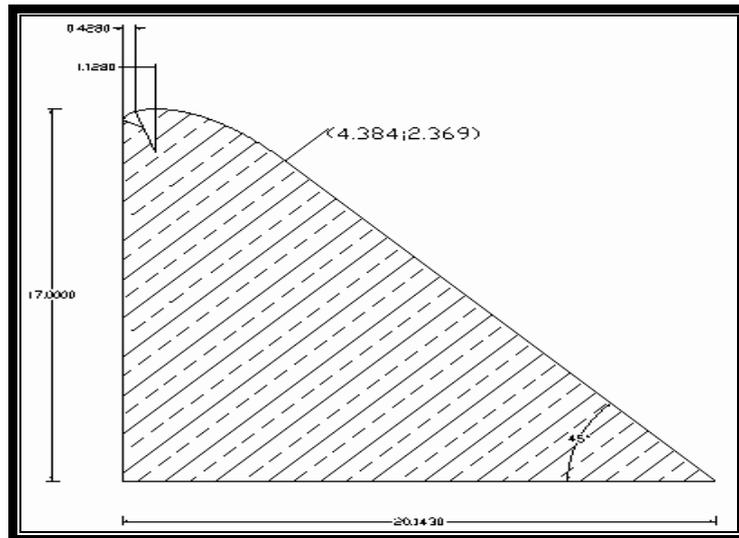


**Gambar 3.1** Sketsa lokasi penelitian

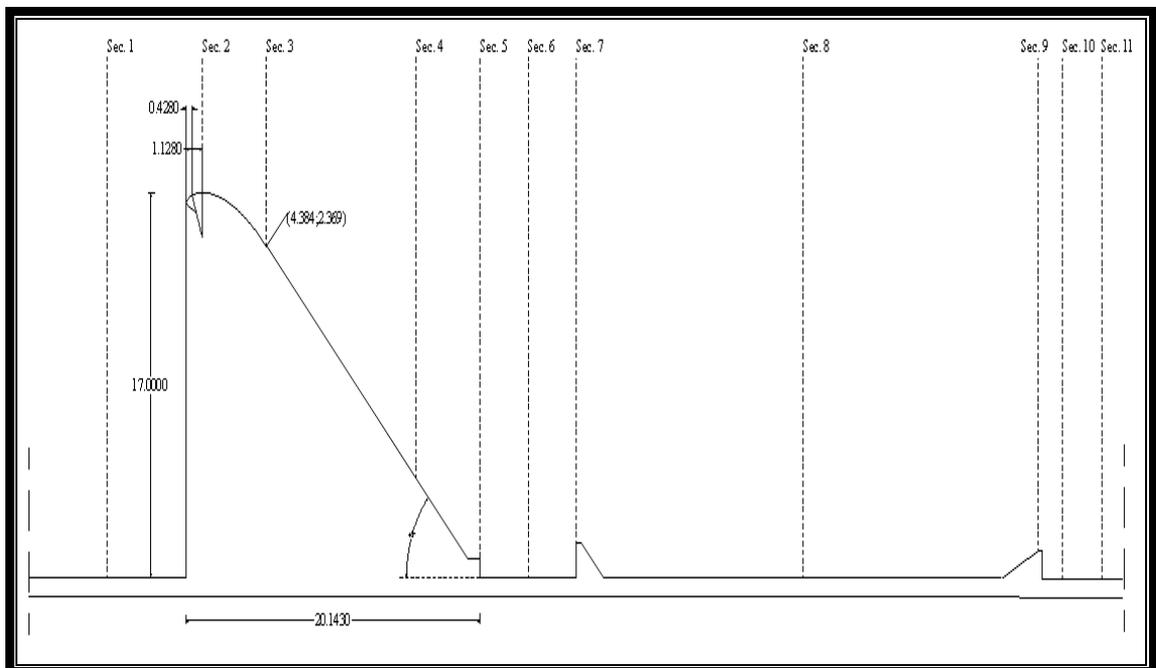
#### Perencanaan Model

Model fisik hidrolis direncanakan dengan data :

- Bahan Model : Kayu Jati
- Tinggi bendung : 17 cm
- Lebar Bendung : 30 cm
- Tinggi Hd : 4 cm



**Gambar 3.2** Desain bendung konvensional (cm)



**Gambar 3.3** Pembagian titik pengukuran (section)

### 3.3. Macam Variabel dan Parameter Penelitian

Dalam suatu penelitian akan terdapat banyak parameter serta variabel yang akan diamati dan diukur untuk selanjutnya dianalisa. Untuk itu perlu dilakukan pengelompokan parameter dan variabel, sehingga dapat diketahui hubungan-hubungannya dengan melakukan analisa dimensi.

#### 1. Parameter

Parameter merupakan faktor yang ditetapkan selama dalam proses penelitian. Pada penelitian ini secara umum parameter-parameter yang digunakan dapat dibagi menjadi tiga bagian, yaitu :

**Tabel 3.1.** Pengelompokan parameter penelitian.

Parameter pada saluran peraga	Parameter pada model bangunan bendung
<ul style="list-style-type: none"> <li>- Penampang segiempat</li> <li>- Lebar dasar 30 cm</li> <li>- Tinggi saluran 24 cm</li> <li>- Panjang 6 m</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Bahan Model: Jati</li> <li>- Tinggi bendung: 17 cm</li> <li>- Lebar Bendung: 30 cm</li> <li>- Tinggi He: 4 cm</li> </ul>

## 2. Variabel

Variabel merupakan faktor dalam penelitian yang dapat dipengaruhi. Pada penelitian ini banyak terdapat variabel-variabel terukur yang nantinya akan digunakan dalam analisa. Untuk mempermudah analisa, maka variabel-variabel dalam penelitian ini dapat dibagi menjadi tiga yaitu:

**Tabel 3.2.** Pengelompokan variabel penelitian

Variabel bebas	Variabel tergantung
<ul style="list-style-type: none"> <li>- Tinggi muka air hulu</li> <li>- Variasi tinggi bendung</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Tinggi air di hilir tejunan</li> <li>- Oksigen Terlarut</li> <li>- Debit air</li> <li>- Kecepatan air</li> <li>- Letak loncatan</li> </ul>

Disamping parameter-parameter dan variabel-variabel di atas, faktor penting lainnya yang sangat berpengaruh dalam analisa data adalah penggunaan konstanta. Pada penelitian ini. Konstanta yang sering digunakan adalah percepatan gravitasi (g). Pada pengolahan data hasil penelitian, konstanta percepatan gravitasi yang digunakan adalah  $9,81 \text{ m/dt}^2$ . Dari hasil pengelompokan parameter dan variabel penelitian. Selanjutnya dilakukan analisa dimensi antara parameter dan variabel terhadap besaran massa (M), panjang (L), dan waktu (T). Kemudian dijabarkan dalam bentuk matrik untuk mengetahui hubungan dan fungsi tiap parameter dan variabel.

## 3. Regresi dan Korelasi

Jika data terdiri dari dua variabel atau lebih perlu dipelajari bagaimana cara variabel variabel tersebut berhubungan. Hubungan yang didapat umumnya dinyatakan dalam bentuk persamaan matematik yang menyatakan hubungan fungsional antara variabel variabel studi yang menyangkut suatu masalah ini dinamakan dengan Analisis Regresi. Pada analisis regresi ada dua jenis variabel, yaitu variabel atau variabel prediktor dan variabel tak bebas atau variabel respon ( Sudjana 1992 ; 310 )

Untuk membantu menentukan persamaan yang menyatakan hubungan peubah, maka langkah pertama yang dilakukan adalah mengumpulkan data yang menunjukkan nilai peubah yang diamati. Kemudian dibuat diagram pancar ( Scater Diagram ) data hasil pengukuran sehingga dapat dibayangkan suatu kurva regresi yang menyatakan hubungan antara peubah ( priyantoro dkk 1997 ; 11 )

Regresi non linier dipakai apabila regresi linier tidak dapat menggambarkan bentuk hubungan kelinieran. Banyak pula data pengamatan yang terjadi sebagai akibat adanya lebih dari dua variabel, untuk ini diadakan kajian regresi berganda.

Persoalan berikutnya yang dirasa perlu jika data hasil pengamatan terdiri dari banyak variabel adalah seberapa kuat hubungan antara variabel variabel. Ukuran yang dipakai untuk mengetahui derajat hubungan antara variabel- variabel dinamakan koefisien korelasi . koefisien korelasi adalah  $-1 \leq r \leq +1$  nilai  $r = -1$  menunjukkan adanya hubungan linier sempurna tak langsung ( korelasi negatif ) antara X dan Y.  $r = +1$  menunjukkan adanya hubungan linier sempurna langsung ( korelasi positif ) antara X dan Y dan  $r = 0$  menyatakan tidak terdapat hubungan antara X dan Y.

### **3.4. Langkah-langkah Penelitian**

#### **3.4.1 Kalibrasi Pitot (Alat ukur kecepatan)**

Sebelum melakukan serangkaian percobaan sesuai dengan perlakuan-perlakuan yang telah direncanakan, terlebih dahulu dilakukan kalibrasi. Kalibrasi merupakan proses awal sebelum melakukan penelitian yang bertujuan untuk mengetahui faktor koreksi dari sarana penelitian yang digunakan. Maksud dari kalibrasi pitot ini adalah agar pada saat melakukan pengukuran, kecepatan yang terukur mempunyai tingkat ketelitian, kebenaran, dan ketepatan yang memadai sesuai dengan kondisi peralatan yang ada serta untuk mendapatkan suatu persamaan matematis yang merupakan persamaan kecepatan yang baru hasil dari kalibrasi.

Langkah-langkah dalam melakukan proses kalibrasi alat ukur kecepatan ini adalah sebagai berikut :

1. Pada bagian hulu aliran ditempatkan *piont gauge* untuk menetapkan tinggi muka air.
2. Mengalirkan debit pada saluran percobaan sampai kondisi konstan. Pengukuran debit dilakukan secara manual dengan menggunakan gelas ukur dan *stop watch*. Penakaran debit dilakukan sebanyak 5 kali untuk mendapatkan debit rata-rata.
3. Mengukur tinggi muka air ( $y$ ) pada beberapa bagian dan memasang *pitot tube* pada beberapa bagian yang telah ditentukan tersebut serta mengukur beda tinggi tekan ( $\Delta h$ ) yang terjadi pada *pitot tube*. Pengukuran dilakukan pada jarak  $1/6 y$  dan  $1/2 y$  dari dasar saluran,  $1/6 y$  dari permukaan aliran.
4. Mengulangi langkah 1 dan 2 untuk beberapa debit yang berbeda. Setelah didapatkan ( $\Delta h$ ) pitot dan koefisien pengaliran ( $c$ ) dapat dicari kecepatan pitot kemudian diplot pada diagram pencar (*scatter diagram*) hubungan antara kecepatan dari debit takar dan kecepatan pengalirannya.
5. Selanjutnya didekati dengan kurva regresi yang paling sesuai dan didapatkan persamaan regresi serta korelasinya dan persamaan regresi yang dihasilkan tersebut merupakan persamaan kecepatan aliran pada pitot.

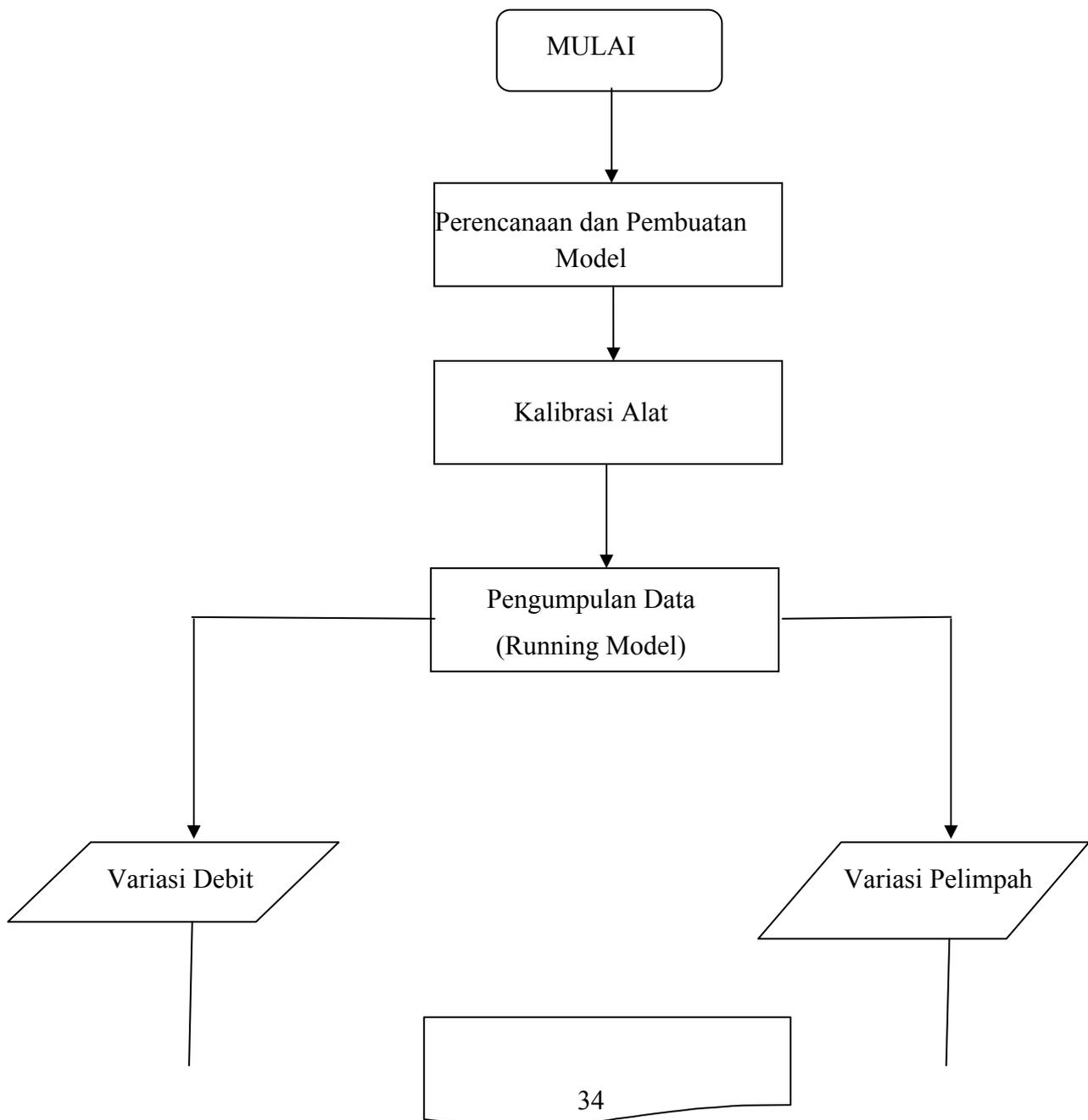
#### **3.4.2. Urutan Penelitian**

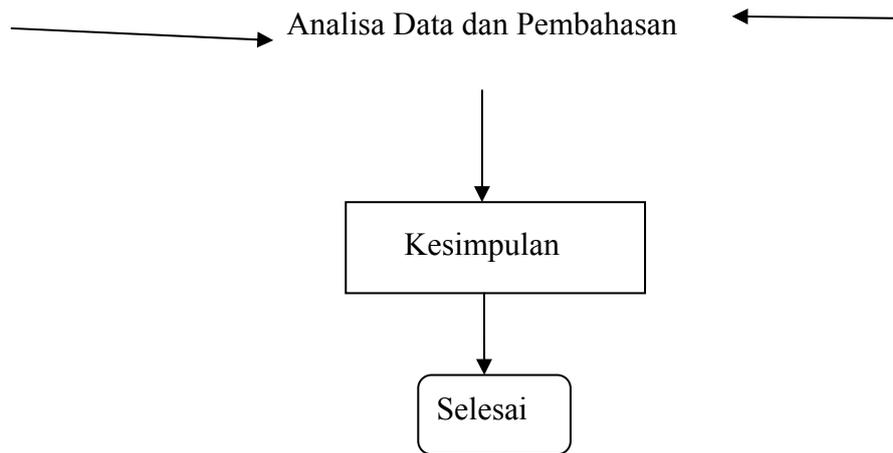
Dalam penelitian ini dilakukan pada kondisi aliran bebas, tahapan percobaan yang dilakukan adalah sebagai berikut :

1. Memasang bangunan model dengan tinggi ( $s$ ).
2. Mengalirkan debit berdasarkan tinggi muka air hulu ( $y_0$ ) dengan mengatur bukaan kran sehingga didapatkan suatu besaran debit ( $Q$ ).
3. Setelah keadaan muka air stabil, dilakukan pencatatan kondisi yang terjadi, yaitu tinggi muka air di hulu ( $y_0$ ), kecepatan di hulu ( $v_0$ ), kedalaman air di awal loncatan ( $y_1$ ), kecepatan di awal loncatan ( $v_1$ ), tinggi muka air di hilir ( $y_2$ ), kecepatan muka air di hilir ( $v_2$ ).
4. Mengulangi langkah No. 2 dengan mengatur tinggi muka air hulu ( $y_0$ ).
5. Setelah semua variasi tinggi muka air pada bendung dengan ketinggian tertentu selesai. Dilakukan pengukuran oksigen terlarut dengan menggunakan alat do meter yang dilakukan pada dua titik pada aliran sebelum bendung dan setelah melewati bendung
6. Analisa oksigen terlarut teoritis dalam aliran dengan menggunakan rumusan hasil penelitian terdahulu yang kemudian dikelompokkan berdasarkan variabel yang

mempengaruhinya, yaitu variabel debit, dan kemiringan anak tangga, untuk mendapatkan konsentrasi udara teoritis.

7. Pembuatan grafik hasil oksigen terlarut pengamatan dikelompokkan menjadi lima pengamatan pada variasi bendung yang tertentu dengan debit yang berbeda.





Gambar 3.4 Diagram Alir Pengerjaan Skripsi

## **BAB IV DATA DAN ANALISA DATA**

### **4.1 Model Fisik**

#### **4.1.1 Desain Bendung**

Perhitungan dimensi bendung sangat perlu di perhatikan karena apabila terjadi kesalahan dalam perhitungan maka akan berpengaruh pada pola aliran yang terjadi. Misalkan terjadi kesalahan pada perhitungan lengkung Harold maka kondisi aliran, kecepatan, tinggi muka air aktual akan berbeda dengan perhitungan analitis pada bendung konvensional.

Parameter penelitian telah ditetapkan pada bab sebelumnya, parameter tersebut antara lain :

$$P = 17 \text{ cm}$$

$$B = 30 \text{ cm}$$

$$H_d = 4 \text{ cm}$$

$$\alpha = 45^\circ \text{ dengan sisi hulu tegak lurus } 90^\circ$$

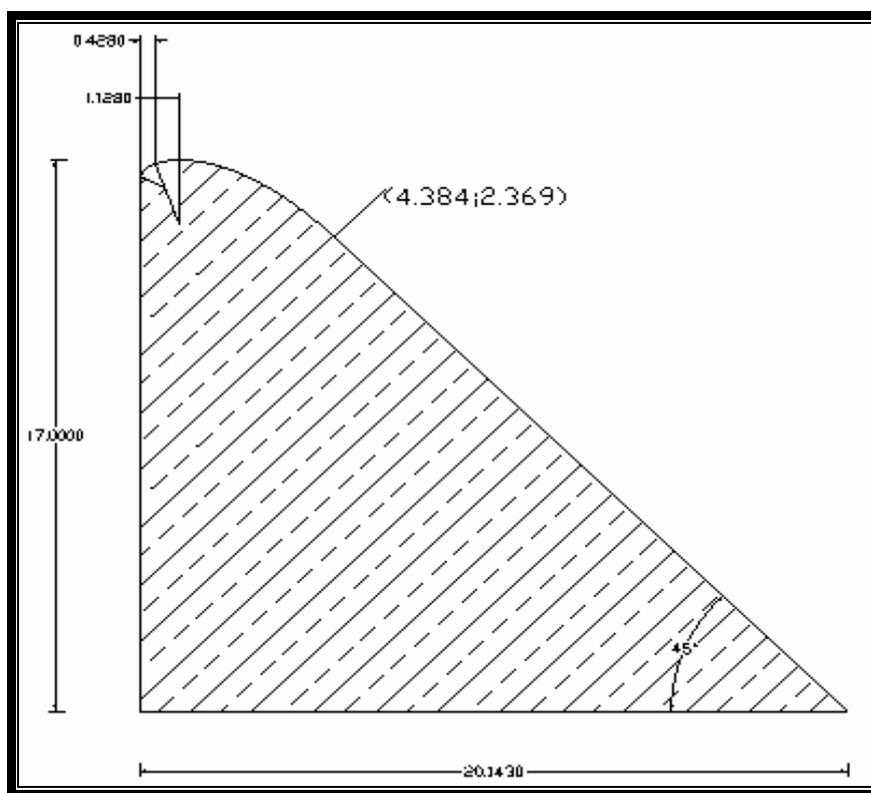
Bentuk puncak bendung standard USBR dengan persamaan  $X^{1,85} = 2.0 h_d^{0,85} Y$

Puncak bendung mempunyai kelengkungan  $R1 = 2 \text{ cm}$  dan  $R2 = 0.8 \text{ cm}$ . Dengan memasukan nilai  $H_d$  kedalam fungsi  $X^{1,85} = 2.0 h_d^{0,85} Y$  maka akan terbentuk lah lengkung dengan perpotongan akhirnya adalah ((4,384), (2,369)) dimana perhitungan dapat di perhatikan pada tabel 4.1 dan desain dari bendung dapat dilihat pada gambar 4.1.

**Tabel 4.1 Koordinat Lengkung Harold**

x	y	$2Hd^{0.85}$	$1/(2Hd^{0.85})$	$X^{0.85}$	X	Y
(cm)	(cm)	( $\text{cm}^{0.85}$ )	( $\text{cm}^{-0.85}$ )		(cm)	(cm)
0,500	0,043	6,498	0,154	3,512	4,384	2,369
1,000	0,154					
1,500	0,326					
2,000	0,555					
2,500	0,838					
3,000	1,175					
3,500	1,562					
4,000	2,000					
4,384	2,369					

Sumber : Perhitungan



**Gambar 4.1** Desain Bendung Konvensional (cm)

#### 4.1.1.1 Perhitungan Debit yang Melewati Desain Bendung

Besarnya debit yang melalui bendung dapat dihitung setelah lebar efektif diketahui dengan cara berikut :

Langkah perhitungan :

1. Tinggi muka air diatas bendung =  $hd$  (direncanakan sebesar 4 cm)
2.  $C_0$  adalah konstanta (= 1,30 )  
 $C_1$  adalah fungsi  $p/hd$  dan  $H/hd$  (= 0.99 )

$C_2$  adalah faktor koreksi untuk permukaan hulu

Jadi nilai  $C_d = 1,29$

3. Lebar = 0.3 m

4. Debit yang lewat :

$$\begin{aligned} Q &= C_d \cdot 2/3 \cdot (2/3 \times g)^{0,5} \cdot L_p \cdot H_0^{1,5} \\ &= 1,29 \cdot 0,667 \cdot (0,667 \cdot 9,81)^{0,5} \cdot 0,3 \cdot 0,04^{1,5} \\ &= 0,005325 \text{ m}^3/\text{dt} \end{aligned}$$

Untuk perhitungan debit yang lewat di bendung disajikan pada tabel 4.2 sebagai berikut

**Tabel 4.2 Debit yang Melimpah diatas Bendung**

No	H (m)	L (m)	Q (m)
1	2	3	4
1	0.005	0.3	0.0002
2	0.010	0.3	0.0007
3	0.015	0.3	0.0012
4	0.020	0.3	0.0019
5	0.025	0.3	0.0026
6	0.030	0.3	0.0034
7	0.035	0.3	0.0043
8	0.040	0.3	0.0053
9	0.045	0.3	0.0063
10	0.050	0.3	0.0074
11	0.055	0.3	0.0085
12	0.060	0.3	0.0097

Sumber : hasil perhitungan

Keterangan : 1 = No

2 = Ketinggian air di atas bendung

3 = Lebar efektif ( 0,3 m )

4 =  $0,667 \cdot 1,29 \cdot (0,667 \cdot 9,81)^{0,5} \cdot (3) \cdot (2)^{1,5}$

#### 4.1.1.2 Perhitungan Profil Muka Air di Atas Bendung

Perhitungan profil muka air di atas bendung bertujuan untuk mendapatkan besarnya kedalaman , kecepatan serta bilangan froude yang ada di atas / saat meluncur di atas peluncur. Berguna merencanakan bangunan peredam energi di bagian hilir suatu bendung. berikut contoh perhitungan diambil untuk  $Q_{hd}$  pada section

-  $Q_{hd} = 0,005325 \text{ m}^3/\text{dt}$

$$- z = 0,02 \text{ m}$$

Dengan mensubstitusi persamaan

$$V_z = \sqrt{2g(z + H_z - y_z)} \quad \text{dengan} \quad V_z = \frac{Q}{Ly_z}$$

maka didapatkan persamaan sebagai berikut :

$$\sqrt{2g(z + H_z - y_z)} - \frac{Q}{Ly_z} = 0$$

Selanjutnya dengan coba-coba didapatkan nilai  $y_z = 0.020 \text{ m}$

kemudian didapatkan nilai  $V_z = 0.8864 \text{ m/dt}$

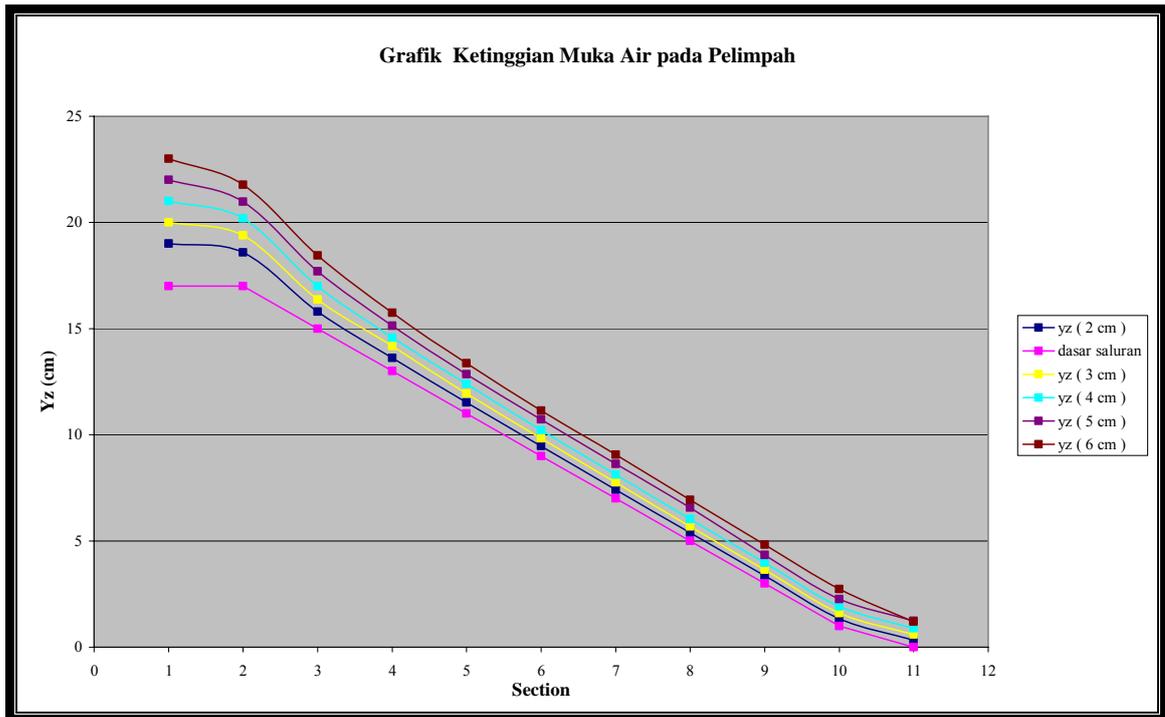
$$\text{Bilangan Froude, } F_z = \frac{V_z}{\sqrt{gy_z}} = 2.00$$

Perhitungan selanjutnya dapat dilihat pada tabel 4.3 berikut:

**Tabel 4.3 Perhitungan profil muka air di atas bendung**

hd	Q	Z	Yz	Vz	Fr
(m)	(m <sup>3</sup> /dtk)	(m)	(m)	(m/dtk)	
0.02	0.001886	0.0200	0.0136	0.8453	23.114
		0.0400	0.0117	0.9869	29.159
		0.0600	0.0094	12.199	40.074
		0.0800	0.0084	13.802	48.223
		0.1000	0.0075	15.306	56.316
		0.1200	0.0069	16.762	64.539
		0.1400	0.0064	17.918	71.335
		0.1600	0.0061	19.001	77.896
		0.1700	0.0059	19.519	81.101
0.03	0.003457	0.0200	0.0080	0.7903	28.292
		0.0400	0.0061	10.276	41.944
		0.0600	0.0052	12.111	53.671
		0.0800	0.0046	13.676	64.403
		0.1000	0.0042	15.070	74.494
		0.1200	0.0038	16.339	84.100
		0.1400	0.0036	17.513	93.323
		0.1600	0.0034	18.590	102.067
		0.1700	0.0033	19.135	106.583
0.04 (Desain)	0.005325	0.0200	0.0200	0.8864	20.000
		0.0400	0.0158	11.229	28.517
		0.0600	0.0140	12.677	34.204
		0.0800	0.0122	14.552	42.068
		0.1000	0.0112	15.901	48.049
		0.1200	0.0104	17.136	53.758
		0.1400	0.0097	18.282	59.239
		0.1600	0.0092	19.353	64.519
		0.1700	0.0089	19.857	67.054
0.05	0.007453	0.0200	0.0269	0.9225	17.948
		0.0400	0.0214	11.624	25.385
		0.0600	0.0185	13.419	31.488
		0.0800	0.0171	14.500	35.366
		0.1000	0.0163	15.281	38.261
		0.1200	0.0158	15.724	39.939
		0.1400	0.0133	18.629	51.503
		0.1600	0.0126	19.690	55.964
		0.1700	0.0123	20.197	58.142
0.06	0.00982	0.0200	0.0345	0.9490	16.314
		0.0400	0.0273	11.972	23.115
		0.0600	0.0238	13.768	28.510
		0.0800	0.0214	15.277	33.322
		0.1000	0.0207	15.811	35.082
		0.1200	0.0194	16.912	38.812
		0.1400	0.0183	17.919	42.328
		0.1600	0.0174	18.857	45.696
		0.1700	0.0170	19.304	47.329

Sumber : Perhitungan



Gambar 4.2 Tinggi Muka Air diatas Bendung

#### 4.1.2 Desain Kolam Olak

##### 4.1.2.1 Dimensi Kolam Olak

Penentuan dimensi bendung diperlukan perhitungan profil muka air di atas bendung. Dengan menggunakan persamaan 2.17 – 2.22 dapat dihitung profil muka air di atas bendung. Berikut perhitungan profil muka air untuk tinggi air desain 4 cm.

- $Q = 0,005325 \text{ m}^3/\text{dt}$
- $z = 0,17\text{m}$

Dengan Mensubtitusi persamaan

$$V_z = \sqrt{2g(z + H_z - y_z)} \quad \text{dengan} \quad V_z = \frac{Q}{Ly_z}$$

maka didapatkan persamaan sebagai berikut :

$$\sqrt{2g(z + H_z - y_z)} - \frac{Q}{Ly_z} = 0$$

$$\sqrt{2 * 9,8(0,17 + 2,775 - y_z)} - \frac{0,17}{0,3y_z} = 0$$

Selanjutnya dengan coba-coba didapatkan nilai  $y_z = 0,0089 \text{ m}$

kemudian didapatkan nilai  $V_z = \frac{0,17}{0,3 * 0,0089} = 1,9857 \text{ m/dt}$



$$= \frac{0,0089}{2} (\sqrt{1 + 8 * 6,7054^2} - 1) = 0,0804 \text{ m}$$

- Panjang Ruang Olak

$$L = L_j = 0,3574 \text{ m}$$

- Gigi Pemencar aliran (Blok muka)

$$\text{Tinggi } (h_1) = Y_u = 0,0045 \text{ m}$$

$$\text{Lebar } (b_1) = Y_u = 0,0045 \text{ m}$$

$$\text{Jarak antar Blok} = Y_u = 0,0045 \text{ m}$$

- Gigi Benturan (Blok Halang)

$$\text{Lebar Puncak} = 0,2 h_3 = 0,0032 \text{ m}$$

$$\text{Kemiringan Hilir} = 1 : 1$$

$$\text{Lebar } b_2 = 0,75 h_3 = 0,75 \times 0,00159 = 0,012 \text{ m}$$

$$\text{Jarak antar blok halang} = 0,375 h_3 = 0,006 \text{ m}$$

$$\text{Jarak antara blok halang dan blok muka} = 0,82 Y_2 = 0,82 * 0,08 = 0,0659 \text{ m}$$

- Ambang Hilir

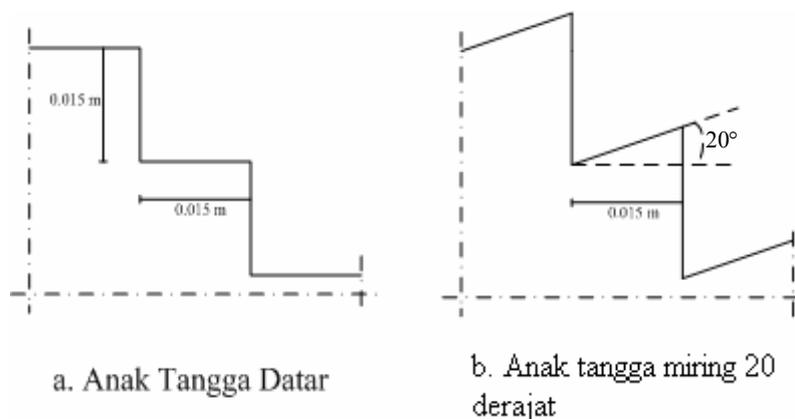
$$n = (Y_u (18 \times Fr))/18$$

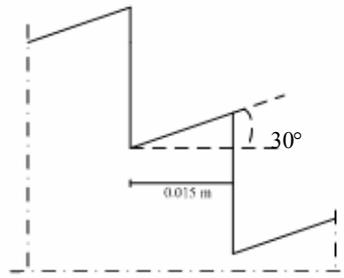
$$= (0,0045(18 \times 6,7054))/18 = 0,0123 \text{ m}$$

#### 4.1.3 Dimensi Susunan Anak Tangga

Dimensi dari susunan anak tangga telah disepakati pada bab sebelumnya, bahwa untuk bendung berterap dengan anak tangga datar mempunyai hubungan dengan sudut kemiringan dari bendung. Sehingga didapatkan perhitungan  $\tan \alpha = h/l$ . Sudut dari kemiringan bendung sendiri adalah  $45^\circ$ . Karena nilai  $\tan 45^\circ = 1$ , maka  $h = l = 1,5\text{cm}$ .

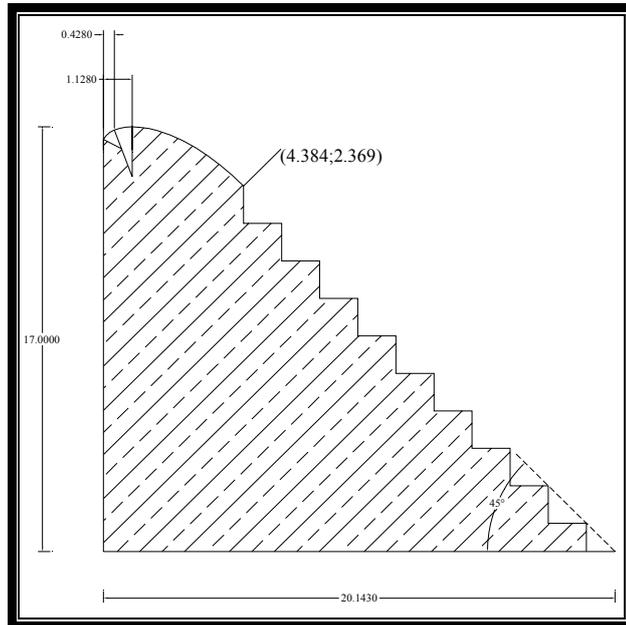
Untuk seluruh desain anak tangga dapat dilihat pada gambar 4.5 dan untuk desain keseluruhan dari bendung dapat dilihat pada gambar 4.6 – 4.7.



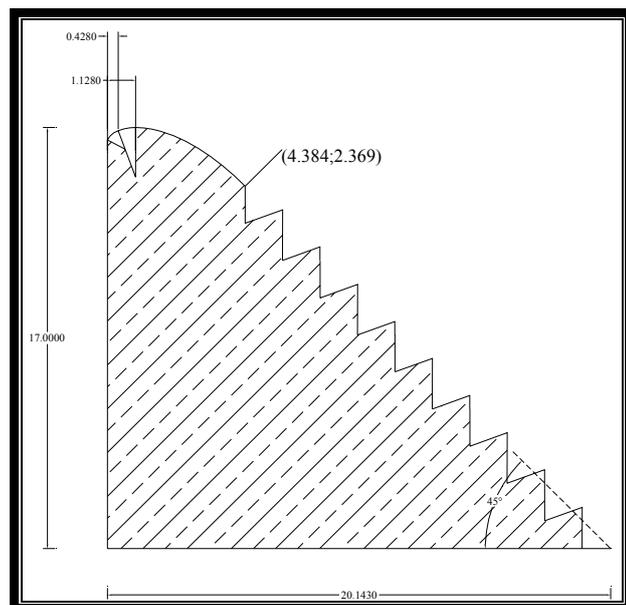


b. Anak tangga miring 30 derajat

**Gambar 4.4** Desain Anak Tangga



**Gambar 4.5** Bendung Berterap dengan Anak Tangga Datar



**Gambar 4.6** Bendung Berterap dengan Anak Miring 20°

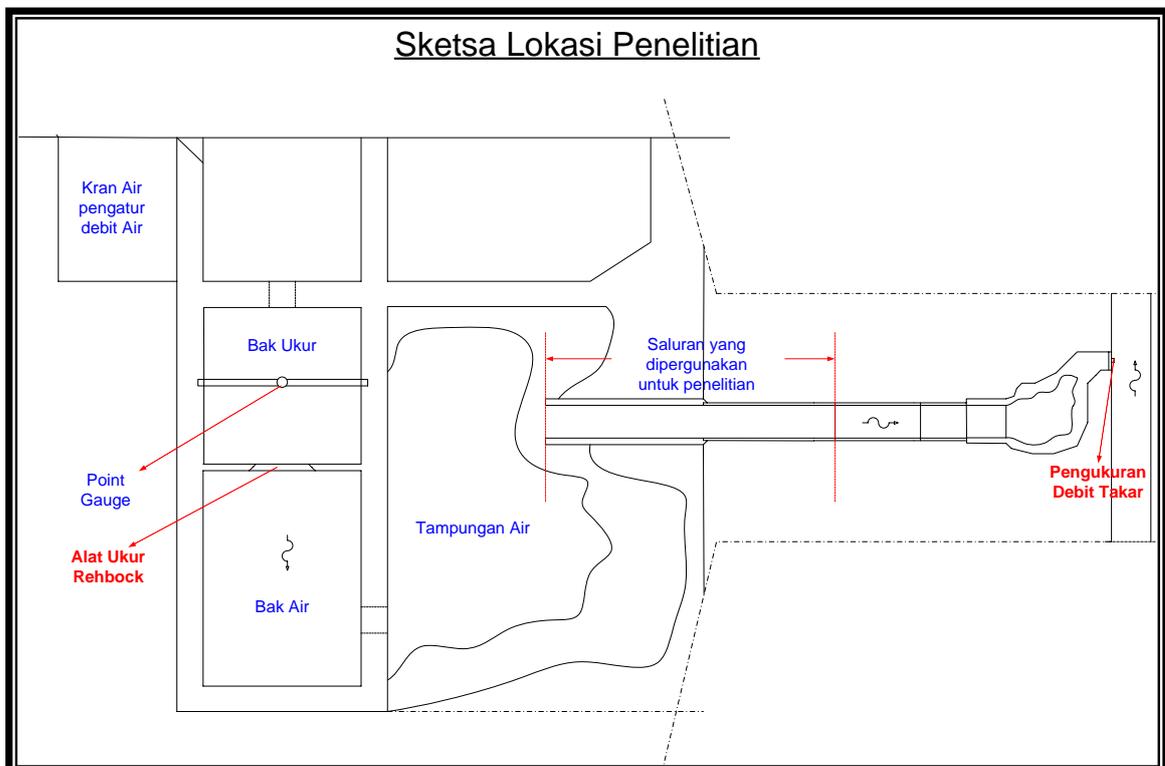
## 4.2 Kalibrasi dan Verifikasi Model

Kalibrasi dapat didefinisikan sebagai penyesuaian parameter yang ada di model dengan parameter yang ada di prototipe, sehingga dapat dipakai sebagai acuan untuk pengukuran selanjutnya.

Verifikasi adalah suatu tahapan uji atau tahap pelaksanaan pengujian kesesuaian parameter model dengan prototipe. Di dalam model ini yang perlu dilakukan adalah kalibrasi muka air, debit dan kecepatan.

### 4.2.1 Kalibrasi Alat Ukur Debit

Kalibrasi alat ukur debit, dilakukan menurut hukum bejana berhubungan yaitu jika tinggi muka air pada ketiga bejana dalam kondisi konstan, maka  $Q_1 = Q_2$  dengan  $Q_1 =$  debit Rehbox,  $Q_2 =$  debit takar. Proses kalibrasi dilakukan dengan menghitung besarnya kesalahan relatif yang terjadi antara debit takar dengan debit pengamatan pada alat ukur, dengan melihat kondisi pengambilan data debit seperti gambar 4.9. Pembatasan besarnya kesalahan relatif ditetapkan 5%. Apabila kesalahan relatif rata-rata yang terjadi lebih kecil dari 5%, maka kalibrasi hanya dilakukan dengan penyesuaian kurva dan sebaliknya jika lebih besar, perlu dicari koefisien kalibrasi (Priyantoro dan Suprijanto 1998:32).



Gambar 4.7 Sketsa Lokasi Pengambilan Data untuk Kalibrasi Alat Ukur Debit

Dari perhitungan kesalahan relatif pada tabel 4.5, nilai kesalahan relatif rata-rata adalah 3,0895%. Karena nilai kesalahan relatif kurang dari 5 % ( $KR < 5\%$ ) maka hanya perlu dilakukan dengan penyesuaian kurva. Nilai kesalahan relatif terkecil adalah 0,7486%, karena nilai kesalahan relatif terkecil terjadi pada ketebalan air rechbox 35,5 cm, maka akan terjadi hubungan :  $Q_{Rechbock} = k \cdot Q_{takar}$

$$0,0069 = k \cdot 0,0068$$

$$k = 1,007542$$

pada nantinya nilai k dipergunakan sebagai angka pembanding antara debit rechbox dengan debit takar (aktual)

**Tabel 4.5 Perhitungan Kesalahan Relatif Debit**

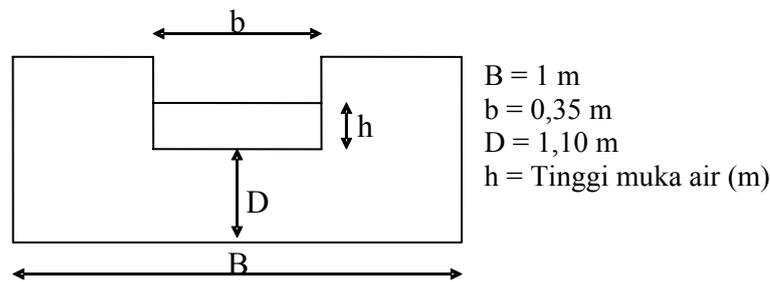
Tebal Air Rechbox (IPG = 31cm)		Waktu	Volume	Debit Takar	Debit Takar	Debit Takar Rerata	Debit Rechbox	K R
(cm)	(cm)	(dtk)	(ml)	(ml/dt)	(m <sup>3</sup> /dt)	(m <sup>3</sup> /dt)	(m <sup>3</sup> /dt)	
1	2	3	4	5	6	7	8	9
34	3	1,25	4320	3456,000	0,0035	0,0035	0,0038	8,0412
		1,3	4240	3261,538	0,0033			
		1,1	4200	3818,182	0,0038			
34,5	3,5	0,9	4100	4555,556	0,0046	0,0047	0,0048	1,2501
		0,9	4380	4866,667	0,0049			
		1	4700	4700,000	0,0047			
35	4	1,1	5900	5363,636	0,0054	0,0054	0,0058	6,3060
		1,1	5940	5400,000	0,0054			
		1,05	5760	5485,714	0,0055			
35,5	3,5	0,95	6600	6947,368	0,0069	0,0068	0,0069	0,7486
		1	6600	6600,000	0,0066			
		0,9	6180	6866,667	0,0069			
		1,1	7040	6400,000	0,0064			
36	3,5	0,9	6580	7311,111	0,0073	0,0081	0,0080	1,1977
		1	8680	8680,000	0,0087			
		1,1	9760	8872,727	0,0089			
		1,1	7900	7181,818	0,0072			
		0,9	7540	8377,778	0,0084			
36,5	5,5	0,8	7270	9087,500	0,0091	0,0093	0,0092	1,8134
		0,95	9320	9810,526	0,0098			
		1,21	11050	9132,231	0,0091			
37	3,5	1,1	11840	10763,636	0,0108	0,0107	0,0104	2,2695
		0,8	8260	10325,000	0,0103			
		0,8	8960	11200,000	0,0112			
		0,8	8260	10325,000	0,0103			
							<b>KR<sub>(Rerata)</sub></b>	3,0895

Sumber : Hasil Pengukuran dan Perhitungan

Keterangan :

- |                |                              |
|----------------|------------------------------|
| 1 = Data       | 6 = (4) / 1000000            |
| 2 = (1) - IPG) | 7 = (4) / n <sub>data</sub>  |
| 3 = Data       | 8 = k x b x h <sup>1,5</sup> |
| 4 = Data       | 9 = (((6) - (7)) / (7))      |
| 5 = (3) / (2)  |                              |

Debit aliran yang masuk ke model diukur dengan ambang lebar tipe rechbox dengan dimensi sebagai berikut :



**Gambar 4.8** Dimensi alat ukur debit rechbox

Debit aliran teoritik yang melalui Rechbox dapat dihitung dengan rumus :

$$Q = k \cdot b \cdot h^{3/2}$$

Dengan:

$$Q = \text{debit (m}^3 \cdot \text{menit}^{-1}\text{)}$$

$$k = \text{koefisien debit}$$

$$= 1,785 + \frac{0,00295}{h} + 0,2366 \frac{h}{D} - 0,4283 \sqrt{\frac{(B-b)h}{DB}} + 0,34 \sqrt{\frac{B}{D}}$$

$$B = \text{lebar mercu (m)}$$

$$h = \text{kedalaman air di atas mercu (m)}$$

$$b = \text{lebar saluran (m)}$$

$$D = \text{tinggi dari dasar saluran ke dasar mercu (m)}$$

Langkah pengukuran :

1. Tentukan indeks point gauge (IPG) dengan menyentuhkan ujung jarum point gauge pada crest alat ukur debit.
2. Stel nonius sehingga angka nol tepat pada angka meteran taraf pada angka 55, sehingga  $IPG = 0 = 55$ .
3. Ukur tinggi muka air pada alat ukur dengan menyentuhkan ujung jarum point gauge pada muka air, meteran taraf (point gauge) dibaca dan dicatat.
4. lakukan tiga kali pengukuran dengan tinggi muka air yang berbeda.
5. harga K masukkan dalam rumus alat ukur debit, maka dapat dihitung besarnya debit percobaan.

Tabel. 4.6 merupakan hubungan tinggi muka air (h) dengan debit (Q) alat ukur rechbox hasil kalibrasi yang kemudian akan dibentuk suatu kurva hubungan seperti gambar 4.9.

**Tabel 4.6 Perhitungan Debit Kalibrasi**

No	Tebal Air	Koefisien Debit (k)	Q hitung Rechbox	Q aktual kalibrasi
	(m)	(-)	(m <sup>3</sup> /dt)	(m <sup>3</sup> /dt)
1	2	3	4	5
1	0,010	2,053	0,00082	0,00082
2	0,015	1,949	0,00143	0,00142
3	0,020	1,895	0,00214	0,00213
4	0,025	1,861	0,00294	0,00292
5	0,030	1,838	0,00382	0,00379
6	0,035	1,820	0,00477	0,00473
7	0,040	1,807	0,00578	0,00574
8	0,045	1,796	0,00686	0,00680
9	0,050	1,786	0,00799	0,00793
10	0,055	1,779	0,00918	0,00911
11	0,060	1,772	0,01042	0,01034
12	0,065	1,766	0,01171	0,01162
13	0,070	1,761	0,01304	0,01295
14	0,075	1,756	0,01443	0,01432
15	0,080	1,752	0,01586	0,01574

Sumber : Hasil Pengukuran dan Perhitungan

Keterangan :

1 = No. Urut

2 = Tinggi air pada alat ukur rechbox

3 =  $1.785 + (0,00295/(1)) + 0,2366((1)/D) - 0,4283((B-b)(1)/DB)^{1/2} + 0,34(B/D)^{1/2}$

4 =  $(3) \times b \times (1)^{3/2}$

5 =  $(4) / 1,007542$

Maka dari gambar 4.11 didapatkan persamaan grafik :

$$y = 0,5852 x^{1,4299}$$

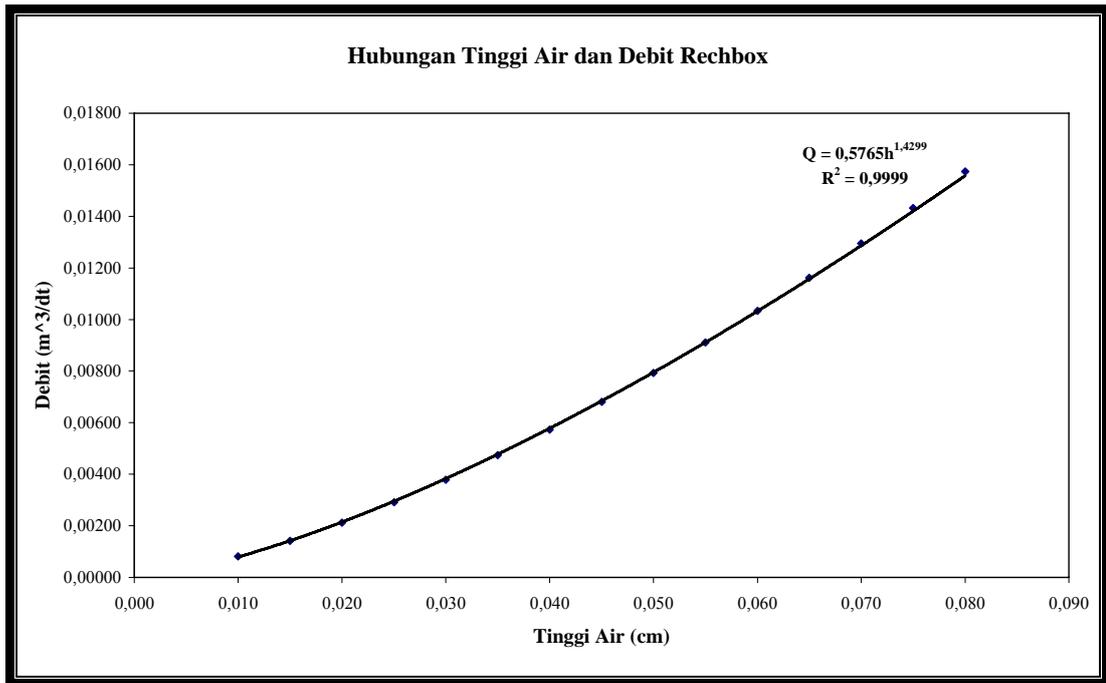
dimana : x = h (Tinggi Air Rechbock)

$$y = Q \text{ (Debit)}$$

Sehingga menjadi,

$$Q = 0,5852 h^{1,4299}$$

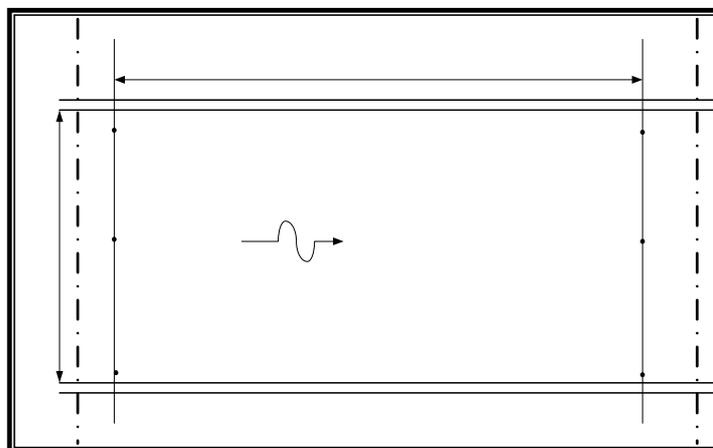
Selanjutnya nilai persamaan diatas digunakan guna mengetahui debit-debit lainnya.



**Gambar 4.9** Grafik Hubungan Debit dengan Tinggi Air

#### 4.2.2 Kalibrasi Alat Ukur Kecepatan

Kalibrasi alat ukur kecepatan, dilakukan dengan membandingkan besarnya kecepatan hasil pengukuran terhadap kecepatan aktual di saluran yang di hitung dari debit takar. jira terjadi hasil pengukuran kecepatan berbeda dengan receptan actual, maka perlu dilakukan penyesuaian antara kecepatan aktual yang dipakai sebagai patokan. Kalibrasi dilakukan dengan menghitung besarnya kesalahan relatif. Pembatasan besarnya kesalahan relatif diambil 5%. Jika kesalahan relatif yang terjadi lebih kecil, maka kalibrasi hanya dilakukan dengan penyesuaian kurva dan sebaliknya jira lebih besar, maka perlu dicari koefisien kalibrasi (Priyantoro dan Suprijanto 1998:32).



**Gambar 4.10** Sketsa Lokasi Pengambilan Data Kecepatan Untuk Kalibrasi

**Tabel 4.7 Perhitungan Kesalahan Relatif Antara  $V_{\text{pitot}}$  dengan  $V_{\text{aktual}}$**

No	Section	H pitot	V pitot	h saluran	A saluran	Q hitung	Q takar	V aktual	K . R
		(m)	(m/dt)	(m)	(m <sup>2</sup> )	(m <sup>3</sup> /dt)	(m <sup>3</sup> /dt)	(m/dt)	%
1	A	0,0069	0,3669	0,0309	0,0093	0,0034	0,0035	0,3784	3,0500
	B	0,0052	0,3198	0,0364	0,0109	0,0035	0,0035	0,3219	0,6407
2	A	0,0094	0,4286	0,0373	0,0112	0,0048	0,0047	0,4207	1,8914
	B	0,0065	0,3567	0,0414	0,0124	0,0044	0,0047	0,3793	5,9566
3	A	0,0089	0,4161	0,0414	0,0124	0,0052	0,0054	0,4361	4,5900
	B	0,0057	0,3325	0,0463	0,0139	0,0046	0,0054	0,3897	14,6670
4	A	0,0111	0,4666	0,0469	0,0141	0,0066	0,0068	0,4833	3,4474
	B	0,0091	0,4228	0,0509	0,0153	0,0065	0,0068	0,4456	5,1280
5	A	0,0122	0,4884	0,0518	0,0155	0,0076	0,0081	0,5203	6,1187
	B	0,0097	0,4367	0,0558	0,0167	0,0073	0,0081	0,4832	9,6332
6	A	0,0139	0,5217	0,0569	0,0171	0,0089	0,0093	0,5474	4,6822
	B	0,0112	0,4673	0,0616	0,0185	0,0086	0,0093	0,5056	7,5662
7	A	0,0142	0,5267	0,0608	0,0183	0,0096	0,0107	0,5837	9,7739
	B	0,0143	0,5291	0,0647	0,0194	0,0103	0,0107	0,5489	3,6082

Sumber : Hasil Pengukuran dan Perhitungan

Dari perhitungan kesalahan relatif diatas nilai terkecil adalah 0,6407 %. Sehingga terjadi hubungan  $V_{\text{Pitot}} = k. V_{\text{Aktual}}$

$$0.31984 = k. 0.32190$$

$$k = 0.993593$$

Dari hasil analisa didapatkan hubungan antara kecepatan (V) dengan beda tinggi air dalam tabung pitot (gambar 4.13). Alat *Pitot Tube*,  $V = 4,468 h^{0,5008}$  m/dt, h = beda tinggi air pitot dalam m.

**Tabel 4.8 Kalibrasi Alat Ukur Kecepatan**

No	h pitot (m)	V pitot (m/dt)	V aktual kalibrasi
1	0,0069	0,3669	0,3693
2	0,0052	0,3198	0,3219
3	0,0057	0,3325	0,3347
4	0,0065	0,3567	0,3590
5	0,0089	0,4161	0,4188
6	0,0091	0,4228	0,4255
7	0,0094	0,4286	0,4314
8	0,0097	0,4367	0,4395
9	0,0111	0,4666	0,4696
10	0,0112	0,4673	0,4704
11	0,0122	0,4884	0,4916
12	0,0139	0,5217	0,5251
13	0,0142	0,5267	0,5301
14	0,0143	0,5291	0,5325

Sumber : Perhitungan

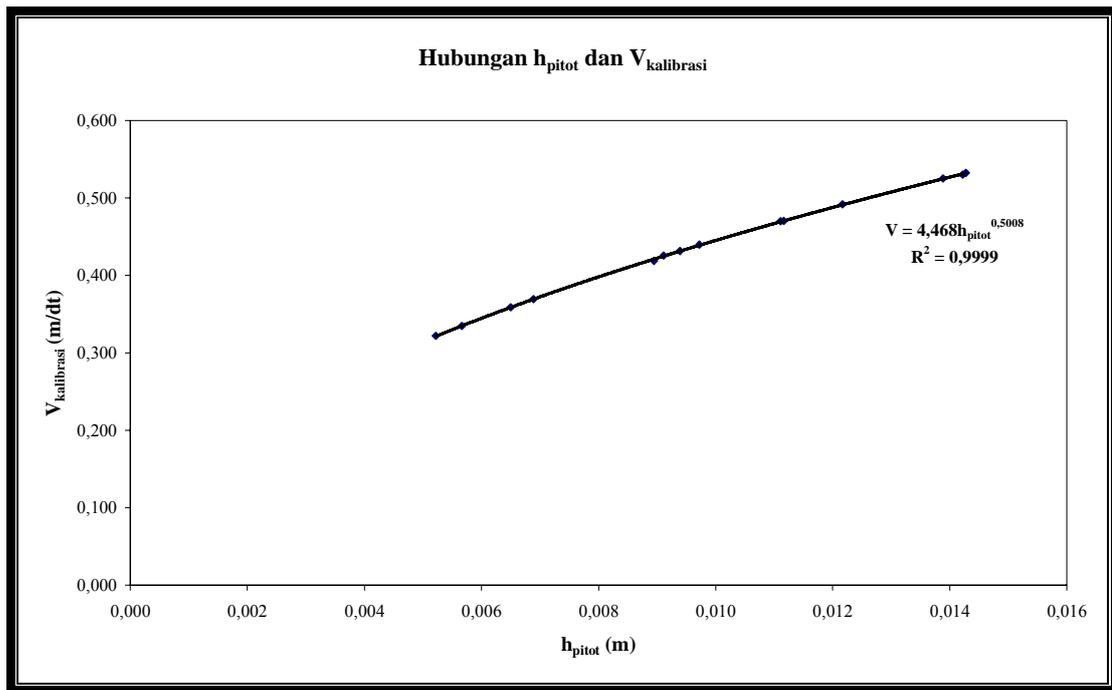
Keterangan :

1 = No. Urut

2 = Tinggi air alat pada ukur pitot tube

3 =  $(2g \times (2))^{0,5}$

4 = (3) / 0,993593



**Gambar 4.11** Grafik Hubungan Kecepatan dengan Tinggi Air

#### 4.2.3 Syarat Akurasi Model

Pengambilan data dilakukan dengan mengukur tinggi muka air pada bendung. Sebagai pedoman kalibrasi dan keakuratan model, digunakan acuan ketinggian aliran air di atas mercu bendung ( $h$  kritis). Disyaratkan kesalahan maksimum antara tinggi air hasil uji model fisik dengan hitungan teoritis sebesar 10%.

Perhitungan kesalahan relatif tinggi air pada model dan teoritis digunakan persamaan :

$$KR = \left| \frac{Hm - Ht}{Ht} \right| \times 100\%$$

dengan:

KR = Kesalahan relatif,

Hm = Tinggi air pada model hasil pengukuran (m),

Ht = Tinggi Air Teoritis (m).

**Tabel 4.9 Rekapitulasi Kesalahan Relatif Uji Fisik (KR < 10%)**

Analitis	Hc (cm)				Kesalahan Relatif (%)			
	Pelimpah				Pelimpah			
	a	b	c	d	a	b	c	d
1,59	1,59	1,60	1,61	1,67	0,52	0,73	1,78	5,35
2,38	2,33	2,35	2,39	2,49	2,07	1,09	0,59	4,80
3,18	3,12	3,01	3,20	3,26	1,86	5,21	0,66	2,55
3,97	3,80	4,00	3,82	3,81	4,49	0,71	3,82	4,15
4,78	4,72	4,70	4,77	4,68	1,15	1,57	0,24	1,98
<b>RERATA</b>					2,02	1,86	1,42	3,77

Sumber: Hasil Perhitungan

Keterangan :

a = Konvensional

b = Berterap dengan anak tangga datar

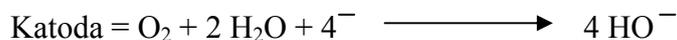
c = Berterap dengan anak tangga miring 30°

d = Berterap dengan anak tangga miring 20°

Dari tabel di atas, dapat disimpulkan bahwa beda tinggi air teoritis (Ht) dan tinggi air pengamatan di mercu semua bendung (hm) lebih kecil dari 10%, dengan demikian model dapat dipertanggung jawabkan.

#### 4.3 Analisis Kandungan DO (Oksigen Terlarut)

Cara penentuan oksigen terlarut pada penelitian ini adalah dengan metoda elektrokimia yaitu dengan cara langsung menggunakan alat DO meter. Prinsip kerjanya adalah menggunakan probe oksigen yang terdiri dari katoda dan anoda yang direndam dalam larutan elektrolit. Pada alat DO meter, probe ini biasanya menggunakan katoda perak (Ag) dan anoda timbal (Pb). Secara keseluruhan, elektroda ini dilapisi dengan membran plastik yang bersifat semi permeable terhadap oksigen. Reaksi kimia yang akan terjadi adalah :



Aliran reaksi yang terjadi tersebut tergantung dari aliran oksigen pada katoda. Difusi oksigen dari sampel ke elektroda berbanding lurus terhadap konsentrasi oksigen terlarut.

Berikut ini tabel hasil perhitungan DO :

**Tabel 4.10 Hasil pengujian sampel pada bendung konvensional**

Ketinggian air diatas bendung (cm)	Nilai DO (ppm)	
	Hulu	Hilir
2	7.1	7.4
3	7.7	8.2
4	7	7.7
5	7.2	8.2
6	7.1	7.9

**Tabel 4.11 Hasil pengujian sampel pada bendung berterap dengan anak tangga datar**

Ketinggian air diatas bendung (cm)	Nilai DO (ppm)	
	Hulu	Hilir
2	7.2	7.7
3	7.9	8.5
4	7.4	8.3
5	7.7	8.9
6	7.9	8.8

**Tabel 4.12 Hasil pengujian sampel pada bendung berterap dengan kemiringan anak tangga 20<sup>0</sup>**

Ketinggian air diatas bendung (cm)	Nilai DO (ppm)	
	Hulu	Hilir
2	9.6	10.2
3	8.2	8.8
4	8	9.2
5	7.9	9.2
6	7.9	9.4

**Tabel 4.13 Hasil pengujian sampel pada bendung berterap dengan kemiringan anak tangga 30<sup>0</sup>**

Ketinggian air diatas bendung (cm)	Nilai DO (ppm)	
	Hulu	Hilir
2	8.9	9.5
3	7.8	8.5
4	7.8	8.7
5	8	9.1
6	8	8.8

Hipotesa pada penelitian ini yaitu seberapa besar efektifitas untuk kenaikan DO tiap simulasi yang dikerjakan. Jadi antara sampel dikelompokkan menjadi 4 (empat) yaitu bendung konvensional dan bendung berterap (datar, kemiringan  $20^0$  dan  $30^0$ ), sementara itu nilai hasil uji DO sendiri untuk tiap kelompok tidak dapat diperbandingkan karena berapa syarat parameter tidak memenuhi yaitu yang pertama waktu pengambilan sampel, kedua adalah contoh air sampel itu sendiri yang diperlakukan sesuai simulasi hidrolika alirannya dan kemudian faktor suhu . Tetapi sesuai hipotesis awal bahwa pengkajian adalah seberapa efektif antara bendung konvensional (USBR) dan bendung berterap (datar, kemiringan  $20^0$  dan  $30^0$ ) dalam perubahan kandungan DO. Peneliti dapat membandingkan kenaikan DO untuk tiap ketinggian hulu yang berbeda untuk tiap sampelnya. Berikut tabel perhitungan kenaikan DO pada sebelum dan sesudah bendung :

**Tabel 4.14 Kandungan DO sebelum bendung :**

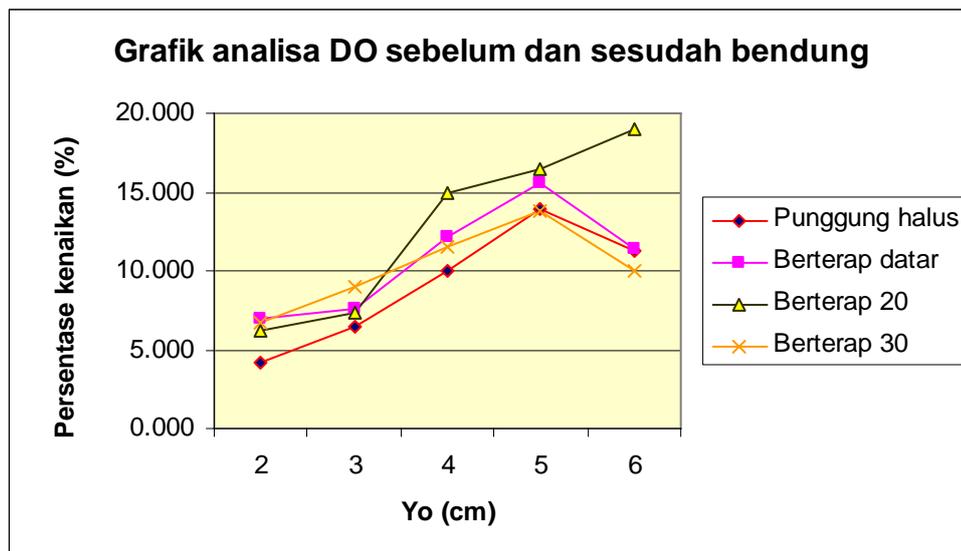
H (cm)	Konvensional	Datar	Kemiringan 20	Kemiringan 30
2	7.1	7.2	9.6	8.9
3	7.7	7.9	8.2	7.8
4	7	7.4	8	7.8
5	7.2	7.7	7.9	8
6	7.1	7.9	7.9	8

**Tabel 4.15 Kandungan DO setelah bendung :**

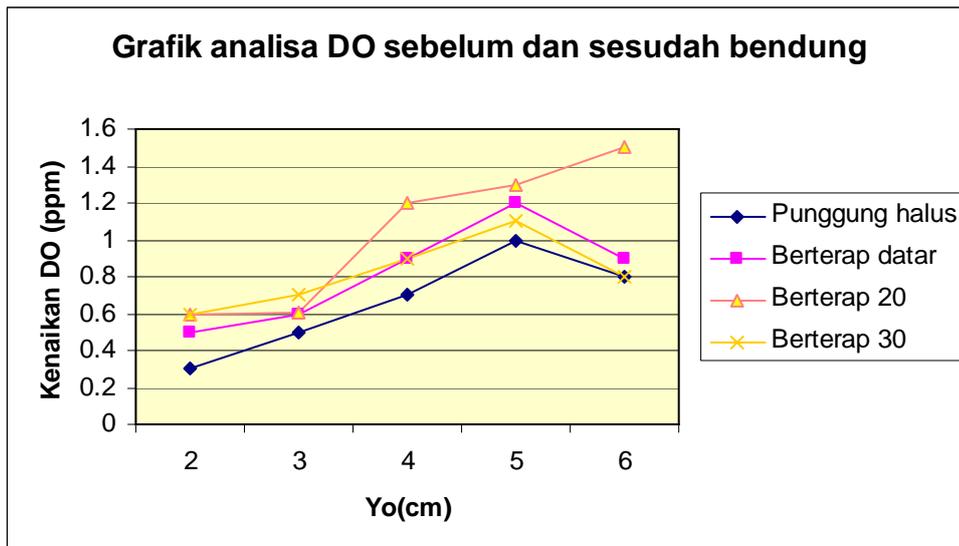
H (cm)	Konvensional	Datar	Kemiringan 20	Kemiringan 30
2	7.4	7.7	10.2	9.5
3	8.2	8.5	8.8	8.5
4	7.7	8.3	9.2	8.7
5	8.2	8.9	9.2	9.1
6	7.9	8.8	9.4	8.8

**Tabel 4.16 Perhitungan selisih kenaikan DO**

Bangunan	Yo	Hasil DO		Kenaikan DO	Persentase
		Hulu	Hilir		
Bendung dengan punggung halus	2	7.1	7.4	0.3	4.225
	3	7.7	8.2	0.5	6.494
	4	7	7.7	0.7	10.000
	5	7.2	8.2	1	13.889
	6	7.1	7.9	0.8	11.268
Bendung berterap dengan anak tangga datar	2	7.2	7.7	0.5	6.944
	3	7.9	8.5	0.6	7.595
	4	7.4	8.3	0.9	12.162
	5	7.7	8.9	1.2	15.584
	6	7.9	8.8	0.9	11.392
Bendung berterap dengan anak tangga miring 20 <sup>0</sup>	2	9.6	10.2	0.6	6.250
	3	8.2	8.8	0.6	7.317
	4	8	9.2	1.2	15.000
	5	7.9	9.2	1.3	16.456
	6	7.9	9.4	1.5	18.987
Bendung berterap dengan anak tangga miring 30 <sup>0</sup>	2	8.9	9.5	0.6	6.742
	3	7.8	8.5	0.7	8.974
	4	7.8	8.7	0.9	11.538
	5	8	9.1	1.1	13.750
	6	8	8.8	0.8	10.000



**Grafik 4.14** Grafik Analisa DO (%) sebelum dan setelah bendung



**Grafik 4.15** Grafik Analisa DO (ppm) sebelum dan setelah bendung

#### 4.4 Peramalan Nilai DO dengan Visual Basic

Model regresi linier berganda yang digunakan dalam algoritma untuk menjalankan program ini adalah sebagai berikut :

$$Y = \beta_0 X_0 + \beta_1 X_1 + \beta_2 X_2 + \beta_3 X_3 + \varepsilon$$

di mana :

$Y_i$  = respon nilai DO

$X_0$  = peubah boneka, yang nilainya selalu sama dengan satu

$X_1$  = kecepatan air

$X_2$  = bilangan froude

$X_3$  = tinggi air

$\beta_0, \beta_1, \beta_2, \beta_3$  = koefisien regresi parsial untuk setiap peubah penjelas

$$X_{1i}, X_{2i}, \dots, X_{ki}$$

$\varepsilon_i$  = galat atau simpangan

Dengan menggunakan pendekatan matrik, nilai dugaan bagi  $\beta_0, \beta_1, \beta_2, \beta_3$  dapat diperoleh dengan rumus :

$$\beta = (x^I x)^{-1} x^I y$$

Contoh bentuk penyajian persamaan diatas dalam bentuk matrik pada data bendung konvensional :

$$X = \begin{pmatrix} X_0 & X_1 & X_2 & X_3 \\ 1 & 0,3 & 0,67 & 0,0203 \\ 1 & 0,7 & 1,8 & 0,0155 \\ 1 & 0,38 & 0,71 & 0,0297 \\ 1 & 0,7 & 1,4 & 0,0255 \\ 1 & 0,44 & 0,71 & 0,04 \\ 1 & 0,75 & 1,27 & 0,04 \\ 1 & 0,49 & 0,7 & 0,05 \\ 1 & 0,85 & 1,69 & 0,03 \\ 1 & 0,54 & 0,7 & 0,03 \\ 1 & 0,98 & 1,95 & 0,03 \end{pmatrix} \quad y = \begin{pmatrix} 7,1 \\ 7,4 \\ 7,7 \\ 8,2 \\ 7 \\ 7,7 \\ 7,2 \\ 8,2 \\ 7,1 \\ 7,9 \end{pmatrix}$$

dimana : Y = data DO

X<sub>0</sub> = peubah boneka, yang nilainya selalu sama dengan satu

X<sub>1</sub> = data kecepatan

X<sub>2</sub> = data perhitungan froude

X<sub>3</sub> = data tinggi air

$$X' = \begin{pmatrix} 1 & 1 & 1 & 1 & 1 & 1 & 1 & 1 & 1 & 1 & 1 \\ 0,3 & 0,7 & 0,38 & 0,7 & 0,44 & 0,75 & 0,49 & 0,85 & 0,54 & 0,98 \\ 0,67 & 1,8 & 0,71 & 1,4 & 0,71 & 1,27 & 0,7 & 1,69 & 0,7 & 1,95 \\ 0,0203 & 0,0155 & 0,0297 & 0,0255 & 0,04 & 0,04 & 0,05 & 0,03 & 0,03 & 0,03 \end{pmatrix}$$

$$\beta = \begin{pmatrix} \beta_0 \\ \beta_1 \\ \beta_2 \\ \beta_3 \end{pmatrix} = \left( \begin{pmatrix} 1 & 1 & 1 & 1 & 1 & 1 & 1 & 1 & 1 & 1 \\ 0,3 & 0,7 & 0,38 & 0,7 & 0,44 & 0,75 & 0,49 & 0,85 & 0,54 & 0,98 \\ 0,67 & 1,8 & 0,71 & 1,4 & 0,71 & 1,27 & 0,7 & 1,69 & 0,7 & 1,95 \\ 0,0203 & 0,0155 & 0,0297 & 0,0255 & 0,04 & 0,04 & 0,05 & 0,03 & 0,03 & 0,03 \end{pmatrix} \begin{pmatrix} 1 & 0,3 & 0,67 & 0,0203 \\ 1 & 0,7 & 1,8 & 0,0155 \\ 1 & 0,38 & 0,71 & 0,0297 \\ 1 & 0,7 & 1,4 & 0,0255 \\ 1 & 0,44 & 0,71 & 0,04 \\ 1 & 0,75 & 1,27 & 0,04 \\ 1 & 0,49 & 0,7 & 0,05 \\ 1 & 0,85 & 1,69 & 0,03 \\ 1 & 0,54 & 0,7 & 0,03 \\ 1 & 0,98 & 1,95 & 0,03 \end{pmatrix} \right)^{-1}$$

$$\times \begin{pmatrix} 1 & 1 & 1 & 1 & 1 & 1 & 1 & 1 & 1 & 1 \\ 0,3 & 0,7 & 0,38 & 0,70 & 0,44 & 0,75 & 0,49 & 0,857 & 0,54 & 0,967 \\ 0,67 & 1,8 & 0,71 & 1,4 & 0,71 & 1,27 & 0,7 & 1,697 & 0,7 & 1,955 \\ 0,0203 & 0,0155 & 0,0297 & 0,0255 & 0,04 & 0,04 & 0,05 & 0,03 & 0,06 & 0,03 \end{pmatrix} \begin{pmatrix} 7,1 \\ 7,4 \\ 7,7 \\ 8,2 \\ 7 \\ 7,7 \\ 7,2 \\ 8,2 \\ 7,1 \\ 7,9 \end{pmatrix}$$

$$\begin{pmatrix} \beta_0 \\ \beta_1 \\ \beta_2 \\ \beta_3 \end{pmatrix} = \begin{pmatrix} 10 & 6,1448 & 11,612 & 0,341 \\ 6,1448 & 4,21219 & 8,08197 & 0,20592 \\ 11,612 & 8,08197 & 15,95183 & 0,364 \\ 0,341 & 0,20592 & 0,364 & 0,01328 \end{pmatrix}^{-1} \times \begin{pmatrix} 75,5 \\ 47,0242 \\ 89,1429 \\ 2,55362 \end{pmatrix}$$

$$\begin{pmatrix} \beta_0 \\ \beta_1 \\ \beta_2 \\ \beta_3 \end{pmatrix} = \begin{pmatrix} 4,7822 & 12,7967 & -7,0377 & -128,25 \\ 12,7967 & 74,5738 & -35,2938 & -517,232 \\ -7,0377 & -35,2938 & 17,2434 & 255,1924 \\ -128,25 & -517,232 & 255,1924 & 4391,496 \end{pmatrix} \times \begin{pmatrix} 75,5 \\ 47,0242 \\ 89,1429 \\ 2,55362 \end{pmatrix}$$

$$\begin{pmatrix} \beta_0 \\ \beta_1 \\ \beta_2 \\ \beta_3 \end{pmatrix} = \begin{pmatrix} 7,947684 \\ 5,920118 \\ -2,2249 \\ -42,5783 \end{pmatrix}$$

Jadi :

$$\begin{aligned} \beta_0 &= 7,947684 \\ \beta_1 &= 5,920118 \\ \beta_2 &= -2,2249 \\ \beta_3 &= -42,5783 \end{aligned}$$

Jadi persamaan regresi untuk bendung konvensional ialah

$$Y = 7,947684 + 5,920118X_1 - 2,2249X_2 - 42,5783X_3$$

cara yang sama juga digunakan untuk mendapatkan persamaan regresi pada bangunan lainnya, sehingga didapatkan :

- untuk bendung berterap dengan anak tangga datar :

$$Y = 6,7223 + 4,1175X_1 - 0,6018X_2 - 11,7102X_3$$

- Untuk bendung berterap dengan anak tangga miring 20° :

$$Y = 10,987 - 3,6161X_1 - 0,8392X_2 - 127,3612X_3$$

- Untuk bendung berterap dengan anak tangga miring  $30^0$  :

$$Y = 8,084 + 0,2599X_1 + 0,6832X_2 - 14,1382X_3$$

Dari persamaan tersebut akan didapatkan nilai DO estimasi dengan memasukkan nilai kecepatan, froude dan tinggi air ( $X_1, X_2, X_3$ )

Bentuk bahasa pemrograman untuk algoritma diatas terdapat pada lampiran.

Hasil tampilan yang keluar pada layar monitor :

The screenshot shows a Visual Basic form window titled "Form1". At the top left, there is a "Tabel" dropdown menu. Below it, the word "Data" is displayed above a table with five columns: "No", "Kecepatan", "Froude", "Tinggi", and "DO". The table is currently empty. Below the table, there are two labels: "Model" and "Jumlah". At the bottom left, there is a section titled "Perkiraan" containing four input fields labeled "Kecepatan", "Froude", "Tinggi", and "DO".

**Gambar 4.12** Hasil Tampilan Program Visual Basic

Cara penggunaan program ini sangatlah mudah, pengguna hanya diminta memasukkan nilai kecepatan, froude, dan tinggi air yang kemudian akan diproses berdasarkan persamaan model regresi pada bangunan bendung. Berikut ini adalah contoh tabel hasil peramalan nilai DO pada tiap-tiap section :

**Tabel 4.17 Hasil Peramalan DO pada Bendung Konvensional ( $H_d = 2$ )**

Section	Kecepatan	Froude	Tinggi air	DO
1	0.30055587	0.67406155	0.0202667	7.364353
2	0.47872916	1.20835734	0.016	7.412087
3	1.08695913	3.8639514	0.0080667	5.442232
4	1.64867163	6.75809969	0.0060667	2.413597
5	1.75211922	8.70119566	0.0041333	1.21486
6	0.71866305	1.35598492	0.0286333	7.96616
7	0.60473573	0.94474852	0.0417667	7.647462
8	0.38100226	0.61649883	0.0389333	7.173896
9	0.55651445	1.45237713	0.0149667	7.373662
10	0.70039592	1.7961527	0.0155	7.437882
11	0.59857344	1.58708045	0.0145	7.342825

**Tabel 4.18 Hasil Peramalan DO pada Bendung berterap dengan Anak Tangga Datar ( $H_d = 2$ )**

Section	Kecepatan	Froude	Tinggi air	DO
1	0.3005559	0.67854	0.02	7.317355
2	0.4787292	1.17343	0.016967	7.788701
3	0.979989	3.279941	0.0091	8.677154
4	1.1074562	3.209978	0.012133	9.208577
5	1.2183865	2.992314	0.0169	9.740491
6	0.6746454	1.20789	0.0318	8.400945
7	0.4544275	0.734365	0.039033	7.694442
8	0.2896044	0.475372	0.037833	7.185688
9	0.4544275	1.235067	0.0138	7.688631
10	0.5445296	1.452156	0.014333	7.922746
11	0.5903131	1.622113	0.0135	8.018746

**Tabel 4.19 Hasil Peramalan DO pada Bendung Berterap dengan Kemiringan Anak Tangga  $20^0$  ( $H_d = 2$ )**

Section	Kecepatan	Froude	Tinggi air	DO
1	0.300556	2.570417	0.0211	9.254164
2	0.389477	2.443151	0.0167	9.387479
3	0.957494	5.669426	0.009967	10.8662
4	1.089822	6.96691	0.009133	11.56967
5	1.158848	7.734695	0.0089	11.98642
6	0.686497	5.322029	0.0292	9.10852
7	0.573663	5.753984	0.040767	8.401563
8	0.373734	4.358579	0.036467	8.515138
9	0.570995	3.215084	0.015533	9.51975
10	0.550803	3.112968	0.015667	9.491112
11	0.579057	3.242338	0.015333	9.538669

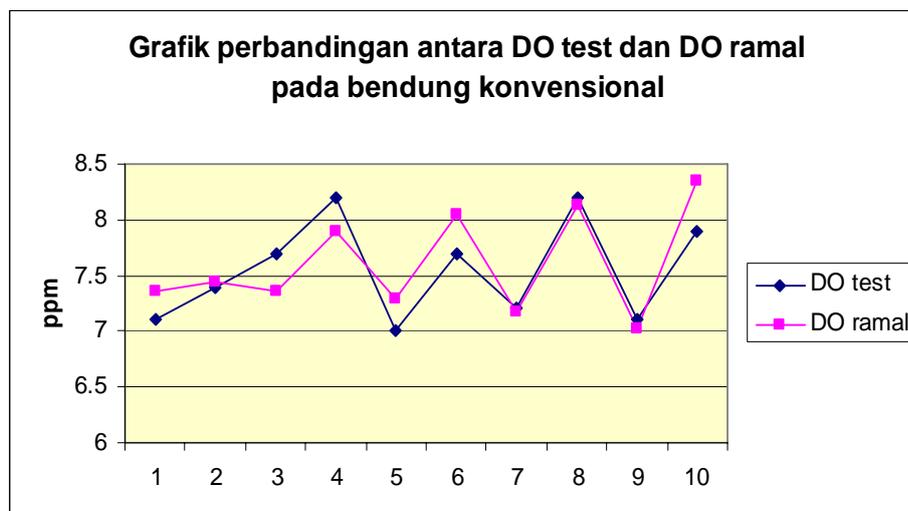
**Tabel 4.20 Hasil Peramalan DO pada Bendung Berterap dengan Kemiringan Anak Tangga 30<sup>0</sup> (H<sub>d</sub> = 2)**

Section	Kecepatan	Froude	Tinggi air	DO
1	0.300556	0.662188	0.021	8.317594
2	0.440107	1.109715	0.016033	8.72983
3	0.667033	1.839758	0.0134	9.324798
4	1.107361	3.183571	0.012333	10.3724
5	1.210604	3.65768	0.011167	10.73964
6	0.811458	1.602634	0.026133	9.020317
7	0.611629	1.027305	0.036133	8.433938
8	0.44358	0.721472	0.038533	8.147385
9	0.584768	1.512695	0.015233	9.054052
10	0.568118	1.611658	0.012667	9.153621
11	0.579057	1.59315	0.013467	9.132509

Berikut ini disajikan tabel kesalahan relatif pada peramalan nilai DO :

**Tabel 4.21 Perhitungan Kesalahan Relatif Peramalan DO pada Bendung Konvensional**

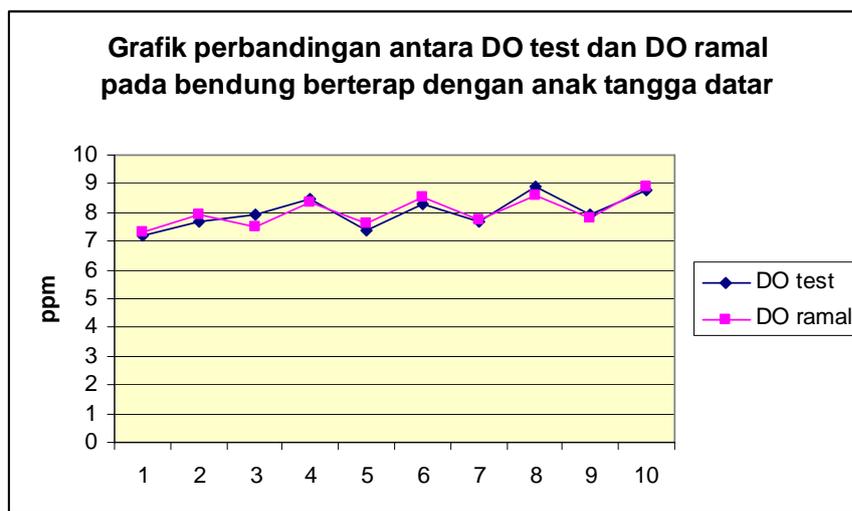
No	Kecepatan	Froude	Tinggi air	DO test	DO ramal	KR(%)
1	0.3	0.67	0.0203	7.1	7.3643535	3.723
2	0.7	1.8	0.0155	7.4	7.4378823	0.512
3	0.38	0.71	0.0297	7.7	7.3561661	4.465
4	0.7	1.4	0.0255	8.2	7.8938998	3.733
5	0.44	0.71	0.04	7	7.2852065	4.074
6	0.75	1.27	0.04	7.7	8.0413572	4.433
7	0.49	0.7	0.05	7.2	7.1734383	0.369
8	0.8578	1.697	0.03	8.2	8.1370433	0.768
9	0.54	0.7	0.06	7.1	7.0251851	1.054
10	0.987	1.955	0.03	7.9	8.3463021	5.649



**Grafik 4.16** Grafik perbandingan antara DO test dan DO ramal pada bendung konvensional

**Tabel 4.22 Perhitungan Kesalahan Relatif Peramalan DO pada Bendung Berterap dengan Anak Tangga Datar**

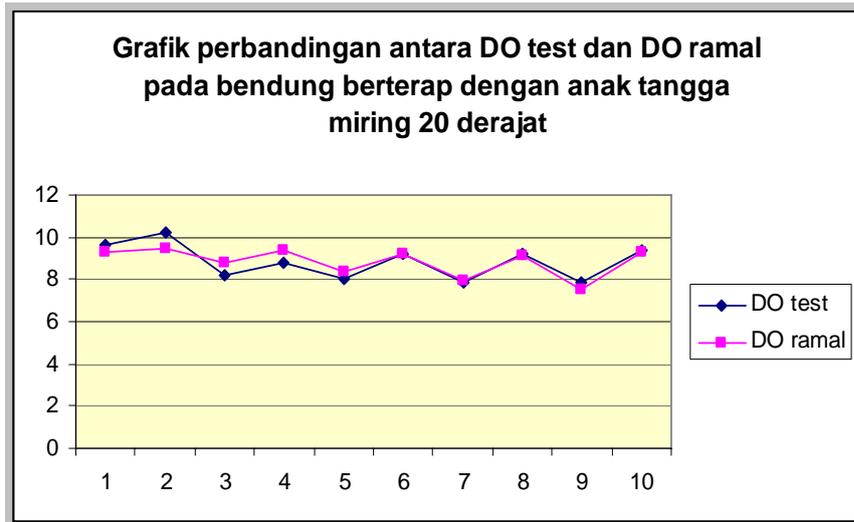
No	Kecepatan	Froude	Tinggi_air	DO test	DO ramal	KR(%)
1	0.3	0.679	0.02	7.2	7.317355	1.630
2	0.544	1.452	0.014	7.7	7.922746	2.893
3	0.381	0.702	0.03	7.9	7.517183	4.846
4	0.676	1.611	0.018	8.5	8.329139	2.010
5	0.44	0.702	0.04	7.4	7.642125	3.272
6	0.723	1.217	0.036	8.3	8.545881	2.962
7	0.485	0.693	0.05	7.7	7.718483	0.240
8	0.736	1.307	0.032	8.9	8.588401	3.501
9	0.539	0.703	0.06	7.9	7.81635	1.059
10	0.835	1.252	0.045	8.8	8.875066	0.853



**Grafik 4.17** Grafik perbandingan antara DO test dan DO ramal pada bendung berterap dengan anak tangga datar

**Tabel 4.23 Perhitungan Kesalahan Relatif Peramalan DO pada Bendung Berterap dengan Kemiringan Anak Tangga 20<sup>0</sup>**

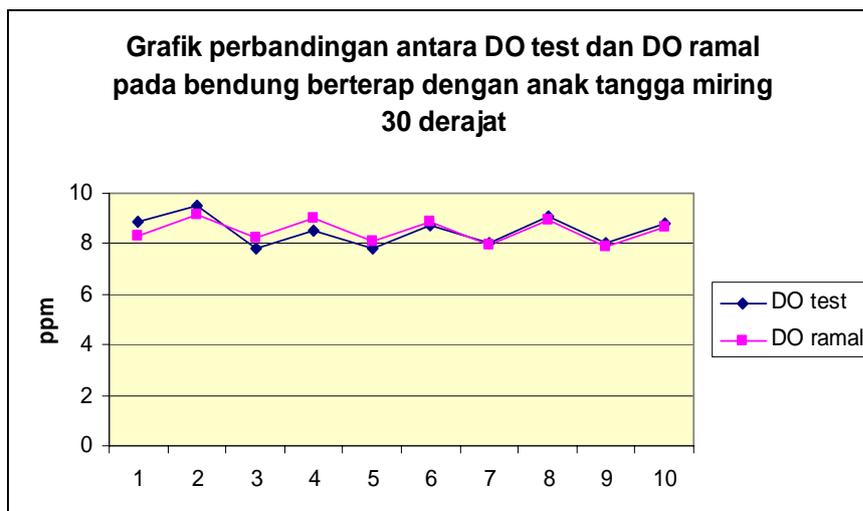
No	Kecepatan	Froude	Tinggi_air	DO test	DO ramal	KR(%)
1	0.3	2.57	0.0211	9.6	9.2541641	3.602
2	0.55	3.112	0.0157	10.2	9.4911117	6.950
3	0.381	3.739	0.03	8.2	8.7994366	7.310
4	0.696	4.768	0.023	8.8	9.4049318	6.874
5	0.439	4.985	0.04	8	8.3463434	4.329
6	0.719	5.499	0.0287	9.2	9.2069255	0.075
7	0.485	6.198	0.05	7.9	7.9168191	0.213
8	0.779	6.459	0.0337	9.2	9.1484861	0.560
9	0.539	7.48	0.06	7.9	7.5091403	4.948
10	0.94	8.775	0.0427	9.4	9.3378238	0.661



**Grafik 4.18** Grafik perbandingan antara DO test dan DO ramal pada bendung berterap dengan anak tangga miring 20<sup>0</sup>

**Tabel 4.24** Perhitungan Kesalahan Relatif Peramalan DO pada Bendung Berterap dengan Kemiringan Anak Tangga 30<sup>0</sup>

No	Kecepatan	Froude	Tinggi air	DO test	DO ramal	KR(%)
1	0.3	0.662	0.021	8.9	8.317594	6.544
2	0.568	1.611	0.0127	9.5	9.153621	3.646
3	0.381	0.702	0.03	7.8	8.238677	5.624
4	0.657	1.522	0.019	8.5	9.026628	6.196
5	0.439	0.701	0.04	7.8	8.11234	4.004
6	0.729	1.426	0.027	8.7	8.871431	1.970
7	0.468	0.668	0.05	8	7.956001	0.550
8	0.93	1.587	0.035	9.1	8.915372	2.029
9	0.539	0.702	0.06	8	7.855784	1.803
10	0.9266	1.405	0.044	8.8	8.658019	1.613



**Grafik 4.18** Grafik perbandingan antara DO test dan DO ramal pada bendung berterap dengan anak tangga miring 30<sup>0</sup>

**BAB V**  
**KESIMPULAN DAN SARAN**

**5.1. Kesimpulan**

Berdasarkan analisa dan pembahasan yang telah dilakukan, maka dapat diambil beberapa kesimpulan yaitu :

1. Bendung konvensional memberikan pengaruh terhadap kandungan oksigen terlarut pada bagian hilir yaitu meningkatnya konsentrasi oksigen terlarut dengan peningkatan sebagai berikut :

**Tabel 5.1 Kenaikan DO pada Bendung Konvensional**

Yo (cm)	Kenaikan DO (ppm)	Kenaikan DO (%)
2	0.3	4.225
3	0.5	6.494
4	0.7	10.000
5	1	13.889
6	0.8	11.268

2. Bendung berterap memberikan pengaruh terhadap kandungan oksigen terlarut pada bagian hilir yaitu meningkatnya konsentrasi oksigen terlarut dengan peningkatan sebagai berikut :

**Tabel 5.2 Kenaikan DO pada Bendung Berterap**

Yo (cm)	Kenaikan DO (ppm)					
	datar		miring 20		miring 30	
	ppm	%	ppm	%	ppm	%
2	0.5	6.944	0.6	6.250	0.6	6.742
3	0.6	7.595	0.6	7.317	0.7	8.974
4	0.9	12.162	1.2	15.000	0.9	11.538
5	1.2	15.584	1.3	16.456	1.1	13.750
6	0.9	11.392	1.5	18.987	0.8	10.000

Pada bendung dengan anak tangga datar kenaikan DO terjadi antara 0,5 – 1,2 ppm. Pada bendung dengan anak tangga miring 20<sup>0</sup> kenaikan DO terjadi antara 0,6 – 1,5 ppm. Pada bendung dengan anak tangga miring 30<sup>0</sup> kenaikan DO

terjadi antara 0,6 – 1,1 ppm. Kondisi maksimum kenaikan DO terjadi pada saat ketinggian di hulu 5 cm, karena begitu tinggi muka air hulu bertambah maka aliran akan semakin tenggelam sehingga kontak air dengan udara akan berkurang yang kemudian menyebabkan tidak optimalnya proses reaerasi.

3. Peramalan nilai DO dengan menggunakan metode regresi linier berganda nilai kesalahan relatifnya antara 0,369 – 5,649 pada bendung konvensional, antara 0,240 – 4,846 pada bendung berterap dengan anak tangga datar, antara 0,075 – 7,310 pada bendung berterap dengan anak tangga miring  $20^{\circ}$ , antara 0,550 – 6,544 pada bendung berterap dengan anak tangga miring  $30^{\circ}$

## 5.2 Saran

Mengacu pada hasil penelitian, analisa dan kesimpulan yang telah diuraikan maka perlu disarankan beberapa hal yaitu :

1. Adanya penelitian lanjutan untuk bangunan-bangunan air lainnya seperti bangunan limpasan atau bendung-bendung lainnya dengan berbagai variasi penambahan struktur yang meningkatkan olakan tetapi tidak mempengaruhi fungsional dari bangunan itu sendiri yang meningkatkan kemungkinan terjadinya peningkatan kadar oksigen terlarut.
2. Untuk pengembangan penelitian ini, hendaknya dilakukan pada saluran yang lebih besar dan lebih panjang dengan dimensi yang bervariasi sehingga didapat hasil yang lebih baik.

## DAFTAR PUSTAKA

- Anonim. (1986) *Standar perencanaan Irigasi – Kriteria Perencanaan Bagian Bangunan Utama KP-02*, Direktorat Jendral Pengairan Departemen Pekerjaan Umum, CV. Galang Persada, Bandung.
- Chamani, M. R. & Rajaratnam, N. (1999) Characterstic of Skimming Flow Over Stepped Spillway. *Journal of Hidraulic Engineering* Vol. 125, No.4, 361 – 368.
- Chanson, H. (1994) Hidraulic of Skimming Flow over Stepped Channels and Spillways. *Journal of Hidraulic Reasearch*, Vol 32, No. 3, 445 – 650.
- Chanson, H. (1994) Comparation of Energy Dissipation Between Nappe and Skimming Flow Regime on Stepped Chute . *Journal of Hidraulic Reasearch*, Vol 32, No. 2, 213 – 218.
- Chow, Ven Te. (1992) *Hidrolika Saluran Terbuka*. Erlangga, Jakarta.
- Raju, K. G. Ranga, 1985. *Hidrolika Saluran Terbuka*, Erlangga, Jakarta
- Sosrodarsono, sunyono dan Takeda, Kensaku. 2002. *Bendungan type Urugan*, Erlangga, Jakarta.
- Wasis. (2002) Pengaruh Pelimpah Berterap Dengan Anak Tangga Miring Terhadap Peredaman Energi Aliran Skimming Menggunakan Uji Model Fisik Hidrolika. Tesis tidak di terbitkan. Malang : Program Pasca Sarjana Universitas Brawijaya Malang.
- Tontowi. (2006) *Pengaruh Proses Reaerasi Pada terjunan Sungai terhadap Perbaikan kualitas air ,JSDA vol 2 No2*, Bandung.

## LAMPIRAN

---

---

---



Gambar Pengaliran Pada Terjunan Tegak Dengan Tinggi Muka Air Hulu 3,5 Cm



Gambar Pengaliran Pada Terjunan Tegak Dengan Tinggi Muka Air Hulu 5,5 Cm



Gambar Pengaliran Pada Terjunan Radial Dengan Tinggi Muka Air Hulu 3,5 Cm



Gambar Pengaliran Pada Terjunan Radial Dengan Tinggi Muka Air Hulu 5,5 Cm



Gambar Peralatan Yang Dipergunakan Dalam Penelitian



Gambar Model Terjunan Tipe Radial R= 6, R=8, R=10