

**PENGARUH PELIMPAH BERTERAP DENGAN ANAK
TANGGA DATAR YANG DIBERI BLOK HALANG
TERHADAP PEREDAMAN ENERGI
MENGUNAKAN UJI MODEL FISIK HIDROLIKA**

SKRIPSI

DIAJUKAN UNTUK MEMENUHI SEBAGIAN PERSYARATAN
MEMPEROLEH GELAR SARJANA TEKNIK



Disusun Oleh :

**SETO SUGIANTO PRABOWO RAHARDJO
NIM. 0310640052**

**DEPARTEMEN PENDIDIKAN NASIONAL
UNIVERSITAS BRAWIJAYA
FAKULTAS TEKNIK
JURUSAN PENGAIRAN
MALANG
2007**

**PENGARUH PELIMPAH BERTERAP DENGAN ANAK
TANGGA DATAR YANG DIBERI BLOK HALANG
TERHADAP PEREDAMAN ENERGI
MENGUNAKAN UJI MODEL FISIK HIDROLIKA**

SKRIPSI

DIAJUKAN UNTUK MEMENUHI SEBAGIAN PERSYARATAN
MEMPEROLEH GELAR SARJANA TEKNIK



Disusun Oleh :

**SETO SUGIANTO PRABOWO RAHARDJO
NIM. 0310640052**

Dosen Pembimbing,

Dr. Ir. Hj. Aniek Masrevaniah, Dipl. HE.
NIP. 130 628 591

Very Dermawan, ST, MT.
NIP. 132 232 480

**PENGARUH PELIMPAH BERTERAP DENGAN ANAK
TANGGA DATAR YANG DIBERI BLOK HALANG
TERHADAP PEREDAMAN ENERGI
MENGUNAKAN UJI MODEL FISIK HIDROLIKA**

Disusun oleh :

SETO SUGIANTO PRABOWO RAHARDJO
NIM. 0310640052

Skripsi ini telah diuji dan dinyatakan lulus pada
Tanggal 26 September 2007

DOSEN PENGUJI :

Dr. Ir. Hj. Aniek Masrevaniah, Dipl. HE.
NIP. 130 628 591

Very Dermawan, ST, MT.
NIP. 132 232 480

Ir. Sujatmoko Amali
NIP. 130 531 867

Ir. Hari Prasetijo, MT.
NIP. 131 574 845

Mengetahui,
Ketua Jurusan Pengairan

Ir. Hj. Rini Wahyu Sayekti, MS.
NIP. 131 629 862

KATA PENGANTAR

Puji syukur kehadiran Allah SWT atas rahmat dan hidayah serta karunia-NYA sehingga penyusun mampu menyelesaikan laporan Skripsi dengan judul “**Pengaruh Pelimpah Berterap Dengan Anak Tangga Datar yang Diberi Blok Halang Terhadap Peredaman Energi** ” 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 Bapak Very Dermawan, 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. Lestari Handayani 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, September 2007

Penulis,

Seto Sugianto P. R

DAFTAR ISI

	Halaman
KATA PENGANTAR.....	i
DAFTAR ISI.....	ii
DAFTAR TABEL.....	v
DAFTAR GAMBAR.....	vii
DAFTAR LAMPIRAN.....	ix
ABSTRAK.....	xiii
I. PENDAHULUAN	
1.1 Latar Belakang.....	1
1.2. Identifikasi Masalah.....	2
1.3. Batasan Masalah	5
1.4. Rumusan Masalah.....	5
1.5. Manfaat dan Tujuan.....	5
1.6. Batasan Istilah.....	6
II. LANDASAN TEORI	
2.1 Pelimpah <i>Overflow</i>	7
2.1.1 Pelimpah Konvensional.....	9
2.1.2 Pelimpah Berterap	11
2.1.2.1 Geometri Terap/ Anaktangga	14
2.1.2.2 Regim Aliran Pelimpah Berterap	14
2.2 Jenis Aliran	15
2.3 Loncatan Hidraulik	15
2.3.1 Loncatan Hidraulik Pada Saluran Persegi Panjang Mendatar	16
2.3.2 Jenis – jenis Loncatan	17
2.3.3 Sifat-sifat dasar loncatan.....	19
2.3.4 Panjang Loncatan.....	19
2.3.5 Loncatan Hidraulik Pada saluran Curam	20
2.4 Peredam Energi.....	21
2.4.1 Peredam Energi USBR Tipe I.....	22
2.4.2 Peredam Energi USBR tipe II.....	22



2.4.3 Peredam Energi USBR tipe III	23
2.4.4 Peredam energi USBR Tipe IV	24
2.5 Kavitasi	24
2.6 Aliran Silang (Cross Flow)	25
2.7 Sistem Pengudaraan (Sistem Aerasi)	26
III. METODE PENELITIAN	
3.1 Data untuk Analisa	28
3.2 Alat yang Digunakan	28
3.3 Perencanaan Model	29
3.4 Parameter dan Variabel Penelitian	29
3.5 Langkah Perhitungan	31
3.6 Tabulasi Penelitian	31
DATA DAN ANALISA DATA	
4.1 Model Fisik	33
4.1.1 Desain Pelimpah	33
4.1.1.1 Perhitungan Debit yang Melewati Desain Pelimpah	34
4.1.1.2 Perhitungan Profil Muka air di Atas Pelimpah	35
4.1.2 Desain Kolam Olak	37
4.1.2.1 Dimensi Kolam Olak	37
4.1.2.2 Perhitungan Tinggi Muka Air Analitis pada Desain Kolam Olak	39
4.1.3 Dimensi Susunan Anak Tangga	45
4.2 Kalibrasi dan Verifikasi Model	48
4.2.1 Kalibrasi Alat Ukur Debit	48
4.2.2 Kalibrasi Alat Ukur Kecepatan	53
4.2.3 Syarat Akurasi Model	55
4.3 Hasil Pengukuran dan Perhitungan Data	56
4.3.1 Tinggi Muka Air	57
4.3.2. Kecepatan	60
4.4 Perhitungan Peredaman Energi Pelimpah	62
4.4.1 Pengaruh Panjang Loncatan Air	70
4.4.2 Pengaruh tinggi loncatan air	71

4.4.3 Pengaruh Jenis Pelimpah Terhadap Bilangan Froude 75

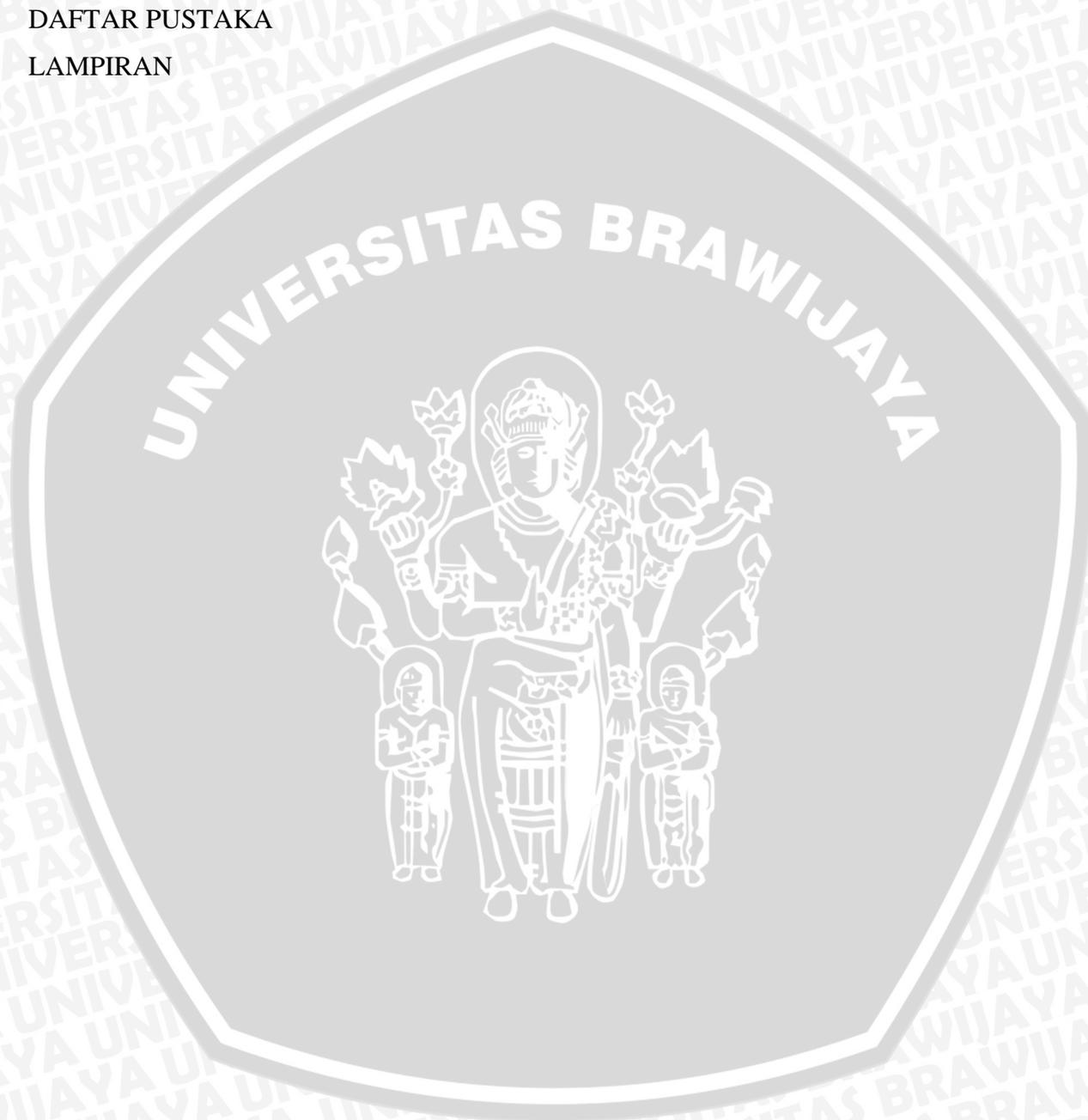
KESIMPULAN DAN SARAN

5.1 Kesimpulan 77

5.2 Saran 78

DAFTAR PUSTAKA

LAMPIRAN

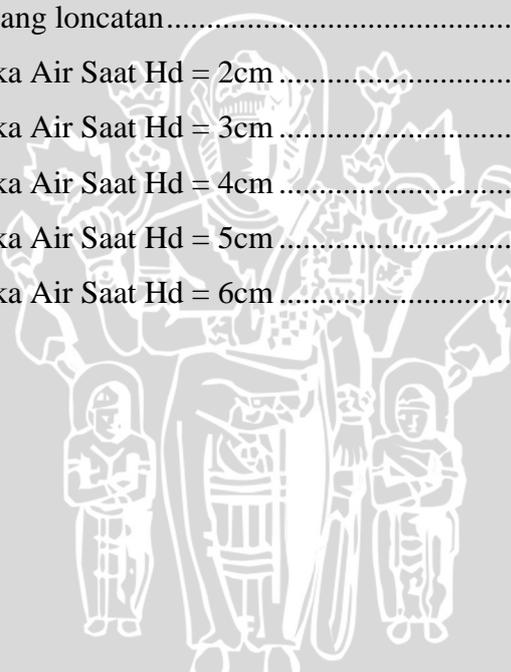


DAFTAR GAMBAR

	Halaman
Gambar 1.1. Pelimpah Berterap Dengan Anak Tangganya diberi Blok Halang	4
Gambar 1.2. Perbandingan Anak Tangga yang diberi Blok Halang dengan Anak tangga miring.....	4
Gambar 2.1 Skema sebuah tipe bangunan pelimpah pada bendungan	8
Gambar 2.2. Bentuk pelimpah standard WES dengan sisi bagian hulu tegak lurus	9
Gambar 2.3 Tinggi muka air diatas pelimpah	11
Gambar 2.4 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 pelimpah berterap.....	12
Gambar 2.5. Daerah aliran di sepanjang pelimpah berterap.....	13
Gambar 2.6. Permulaan Aliran Skimming: Essery dan Horner (1978), Peyras <i>et.al.</i> (1991), dan Beitz & Lawless (1992).....	14
Gambar 2.7 Persamaan momentum dalam loncatan hidraulik	16
Gambar 2.8 Hubungan $F1$ dan $y1/y2$ untuk loncatan hidraulik pada saluran persegi panjang mendatar.	17
Gambar 2.9 Jenis-jenis loncatan hidraulik.....	18
Gambar 2.10 Panjang loncatan yang dinyatakan dengan kedalaman akhir y_2	19
Gambar 2.11 Jenis-jenis loncatan hidraulik pada saluran curam	21
Gambar 2.12 Bentuk kolam olakan datar tipe I.....	22
Gambar 2.13 Bentuk kolam olakan datar tipe II.....	23
Gambar 2.14 Bentuk kolam olakan datar tipe III	23
Gambar 2.15 Bentuk kolam olakan datar tipe IV	24
Gambar 2.16 Gambar aliran silang (<i>cross flow</i>).....	26
Gambar 2.17. Macam-macam sistem pengudaraan (aerator)	27
Gambar 3.1 Sketsa blok halang pelimpah	30
Gambar 3.2 Diagram Alir Pengerjaan Skripsi.....	32
Gambar 4.1 Desain Pelimpah Konvensional (cm)	34
Gambar 4.2 Tinggi Muka Air diatas Pelimpah.....	37
Gambar 4.3 Peredam Energi USBR Tipe III.....	38
Gambar 4.4 Skema diagram tekanan pada peredam energi USBR tipe III	39
Gambar 4.5 Desain Anak Tangga.....	46
Gambar 4.6 Pelimpah Berterap dengan Anak Tangga Datar	47



Gambar 4.7	Pelimpah Berterap dengan Anak Tangga Datar Yang diberi Blok Halang	47
Gambar 4.8	Pelimpah Berterap dengan Anak Tangga Miring 20°	48
Gambar 4.9	Sketsa Lokasi Pengambilan Data untuk Kalibrasi Alat Ukur Debit..	49
Gambar 4.10	Dimensi alat ukur debit rechbox	50
Gambar 4.11	Grafik Hubungan Debit dengan Tinggi Air	53
Gambar 4.12	Sketsa Lokasi Pengambilan Data Kecepatan untuk Kalibrasi	53
Gambar 4.13	Grafik Hubungan Debit dengan Tinggi Air	55
Gambar 4.14	Pembagian Section Penelitian.....	56
Gambar 4.15	Sketsa persamaan energi pada Pelimpah	62
Gambar 4.16	Grafik Peredaman Energi.....	69
Gambar 4.17	Foto Loncatan air yang terjadi pada Peredam Energi USBR tipe III	70
Gambar 4.18	Grafik panjang loncatan.....	71
Gambar 4.19	Tinggi Muka Air Saat Hd = 2cm	72
Gambar 4.20	Tinggi Muka Air Saat Hd = 3cm	73
Gambar 4.21	Tinggi Muka Air Saat Hd = 4cm	73
Gambar 4.22	Tinggi Muka Air Saat Hd = 5cm	74
Gambar 4.23	Tinggi Muka Air Saat Hd = 6cm	74



DAFTAR TABEL

	Halaman
Tabel 2.1 Nilai K dan n	9
Tabel 2.2. Harga-harga koefisien kontraksi K_p	10
Tabel 2.3. Harga-harga koefisien kontraksi K_a	10
Tabel 3.1 Rancangan Penelitian.....	30
Tabel 4.1 Koordinat Lengkung Harold.....	33
Tabel 4.2 Debit yang Melimpah diatas	35
Tabel 4.3 Perhitungan profil muka air di atas pelimpah.....	36
Tabel 4.4 Perhitungan Profil Muka Air	38
Tabel 4.5 Perhitungan Kesalahan Relatif Debit.....	50
Tabel 4.6 Perhitungan Debit Kalibrasi.....	52
Tabel 4.7 Perhitungan Kesalahan Relatif Antara V_{pitot} dengan V_{aktual}	54
Tabel 4.8 Kalibrasi Alat Ukur Kecepatan.....	54
Tabel 4.9 Rekapitulasi Kesalahan Relatif Uji Fisik ($KR < 10\%$).....	56
Tabel 4.10 Rekapitulasi Tinggi Muka Air Pelimpah Konvensional.....	58
Tabel 4.11 Rekapitulasi Tinggi Muka Air Pelimpah Berterap	58
Tabel 4.12 Rekapitulasi Tinggi Muka Air Pelimpah Berterap (Sill)	59
Tabel 4.13 Rekapitulasi Tinggi Muka Air Pelimpah Berterap (Miring 20°)	59
Tabel 4.14 Rekapitulasi Kecepatan Air Pelimpah Konvensional	60
Tabel 4.15 Rekapitulasi Kecepatan Air Pelimpah Berterap	61
Tabel 4.16 Rekapitulasi Kecepatan Air Pelimpah Berterap (Sill)	61
Tabel 4.17 Rekapitulasi Kecepatan Air Pelimpah Berterap (Miring 20°)	62
Tabel 4.18 Rekapitulasi Energi Pelimpah Konvensional	63
Tabel 4.19 Rekapitulasi Energi Pelimpah Berterap	63
Tabel 4.20 Rekapitulasi Energi Pelimpah Berterap (Sill).....	64
Tabel 4.21 Rekapitulasi Energi Pelimpah Berterap (Miring 20°).....	64
Tabel 4.22 Besarnya Efektivitas Peredaman Energi Pelimpah.....	66
Tabel 4.23 Besarnya Efektivitas Peredaman Energi Pada Kolam Olak USBR Tipe III.....	67
Tabel 4.24 Rekapitulasi Nilai Peredaman Energi pada Pelimpah dan Kolam Olak	68
Tabel 4.25 Panjang Loncatan.....	70



Tabel 4.26	Tinggi Loncat Air	75
Tabel 4.27	Nilai Bilangan Froude pada berbagai pelimpah	76



DAFTAR LAMPIRAN

LAMPIRAN I : Data Kalibrasi

LAMPIRAN II : Data Pelimpah Konvensional

- Tabel II.1 Perhitungan Tinggi Muka Air Pelimpah Konvensional di Masing-Masing Section pada saat $h_d = 2$ cm
- Tabel II.2 Perhitungan Kecepatan Pelimpah Konvensional di Masing-Masing Section Pada Saat $H_d = 2$ cm
- Tabel II.3 Perhitungan Energi Tiap Section
- Tabel II.4 Perhitungan Tinggi Muka Air Pelimpah Konvensional di Masing-Masing Section pada saat $h_d = 3$ cm
- Tabel II.5 Perhitungan Kecepatan Pelimpah Konvensional di Masing-Masing Section Pada Saat $H_d = 3$ cm
- Tabel II.6 Perhitungan Energi Tiap Section
- Tabel II.7 Perhitungan Tinggi Muka Air Pelimpah Konvensional di Masing-Masing Section pada saat $h_d = 4$ cm
- Tabel II.8 Perhitungan Kecepatan Pelimpah Konvensional di Masing-Masing Section Pada Saat $H_d = 4$ cm
- Tabel II.9 Perhitungan Energi Tiap Section
- Tabel II.10 Perhitungan Tinggi Muka Air Pelimpah Konvensional di Masing-Masing Section pada saat $h_d = 5$ cm
- Tabel II.11 Perhitungan Kecepatan Pelimpah Konvensional di Masing-Masing Section Pada Saat $H_d = 5$ cm
- Tabel II.12 Perhitungan Energi Tiap Section
- Tabel II.13 Perhitungan Tinggi Muka Air Pelimpah Konvensional di Masing-Masing Section pada saat $h_d = 6$ cm
- Tabel II.14 Perhitungan Kecepatan Pelimpah Konvensional di Masing-Masing Section Pada Saat $H_d = 6$ cm
- Tabel II.15 Perhitungan Energi Tiap Section
- Gambar II.1 Tinggi Muka Air Pelimpah Konvensional Tiap Section Saat $H_d = 2$ cm
- Gambar II.2 Tinggi Muka Air Pelimpah Konvensional Tiap Section Saat $H_d = 3$ cm
- Gambar II.3 Tinggi Muka Air Pelimpah Konvensional Tiap Section Saat $H_d = 4$ cm

Gambar II.4 Tinggi Muka Air Pelimpah Konvensional Tiap Section Saat Hd = 4cm

Gambar II.5 Tinggi Muka Air Pelimpah Konvensional Tiap Section Saat Hd = 6cm

LAMPIRAN III : Data Pelimpah Berterap

Tabel III.1 Perhitungan Tinggi Muka Air Pelimpah Berterap dengan Anak Tangga Datar di Masing-Masing Section pada saat hd = 2 cm

Tabel III.2 Perhitungan Kecepatan Pelimpah Berterap (Datar) di Masing-Masing Section Pada Saat Hd = 2 cm

Tabel III.3 Perhitungan Energi Tiap Section

Tabel III.4 Perhitungan Tinggi Muka Air Pelimpah Berterap dengan Anak Tangga Datar di Masing-Masing Section pada saat hd = 3 cm

Tabel III.5 Perhitungan Kecepatan Pelimpah Berterap (Datar) di Masing-Masing Section Pada Saat Hd = 3 cm

Tabel III.6 Perhitungan Energi Tiap Section

Tabel III.7 Perhitungan Tinggi Muka Air Pelimpah Berterap dengan Anak Tangga Datar di Masing-Masing Section pada saat hd = 4 cm

Tabel III.8 Perhitungan Kecepatan Pelimpah Berterap (Datar) di Masing-Masing Section Pada Saat Hd = 4 cm

Tabel III.9 Perhitungan Energi Tiap Section

Tabel III.10 Perhitungan Tinggi Muka Air Pelimpah Berterap dengan Anak Tangga Datar di Masing-Masing Section pada saat hd = 5 cm

Tabel III.11 Perhitungan Kecepatan Pelimpah Berterap (Datar) di Masing-Masing Section Pada Saat Hd = 5 cm

Tabel III.12 Perhitungan Energi Tiap Section

Tabel III.13 Perhitungan Tinggi Muka Air Pelimpah Berterap dengan Anak Tangga Datar di Masing-Masing Section pada saat hd = 6 cm

Tabel III.14 Perhitungan Kecepatan Pelimpah Berterap (Datar) di Masing-Masing Section Pada Saat Hd = 6 cm

Tabel III.15 Perhitungan Energi Tiap Section

Gambar III.1 Tinggi Muka Air Pelimpah Berterap (Datar) Tiap Section Saat Hd = 2cm

Gambar III.2 Tinggi Muka Air Pelimpah Berterap (Datar) Tiap Section Saat Hd = 3cm

Gambar III.3 Tinggi Muka Air Pelimpah Berterap (Datar) Tiap Section Saat Hd = 4cm

Gambar III.4 Tinggi Muka Air Pelimpah Berterap (Datar) Tiap Section Saat Hd = 4cm

Gambar III.5 Tinggi Muka Air Pelimpah Berterap (Datar) Tiap Section Saat Hd = 6cm

LAMPIRAN IV : Data Pelimpah Berterap (Sill)

- Tabel IV.1 Perhitungan Tinggi Muka Air Pelimpah Berterap dengan Anak Tangga yang Diberi Blok Halang di Masing-Masing Section pada saat $hd = 2$ cm
- Tabel IV.2 Perhitungan Kecepatan Pelimpah Berterap (Sill) di Masing-Masing Section Pada Saat $Hd = 2$ cm
- Tabel IV.3 Perhitungan Energi Tiap Section
- Tabel IV.4 Perhitungan Tinggi Muka Air Pelimpah Berterap dengan Anak Tangga yang Diberi Blok Halang di Masing-Masing Section pada saat $hd = 3$ cm
- Tabel IV.5 Perhitungan Kecepatan Pelimpah Berterap (Sill) di Masing-Masing Section Pada Saat $Hd = 3$ cm
- Tabel IV.6 Perhitungan Energi Tiap Section
- Tabel IV.7 Perhitungan Tinggi Muka Air Pelimpah Berterap dengan Anak Tangga yang Diberi Blok Halang di Masing-Masing Section pada saat $hd = 4$ cm
- Tabel IV.8 Perhitungan Kecepatan Pelimpah Berterap (Sill) di Masing-Masing Section Pada Saat $Hd = 4$ cm
- Tabel IV.9 Perhitungan Energi Tiap Section
- Tabel IV.10 Perhitungan Tinggi Muka Air Pelimpah Berterap dengan Anak Tangga yang Diberi Blok Halang di Masing-Masing Section pada saat $hd = 5$ cm
- Tabel IV.11 Perhitungan Kecepatan Pelimpah Berterap (Sill) di Masing-Masing Section Pada Saat $Hd = 5$ cm
- Tabel IV.12 Perhitungan Energi Tiap Section
- Tabel IV.13 Perhitungan Tinggi Muka Air Pelimpah Berterap dengan Anak Tangga yang Diberi Blok Halang di Masing-Masing Section pada saat $hd = 6$ cm
- Tabel IV.14 Perhitungan Kecepatan Pelimpah Berterap (Sill) di Masing-Masing Section Pada Saat $Hd = 6$ cm
- Tabel IV.15 Perhitungan Energi Tiap Section
- Gambar IV.1 Tinggi Muka Air Berterap (Sill) Tiap Section Saat $Hd = 2$ cm
- Gambar IV.2 Tinggi Muka Air Berterap (Sill) Tiap Section Saat $Hd = 3$ cm
- Gambar IV.3 Tinggi Muka Air Berterap (Sill) Tiap Section Saat $Hd = 4$ cm

Gambar IV.4 Tinggi Muka Air Berterap (Sill) Tiap Section Saat Hd = 5cm

Gambar IV.5 Tinggi Muka Air Berterap (Sill) Tiap Section Saat Hd = 6cm

LAMPIRAN V : Data Pelimpah Berterap (Miring 20°)

Tabel V.1 Perhitungan Tinggi Muka Air Pelimpah Berterap dengan Anak Tangga Miring 20° di Masing-Masing Section pada saat hd = 2 cm

Tabel V.2 Perhitungan Kecepatan Pelimpah Berterap (Miring 20°) di Masing-Masing Section Pada Saat Hd = 2 cm

Tabel V.3 Perhitungan Energi Tiap Section

Tabel V.4 Perhitungan Tinggi Muka Air Pelimpah Berterap dengan Anak Tangga Miring 20° di Masing-Masing Section pada saat hd = 3 cm

Tabel V.5 Perhitungan Kecepatan Pelimpah Berterap (Miring 20°) di Masing-Masing Section Pada Saat Hd = 3 cm

Tabel V.6 Perhitungan Energi Tiap Section

Tabel V.7 Perhitungan Tinggi Muka Air Pelimpah Berterap dengan Anak Tangga Miring 20° di Masing-Masing Section pada saat hd = 4 cm

Tabel V.8 Perhitungan Kecepatan Pelimpah Berterap (Miring 20°) di Masing-Masing Section Pada Saat Hd = 4 cm

Tabel V.9 Perhitungan Energi Tiap Section

Tabel V.10 Perhitungan Tinggi Muka Air Pelimpah Berterap dengan Anak Tangga Miring 20° di Masing-Masing Section pada saat hd = 5 cm

Tabel V.11 Perhitungan Kecepatan Pelimpah Berterap (Miring 20°) di Masing-Masing Section Pada Saat Hd = 5 cm

Tabel V.12 Perhitungan Energi Tiap Section

Tabel V.13 Perhitungan Tinggi Muka Air Pelimpah Berterap dengan Anak Tangga Miring 20° di Masing-Masing Section pada saat hd = 6 cm

Tabel V.14 Perhitungan Kecepatan Pelimpah Berterap (Miring 20°) di Masing-Masing Section Pada Saat Hd = 6 cm

Tabel V.15 Perhitungan Energi Tiap Section

Gambar V.1 Tinggi Muka Air Berterap (Miring 20°) Tiap Section Saat Hd = 2cm

Gambar V.2 Tinggi Muka Air Berterap (Miring 20°) Tiap Section Saat Hd = 3cm

Gambar V.3 Tinggi Muka Air Berterap (Miring 20°) Tiap Section Saat Hd = 4cm

Gambar V.4 Tinggi Muka Air Berterap (Miring 20°) Tiap Section Saat Hd = 5cm

Gambar V.5 Tinggi Muka Air Berterap (Miring 20°) Tiap Section Saat Hd = 6cm

ABSTRAK

Seto Sugianto Prabowo Rahardjo, Jurusan Pengairan, Fakultas Teknik Universitas Brawijaya, Agustus 2007. Pengaruh Pelimpah Berterap Dengan Anak Tangga Datar yang Diberi Blok Halang Terhadap Peredaman Energi Menggunakan Uji Model Fisik Hidrolika. Dosen Pembimbing : Dr. Ir. Aniek Masrevaniah, Dipl. HE dan Very Dermawan, ST, MT

Aliran air pada pelimpah konvensional menghasilkan aliran superkritis dengan daya penggerus sangat kuat, sehingga dapat menyebabkan hancurnya konstruksi pondasi dan alur sungai di bagian hilir bendungan. Dalam upaya menghambat aliran, maka dalam penelitian ini diuji empat jenis pelimpah dengan lima variasi debit.

Maksud dan tujuan studi ini adalah untuk mengetahui jenis pelimpah yang dapat menghasilkan kuantitas energi terkecil dan terbesar diantara jenis pelimpah yang diuji. Atau dengan kata lain dapat diutarakan untuk mengetahui jenis pelimpah yang dapat memperlambat aliran / meredam energi paling besar diantara jenis pelimpah yang diuji.

Untuk mencapai tujuan di atas, digunakan model fisik hidrolika dengan spesifikasi: profil pelimpah dibangun mengikuti *Standard Waterways Experiment Station* (WES) dengan kemiringan punggung pelimpah konstan yaitu 45° . Terdiri dari sembilan anak tangga dimulai titik tangensi hingga kaki pelimpah. Pelimpah terbuat dari kayu jati dengan cat epoxy untuk menghindari perubahan bentuk. Ditempatkan dalam sebuah laboratorium dengan panjang 6 m dan lebarnya 0,30 m. Di dasar kaki pelimpah diteruskan dengan sebuah saluran dengan kemiringan dasar datar. Dipasangkan alat kontrol berupa kolam olak USBR tipe III dihilirnya sehingga akan terbentuk loncatan hidrolis, dimana kolam olak USBR tipe III didesain dengan debit pada saat $hd = 4\text{cm}$. Diuji empat jenis pelimpah dengan tinggi konstan (0,17 m), yaitu: pelimpah konvensional, pelimpah berterap dengan anak tangga datar, pelimpah berterap dengan anak tangga datar yang diberi blok halang, pelimpah berterap dengan anak tangga miring 20° . Masing pelimpah dialiri dengan seri debit yang tergantung pada tinggi air diatas pelimpah (hd), yaitu: 2 cm, 3 cm, 4 cm, 5 cm dan 6 cm. Analisa yang dilakukan meliputi peredaman energi, dan bilangan froude (Fr). Hasilnya dibandingkan dan diurutkan mulai dari nilai yang terkecil sampai terbesar, sehingga diperoleh fakta jenis pelimpah yang mampu meredam energi terbesar diantara jenis pelimpah yang mampu meredam energi terbesar dan terkecil diantara jenis pelimpah yang di uji.

Dari hasil pengamatan pada model diketahui tingkat peredaman energi akibat lima perlakuan sebagai berikut: Pelimpah konvensional memberikan pengaruh terhadap peredaman energi rata-rata sebesar 42,472 %. Pelimpah berterap memberikan pengaruh terhadap peredaman energi rata-rata sebesar 52,906 %. Pelimpah berterap dengan anak tangga diberi blok halang memberikan pengaruh terhadap peredaman energi rata-rata sebesar 50,577 %. Pelimpah berterap dengan anak tangga miring 20° memberikan pengaruh terhadap peredaman energi rata-rata sebesar 51,680 %. Sehingga dapat disimpulkan bahwa efektifitas peredaman energi terbesar dalam penelitian ini adalah pelimpah berterap dengan anak tangga datar. Karena dari segi nilai peredaman energi besar, nilai bilangan froude lebih kecil dibandingkan tiga model lainnya. Efektifitas Peredaman energi terkecil adalah pelimpah konvensional.

BAB I PENDAHULUAN

1.1 Latar Belakang

Seiring dengan berkembangnya populasi manusia yang cukup pesat, maka dilakukan upaya-upaya guna memenuhi kebutuhan manusia tersebut. Diantaranya adalah pemenuhan kebutuhan manusia akan air. Air sendiri merupakan sumber daya alam yang melimpah, namun seringkali manusia memanfaatkannya terlalu berlebihan sehingga mengakibatkan terjadi kekurangan ketika jumlah air mulai menipis.

Pengelolaan sumber daya air di Indonesia mengalami kemajuan yang cukup pesat. Hal ini disebabkan karena permintaan kebutuhan air semakin meningkat baik dari segi kualitas maupun kuantitasnya. Usaha pemerintah dimulai dari konsep pengembangan dan pengelolaan Daerah Aliran Sungai secara terpadu.

Ketika letak sumber air berada pada daerah yang tinggi kemudian mengalir melalui sungai menuju ke tempat yang mempunyai elevasi yang lebih rendah dan kuantitas air yang kurang memenuhi kebutuhan air baku, maka diperlukan usaha-usaha agar dapat mengalirkan air tersebut ke daerah tertentu, sehingga dalam keadaan alirannya sesuai dengan rencana. Usaha-usaha tersebut antara lain dengan pembuatan waduk, bendung dan bendungan. Akan tetapi dalam perencanaannya perlu di perhitungkan keamanan dari segala aspek. Salah satunya adalah tingkah laku dari aliran air yang melewati bendung atau bendungan, sehingga dalam perencanaannya di butuhkan bangunan-bangunan pelengkap.

Bangunan pelimpah merupakan salah satu bagian dari bangunan pelengkap suatu bendungan. Bangunan ini berfungsi untuk mengalirkan air banjir yang masuk ke dalam waduk agar tidak membahayakan tubuh bendungan. Debit banjir dialirkan kembali melalui pelimpah yang berfungsi untuk mengarahkan, mengatur, mengangkut debit aliran dan meredam energi. Debit banjir yang sangat besar dan sulit dikontrol itu akan menyebabkan aliran berkecepatan tinggi dan kondisi super kritis yang mempunyai energi dengan daya penggerus yang sangat kuat sehingga dapat menyebabkan hancurnya konstruksi bendung dan alur sungai di bagian hilirnya.

Guna mengurangi energi yang terjadi dalam aliran tersebut dan untuk mendukung stabilitas bendung di bagian hilir dari bahaya gerusan, maka di bagian hilir bangunan pelimpah biasanya dibuat bangunan peredam energi.

Upaya lain untuk peningkatan peredam energi di kaki pelimpah, dilakukan dengan memasang susunan anak tangga dengan dimensi tertentu sepanjang punggung pelimpah yang dimaksudkan untuk menghambat laju pengaliran. Peredam energi yang dihasilkan dengan cara ini terbukti dapat memperpendek ukuran bangunan peredam energi di bagian hilir kaki pelimpah paling sedikit 30% dibandingkan pelimpah konvensional.

Beberapa penelitian sebelumnya telah banyak dilakukan dengan menggunakan permodelan yang dilakukan oleh beberapa ahli hidrolika. Antara lain oleh Sorenson (1985) yang melakukan pengukuran kecepatan aliran di bagian hilir kaki pelimpah berterap dan pelimpah konvensional dengan variasi debit yang sama diperoleh bahwa kecepatan yang terjadi di hilir pelimpah berterap sebesar 9,2 m/dt atau sama dengan energi kinetisnya sebesar 4,3 m, sedangkan kecepatan aliran yang terjadi di bagian hilir pelimpah konvensional, sebesar 22,9 m/dt atau sama dengan tinggi energi kinetisnya 22,43 m sehingga terdapat perbedaan sebesar 84 % energi yang dapat diredam oleh pelimpah berterap.

1.2. Identifikasi Masalah

Chanson (1994) menyatakan bahwa pada pengaliran pelimpah berterap akan terjadi dua jenis aliran yaitu aliran nappe dan aliran skimming. Peredaman energi aliran nappe terjadi karena pemisahan luapan aliran dalam udara yang jatuh dari anak tangga yang posisinya lebih tinggi ke anak tangga di bawahnya dengan debit aliran yang relatif kecil dan kemiringan punggung yang relatif datar. Sedangkan peredaman energi aliran skimming terjadi karena geseran fluida. Karena adanya geseran, fluida berputar berulang-ulang yang terjebak diantara anak-anak tangga dengan aliran utama yang melimpas di punggung pelimpah berterap.

Chanson (1996) Menyatakan bahwa koefisien kekasaran fluida (f) akan sangat berpengaruh terhadap besarnya peredaman energi yang terjadi di kaki pelimpah. Dari analisa dimensi diperoleh hubungan, bahwa koefisien kekasaran fluida (f) merupakan fungsi dari tinggi kekasaran (k_s) dan kemiringan dasar pelimpah $f = f_1$.

Aliran air yang melimpas di punggung pelimpah akan menimbulkan masuknya udara dalam aliran. Hal ini akan menambah kedalaman aliran yang dapat mengurangi tegangan geser diantara lapisan-lapisan aliran, sehingga terjadi penurunan nilai gaya geser dan kondisi seperti ini mengakibatkan menurunnya peredaman energi di hilir pelimpah.

Terdapat hubungan yang sangat erat antara variabel terikat yaitu peredaman energi (ΔH) dengan variabel variabel bebas variasi debit dan jenis pelimpah. Seperti pengaliran melalui pelimpah pun juga mengalami hambatan peredaman energi yang dihasilkan oleh koefisien kekasaran dari bahan maupun aliran.

Pada pengaliran melalui pelimpah berterap yang dominan adalah koefisien kekasaran aliran (f) dibandingkan dengan koefisien kekasaran lainnya. Pelimpah konvensional / berpunggung halus mempunyai harga koefisien kekasaran aliran lebih kecil dibandingkan pelimpah berterap karena pelimpah berterap mempunyai nilai koefisien kekasaran aliran yang lebih besar pada setiap terap-terapnya sehingga terjadi peredaman energi yang sangat menonjol.

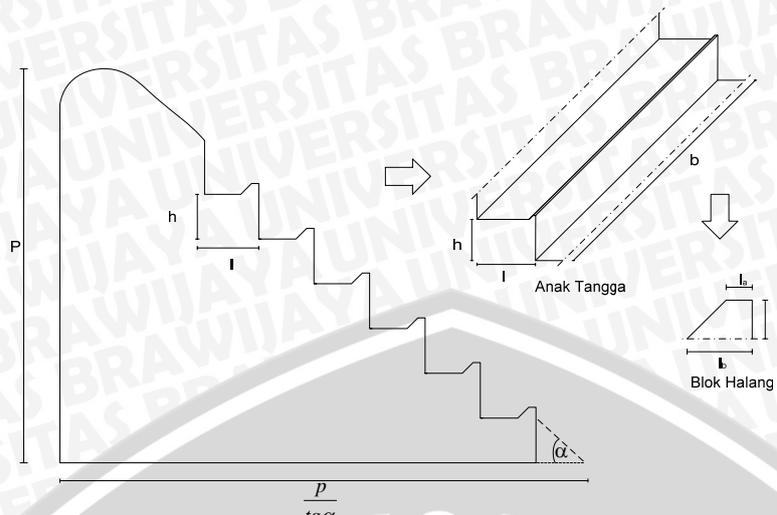
Dari uraian diatas dapat diketahui berbagai masalah-masalah yang berkaitan dengan topik penelitian antara lain :

1. Pada pengaliran melalui pelimpah berterap terdapat 2 aliran yaitu aliran skimming dan nappe.
2. Hambatan peredaman energi disebabkan oleh pergeseran fluida aliran utama dengan fluida yang berputar putar terjebak diantara anak- anak tangga sepanjang aliran.
3. Besarnya peredaman energi dalam aliran sangat dipengaruhi oleh besarnya koefisien kekasaran aliran (f), sedangkan koefisien kekasaran aliran merupakan fungsi dari tinggi kekasaran dan kemiringan dasar pelimpah.
4. Kandungan udara dalam aliran menyebabkan berkurangnya nilai kekasaran aliran (f) dan akan mempengaruhi nilai peredaman energi di hilir kaki pelimpah sehingga tidak dapat diabaikan dalam perhitungan peredaman energi.

Dengan adanya empat permasalahan diatas maka timbul suatu kesimpulan bahwa pelimpah berterap dapat meredam energi dengan efektif. Sehingga timbul suatu pemikiran yaitu pelimpah berterap perlu modifikasi dengan penambahan blok halang pada setiap anak-anak tangganya dengan harapan:

1. Lebih efektif untuk meredam energi di saat aliran skimming.
2. Koefisien kekasaran yang terjadi pada tiap terap menjadi lebih besar .
3. Hambatan peredaman energi disebabkan oleh pergeseran fluida aliran utama dengan fluida yang berputar putar terjebak diantara anak- anak tangga sepanjang aliran akan semakin besar.
4. Kandungan udara dalam aliran semakin besar.

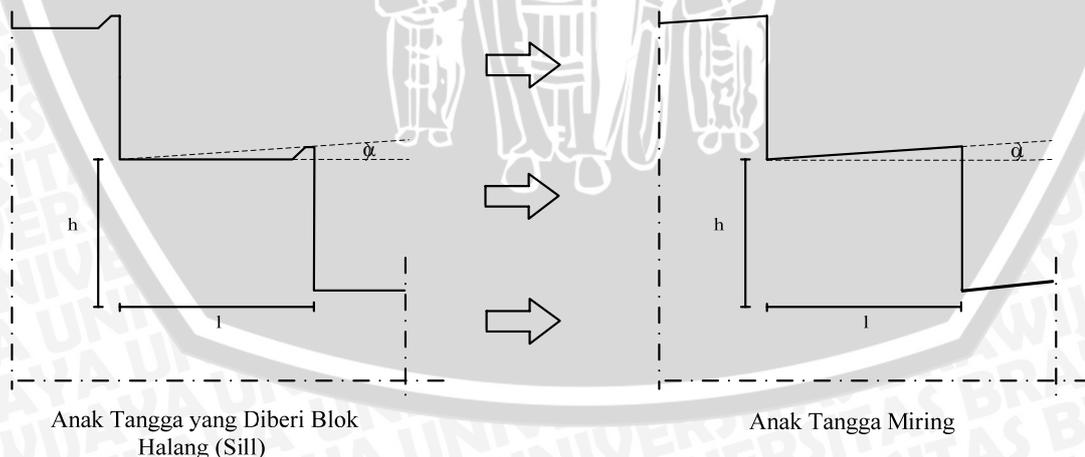
Yang ditunjukkan pada gambar (1.1) berikut:



Gambar 1.1. Pelimpah Berterap Dengan Anak Tangganya diberi Blok Halang

Pada penelitian ini digunakan empat jenis pelimpah yaitu :

1. Pelimpah konvensional / permukaan halus
2. Pelimpah berterap dengan anak tangga datar
3. Pelimpah berterap dengan anak tangga datar yang diberi blok halang. Pelimpah ini digunakan sebagai pembanding pelimpah berterap dengan anak tangga datar yang diberi blok halang yang dititik beratkan pada modifikasi anak tangganya.
4. Pelimpah berterap dengan anak tangga miring sesuai dimensi Pelimpah Berterap yang diberi blok halang. Pelimpah ini digunakan sebagai pembanding pelimpah berterap dengan anak tangga datar yang diberi blok halang yang dititik beratkan pada sudut anak tangganya, dimana dapat dilihat pada gambar 1.2.



Gambar 1.2. Perbandingan Anak Tangga yang diberi Blok Halang dengan Anak tangga miring

Debit aliran (Q) akan berpengaruh terhadap tingkat peredaman energi (ΔH). Pengaliran debit kecil akan mengalami peredaman energi lebih besar jika dibandingkan terhadap pengaliran dengan debit besar. Dalam penelitian kali ini akan dipakai 5 variasi debit.

1.3. Batasan Masalah

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

1. Data yang dipakai adalah data hasil penelitian dilaboratorium hidrolika model dengan menggunakan flume segiempat dengan lebar 30 cm.
2. Penelitian dilakukan dengan membandingkan empat jenis pelimpah.
3. Alternatif debit yang dialirkan 5 debit.
4. Bagian hulu dari pelimpah dibuat tegak sesuai standart *Waterways Experiment Station (WES)*
5. Bahan pelimpah terbuat dari kayu jati
6. Penampang saluran terbuka berbentuk segi empat dengan lebar 30 cm.
7. Kemiringan saluran adalah datar ($S \approx 0$).

1.4. Rumusan Masalah

Dengan berpedoman pada permasalahan di atas maka dapat dirumuskan sebagai berikut :

1. Bagaimanakah tingkat peredaman energi (ΔH) dan nilai bilangan froude yang dihasilkan dari Pelimpah konvensional, Pelimpah berterap dengan anak tangga datar, Pelimpah berterap dengan anak tangga datar yang diberi blok halang dan Pelimpah berterap dengan anak tangga miring terhadap debit yang bervariasi Q_1, Q_2, Q_3, Q_4, Q_5 pada kaki pelimpah dan pada peredam energi ?
2. Bagaimana efektifitas peredaman energi di bagian hilir pelimpah sehubungan dengan berbedanya debit dan punggung pelimpah?

1.5. Manfaat dan Tujuan

Manfaat dan tujuan dari penelitian ini adalah :

1. Untuk mengetahui perbedaan peredaman energi Pelimpah konvensional, Pelimpah berterap dengan anak tangga datar, Pelimpah berterap dengan anak tangga datar yang diberi blok halang dan Pelimpah berterap dengan anak tangga miring terhadap perbedaan perlakuan debit dan perbedaan punggung pelimpah.
2. Diharapkan dapat dipakai acuan untuk dasar perencanaan guna menentukan alternatif konstruksi kolam olakan dibagian hilir kaki pelimpah.

1.6. Batasan Istilah

Dalam penelitian ini dipakai beberapa istilah penting yang perlu diuraikan sebagai berikut :

1. Aliran nappe (Aliran Bebas) adalah aliran yang melimpah di punggung pelimpah berterap yang bercirikan terjadinya kantong udara di setiap sudut anak tangga dengan aliran memancar jatuh dari anak tangga yang lebih tinggi membentur anak tangga di bawahnya dengan atau tanpa formulasi loncatan hidrolis partial pada setiap anak tangga.
2. Aliran skimming (Aliran Tenggelam) adalah aliran air yang melimpas di punggung pelimpah berterap yang bercirikan terjadinya pusaran arus ulang yang terjebak di antara anak tangga, sehingga menyebabkan terjadinya gaya geser antara perputaran fluida itu dengan aliran utama.
3. Peredaman energi adalah energi yang dapat diredam oleh struktur pelimpah yang berupa anak tangga di sepanjang pelimpah, atau secara matematis dapat dikatakan sebagai selisih antara tinggi total tekanan dengan energi spesifik di suatu tempat yang ditinjau.
4. Pelimpah konvensional adalah pelimpah berbentuk parabola (standart ogee) yang berpunggung halus berfungsi meluapkan air berlebih pada bendungan. Merupakan struktur yang paling penting pada tubuh bendungan.
5. Pelimpah berterap adalah stuktur pada tubuh pelimpah yang bagian peluncurnya dibuat berbentuk anak tangga dengan dimensi tertentu sepanjang tubuh pelimpah yang berguna untuk menghambat laju pengaliran.

BAB II LANDASAN TEORI

Pada bagian ini akan disajikan beberapa teori yang mendasari perhitungan kuantitas peredaman energi dari berbagai jenis pelimpah. Sebagai ilustrasi dapat diinformasikan bahwa kuantitas peredaman energi pada pelimpah dapat dipengaruhi oleh banyak koefisien, yaitu: jenis pelimpah, regim aliran, dan pengaruh masuknya udara dalam aliran.

Jenis pelimpah dengan geometri anak tangga yang berbeda akan menghasilkan koefisien kekasaran yang berbeda pula. Koefisien kekasaran yang berbeda, akan menyebabkan kuantitas peredaman energi yang bervariasi juga. Oleh karena itu peredaman energi yang diperoleh dan pelimpah konvensional lebih kecil dari pada peredaman energi dari pelimpah berterap, karena koefisien kekasaran pelimpah konvensional lebih kecil dari pada koefisien kekasaran pelimpah berterap.

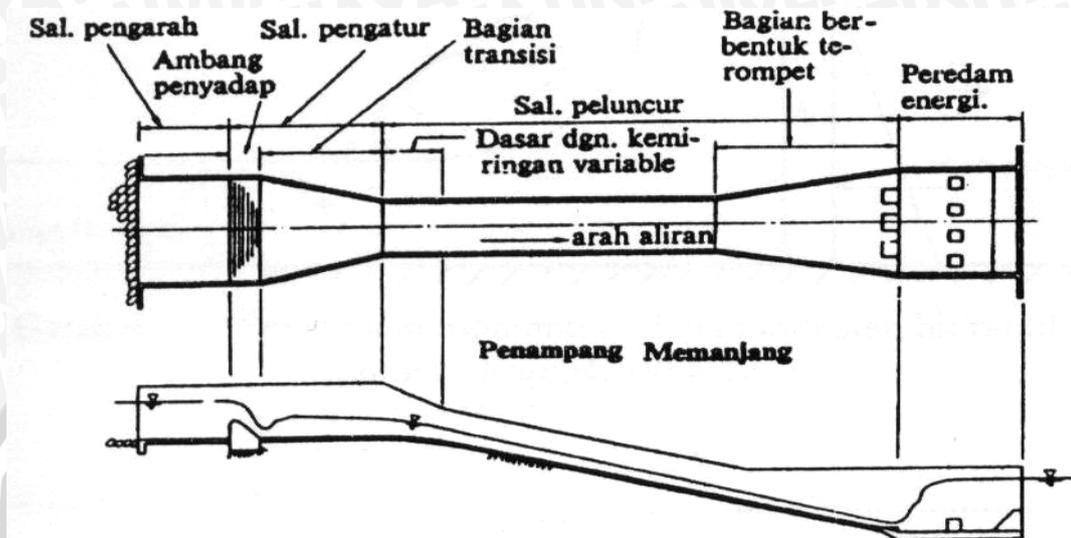
Terbentuknya regim aliran pada pelimpah dipengaruhi oleh kuantitas debit aliran. Untuk debit kecil terbentuklah regim aliran nappe, sebaliknya untuk debit menengah dan besar akan menghasilkan regim aliran skimming. Pada aliran nappe aliran air jatuh dari anak tangga paling atas hingga anak tangga paling bawah, sedangkan pada aliran skimming aliran air melimpas di atas sudut-sudut luar anak tangga. Kondisi ini akan menyebabkan perbedaan kuantitas peredaman energi antara regim aliran nappe dan skimming.

Pengaruh masuknya udara dalam aliran, akan mempengaruhi tegangan geser antara lapisan-lapisan dalam aliran dan menyebabkan berkurangnya kuantitas gaya geser yang ditimbulkannya. Hal ini akan mengurangi gaya seret (*drag*) oleh aliran tersebut dan pada akhirnya menyebabkan berkurangnya peredaman energi yang terjadi pada pelimpah.

2.1 Pelimpah *Overflow*

Fungsi bangunan pelimpah adalah untuk mengalirkan kelebihan air yang tidak tertampung oleh waduk, terutama untuk menghindarkan kerusakan pada bendungan yang disebabkan oleh limpahan yang melalui puncaknya. Tipe bangunan pelimpah yang sering digunakan pada bendungan urugan, yaitu bangunan pelimpah terbuka ambang tetap. Bangunan tipe ini biasanya terdiri dari empat bagian utama, yaitu :

1. Saluran Pengarah aliran
2. Saluran Pengatur aliran
3. Saluran Peluncur
4. Peredam Energi



Gambar 2.1 Skema sebuah tipe bangunan pelimpah pada bendungan
Sumber : Sosrodarsono,S. 2000:179

Saluran pengarah aliran berfungsi sebagai penuntun dan pengarah aliran agar aliran tersebut senantiasa dalam kondisi hidraulika yang baik. Pada saluran pengarah aliran ini, kecepatan aliran air tidak melebihi 4 m/dt dan lebar saluran semakin mengecil ke arah hilir. Kedalaman dasar saluran pengarah biasanya diambil lebih besar dari $1/5 \times$ tinggi rencana lempasan diatas mercu ambang pelimpah. Bentuk dan dimensi saluran pengarah aliran ini biasanya disesuaikan dengan kondisi topografi setempat serta dengan persyaratan aliran hidrolika yang baik. (Sosrodarsono,S.2000 : 179)

Saluran pengatur aliran berfungsi sebagai pengatur kapasitas aliran (debit) air yang melintasi bangunan pelimpah. Saluran pengatur terdiri dari ambang pelimpah dan saluran transisi. Pada kajian ini tipe saluran yang digunakan adalah tipe bendung pelimpah (*Overflow weir type*)

Saluran Peluncur berfungsi untuk mengalirkan air yang melimpah dari saluran pengatur tanpa hambatan hidraulik ke peredam energi (Sosrodarsono,S.2000 : 205). *Stilling Basin* berfungsi untuk meredusir kandungan energi, yang diakibatkan oleh aliran dengan kecepatan tinggi dalam kondisi superkritis dengan daya penggerus yang sangat kuat, sehingga mencapai tingkat normal kembali (Sosrodarsono,S.2000 : 213).

2.1.1. Pelimpah Konvensional

The U.S Army Corps of Engineers telah menyusun beberapa bentuk baku pelimpah di *Waterways Experiment Station* (WES), yang dinyatakan dengan persamaan (Chow, 1983: 330):

$$X'' = K H_d^{n-1} y \dots\dots\dots (2.1)$$

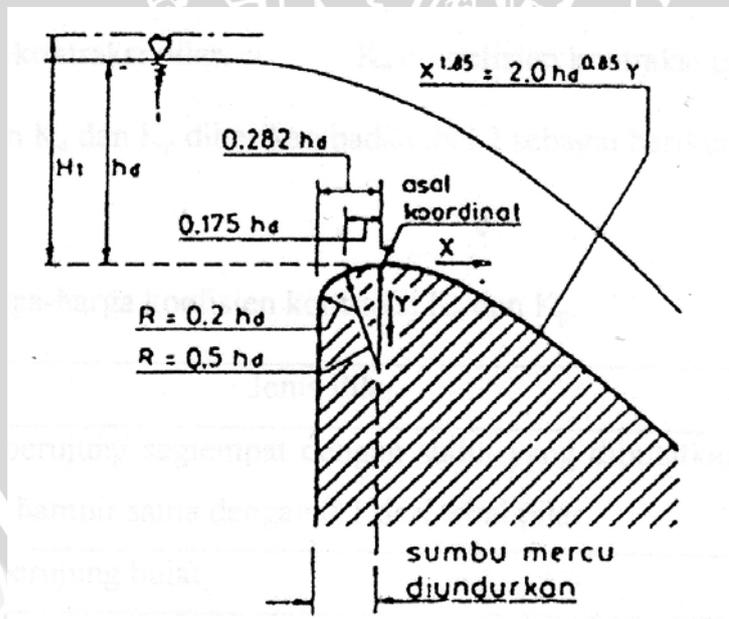
dengan :

- X, Y = koordinat profil mercu dengan titik awal pada titik tertinggi mercu,
- H_d = tinggi tekan rancangan tanpa tinggi kecepatan dari aliran yang masuk,
- K, n = parameter yang tergantung pada kemiringan muka pelimpah bagian hulu.

Tabel 2.1 Nilai K dan n

Kemiringan Muka Hulu	K	n
Tegak Lurus	2,000	1,850
2 : 1	1,936	1,836
3 : 2	1,936	1,810
3 : 3	1,873	1,776

Sumber: (Chow, 1989: 330)



Gambar 2.2. Bentuk pelimpah standard WES dengan sisi bagian hulu tegak lurus.
 Sumber: (Chow, 1989:330).

Debit melalui pelimpah dihitung dengan persamaan (Anonim, 1986: 47):

$$Q = C_d \cdot \frac{2}{3} \cdot \sqrt{\frac{2}{3} \cdot g} \cdot B_e \cdot H_1^{1.5} \dots\dots\dots (2.2)$$



dengan:

Q = debit yang melalui pelimpah (m^3/dt),

C_d = koefisien debit, ($= C_o \cdot C_1 \cdot C_2$),

C_o = konstanta, ($= 1,30$),

C_1 = koefisien koreksi debit yang merupakan fungsi dari p/H_d dan H_1/H_d

C_2 = koefisien koreksi debit untuk permukaan hulu pelimpah,

H_d = tinggi tekan rencana di atas mercu, tidak termasuk tinggi kecepatan (m),

H_1 = tinggi energi di atas mercu, (m),

g = percepatan gravitasi, m/dt^2 (9,81),

Be = lebar efektif mercu, (m), diperoleh dengan persamaan (Anonim, 1986: 38):

$$Be = B - 2(n K_p + K_a) H_1 \quad (2.3)$$

dengan:

B = lebar pelimpah (m),

n = jumlah pilar,

K_p = koefisien kontraksi pilar,

K_a = koefisien kontraksi pangkal pelimpah

Harga koefisien K_a dan K_p diberikan pada tabel 2.2 dan 2.3 sebagai berikut:

Tabel 2.2. Harga-harga koefisien kontraksi K_p

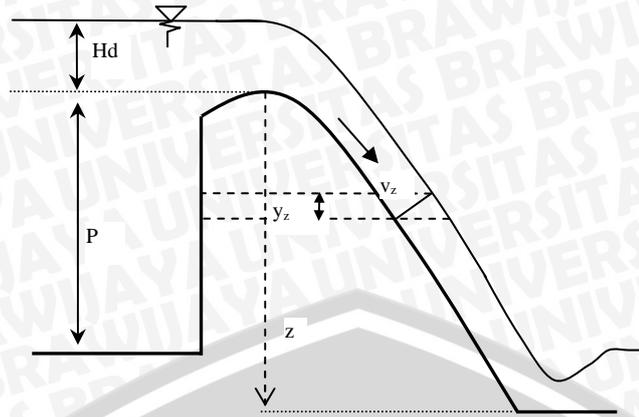
Jenis Pilar	K_p
Untuk pilar segi empat dengan sudut yang sudah di bulatkan pada jari-jari yang hampir sama dengan 0,1 dari tebal pilar	0,02
Untuk pilar berujung bulat	0,01
Untuk pilar berujung runcing	0

Sumber: (Anonim, 1986: 40).

Tabel 2.3. Harga-harga koefisien kontraksi K_a

Jenis Pilar	K_a
Untuk pangkal tembok segiempat dengan tembok hulu 90° kearah aliran	0,2
Untuk pangkal tembok bulat dengan tembok hulu pada 90° kearah aliran dengan $0,5 H_1 > r > 0,15H_1$	0,2
Untuk pangkal tembok bulat dengan $r > 0,5 H_1$ dan tembok hulu tidak lebih dari 45° ke arah aliran	0

Sumber: (Anonim, 1986: 40).



Gambar 2.3 Tinggi muka air diatas pelimpah

Untuk Menentukan tinggi muka air di atas ambang pelimpah digunakan rumus

(Chow, 1997:345) :

$$v_z = \sqrt{2g(z + H_d - Y_z)} \dots\dots\dots (2.3)$$

$$\frac{Q}{L} = v_z \cdot y_z \dots\dots\dots (2.4)$$

$$F_z = \frac{v_z}{\sqrt{g \cdot y_z}} \dots\dots\dots (2.5)$$

dengan :

Q = debit banjir rencana (m³/dt)

L = lebar pelimpah (m)

v_z = kecepatan pada titik sejauh z (m)

y_z = kedalaman air pada titik sejauh z (m)

F_z = bilangan Froude pada titik sejauh z

H_d = tinggi tekan disebelah hulu

z = tinggi pelimpah dihitung dari mercu pelimpah sampai dengan lereng hilir Pelimpah (m)

2.1.2. Pelimpah Berterap

Pelimpah 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)].

Pelimpah berterap adalah pelimpah yang bagian punggungnya dibangun serangkaian terap-terap anak-anak tangga dengan ukuran tertentu sehingga terbentuklah kemiringan punggung pelimpah sesuai dengan keinginan perencananya. Jelasnya adalah

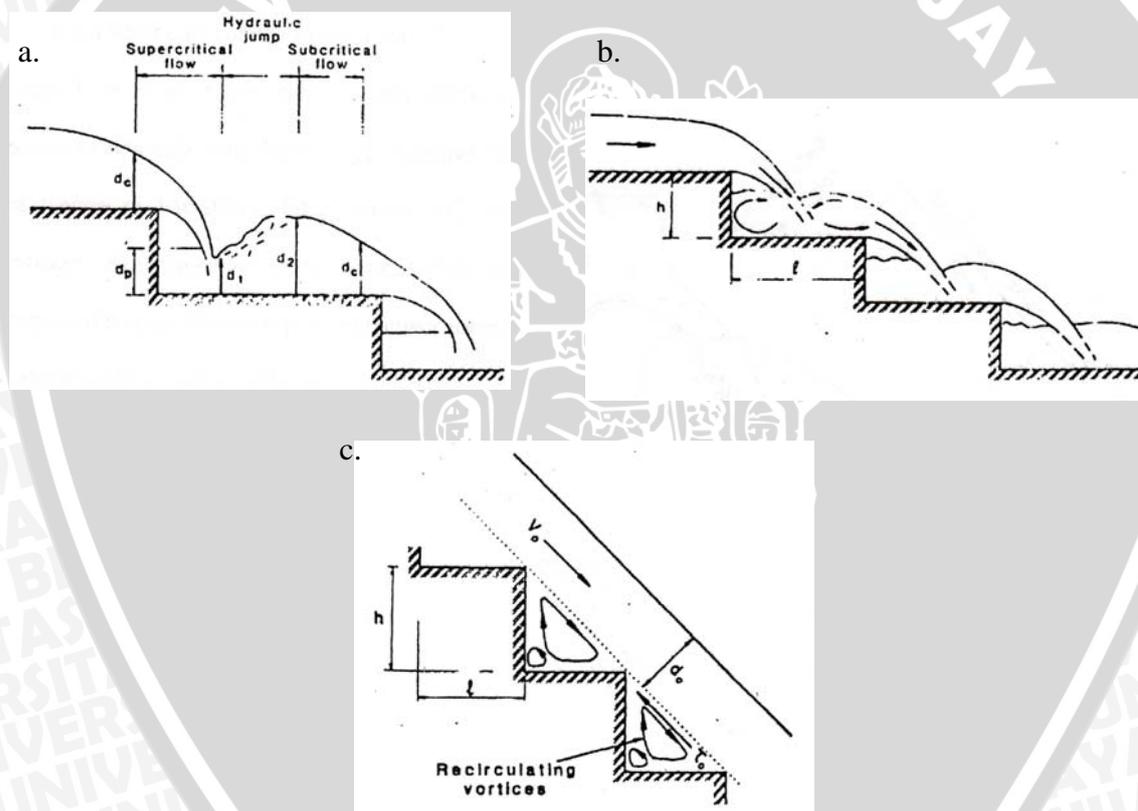


bahwa kemiringan punggung pelimpah didapatkan dengan cara menghubungkan puncak-puncak dari serangkaian anak-anak tangga.

Permukaan pelimpah berterap ini dapat meredam sejumlah energi yang sangat berarti dari aliran yang melimpas di atasnya, sehingga dapat memperkecil ukuran peredam energi yang umumnya diperlukan di bagian hilir kaki pelimpah.

Berdasar Rajaratnam (1990) dan Chanson (1994) aliran yang terjadi pada model pelimpah berterap dapat diklasifikasikan menjadi dua jenis rezim aliran yaitu aliran nappe dan aliran skimming (gambar 2.4a, 2.4b dan 2.4c).

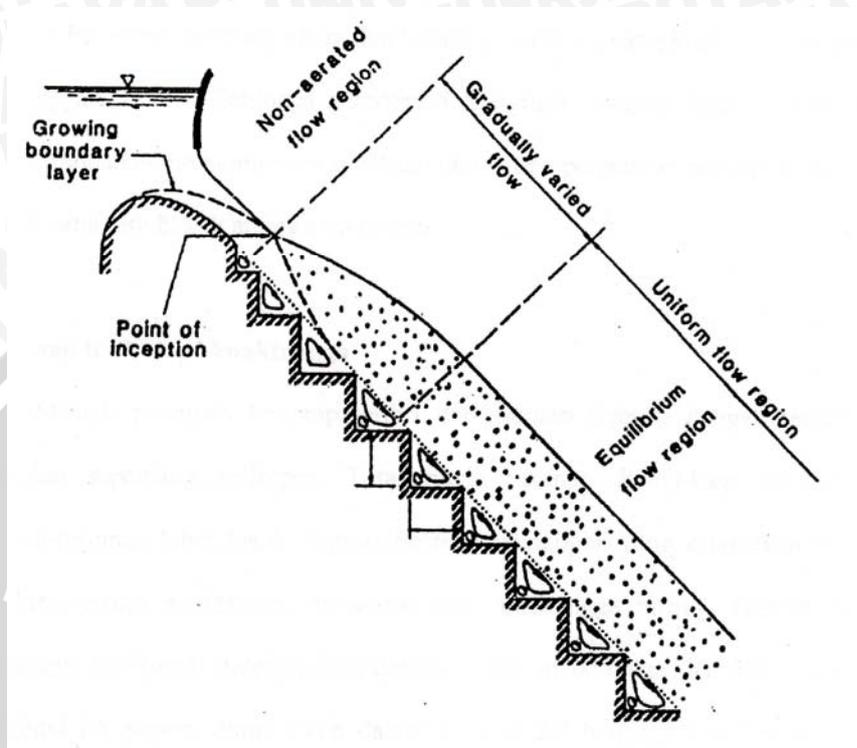
Aliran nappe dengan loncatan hidrolik secara penuh terjadi untuk debit aliran yang relatif lebih rendah dan kedalaman aliran yang relatif kecil (gbr. 2.4 a), sedangkan aliran nappe dengan loncatan hidrolik secara partial terjadi dengan debit yang sedikit lebih besar dari kondisi di atas (gbr. 2.4 b).



Gambar 2.4 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 pelimpah berterap.
Sumber: (Chanson, 1993: 423).

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 anak tangga, dan oleh pengembangan loncatan hidrolis secara penuh maupun partial pada anak tangga (Rajaratnam, 1990).



Gambar 2.5. Daerah aliran di sepanjang pelimpah berterap.
Sumber: Chanson (1993: 424).

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 anak-anak tangga 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 anak-anak tangga. Pusaran ini terjadi secara terus menerus menghasilkan tegangan geser dari aliran yang melimpas di tepi anak-anak tangga (gbr. 2.4 c).

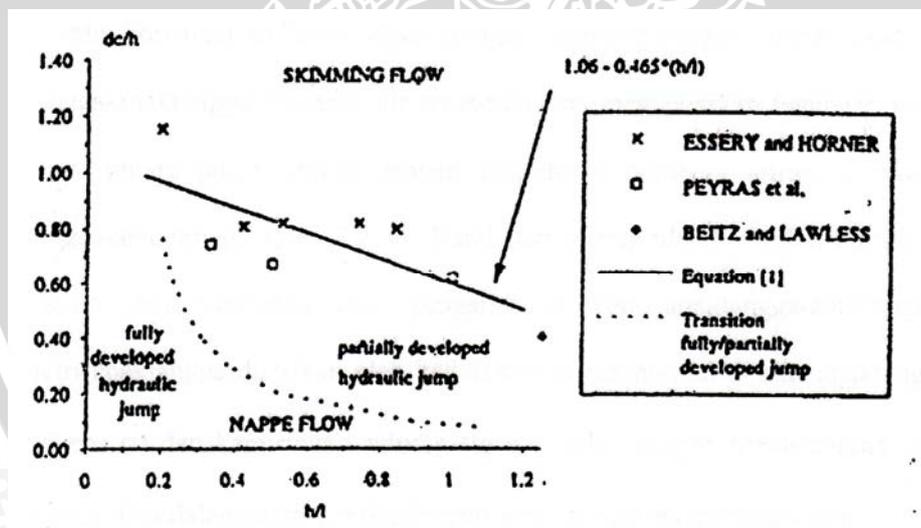
Di bagian hulu dekat puncak, alirannya nampak halus dan tidak terjadi pemasukkan udara / teraerasi, namun di bagian hilirnya karakteristik alir sebagian besar mengandung udara dan terjadi pusaran air yang kuat di setiap kaki anak tangga (gbr.2.5). Sehingga peredaman energinya sebagian besar ditentukan oleh perpindahan momentum antara aliran utama dan perputaran berulang-ulang dari air yang terjebak di antara anak tangga.

2.1.2.1 Geometri Terap/ Anaktangga

Sebuah pelimpah berterap terdiri dari saluran terbuka dengan terjun berangkai sepanjang pelimpah. Total tinggi tekanan dibagi-bagi ke dalam terjunan-terjunan lebih kecil. Variasi bentuk anaktangga yang digunakan tentu saja bisa berupa anaktangga horisontal, anaktangga miring, dll. Bentuk dari anaktangga horisontal didefinisikan dengan tinggi anaktangga (h), dan panjar horisontal (l), seperti ditunjukkan dalam gambar 2.4 b dan 2.4 c. Tinggi dan panjang anaktangga berhubungan dengan kemiringan pelimpah sehingga dapat ditentukan dengan: $\tan \alpha = h/l$

2.1.2.2 Regim Aliran Pelimpah Berterap

Permulaan aliran skimming merupakan fungsi dari debit, tinggi dan panjang anaktangga. Chanson (1994), mengadakan analisis ulang terhadap data eksperimental yang dilakukan oleh Essery dan Horner (1978), Degoutte *et.al.* (1992), serta Beitz dan Lawless (1992) seperti ditunjukkan dalam gambar 2.6. Untuk data-data ini, regim aliran skimming terjadi untuk debit-debit yang lebih besar dari harga debit kritisnya yang didefinisikan berikut:



Gambar 2.6. Permulaan Aliran Skimming: Essery dan Horner (1978), Peyras *et.al.* (1991), dan Beitz & Lawless (1992).

Sumber: Chanson (1993: 425).

dengan (h) tinggi anaktangga, (l) adalah panjang anaktangga, dan $(d_c)_{\text{onset}}$ adalah kedalaman kritis karakteristik. Perlu dicatat bahwa persamaan (2.5) dideduksi untuk h/l dengan rentangan 0.2 sampai 1.5. Dengan demikian tidak akan dengan (h) tinggi anak tangga, (l) adalah panjang anak tangga, dan $(d_c)_{\text{onset}}$ adalah kedalaman kritis karakteristik. Perlu dicatat bahwa persamaan (2.5) dideduksi untuk h/l dengan rentangan

0.2 sampai 1.5. Dengan demikian tidak akan digunakan di luar rentangan di atas tanpa tindakan yang sangat hati-hati.

Rajaratnam (1990) mengadakan analisa ulang dari data Essery dan Horner (1978), didapatkan bahwa untuk kisaran h/l dari 0.4 sampai 0.9 penulsaan aliran skimming terjadi pada saat y_c/h mendekati harga 0.8. Dari sini dapat ditarik kesimpulan bahwa aliran skimming akan terjadi jika $y_c/h > 0.8$, untuk harga h/l dari 0,4 hingga 0.9.

2.2 Jenis Aliran

Aliran pada saluran dengan permukaan bebas (*free surface*) yang dipengaruhi oleh tekanan udara disebut aliran saluran terbuka. Aliran saluran terbuka dapat digolongkan menjadi berbagai jenis berdasarkan ruang dan waktu.

Jenis aliran berdasarkan fungsi waktu dapat digolongkan sebagai berikut (Chow,V,T. 1997 : 4) :

1. Aliran tunak (*Steady Flow*)

Aliran saluran terbuka dikatakan tunak bila kedalaman air tidak berubah atau konstan selama selang waktu tertentu.

2. Aliran tak tunak (*Unsteady flow*)

Aliran dikatakan tak tunak bila kedalamannya berubah sesuai dengan waktu.

Jenis aliran berdasarkan fungsi ruang dapat digolongkan sebagai berikut : (Chow,V,T. 1997 : 5) :

1. Aliran seragam (*Uniform flow*)

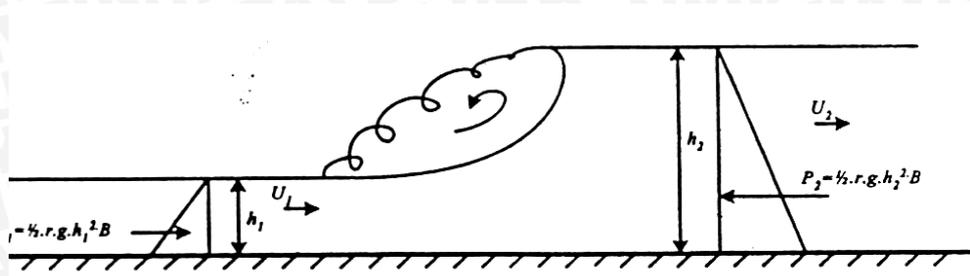
Aliran saluran terbuka dikatakan seragam apabila kedalaman aliran sama setiap penampang saluran.

2. Aliran Berubah (*Varied Flow*)

Aliran berubah adalah aliran yang kedalaman alirannya berubah pada setiap penampang saluran.

2.3 Loncatan Hidraulik

Suatu loncatan hidraulik terjadi apabila aliran superkritis harus berubah ke dalam aliran subkritis. Terdapat kenaikan yang tiba-tiba pada permukaan air dan kehilangan energi yang besar dalam loncatan hidraulik. Pusaran turbulen yang berukuran besar terbentuk pada awal loncatan. Pusaran ini menarik energi dari aliran utama dan pusaran terpecah-pecah menjadi bagian-bagian yang lebih kecil sambil mengalir ke hilir (Raju,R. 1986 : 185)



Gambar 2.7 Persamaan momentum dalam loncatan hidraulik
 Sumber : Raju,R. 1986:12

Pada peristiwa loncatan hidraulik komponen dasar yang berpengaruh pada perhitungan energi adalah persamaan momentum.

$$P_1 - P_2 = \rho Q(u_1 - u_2) \dots\dots\dots (2.6)$$

$$\left(\frac{1}{2} \rho g h_1^2 - \frac{1}{2} \rho g h_2^2 \right) B = \rho u_1 h_2 (u_1 - u_2) \dots\dots\dots (2.7)$$

$$(h_1 - h_2)(h_1 + h_2) = \frac{2u_1 h_1}{g} (u_2 - u_1) \dots\dots\dots (2.8)$$

Sedangkan dari persamaan kontinuitas

$$Q = u_1 \cdot h_1 = h_2 \cdot u_2$$

dengan menggabungkan persamaan (2-9) dan (2-10) :

$$(h_1 + h_2) = \frac{2u_1^2}{g} \frac{h_1}{h_2} \dots\dots\dots (2.9)$$

$$\frac{h_2}{h_1} \left(1 + \frac{h_2}{h_1} \right) = 2F_1^2 \dots\dots\dots (2.10)$$

dengan menyederhanakan persamaan di atas maka diperoleh persamaan :

$$\frac{h_2}{h_1} = \frac{1}{2} \left(\sqrt{1 + 8F_1^2} - 1 \right) \dots\dots\dots (2.11)$$

dengan :

h_1 = kedalaman air sebelum loncatan

h_2 = kedalaman air setelah loncatan (m)

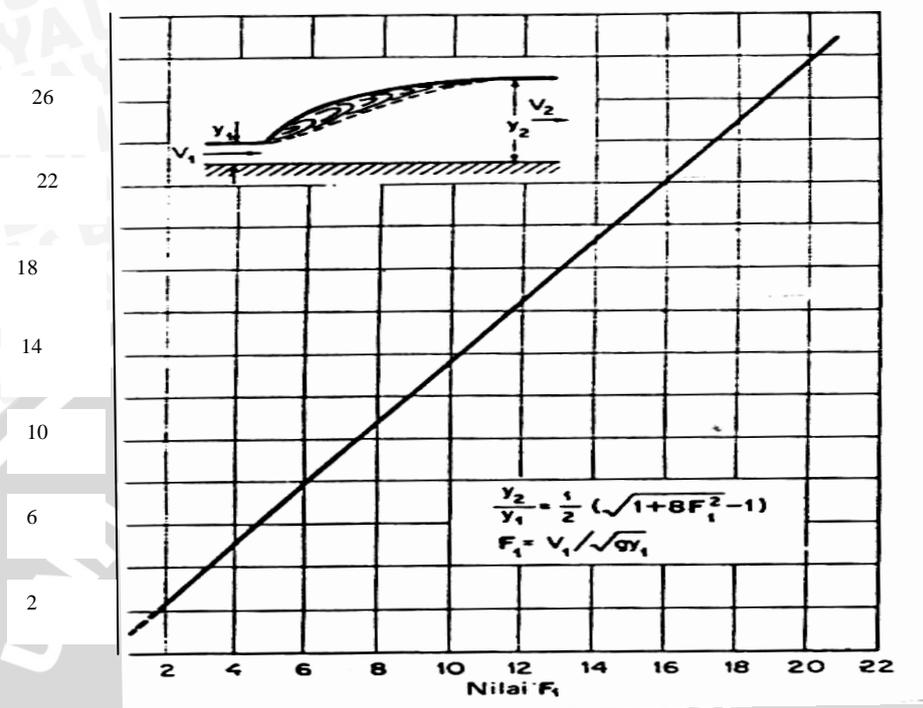
F_1 = bilangan froude pada penampang pertama

2.3.1 Loncatan Hidraulik Pada Saluran Persegi Panjang Mendatar

Untuk aliran superkritis pada saluran persegi panjang mendatar, energi aliran akan diredam oleh hambatan gesek saluran, sehingga menyebabkan terjadinya pengurangan kecepatan dan penambahan ketinggian pada arah aliran (Chow,V,T.1997).



Suatu loncatan akan terbentuk pada saluran, jika bilangan froude aliran F_1 , kedalaman aliran y_1 dan y_2 .



Gambar 2.8 Hubungan F_1 dan y_1/y_2 untuk loncatan hidraulik pada saluran persegi panjang mendatar.

Sumber : Chow,V,T.1997 : 357

2.3.2 Jenis – jenis Loncatan

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

1. Aliran kritis

Untuk $F_1 = 1$ terjadi aliran kritis, sehingga tidak dapat terbentuk loncatan.

2. Loncatan berombak

Untuk $F_1 = 1$ sampai $F_1 = 1,7$ terjadi ombak pada permukaan air.

3. Loncatan lemah

Untuk $F_1 = 1,7$ sampai $F_1 = 2,5$ terbentuk rangkaian gulungan ombak pada permukaan loncatan, tetapi permukaan air dihilir tetap halus. Secara keseluruhan kecepatan seragam, dan kehilangan energinya kecil.

4. Loncatan berosilasi

Untuk $F_1 = 2,5$ sampai $F_1 = 4,5$ terdapat semburan berosilasi menyertai dasar loncatan bergerak ke permukaan dan kembali lagi tanpa periode tertentu. Setiap osilasi menghasilkan gelombang tak teratur yang besar, dan menyebabkan kerusakan tak terbatas pada tanggul.

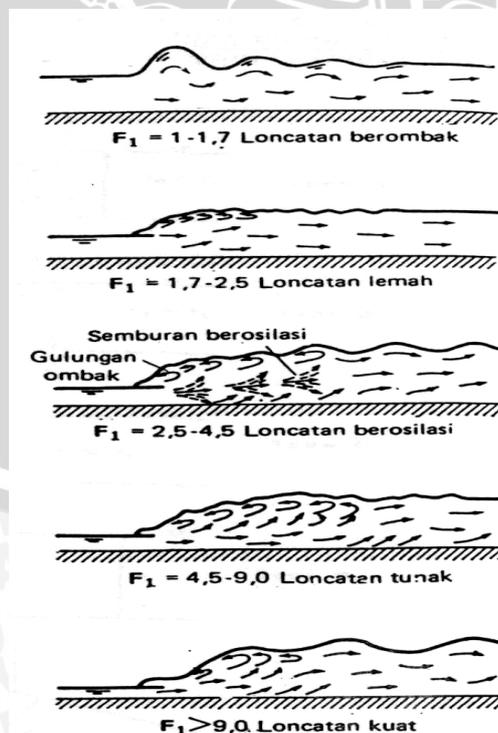
5. Loncatan tunak

Untuk $F_1 = 4,5$ sampai $F_1 = 9$, ujung-ujung permukaan hilir akan bergulung dan titik dimana kecepatan semburannya tinggi cenderung memisahkan diri dari aliran. Pada umumnya kedua hal ini terjadi pada permukaan vertikal yang sama. Gerakan dan loncatan yang terjadi, tidak begitu dipengaruhi oleh kedalaman air bawah. Loncatan hidrauliknya sangat seimbang dan karakteristiknya adalah yang terbaik. Peredaman energinya sebesar 45% - 70%

6. Loncatan kuat

Untuk $F > 9$ dan yang lebih besar, kecepatan semburan yang tinggi akan memisahkan hempasan gelombang gulung dari permukaan loncatan, menimbulkan gelombang-gelombang di hilir. Jika permukaannya kasar akan mempengaruhi gelombang yang terjadi. Gerakan loncatan loncatan jarang terjadi, tetapi efektif karena peredaman energinya dapat mencapai 85%.

Jenis-jenis loncatan hidraulik pada saluran persegi panjang mendatar dapat dilihat pada gambar 2.9.



Gambar 2.9 Jenis-jenis loncatan hidraulik

Sumber : Chow, V, T. 1997 : 357

2.3.3 Sifat-sifat dasar loncatan

Beberapa sifat dasar loncatan hidraulik pada saluran persegi dengan dasar mendatar dapat diuraikan sebagai berikut (Chow,V,T. 1997 : 359):

1. Kehilangan Energi

Kehilangan Energi pada loncatan adalah sama dengan perbedaan energi spesifik sebelum dan sesudah terjadinya loncatan. Besarnya kehilangan energi adalah :

$$\Delta E = E_1 - E_2 = \frac{(y_2 - y_1)^2}{4y_1 y_2} \dots\dots\dots (2.12)$$

2. Efisiensi

Rasio antara energi spesifik setelah loncatan dengan sebelum loncatan. Jadi besarnya efisiensi loncatan adalah :

$$\frac{E_2}{E_1} = \frac{(8F_1^2 + 1)^{3/2} - 4F_1^2 + 1}{8F_1^2 (2 + F_1^2)} \dots\dots\dots (2.13)$$

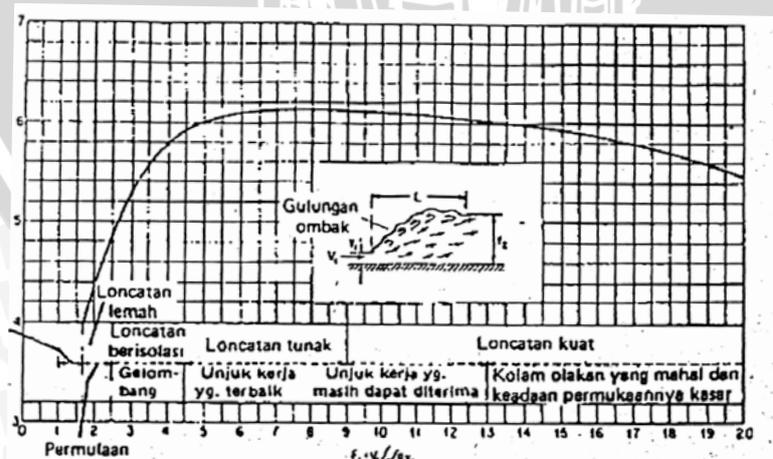
3. Tinggi Loncatan

Tinggi Loncatan dapat didefinisikan sebagai perbedaan antara kedalaman sesudah dan sebelum loncatan.

$$h_j = h_2 - h_1 \dots\dots\dots (2.14)$$

2.3.4 Panjang Loncatan

Panjang loncatan hidraulik adalah jarak antara permukaan depan loncatan hidraulik sampai suatu titik pada permukaan gulungan ombak yang segera menuju kehilir. Panjang loncatan sukar ditentukan secara teoritis tetapi telah diselidiki dengan cara percobaan oleh beberapa ahli hidraulika.



Gambar 2.10 Panjang loncatan yang dinyatakan dengan kedalaman akhir y_2

Sumber : Chow,V,T. 1997:36



Data-data percobaan mengenai loncatan hidraulik dapat secara mudah digambarkan dengan absis bilangan Froude (F_1) dan ordinatnya berupa rasio tak berdimensi $L/(y_2 - y_1)$, L/y_2 . Dilihat dari kurva terbaik yang dapat ditentukan dengan data, maka penggambaran yang paling baik adalah antara F_1 terhadap L/y_1 . Akan tetapi untuk keperluan praktis dibutuhkan kurva F_1 terhadap L/y_2 karena kurva tersebut diatas dapat menunjukkan keteraturan untuk daerah dimana loncatan terbentuk.

2.3.5 Loncatan Hidraulik Pada saluran Curam

Pada saluran curam, tipe loncatan hidraulik yang bisa terjadi ada enam macam berdasarkan atas kasus yang pernah terjadi yaitu (French,R.H. 1986:92):

1. Tipe A

Terjadi bila $y_2^* > y_t$, dan $y_2 = y_t$, y_2 berdasarkan persamaan (2.11).

2. Tipe B

Terjadi bila $y_2^* < y_t$, dan $y_2 > y_t$, y_2 Untuk mendapatkan nilai y_2 dengan menggunakan persamaan berikut :

$$y_2 = \frac{y_1}{2 \cos \theta} \left(\sqrt{1 + 8G_1^2} - 1 \right) \dots \dots \dots (2.15)$$

$$\Gamma = 10^{0.270} \dots \dots \dots (2.16)$$

$$G_1 = \Gamma_1^2 F_1^2 \dots \dots \dots (2.17)$$

dengan :

y_1 = kedalaman air sebelum loncatan (m)

y_2 = kedalaman air setelah loncatan (kedalaman lanjutan) (m)

θ = sudut kemiringan saluran ($^\circ$)

F_1 = bilangan Froude pada penampang pertama

3. Tipe C

Terjadi bila $y_2^* < y_t$, dan $y_2 = y_t$, y_2 berdasarkan persamaan (2.11)

4. Tipe D

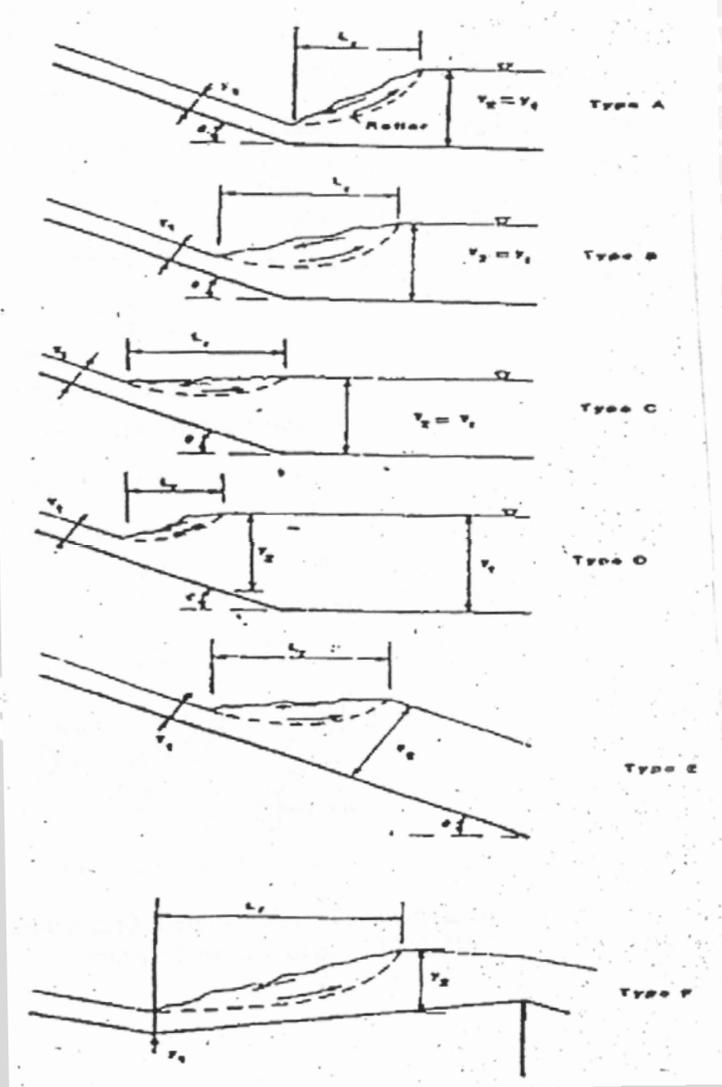
Terjadi bila $y_2^* < y_t$, dan $y_2 < y_t$, y_2 berdasarkan persamaan (2.11)

5. Tipe E

Terjadi bila $y_2^* < y_t$, dan $y_2 = y_t$, y_2 berdasarkan persamaan (2.11)

6. Tipe F

Terjadi pada stilling basin yang berada dibawah bangunan terjun.



Gambar 2.11 Jenis-jenis loncatan hidraulik pada saluran curam
 Sumber : Richard H french, 1986 dalam Dodo, Fransisko 2003:43

2.4 Peredam Energi

Sebelum aliran air yang melintasi bangunan pelimpah dikembalikan lagi ke sungai, maka aliran dengan kecepatan tinggi dalam kondisi superkritis harus diperlambat dan dirubah pada kondisi aliran subkritis (Sosrodarsono, S.2000:213).

Dalam kembalnya aliran ke dalam kondisi sub kritis maka diharapkan aliran yang kembali kedalam sungai tersebut tidak membahayakan terhadap kestabilan alur sungai yang bersangkutan. Guna meredusir energi yang terdapat dalam aliran tersebut maka ujung hilior saluran peluncur dibuat suatu bangunan peredam energi.

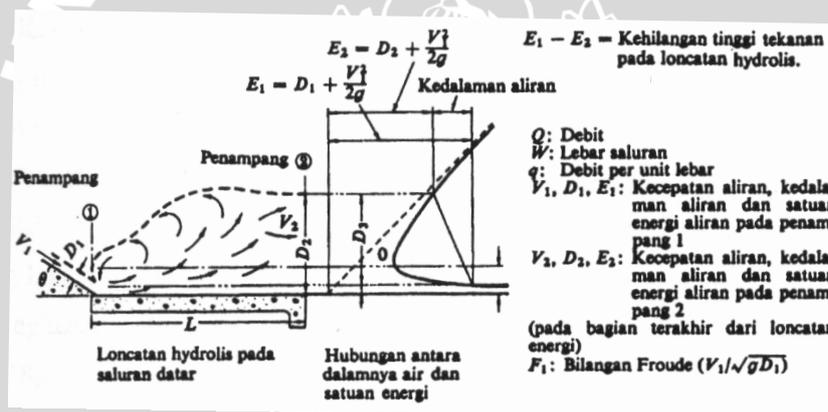
Ada 3 tipe peredam energi yang biasa digunakan, yaitu :

1. Tipe Loncatan (Water Jump Type)

2. Tipe Kolam Olakan (Stilling Basin Type)
3. Tipe Bak Pular (Roller Bucket Type)

2.4.1 Peredam Energi USBR Tipe I

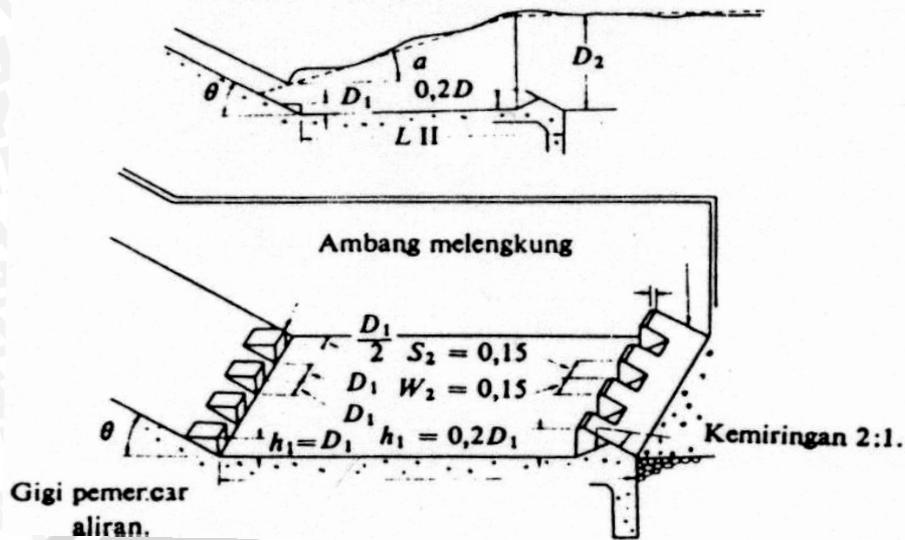
Kolam olakan USBR tipe I adalah kolam olakan dengan dasar yang datar dan terjadinya peredaman energi yang terkandung dalam aliran air dengan benturan secara langsung ke atas permukaan dasar kolam. Benturan langsung tersebut menghasilkan peredaman energi yang cukup tinggi, sehingga perlengkapan-perengkapan lainnya guna penyempurnaan peredaman tidak diperlukan lagi pada kolam olakan. Akan tetapi kolam olakan akan menjadi lebih panjang dan karenanya tipe 1 ini hanya sesuai untuk mengalirkan debit yang relatif kecil dengan kapasitas peredaman energi yang lebih kecil dan kolam olakan akan berdimensi kecil. Kolam olakan Tipe I ini biasanya dibangun untuk suatu kondisi yang tidak memungkinkan pembuatan perlengkapan-perengkapan lainnya pada kolam olakan tersebut. (Sosrodarsono,S.2000:217)



Gambar 2.12 Bentuk kolam olakan datar tipe I
Sumber : Sosrodarsono,S.2000:217

2.4.2 Peredam Energi USBR tipe II

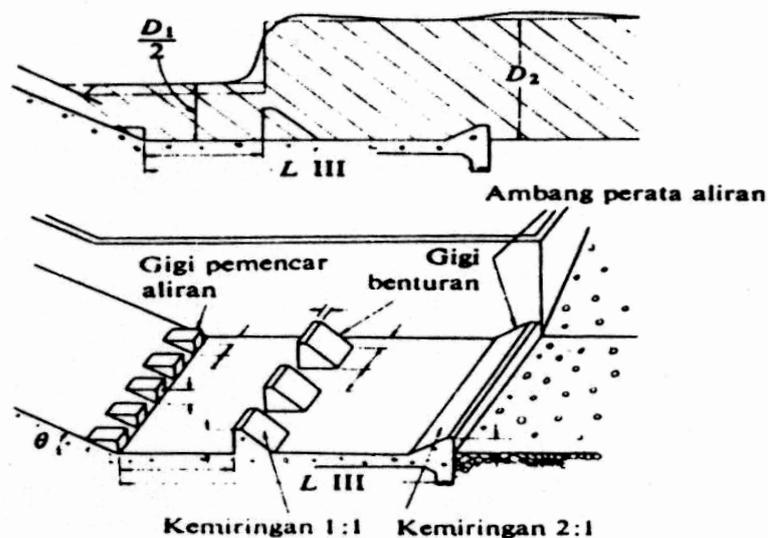
Pada kolam olakan USBR tipe II terjadinya peredaman energi yang terkandung didalam aliran akibat gesekan antara molekul-molekul air di dalam kolam dan dibantu oleh perlengkapan-perengkapan yang dibuat berupa gigi-gigi pemancar aliran di pinggir udik dasar kolam dan ambang bergerigi di pinggir hilirnya. Gigi-gigi pemancar aliran berfungsi untuk lebih meningkatkan efektivitas peredaman, sedang ambang bergerigi berfungsi menstabilkan loncatan hidraulis dalam kolam olakan tersebut. Kolam olakan ini cocok untuk aliran dengan tekanan hidrostatis yang tinggi dan debit yang besar ($q > 45 \text{ m}^3/\text{dt}/\text{m}$, tekanan hidrostatis $> 60 \text{ m}$ dan bilangan Froude $> 4,5$) (Sosrodarsono, S.2000:217)



Gambar 2.13 Bentuk kolam olakan datar tipe II
Sumber : Sosrodarsono,S.2000:218

2.4.3 Peredam Energi USBR tipe III

Kolam olakan tipe III biasanya untuk bangunan pelimpah pada bendungan urugan yang rendah. Pada hakekatnya prinsip kerja dari kolam olakan ini sangat mirip dengan sistim kerja dari kolam olakan datar tipe II, akan tetapi lebih sesuai untuk mengalirkan air denga tekanan hidrostatik yang rendah dan debit yang agak kecil ($q < 18,5 \text{ m}^3/\text{dt}/\text{m}$, $V < 18,0 \text{ m}/\text{dt}$ dan bilangan Froude $> 4,5$). Untuk mengurangi panjang kolam olakan, biasanya dibuat gigi pemencar aliran di tepi udik dasar kolam, gigi penghadang aliran (gigi benturan) pada dasar kolam olakan. (Sosrodarsono, S.2000:218)

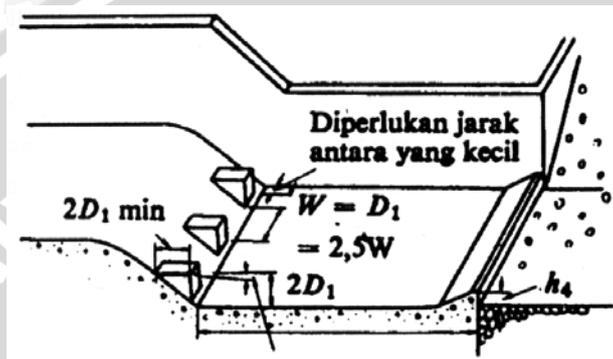


Gambar 2.14 Bentuk kolam olakan datar tipe III
Sumber : Sosrodarsono,S.2000:218

2.4.4 Peredam energi USBR Tipe IV

Kolam olakan USBR tipe IV memiliki sistem kerja yang sama dengan sistem kerja kolam olakan tipe III, akan tetapi penggunaannya paling cocok adalah untuk aliran dengan tekanan hidrostatik yang rendah dan debit yang besar per-unit lebar, yaitu untuk aliran dalam kondisi super kritis dengan bilangan Froude antara 2,5 s/d 4,5.

Biasanya kolam olakan tipe IV dipergunakan pada bangunan-bangunan pelimpah suatu bendungan urugan yang sangat rendah atau pada bendung-bendung penyangga. (Sosrodarsono, S.2000:219)



Gambar 2.15 Bentuk kolam olakan datar tipe IV
Sumber : Sosrodarsono,S.2000:219

2.5. Kavitasasi

Pengaruh kavitasasi yang sangat menonjol adalah di daerah kecepatan setempat yang tinggi dengan tekanan rendah. Suatu bentuk persamaan untuk memperkirakan kavitasasi berupa parameter tak berdimensi, merupakan antara gaya pelindung terhadap kavitasasi (ambient pressure) dan penyebab kavitasasi (dynamic pressure) disebut indeks kavitasasi. Perhitungan kavitasasi dengan persamaan berikut (Roberson, Cassidy, 1998:386)

$$\sigma = \frac{P_0 - P_v}{\rho \frac{v_0^2}{2}} \dots\dots\dots (2.18)$$

$$C_p = \frac{P_0 - P_v}{\rho \frac{v_0^2}{2}} \dots\dots\dots (2.19)$$

Jika $P \approx P_v$, maka :

$$\sigma_p = -C_p \dots\dots\dots (2.20)$$

dengan :



σ = Indeks Kavitas

P_o = ambient Pressure (kPa) = $P_a + P_g$

P_a = tekanan atmosfer (101 kPa)

P_g = ambient Pressure (kPa) = $\rho \cdot g \cdot h$

ρ = massa jenis cairan (kg/m^3)

h = tinggi muka air (m)

P_v = tekanan uap (kPa)

V_o = kecepatan aliran

C_p = koefisien kavitas

P = tekanan setempat

σ_i = angka batas kavitas

kriteria kavitas :

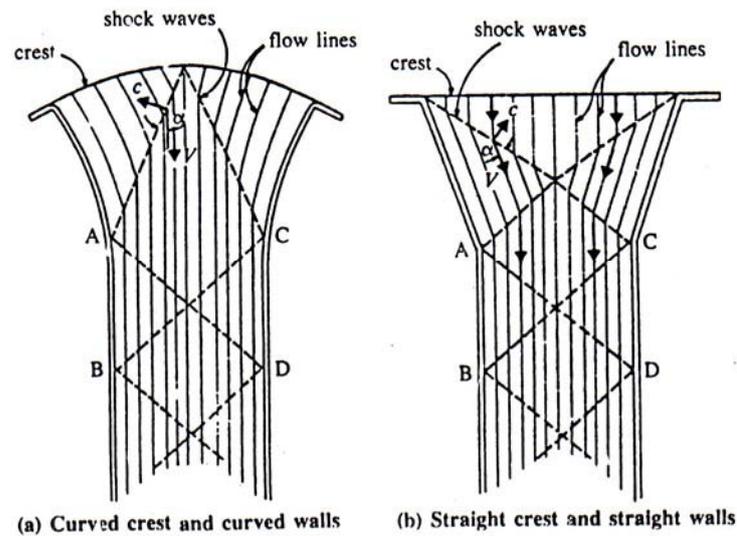
- jika $\sigma > \sigma_i$, maka tidak terjadi kavitas
- jika $\sigma < \sigma_i$, maka terjadi kavitas

2.6 Aliran Silang (Cross Flow)

Aliran silang atau *cross flow* adalah suatu aliran yang bergerak cepat dan terjadi pada kondisi dimana terjadi aliran superkritis dan sub kritis yang pada umumnya sering dijumpai pada saluran transisi dan saluran peluncur. Selain itu aliran silang ini juga diakibatkan oleh pengaruh bentuk inlet, perubahan penampang dan kemiringan dasar saluran, pilar jembatan dan lain-lain.

Khusus pada saluran peluncur yang merupakan suatu saluran curam yang membawa debit dari pelimpah menerus (*over flow channel*) atau pelimpah samping (*side channel*) memerlukan penanganan yang serius karena sering mengalami gangguan akibat aliran super kritis yang berupa aliran silang dan gangguan pengudaraan (*aerasi*).

Gambar di bawah ini adalah contoh aliran silang

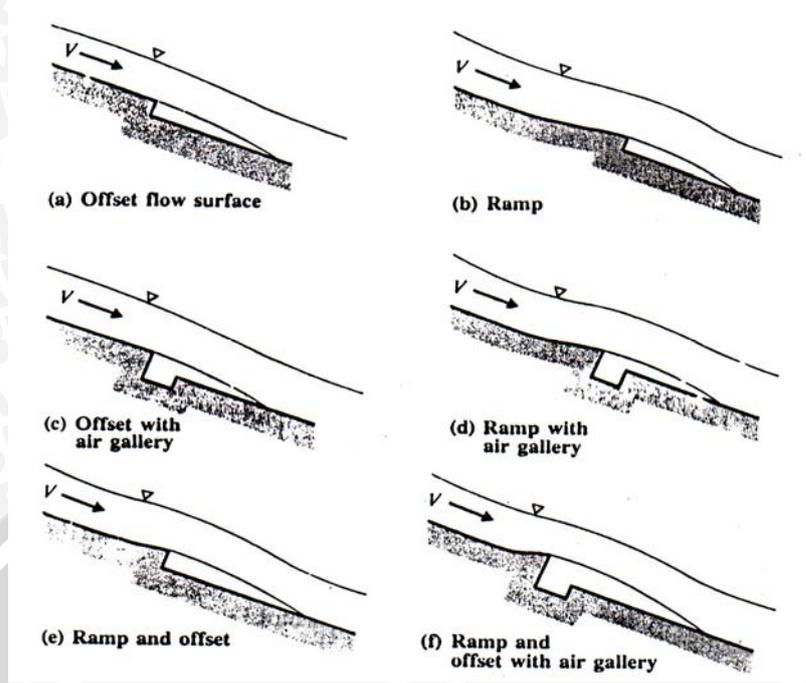


Gambar 2.16 : Gambar aliran silang (*cross flow*)
sumber : Hydraulic Structures, P. Novak

Pada saluran melengkung, dinding luar yang membelok masuk menghalangi aliran, akan menghasilkan loncatan hidrolis tegak lurus, dan garis gangguan positif atau muka gelombang positif. Dinding dalam yang membelok menjauhi aliran akan menghasilkan suatu yang dinamakan gelombang ekspansi tegak lurus, dan garis gangguan negatif atau muka gangguan negatif. Garis gangguan ini akan dipantulkan bolak-balik diantara kedua dinding tersebut. Garis-garis gangguan ini akan saling berinterferensi, menghasilkan suatu pola gangguan gelombang silang.

2.7 Sistem Pengudaraan (Sistem Aerasi)

Aerasi adalah suatu gangguan yang diakibatkan oleh adanya ruang hampa udara dibawah aliran, kondisi ini dapat membahayakan struktur bangunan di atasnya. Pengaruh aerasi ini dapat diperkecil dengan perubahan bentuk potongan melintang penampang, perubahan slope saluran atau diberi sistem pengudaraan (aerator) yang berfungsi untuk menghilangkan udara dibawah aliran. Gambar dibawah ini adalah contoh beberapa sistim pengudaraan.



Gambar 2.17. : Macam-macam sistem pengudaraan (aerator)

Sumber : Hydraulic Structures, P. Novak



BAB III METODE PENELITIAN

3.1 Data untuk Analisa

Data diperoleh dari uji model fisik hidrolis yang dilaksanakan di Laboratorium Hidrolika Dasar Jurusan Teknik Pengairan Universitas Brawijaya Malang. Data yang diperoleh dari uji fisik hidrolis digunakan untuk menghitung peredaman energi di kaki pelimpah dari model yang dibuat yaitu :

1. Pelimpah Konvensional
2. Pelimpah Berterap dengan Anak tangga datar
3. Pelimpah berterap dengan anak tangga datar yang diberi halangan berupa blok halang
4. Pelimpah Berterap dengan anak tangga miring sesuai dengan sudut yang terbentuk dari dimensi pelimpah berterap dengan anak tangga datar yang blok halang .

3.2 Alat yang Digunakan

Alat yang digunakan untuk menunjang perolehan data dalam penelitian model fisik ini adalah :

- Mengukur kecepatan aliran.
Alat ini dipergunakan untuk mengukur kecepatan aliran pada saluran. Perhitungan kecepatan *pitot tube* didasarkan pada beda tinggi tekan air pada selang pitot.
- Model bangunan pelimpah dibuat dengan menggunakan bentuk ogee standard USBR dengan persamaan $X^{1,85} = 2.0 h_d^{0,85} Y$.
- 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 alirandan pengukur debit sehingga dapat diketahui bahwa aliran tersebut adalah 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.

3.3 Perencanaan Model

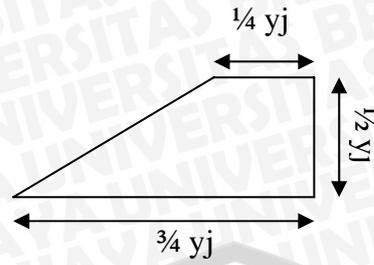
Model fisik hidrolis direncanakan dengan data :

- Bahan Model : Kayu Jati
- Tinggi pelimpah : 17 cm
- Lebar Pelimpah : 30 cm
- Tinggi Hd : 4 cm
- Koefisien debit : 1,3

3.4 Parameter dan Variabel Penelitian

Parameter penelitian yang terkait dalam kegiatan laboratorium adalah:

- Kemiringan hilir pelimpah dibuat tetap $\alpha = 45^\circ$ dengan sisi hulu tegak lurus 90° .
- Kemiringan terapan anak tangga dibuat datar (0°)
- Ukuran anak tangga angka tegak (h) = 1,5 cm dan angka datarnya (l) = 1,5 cm
- Bentuk puncak pelimpah standard USBR dengan persamaan $X^{1,85} = 2,0 h_d^{0,85} Y$
- Dasar saluran di hilir pelimpah tidak berubah (datar) 0,0001
- Dimensi blok halang adalah $h = \frac{1}{2} y_j$; $l_a = \frac{1}{4} y_j$; $l_b = \frac{3}{4} y_j$ dengan kemiringan 1:1, dimana y_j = tinggi muka air analitis pada punggung pelimpah 17 cm dari puncak pelimpah.
- Sudut anak tangga untuk pelimpah beranak tangga miring (α) adalah 20°



Gambar 3.1 Sketsa blok halang pelimpah

Variabel penelitian dalam kegiatan laboratorium kali ini adalah variasi debit (Q) dan variasi ketinggian pelimpah yang keduanya merupakan variabel bebas, sedangkan variabel terkaitnya adalah peredaman energi relatif (AH/ H_{maks}). Dalam penelitian nantinya akan digunakan 5 variasi Tinggi muka air di hulu serta 3 variasi ketinggian dari pelimpah. Berdasarkan kondisi ini, maka dapat disajikan rancangan penelitian faktorial 2 jalur sbb:

Tabel 3.1 Rancangan Penelitian

Variabel bebas		Jenis Pelimpah			
		P1	P2	P3	P4
hd (Tinggi Muka Air Desain Di atas Pelimpah)	Y1	P1Y1	P2Y1	P3Y1	P4Y1
	Y2	P1Y2	P2Y2	P3Y2	P4Y2
	Y3	P1Y3	P2Y3	P3Y3	P4Y3
	Y4	P1Y4	P2Y4	P3Y4	P4Y4
	Y5	P1Y5	P2Y5	P3Y5	P4Y5

Keterangan:

- P1 = Pelimpah Konvensional
- P2 = Pelimpah Berterap
- P3 = Pelimpah Berterap (Sill)
- P4 = Pelimpah Berterap (Miring)
- Y1 = hd (2cm)
- Y2 = hd (3cm)
- Y3 = hd (4cm)
- Y4 = hd (5cm)
- Y5 = hd (6cm)



Disamping parameter-parameter dan variabel-variabel di atas, faktor penting lainnya yang sangat berpengaruh dalam analisa data adalah penggunaan konstanta. Pada panelitian ini. Konstanta yang sering digunakan adalah percepatan gravitasi (g). Pada pengolahan data hasil penelitian, nilai konstanta percepatan gravitasi yang digunakan adalah $9,81 \text{ m/dt}^2$.

3.5 Langkah Perhitungan

Langkah Perhitungan adalah sbb :

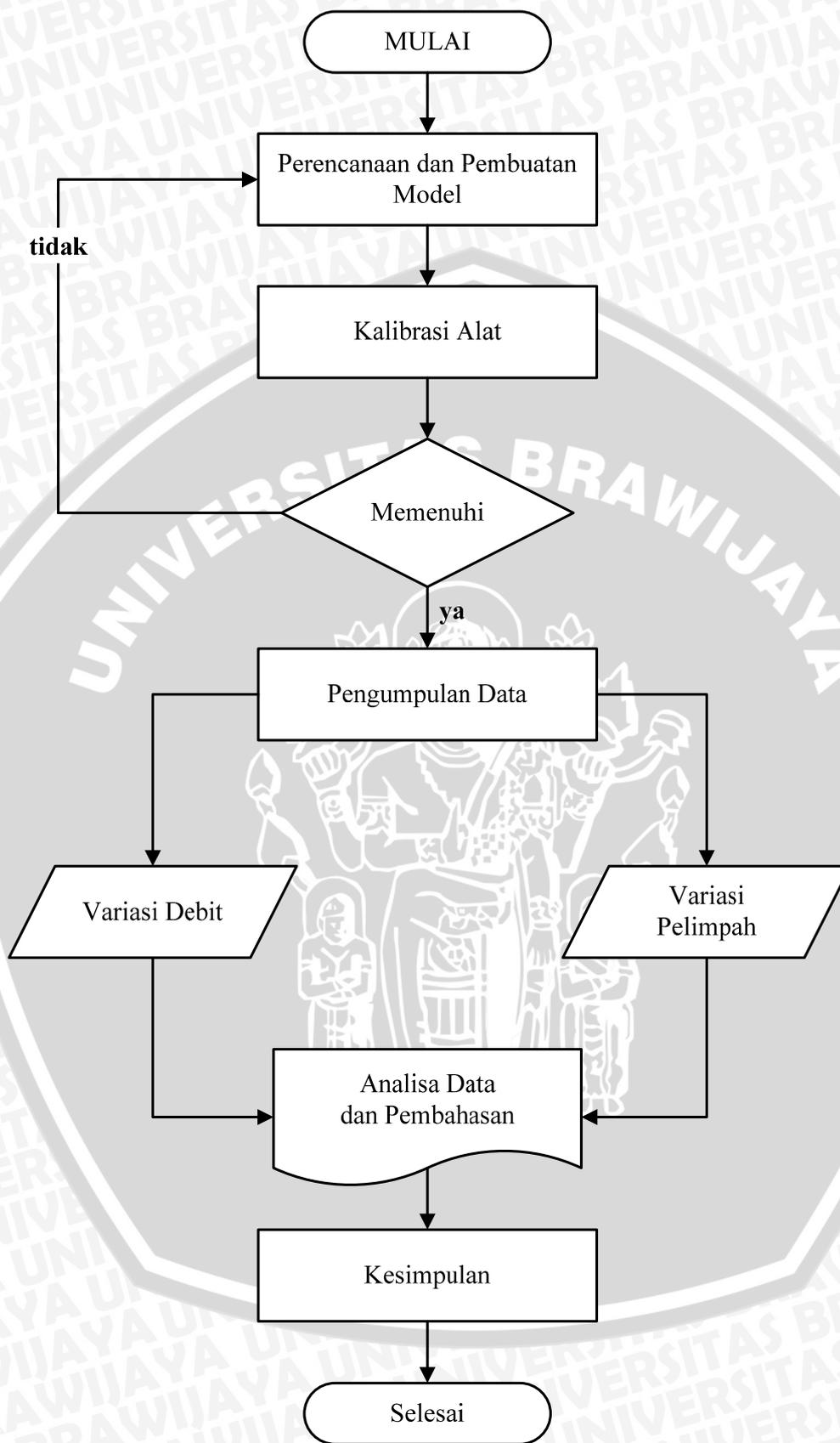
- 1) Kalibrasi alat ukur (rehbock)) dan alat ukur kecepatan (Tabung Pitot)
- 2) Mencatat data hasil permodelan
- 3) Menghitung peredaman energi relatif
- 4) Membandingkan hasil perhitungan peredaman energi
- 5) Menarik kesimpulan dan menggambar grafik peredaman energi

3.6 Tabulasi Penelitian

Dalam penelitian ini direncanakan untuk mengetahui efek dari peredaman energi yang terjadi akibat hambatan hambatan yang ada pada punggung pelimpah. Dengan memberikan perbedaan perbedaan pada punggung pelimpah diharapkan terjadi suatu efisiensi baik dari segi panjang loncatan, tinggi loncatan maupun peredaman energi itu sendiri.

Tahapan penelitiannya disampaikan di bawah ini :

1. Debit dialirkan ke saluran dengan ketinggian bangunan tertentu
2. Setelah keadaan muka air stabil, dilakukan pencatatan kondisi yang terjadi, yaitu tinggi muka air di bagian hulu (y_0), kecepatan di hulu (V_0), kedalaman Kritis (y_c), kecepatan kritis (V_c), kedalaman di awal loncatan (y_1), kecepatan di awal loncatan (V_1), jarak loncatan air (L_h), Tinggi muka air di bagian hilir (y_2), Kecepatan Muka air di bagian hilir (V_2), dan debit yang mengalir
3. Pelimpah dipasang sesuai dengan variabel penelitian yaitu pelimpah konvensional, pelimpah berterap dengan anak tangga datar, pelimpah berterap dengan anak tangga diberi blok halang, pelimpah berterap dengan anak tangga miring 20°
4. Selanjutnya tahapan (1) ,(2), dan (3) diulang kembali dengan debit yang berbeda dimana debit tergantung pada ketinggian air hulu (h_d).



Gambar 3.1 Diagram Alir Pengerjaan Skripsi

BAB IV DATA DAN ANALISA DATA

4.1 Model Fisik

4.1.1 Desain Pelimpah

Perhitungan dimensi pelimpah 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 pelimpah konvensional.

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

- P = 17 cm
- B = 30 cm
- Hd = 4 cm
- $\alpha = 45^\circ$ dengan sisi hulu tegak lurus 90°

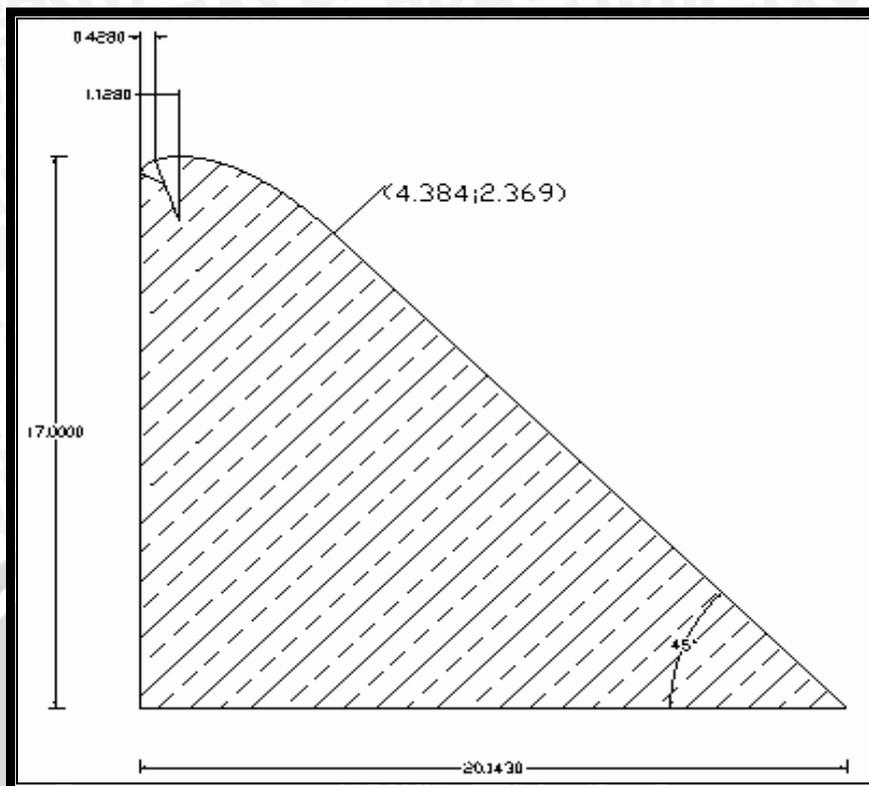
Bentuk puncak pelimpah standard USBR dengan persamaan $X^{1,85} = 2.0 h_d^{0,85} Y$

Puncak pelimpah mempunyai kelengkungan $R1 = 2$ cm dan $R2 = 0.8$ cm. Dengan memasukan nilai Hd 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 pelimpah dapat dilihat pada gambar 4.1.

Tabel 4.1 Koordinat Lengkung Harold

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

Sumber : Perhitungan



Gambar 4.1 Desain Pelimpah Konvensional (cm)

4.1.1.1 Perhitungan Debit yang Melewati Desain Pelimpah

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

Langkah perhitungan :

1. Tinggi muka air diatas pelimpah = h_d (direncanakan sebesar 4 cm)
2. nilai $C_d = 1,29$
 - C_o adalah konstanta (= 1,30)
 - C_1 adalah fungsi p/h_d dan H/h_d (= 0,99)
 - C_2 adalah faktor koreksi untuk permukaan hulu
3. Lebar pelimpah = 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 pelimpah 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 pelimpah

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 Pelimpah

Perhitungan profil muka air di atas pelimpah 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 pelimpah. berikut contoh perhitungan diambil untuk Q_{hd} pada section

$$- Q_{hd} = 0.005325 \text{ m}^3/\text{dt}$$

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

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 :

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

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

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

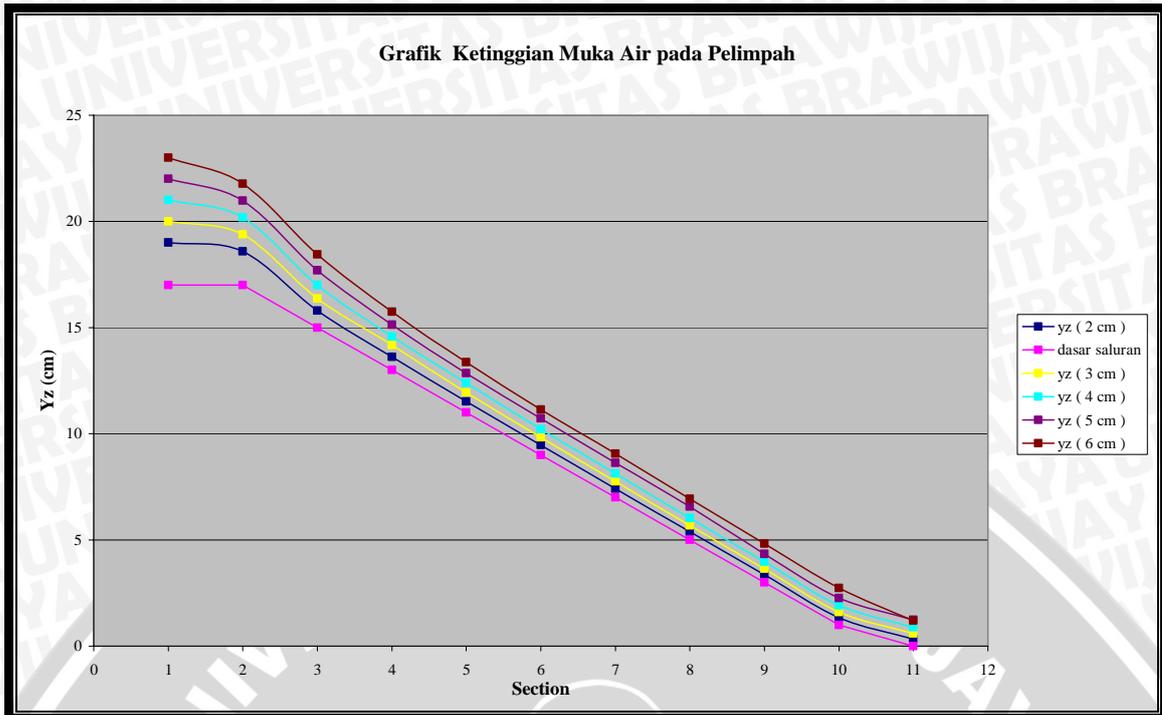
$$\text{Bilangan Froude, } F_z = \frac{V_z}{\sqrt{gy_z}} = 2.00$$

Perhitungan selanjutnya dapat dilihat pada tabel 4.3 berikut:

Tabel 4.3 Perhitungan profil muka air di atas pelimpah

hd (m)	Q (m ³ /dtk)	Z (m)	Yz (m)	Vz (m/dtk)	Fr
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
0.03	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
0.04 (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
0.05	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
0.06	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 Pelimpah

4.1.2 Desain Kolam Olak

4.1.2.1 Dimensi Kolam Olak

Penentuan dimensi pelimpah diperlukan perhitungan profil muka air di atas pelimpah. Dengan menggunakan persamaan 2.17 – 2.22 dapat dihitung profil muka air di atas pelimpah. 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 $V_z = \frac{0,17}{0,3 * 0,0089} = 1,9857 \text{ m/dt}$

$$\text{Bilangan Froude, } F_z = \frac{V_z}{\sqrt{gy_z}} = \frac{1,9857}{\sqrt{9,8 * 0,0089}} = 6,7054$$

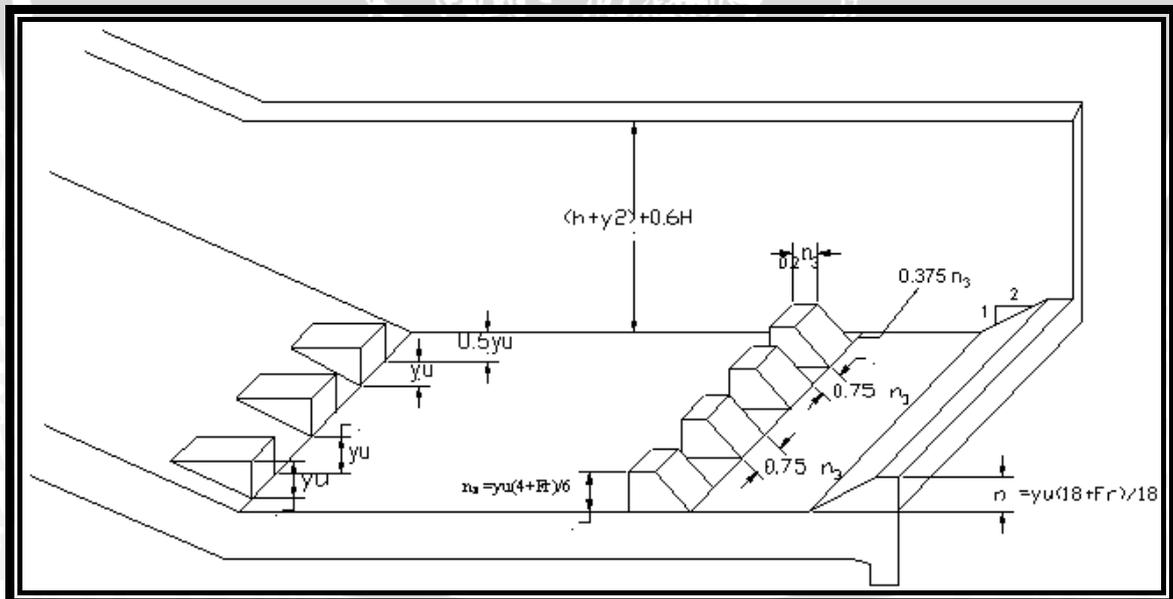
Perhitungan selanjutnya dapat dilihat pada tabel 4.4

Tabel 4.4 Perhitungan Profil Muka Air

Z	Yz	Vz	Fr	V2/2g	Y2	Lj	V2	V2/2g	fr
(m)	(m)	(m/dtk)		(m/dtk)	(m)		(m/dtk)	(m)	
0,0200	0,0200	0,8864	2,0000	0,0400					
0,0400	0,0158	1,1229	2,8517	0,0643					
0,0600	0,0140	1,2677	3,4204	0,0819					
0,0800	0,0122	1,4552	4,2068	0,1079					
0,1000	0,0112	1,5901	4,8049	0,1289	0,0804	0,3574	0,2207	0,0025	0,2485
0,1200	0,0104	1,7136	5,3758	0,1497					
0,1400	0,0097	1,8282	5,9239	0,1704					
0,1600	0,0092	1,9353	6,4519	0,1909					
0,1700	0,0089	1,9857	6,7054	0,2010					

sumber : hasil perhitungan

maka kriteria desain (Sosrodarsono,S 1989:217) untuk $Fr > 4,5$; $V < 18$ m/dt ; $Q < 18,5$ m³/dt/m dipergunakan kolam olak USBR tipe III. Adapun dimensi kolam olakan tersebut adalah :



Gambar 4.3 Peredam Energi USBR Tipe III

- Kedalaman air dalam peredam energi (Y_2)

$$Y_2 = \frac{Y_1}{2} (\sqrt{1 + 8F_1^2} - 1)$$

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

- 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)

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

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

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

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

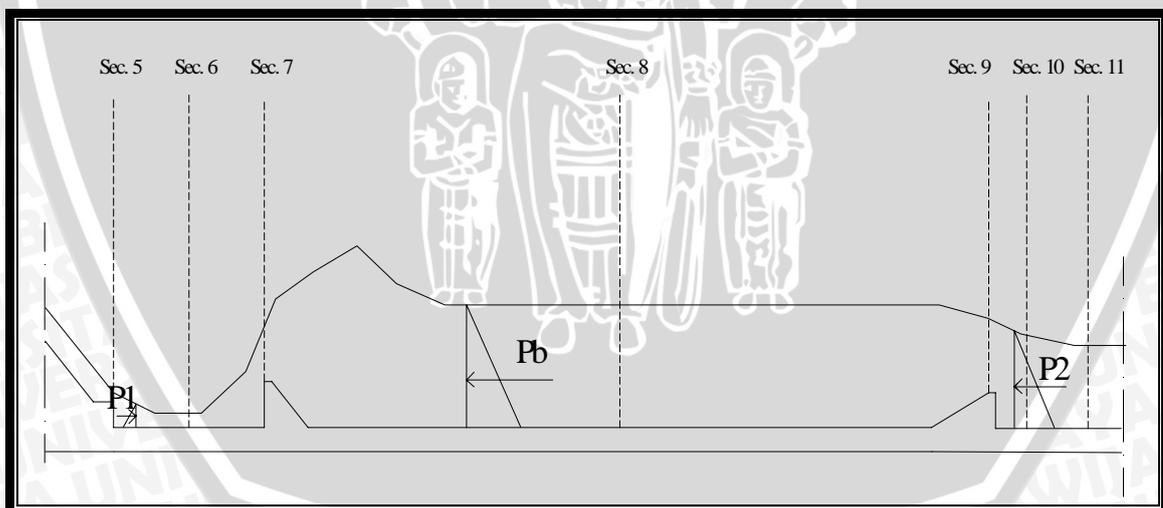
$$\text{Jarak antara blok halang dan blok muka} = 0,82 Y_2 = 0,82 * 0,08 = 0,0659 \text{ m}$$

- Ambang Hilir

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

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

4.1.2.2 Perhitungan Tinggi Muka Air Analitis pada Desain Kolam Olak



Gambar 4.4 Skema diagram tekanan pada peredam energi USBR tipe III

Persamaan momentum suatu loncatan air yang terjadi di dalam saluran penampang persegi empat .

Contoh Perhitungan :

Peredam energi berada pada section 6 sampai dengan section 11, Berdasarkan tabel profil permukaan air saluran peluncur (lampiran) diketahui data-data sebagai berikut :

Perhitungan untuk Q_{4cm}

$$Q_{4h} = 0,005325 \text{ m}^3/\text{dt}$$

$$B_6 = 0,3 \text{ m}$$

$$B_8 = 0,3 \text{ m}$$

$$Y_6 = 0,0089 \text{ m}$$

$$V_6 = 1,9857 \text{ m/dt}$$

$$Fr_6 = 6,0754$$

Tinggi *Baffle piers*, $S = 0.0089 \text{ m}$

$$\begin{aligned} P_b &= \frac{1}{2} \cdot \rho \cdot g \cdot S^2 \\ &= \frac{1}{2} \cdot 1000 \cdot 9,81 \cdot 0,0089^2 \\ &= 0,38852 \text{ kg/dt}^2 \end{aligned}$$

Maka :

$$P_6 - P_8 - P_b = \rho \cdot Q \cdot (V_8 - V_6)$$

$$\frac{1}{2} \cdot \rho \cdot g \cdot Y_6^2 \cdot B_6 - \frac{1}{2} \cdot \rho \cdot g \cdot Y_8^2 \cdot B_8 - \frac{1}{2} \cdot \rho \cdot g \cdot S^2 = \rho \cdot Q \cdot (V_8 - V_6)$$

$$\frac{1}{2} \cdot g \cdot Y_6^2 \cdot B_6 - \frac{1}{2} \cdot g \cdot Y_8^2 \cdot B_8 - \frac{1}{2} \cdot g \cdot S^2 = Q \cdot (V_8 - V_6)$$

$$\frac{1}{2} \cdot 9,81 \cdot 0,0089^2 \cdot 0,3 - \frac{1}{2} \cdot 9,81 \cdot Y_8^2 \cdot 0,3 - \frac{1}{2} \cdot 9,81 \cdot 0,0089^2 = 0,005325$$

$$\left(\left(\frac{0,005325}{(0,3 \cdot Y_8)} \right) - 1,9857 \right)$$

$$1,16 \cdot 10^{-4} - 1,475 Y_8^2 - 1,16 \cdot 10^{-4} = 0,005325 \left(\frac{0,005325}{(0,3 \cdot Y_8)} - 1,9857 \right)$$

dengan cara coba-coba diperoleh $Y_8 = 0,08414 \text{ m}$

sehingga diperoleh nilai-nilai :

$$A_8 = B \cdot Y_8 = 0,3 \cdot 0,08414 = 0,025242 \text{ m}^2$$

$$V_8 = \frac{Q}{A} = 0,211 \text{ m/dt}$$

$$Fr_8 = 0,2556 \longrightarrow \text{Subkritis}$$

Perhitungan tinggi muka air di section 11 setelah peredam energi

Perhitungan menggunakan teori momentum untuk menentukan tinggi muka air akibat adanya endsill.

contoh perhitungan :

$$Q_4 = 0,005325 \text{ m}^3/\text{dt}$$

$$B_8 = 0,3 \text{ m}$$

$$B_{11} = 0,3 \text{ m}$$

$$Y_8 = 0,08414 \text{ m}$$

$$V_8 = 0,211 \text{ m/dt}$$

$$Fr_8 = 0,2556$$

$$\begin{aligned} \text{Tinggi endsill} &= \frac{1}{2} \cdot \rho \cdot g \cdot h_{\text{endsill}}^2 + \rho \cdot g \cdot Y_{11}^2 \\ &= \frac{1}{2} \cdot 1000 \cdot 9,81 \cdot 0,0123^2 + 1000 \cdot 9,81 \cdot Y_{11}^2 \\ &= 0,74207 + 9810 Y_{11}^2 \end{aligned}$$

maka :

$$P_8 - P_{11} - P_{\text{endsill}} = \rho \cdot Q \cdot (V_{11} - V_8)$$

$$\frac{1}{2} \cdot \rho \cdot g \cdot Y_8^2 B_8 - \frac{1}{2} \cdot \rho \cdot g \cdot Y_{11}^2 B_{11} - (\frac{1}{2} \cdot \rho \cdot g \cdot h_{\text{endsill}}^2 B_2 + \rho \cdot g \cdot Y_{11}^2 B_2) = \rho \cdot Q \cdot (V_{11} - V_8)$$

$$\frac{1}{2} \cdot g \cdot Y_8^2 B_8 - \frac{1}{2} \cdot g \cdot Y_{11}^2 B_{11} - (\frac{1}{2} \cdot g \cdot h_{\text{endsill}}^2 B_2 + g \cdot Y_{11}^2 B_2) = Q \cdot (V_{11} - V_8)$$

$$\frac{1}{2} \cdot 9,81 \cdot (0,0123^2) \cdot 0,3 - \frac{1}{2} \cdot 9,81 \cdot Y_{11}^2 \cdot 0,3 - (\frac{1}{2} \cdot 9,81 \cdot (0,0123^2) \cdot 0,3 + 9,81 \cdot Y_{11}^2 \cdot 0,3)$$

$$= 0,005325 \left(\left(\frac{14,692}{(4,5 \cdot Y_8)} \right) - 12,833 \right)$$

dengan cara coba-coba diperoleh Y_{11} sebesar 0,07904 m

Sehingga diperoleh nilai – nilai :

$$A_{11} = B \cdot Y_{11} = 0,3 \cdot 0,07904 = 0,023712$$

$$v_{11} = \frac{Q}{A} = 0,224565 \text{ m/dt}$$

$$Fr_{11} = 0,3514 \longrightarrow \text{Subkritis}$$

Perhitungan untuk $Q_{2\text{cm}}$

$$Q_2 = 0,001886 \text{ m}^3/\text{dt}$$

$$B_6 = 0,3 \text{ m}$$

$$B_8 = 0,3 \text{ m}$$

$$Y_6 = 0,0033 \text{ m}$$

$$V_6 = 1,9135 \text{ m/dt}$$

$$Fr_6 = 10,6583$$

Perhitungan :

Tinggi *Baffle piers*, $S = 0,0089 \text{ m}$

$$\begin{aligned} P_b &= \frac{1}{2} \cdot \rho \cdot g \cdot S^2 \\ &= \frac{1}{2} \cdot 1000 \cdot 9,81 \cdot 0,0089^2 \\ &= 0,38852 \text{ kg/dt}^2 \end{aligned}$$

Maka :

$$P_6 - P_8 - P_b = \rho \cdot Q \cdot (V_8 - V_6)$$

$$\frac{1}{2} \cdot \rho \cdot g \cdot Y_6^2 B_6 - \frac{1}{2} \cdot \rho \cdot g \cdot Y_8^2 \cdot B_8 - \frac{1}{2} \cdot \rho \cdot g \cdot S^2 = \rho \cdot Q \cdot (V_8 - V_6)$$

$$\frac{1}{2} \cdot g \cdot Y_6^2 B_6 - \frac{1}{2} \cdot g \cdot Y_8^2 \cdot B_8 - \frac{1}{2} \cdot g \cdot S^2 = Q \cdot (V_8 - V_6)$$

$$0,01203 Y_8 + 0,000131 - 1,475 Y_8^3 = Q \cdot (V_8 - V_6)$$

dengan cara coba-coba diperoleh $Y_8 = 0,04604678$ m

sehingga diperoleh nilai-nilai :

$$A_8 = B \cdot Y_8 = 0,3 * 0,04604678 = 0,013814 \text{ m}^2$$

$$V_8 = \frac{Q}{A} = 0,13652 \text{ m/dt}$$

$$Fr_8 = 0,20312 \longrightarrow \text{Subkritis}$$

Perhitungan tinggi muka air di section 11 setelah peredam energi

Perhitungan menggunakan teori momentum untuk menentukan tinggi muka air akibat adanya endsill.

contoh perhitungan :

$$Q_2 = 0,001886 \text{ m}^3/\text{dt}$$

$$B_8 = 0,3 \text{ m}$$

$$B_{11} = 0,3 \text{ m}$$

$$Y_8 = 0,04604678 \text{ m}$$

$$V_8 = 0,13652 \text{ m/dt}$$

$$Fr_8 = 0,20312$$

$$\begin{aligned} \text{Tinggi endsill} &= \frac{1}{2} \cdot \rho \cdot g \cdot h_{\text{endsill}}^2 + \rho \cdot g \cdot Y_{11}^2 \\ &= \frac{1}{2} \cdot 1000 \cdot 9,81 \cdot 0,0123^2 + 1000 \cdot 9,81 \cdot Y_{11}^2 \\ &= 0,74207 + 9810 Y_{11}^2 \end{aligned}$$

maka :

$$P_8 - P_{11} - P_{\text{endsill}} = \rho \cdot Q \cdot (V_{11} - V_8)$$

$$\frac{1}{2} \cdot \rho \cdot g \cdot Y_8^2 B_8 - \frac{1}{2} \cdot \rho \cdot g \cdot Y_{11}^2 B_{11} - (\frac{1}{2} \cdot \rho \cdot g \cdot h_{\text{endsill}}^2 B_2 + \rho \cdot g \cdot Y_{11}^2 B_2) = \rho \cdot Q \cdot (V_{11} - V_8)$$

$$\frac{1}{2} \cdot g \cdot Y_8^2 B_8 - \frac{1}{2} \cdot g \cdot Y_{11}^2 B_{11} - (\frac{1}{2} \cdot g \cdot h_{\text{endsill}}^2 B_2 + g \cdot Y_{11}^2 B_2) = Q \cdot (V_{11} - V_8)$$

dengan cara coba-coba diperoleh Y_{11} sebesar 0,0380245 m

Sehingga diperoleh nilai – nilai :

$$A_{11} = B \cdot Y_{11} = 0,3 * 0,0380245 = 0,01140735 \text{ m}^2$$

$$V_{11} = \frac{Q}{A} = 0,165069 \text{ m/dt}$$

$$Fr_{11} = 0,27027 \longrightarrow \text{Subkritis}$$

Perhitungan untuk Q_{3cm}

$$Q_3 = 0.003457 \text{ m}^3/\text{dt}$$

$$B_6 = 0,3 \text{ m}$$

$$B_8 = 0,3 \text{ m}$$

$$Y_6 = 0.0059 \text{ m}$$

$$V_6 = 1,9519 \text{ m/dt}$$

$$Fr_6 = 8,1101$$

Perhitungan :

Tinggi *Baffle piers*, $S = 0.0089 \text{ m}$

$$\begin{aligned} P_b &= \frac{1}{2} \cdot \rho \cdot g \cdot S^2 \\ &= \frac{1}{2} \cdot 1000 \cdot 9,81 \cdot 0,0089^2 \\ &= 0,38852 \text{ kg/dt}^2 \end{aligned}$$

Maka :

$$P_6 - P_8 - P_b = \rho \cdot Q \cdot (V_8 - V_6)$$

$$\frac{1}{2} \cdot \rho \cdot g \cdot Y_6^2 \cdot B_6 - \frac{1}{2} \cdot \rho \cdot g \cdot Y_8^2 \cdot B_8 - \frac{1}{2} \cdot \rho \cdot g \cdot S^2 = \rho \cdot Q \cdot (V_8 - V_6)$$

$$\frac{1}{2} \cdot g \cdot Y_6^2 \cdot B_6 - \frac{1}{2} \cdot g \cdot Y_8^2 \cdot B_8 - \frac{1}{2} \cdot g \cdot S^2 = Q \cdot (V_8 - V_6)$$

$$0,067477 Y_8 + 0,0039836 - 1,475 Y_8^3 = Q \cdot (V_8 - V_6)$$

dengan cara coba-coba diperoleh $Y_8 = 0.0675922 \text{ m}$

sehingga diperoleh nilai-nilai :

$$A_8 = B \cdot Y_8 = 0,3 * 0,0675922 = 0,02027766 \text{ m}^2$$

$$V_8 = \frac{Q}{A} = 0,170483 \text{ m/dt}$$

$$Fr_8 = 0,20936 \longrightarrow \text{Subkritis}$$

Perhitungan tinggi muka air di section 11 setelah peredam energi

Perhitungan menggunakan teori momentum untuk menentukan tinggi muka air akibat adanya endsill.

contoh perhitungan :

$$Q_3 = 0.003457 \text{ m}^3/\text{dt}$$

$$B_8 = 0,3 \text{ m}$$

$$B_{11} = 0,3 \text{ m}$$

$$Y_8 = 0,0675922 \text{ m}$$

$$V_8 = 0,170483 \text{ m/dt}$$

$$Fr_8 = 0,20936$$

$$\begin{aligned} \text{Tinggi endsill} &= \frac{1}{2} \cdot \rho \cdot g \cdot h_{\text{endsill}}^2 + \rho \cdot g \cdot Y_{11}^2 \\ &= \frac{1}{2} \cdot 1000 \cdot 9,81 \cdot 0,0123^2 + 1000 \cdot 9,81 \cdot Y_{11}^2 \\ &= 0,74207 + 9810 Y_{11}^2 \end{aligned}$$

maka :

$$P_8 - P_{11} - P_{\text{endsill}} = \rho \cdot Q \cdot (V_{11} - V_8)$$

$$\frac{1}{2} \cdot \rho \cdot g \cdot Y_8^2 B_8 - \frac{1}{2} \cdot \rho \cdot g \cdot Y_{11}^2 B_{11} - (\frac{1}{2} \cdot \rho \cdot g \cdot h_{\text{endsill}}^2 B_2 + \rho \cdot g \cdot Y_{11}^2 B_2) = \rho \cdot Q \cdot (V_{11} - V_8)$$

$$\frac{1}{2} \cdot g \cdot Y_8^2 B_8 - \frac{1}{2} \cdot g \cdot Y_{11}^2 B_{11} - (\frac{1}{2} \cdot g \cdot h_{\text{endsill}}^2 B_2 + g \cdot Y_{11}^2 B_2) = Q \cdot (V_{11} - V_8)$$

dengan cara coba-coba diperoleh Y_{11} sebesar 0,044658 m

Sehingga diperoleh nilai – nilai :

$$A_{11} = B \cdot Y_{11} = 0,3 \cdot 0,044658 = 0,0133974 \text{ m}^2$$

$$V_{11} = \frac{Q}{A} = 0,258035 \text{ m/dt}$$

$$Fr_{11} = 0,3898 \longrightarrow \text{Subkritis}$$

Perhitungan untuk $Q_{5\text{cm}}$

$$Q_5 = 0,007453 \text{ m}^3/\text{dt}$$

$$B_6 = 0,3 \text{ m}$$

$$B_8 = 0,3 \text{ m}$$

$$Y_6 = 0,0123 \text{ m}$$

$$V_6 = 2,0197 \text{ m/dt}$$

$$Fr_6 = 5,5182$$

Perhitungan :

Tinggi *Baffle piers*, $S = 0,0089 \text{ m}$

$$\begin{aligned} P_b &= \frac{1}{2} \cdot \rho \cdot g \cdot S^2 \\ &= \frac{1}{2} \cdot 1000 \cdot 9,81 \cdot 0,0089^2 \\ &= 0,38852 \text{ kg/dt}^2 \end{aligned}$$

Maka :

$$P_6 - P_8 - P_b = \rho \cdot Q \cdot (V_8 - V_6)$$

$$\frac{1}{2} \cdot \rho \cdot g \cdot Y_6^2 B_6 - \frac{1}{2} \cdot \rho \cdot g \cdot Y_8^2 B_8 - \frac{1}{2} \cdot \rho \cdot g \cdot S^2 = \rho \cdot Q \cdot (V_8 - V_6)$$

$$\frac{1}{2} \cdot g \cdot Y_6^2 B_6 - \frac{1}{2} \cdot g \cdot Y_8^2 B_8 - \frac{1}{2} \cdot g \cdot S^2 = Q \cdot (V_8 - V_6)$$

$$0,0327528 Y_8 + 0,0018157 - 1,475 Y_8^3 = Q \cdot (V_8 - V_6)$$

dengan cara coba-coba diperoleh $Y_8 = 0,101245 \text{ m}$



sehingga diperoleh nilai-nilai :

$$A_8 = B \cdot Y_8 = 0,3 \cdot 0,101245 = 0,0303735 \text{ m}^2$$

$$V_8 = \frac{Q}{A} = 0,2453 \text{ m/dt}$$

$$Fr_8 = 0,2462 \longrightarrow \text{Subkritis}$$

Perhitungan tinggi muka air di section 11 setelah peredam energi

Perhitungan menggunakan teori momentum untuk menentukan tinggi muka air akibat adanya endsill.

contoh perhitungan :

$$Q_5 = 0,007453 \text{ m}^3/\text{dt}$$

$$B_8 = 0,3 \text{ m}$$

$$B_{11} = 0,3 \text{ m}$$

$$Y_8 = 0,101245 \text{ m}$$

$$V_8 = 0,2453 \text{ m/dt}$$

$$Fr_8 = 0,2462$$

$$\begin{aligned} \text{Tinggi endsill} &= \frac{1}{2} \cdot \rho \cdot g \cdot h_{\text{endsill}}^2 + \rho \cdot g \cdot Y_{11}^2 \\ &= \frac{1}{2} \cdot 1000 \cdot 9,81 \cdot 0,0123^2 + 1000 \cdot 9,81 \cdot Y_{11}^2 \\ &= 0,74207 + 9810 Y_{11}^2 \end{aligned}$$

maka :

$$P_8 - P_{11} - P_{\text{endsill}} = \rho \cdot Q \cdot (V_{11} - V_8)$$

$$\frac{1}{2} \cdot \rho \cdot g \cdot Y_8^2 B_8 - \frac{1}{2} \cdot \rho \cdot g \cdot Y_{11}^2 B_{11} - (\frac{1}{2} \cdot \rho \cdot g \cdot h_{\text{endsill}}^2 B_2 + \rho \cdot g \cdot Y_{11}^2 B_2) = \rho \cdot Q \cdot (V_{11} - V_8)$$

$$\frac{1}{2} \cdot g \cdot Y_8^2 B_8 - \frac{1}{2} \cdot g \cdot Y_{11}^2 B_{11} - (\frac{1}{2} \cdot g \cdot h_{\text{endsill}}^2 B_2 + g \cdot Y_{11}^2 B_2) = Q \cdot (V_{11} - V_8)$$

dengan cara coba-coba diperoleh Y_{11} sebesar 0,0956 m

Sehingga diperoleh nilai – nilai :

$$A_{11} = B \cdot Y_{11} = 0,3 \cdot 0,0956 = 0,02868 \text{ m}^2$$

$$V_{11} = \frac{Q}{A} = 0,25987 \text{ m/dt}$$

$$Fr_{11} = 0,2683 \longrightarrow \text{Subkritis}$$

4.1.3 Dimensi Susunan Anak Tangga

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

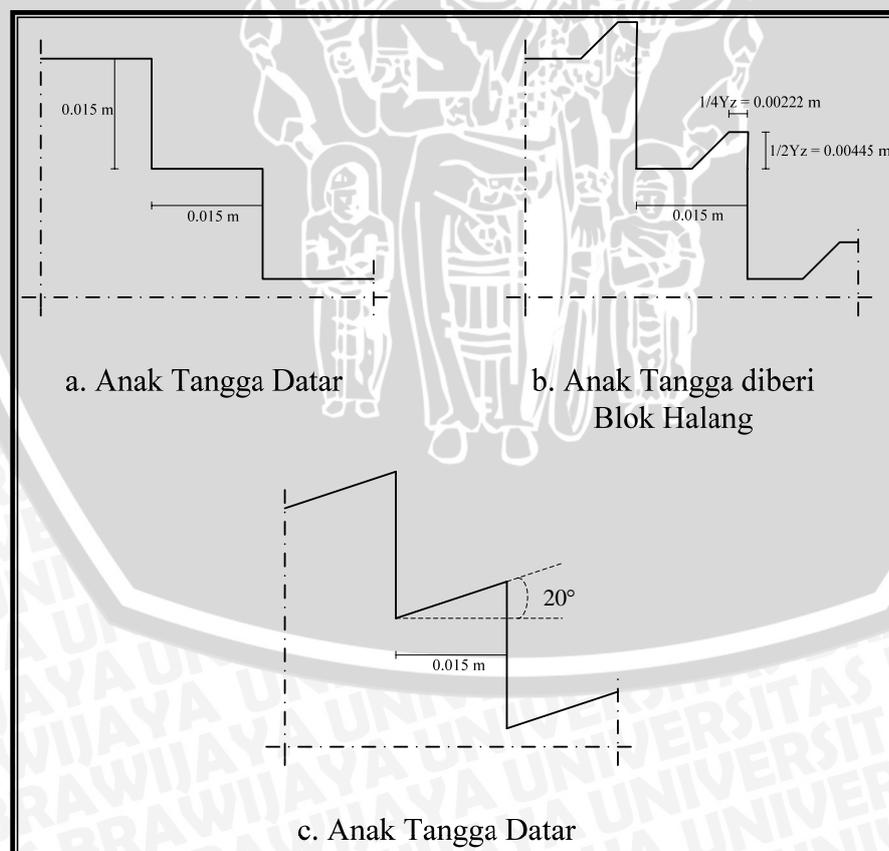
Dimensi anak tangga yang diberi blok halang dengan anak tangga datar adalah sama hanya saja pada belakang anak tangga-anak tangga diberi blok halang yang tergantung nilai Yz di kaki pelimpah konvensional (Yz pada saat 17cm). Karena nilai tinggi blok halang pada anak tangga adalah $\frac{1}{2} Yz$ maka tinggi blok halang pada anak tangga menjadi 0.00445m.

Dimensi anak tangga miring sudah sangat jelas bahwa nilai sudut didapat dari ketinggian blok halang yang dipasang pada akhir anak tangga. Maka sudutnya didapatkan dengan cara berikut:

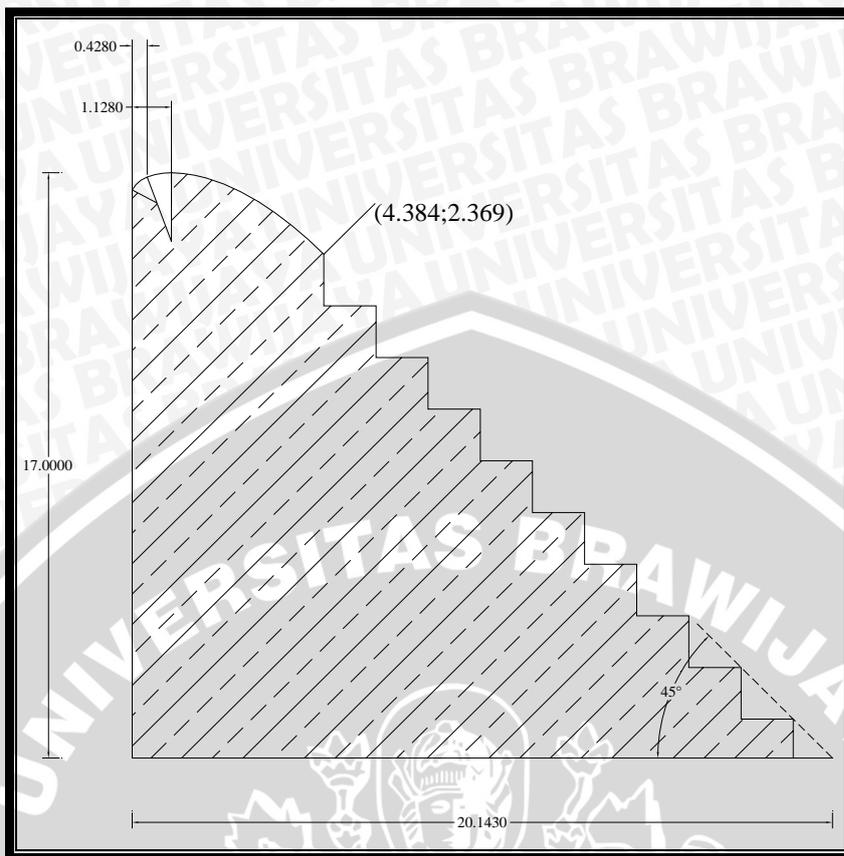
$$\alpha = \tan^{-1} \left(\frac{1/2Yz}{1,5 - (1/4Yz)} \right)$$

$$= \tan^{-1} \left(\frac{0,445}{1,5 - (0,2225)} \right) = 19,71^\circ \sim 20^\circ$$

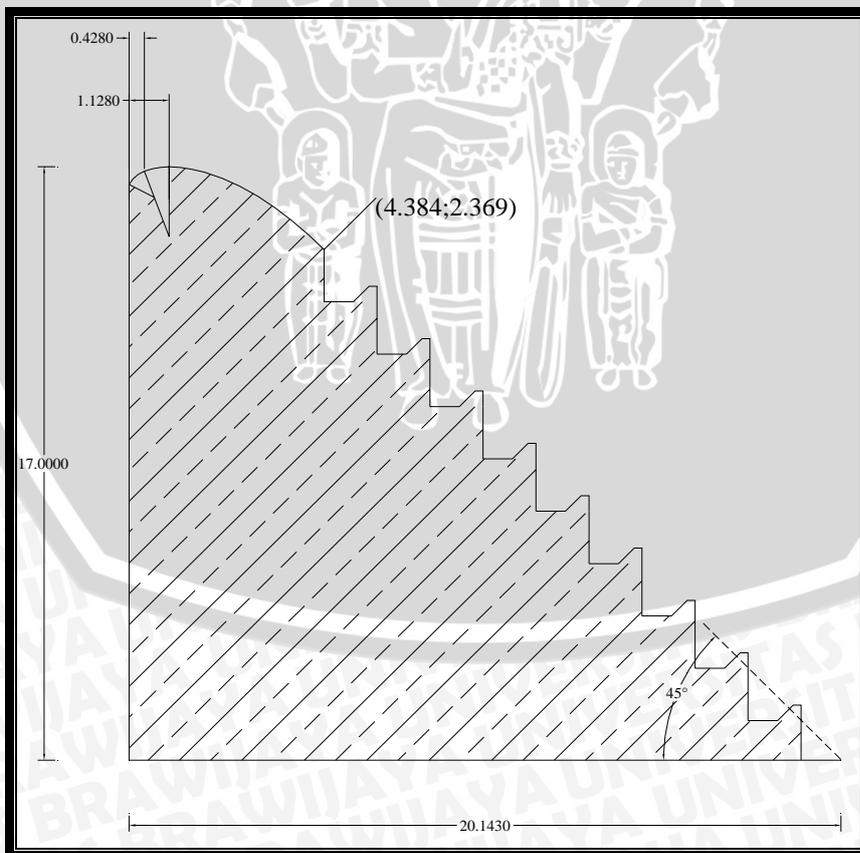
Dari perhitungan diatas disimpulkan bahwa penelitian ini menggunakan sudut 20° . Untuk seluruh desain anak tangga dapat dilihat pada gambar 4.5 dan untuk desain keseluruhan dari pelimpah dapat dilihat pada gambar 4.6 – 4.7.



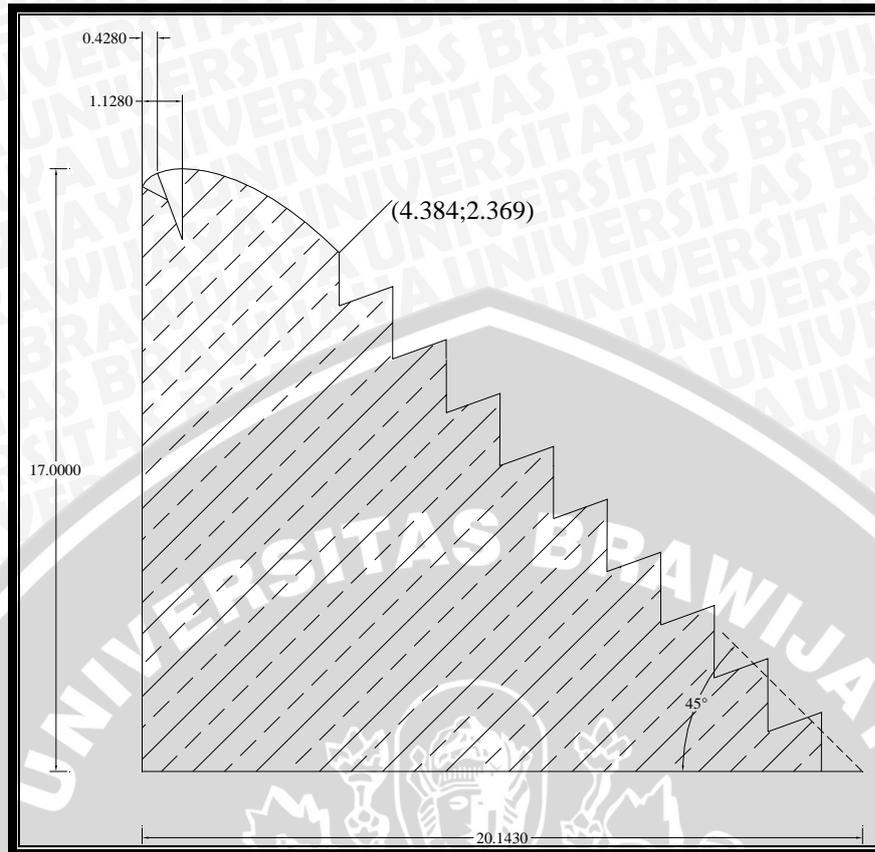
Gambar 4.5 Desain Anak Tangga



Gambar 4.6 Pelimpah Berterap dengan Anak Tangga Datar



Gambar 4.7 Pelimpah Berterap dengan Anak Tangga Datar yang diberi Blok Halang



Gambar 4.8 Pelimpah Berterap dengan Anak Miring 20°

4.2 Kalibrasi dan Verifikasi Model

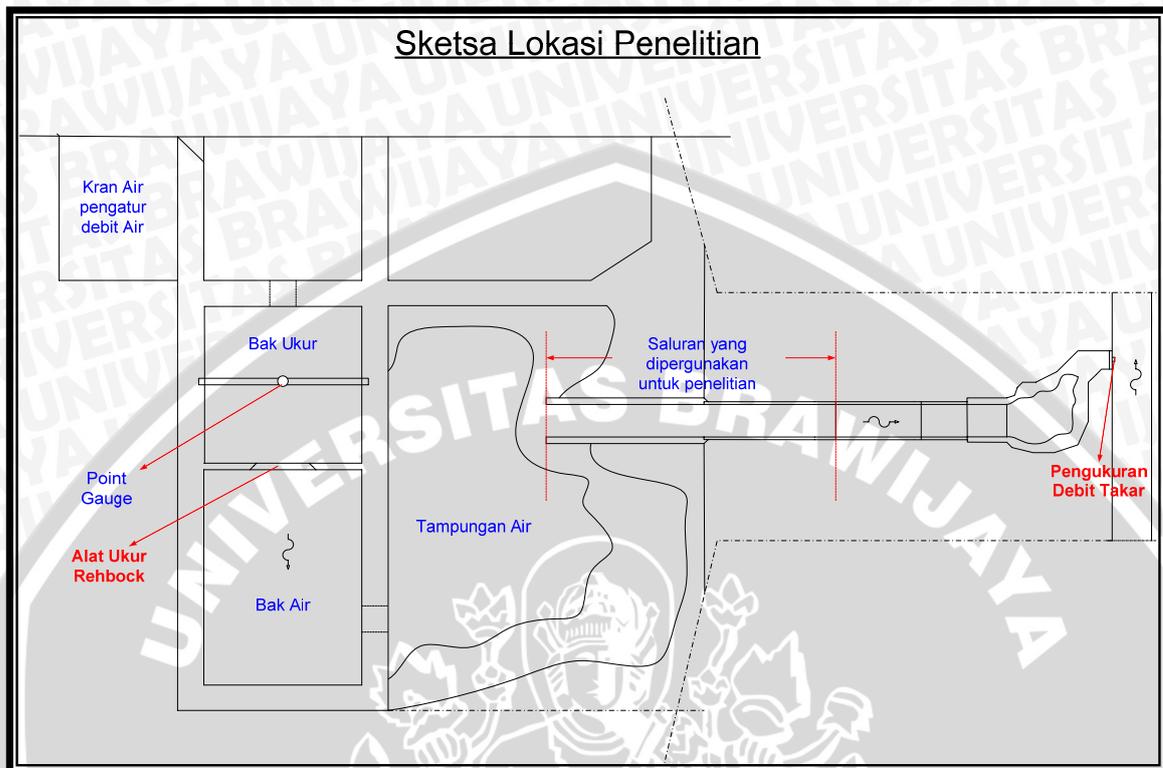
Kalibrasi dapat didefinisikan sebagai penyesuaian parameter yang ada di model dengan parameter yang ada di prototipe, sehingga dapat dipakai sebagai acuan untuk pengukuran selanjutnya.

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 Rechbox, $Q_2 =$ 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 4.9 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

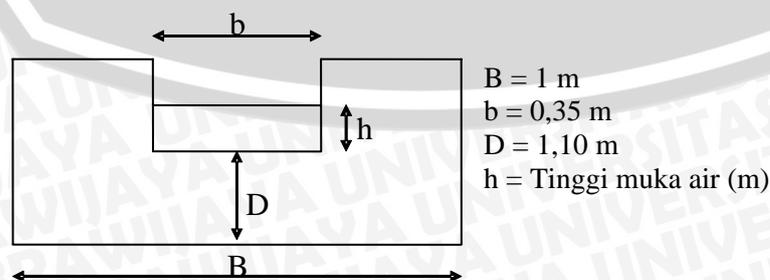
Tebal Air Rechbox (IPG = 31cm)		Waktu	Volume	Debit Takar	Debit Takar	Debit Takar	Debit	K R
(cm)	(cm)	(dtk)	(ml)	(ml/dt)	(m ³ /dt)	(m ³ /dt)	(m ³ /dt)	
1	2	3	4	5	6	7	8	9
34	3	1,25	4320	3456,000	0,0035	0,0035	0,0038	8,0412
		1,3	4240	3261,538	0,0033			
		1,1	4200	3818,182	0,0038			
34,5	3,5	0,9	4100	4555,556	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			
							KR_(Rerata)	3,0895

Sumber : Hasil Pengukuran dan Perhitungan

Keterangan :

- | | |
|----------------|------------------------------|
| 1 = Data | 6 = (4) / 1000000 |
| 2 = (1) - IPG) | 7 = (4) / n _{data} |
| 3 = Data | 8 = k x b x h ^{1,5} |
| 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 4.10 Dimensi alat ukur debit rechbox

Debit aliran teoritik yang melalui Rechbox dapat dihitung dengan rumus :

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

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 ³ /dt)	(m ³ /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 :

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

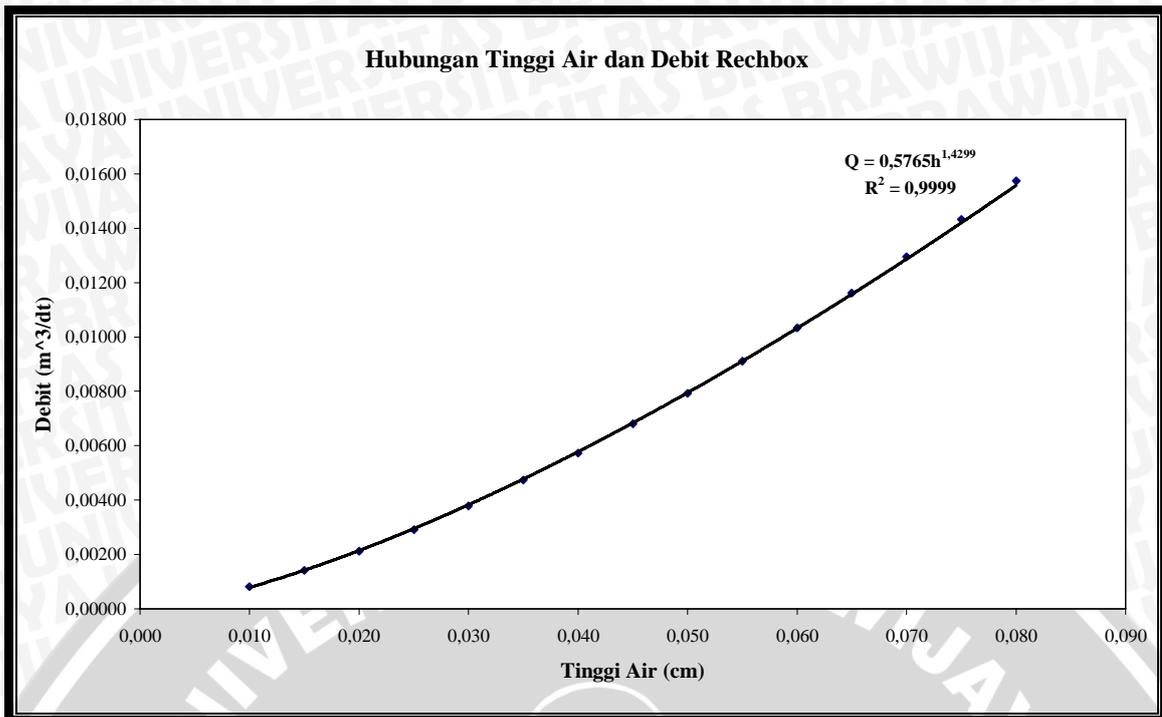
dimana : x = h (Tinggi Air Rechbock)

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

Sehingga menjadi,

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

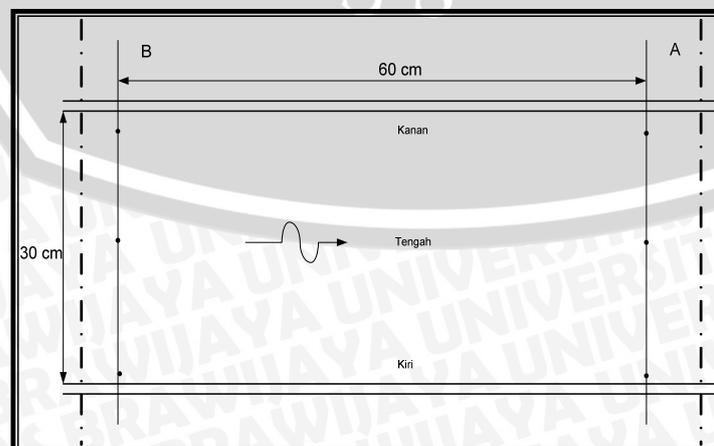
Selanjutnya nilai persamaan diatas digunakan guna mengetahui debit-debit lainnya.



Gambar 4.11 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 4.12 Sketsa Lokasi Pengambilan Data Kecepatan Untuk Kalibrasi

Tabel 4.7 Perhitungan Kesalahan Relatif Antara V_{pitot} dengan V_{aktual}

No	Section	H pitot	V pitot	h saluran	A saluran	Q hitung	Q takar	V aktual	K . R
		(m)	(m/dt)	(m)	(m ²)	(m ³ /dt)	(m ³ /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 $V_{\text{Pitot}} = k \cdot V_{\text{Aktual}}$

$$0.31984 = k \cdot 0.32190$$

$$k = 0.993593$$

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

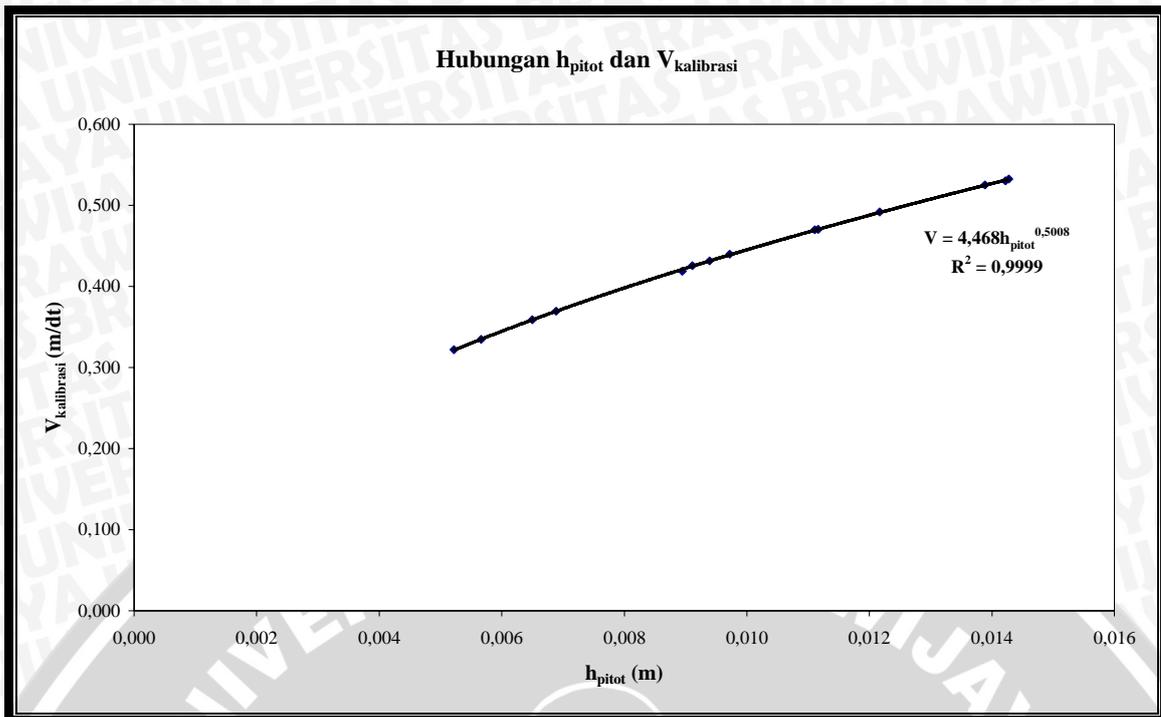
Keterangan :

1 = No. Urut

2 = Tinggi air alat pada ukur pitot tube

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

4 = (3) / 0,993593



Gambar 4.13 Grafik Hubungan Kecepatan dengan Tinggi Air

4.2.3 Syarat Akurasi Model

Pengambilan data dilakukan dengan mengukur tinggi muka air pada pelimpah. Sebagai pedoman kalibrasi dan keakuratan model, digunakan acuan ketinggian aliran air di atas mercu pelimpah (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
RERATA					2,02	1,86	1,42	3,77

Sumber: Hasil Perhitungan

Keterangan :

a = Konvensional

b = Berterap dengan anak tangga datar

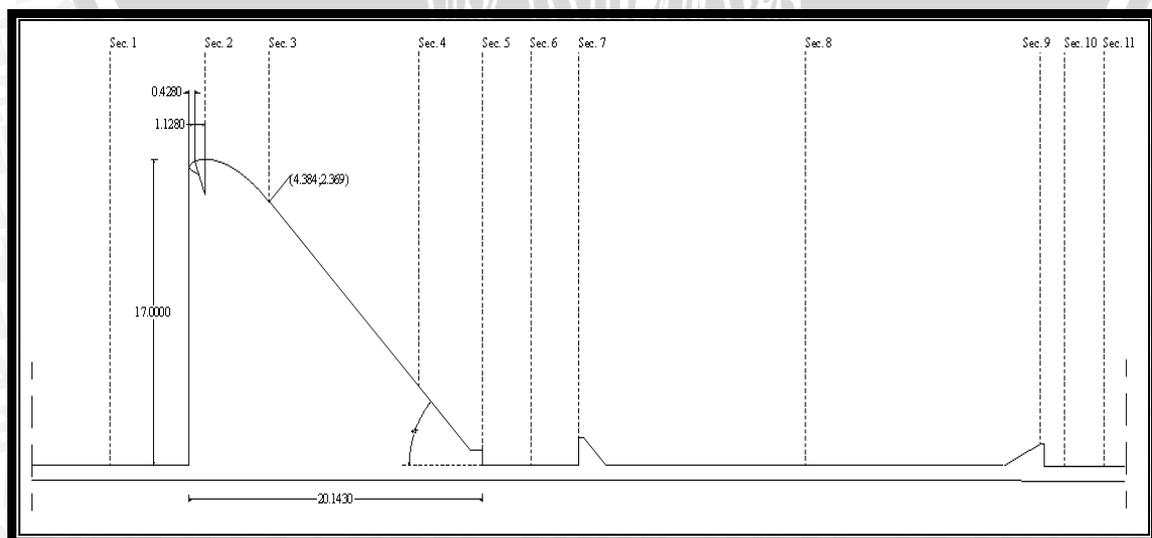
c = Berterap dengan anak tangga datar yang diberi blok halang

d = Berterap dengan anak tangga miring 20°

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

4.3 Hasil Pengukuran dan Perhitungan Data

Parameter pengukuran yang diperlukan dalam penelitian ini adalah tinggi muka air dan kecepatan air, dimana dalam pengukuran dibagi dalam 11 section. Pembagian section dapat dilihat pada gambar 4.11. pada gambar 4.8 sangat jelas bahwa section 2-5 merupakan pembagian section dari pelimpah dan 6-10 merupakan pembagian section kolam olak.



Gambar 4.14 Pembagian Section Penelitian

Pengambilan data pada setiap model diperlakukan dengan debit yang sama yaitu dengan lima debit, dimana debit tersebut tergantung pada ketinggian hd dari pelimpah.

4.3.1 Tinggi Muka Air

Pengukuran tinggi muka air dilakukan dengan menggunakan meteran taraf gauge dengan ketelitian 0.001 mm. Pengukuran tinggi muka air dilakukan dengan alat ukur debit, tinggi muka air diatas pelimpah dan tinggi muka air pada peredam energi. Dimana dalam penelitian ini pengukuran tinggi muka air dalam satu section dibagi menjadi tiga bagian yaitu kanan, tengah dan kiri. Contoh perhitungan dapat diambil pada pengukuran section 1 pelimpah konvensional saat $h_d = 2$ cm sebagai berikut:

$$\text{IPG : Kanan} = 73,07 \text{ cm}$$

$$\text{Tengah} = 73,11 \text{ cm}$$

$$\text{Kiri} = 73,14 \text{ cm}$$

$$h \text{ (point gauge) : Kanan} = 75,14 \text{ cm}$$

$$\text{Tengah} = 75,14 \text{ cm}$$

$$\text{Kiri} = 75,14 \text{ cm}$$

$$h \text{ (muka air) : Kanan} = 75,14 - 73,07 = 2,07 \text{ cm}$$

$$\text{Tengah} = 75,14 - 73,11 = 2,00 \text{ cm}$$

$$\text{Kiri} = 75,14 - 73,14 = 2,01 \text{ cm}$$

$$\text{Jadi, tinggi muka air pada section 1} = \frac{2,07 + 2,00 + 2,01}{3} = 2,027 \text{ cm}$$

$$= 0,020 \text{ m}$$

Hasil pengukuran dan perhitungan tinggi muka air di presentasikan pada lampiran 2 – 5 dan untuk rekapitulasi data tinggi muka air dapat dilihat pada tabel 4.10 – 4.13. Pada tabel 4.10 – 4.13 telah didapatkan tinggi muka air pada section 1 dan 11 dimana tinggi muka air pada section 1 dan 11 akan dipergunakan sebagai perhitungan peredaman energi pada perhitungan berikutnya.

Tabel 4.10 Rekapitulasi Tinggi Muka Air Pelimpah Konvensional

Section	h (m)				
	hd = 2 cm	hd = 3 cm	hd = 4 cm	hd = 5 cm	hd = 6 cm
1	3	4	5	6	7
1	0,190	0,200	0,210	0,219	0,230
2	0,016	0,023	0,031	0,038	0,047
3	0,008	0,013	0,022	0,032	0,033
4	0,006	0,008	0,011	0,017	0,025
5	0,005	0,007	0,009	0,012	0,020
6	0,029	0,022	0,009	0,015	0,020
7	0,042	0,053	0,082	0,082	0,034
8	0,039	0,048	0,063	0,115	0,085
9	0,015	0,023	0,033	0,035	0,050
10	0,016	0,026	0,035	0,026	0,026
11	0,015	0,029	0,037	0,026	0,026

Sumber : Perhitungan

Keterangan :

1 = Section

2 = Tinggi Muka Air Saat Hd = 2cm

3 = Tinggi Muka Air Saat Hd = 3cm

4 = Tinggi Muka Air Saat Hd = 4cm

5 = Tinggi Muka Air Saat Hd = 5cm

6 = Tinggi Muka Air Saat Hd = 6cm

Tabel 4.11 Rekapitulasi Tinggi Muka Air Pelimpah Berterap

Section	h (m)				
	hd = 2 cm	hd = 3 cm	hd = 4 cm	hd = 5 cm	hd = 6 cm
1	3	4	5	6	7
1	0,190	0,200	0,210	0,220	0,230
2	0,016	0,024	0,030	0,040	0,047
3	0,009	0,015	0,020	0,031	0,041
4	0,012	0,014	0,018	0,023	0,031
5	0,017	0,012	0,017	0,021	0,023
6	0,032	0,030	0,011	0,018	0,024
7	0,039	0,046	0,068	0,032	0,042
8	0,038	0,047	0,061	0,086	0,069
9	0,014	0,024	0,035	0,046	0,040
10	0,014	0,018	0,036	0,032	0,045
11	0,014	0,019	0,038	0,031	0,035

Sumber : Perhitungan

Keterangan :

1 = Section

2 = Tinggi Muka Air Saat Hd = 2cm

3 = Tinggi Muka Air Saat Hd = 3cm

4 = Tinggi Muka Air Saat Hd = 4cm

5 = Tinggi Muka Air Saat Hd = 5cm

6 = Tinggi Muka Air Saat Hd = 6cm

Tabel 4.12 Rekapitulasi Tinggi Muka Air Pelimpah Berterap (Sill)

Section	h (m)				
	hd = 2 cm	hd = 3 cm	hd = 4 cm	hd = 5 cm	hd = 6 cm
1	3	4	5	6	7
1	0,191	0,200	0,210	0,220	0,230
2	0,016	0,024	0,032	0,038	0,048
3	0,011	0,015	0,023	0,030	0,038
4	0,009	0,013	0,018	0,023	0,031
5	0,009	0,010	0,014	0,020	0,026
6	0,028	0,028	0,009	0,020	0,009
7	0,040	0,051	0,077	0,045	0,034
8	0,037	0,047	0,069	0,097	0,072
9	0,014	0,024	0,037	0,036	0,040
10	0,013	0,027	0,035	0,035	0,035
11	0,011	0,027	0,034	0,031	0,035

Sumber : Perhitungan

Keterangan :

1 = Section

2 = Tinggi Muka Air Saat Hd = 2cm

3 = Tinggi Muka Air Saat Hd = 3cm

4 = Tinggi Muka Air Saat Hd = 4cm

5 = Tinggi Muka Air Saat Hd = 5cm

6 = Tinggi Muka Air Saat Hd = 6cm

Tabel 4.13 Rekapitulasi Tinggi Muka Air Pelimpah Berterap (Miring 20°)

Section	h (m)				
	hd = 2 cm	hd = 3 cm	hd = 4 cm	hd = 5 cm	hd = 6 cm
1	3	4	5	6	7
1	0,191	0,200	0,210	0,220	0,230
2	0,017	0,025	0,033	0,038	0,047
3	0,010	0,012	0,020	0,026	0,038
4	0,009	0,012	0,016	0,023	0,028
5	0,009	0,011	0,015	0,022	0,027
6	0,029	0,029	0,009	0,019	0,009
7	0,041	0,050	0,073	0,041	0,032
8	0,036	0,048	0,062	0,090	0,074
9	0,016	0,023	0,037	0,041	0,049
10	0,016	0,026	0,023	0,034	0,043
11	0,013	0,027	0,022	0,026	0,036

Sumber : Perhitungan

Keterangan :

1 = Section

2 = Tinggi Muka Air Saat Hd = 2cm

3 = Tinggi Muka Air Saat Hd = 3cm

4 = Tinggi Muka Air Saat Hd = 4cm

5 = Tinggi Muka Air Saat Hd = 5cm

6 = Tinggi Muka Air Saat Hd = 6cm

4.3.2. Kecepatan

Perhitungan kecepatan dengan menggunakan alat ukur pitot tube menggunakan persamaan :

$$V_m = C_p \cdot \sqrt{2gh}$$

dengan :

V_m = kecepatan di model (m/dt)

C_p = Koefisien *Pitot tube* = 1

h = Tinggi muka air di pitot tube (m)

contoh perhitungan :

Data pengukuran kecepatan pelimpah konvensional pada section 1 (as)

- $H_d = 2 \text{ cm}$
- $h = 0,005 \text{ m}$

maka kecepatan aliran pada model adalah :

$$\begin{aligned} V_m &= \sqrt{2 \times 9,81 \times 0,005} \\ &= 0,31 \text{ m/dt} \end{aligned}$$

Hasil pengukuran dan perhitungan kecepatan air di presentasikan pada lampiran. 2 - 5

Untuk rekapitulasi data dapat dilihat pada tabel 4.14 – 4.13.

Tabel 4.14 Rekapitulasi Kecepatan Air Pelimpah Konvensional

Section	V (m/dtk)				
	hd = 2 cm	hd = 3 cm	hd = 4 cm	hd = 5 cm	hd = 6 cm
1	2	3	4	5	6
1	0,304	0,386	0,445	0,492	0,546
2	0,485	0,543	0,695	0,826	0,899
3	1,101	1,142	1,241	1,287	1,312
4	1,670	1,734	1,794	1,811	1,811
5	1,775	1,913	1,970	1,977	1,977
6	0,728	1,145	1,570	1,638	1,662
7	0,613	0,806	1,010	1,110	1,289
8	0,386	0,498	0,617	0,630	0,880
9	0,564	0,628	0,645	0,834	1,094
10	0,709	0,710	0,757	0,869	1,000
11	0,606	0,656	0,700	0,899	1,007

Sumber : Perhitungan

Keterangan :

- | | |
|---------------------------------|-----------------------------|
| 1 = Section | 4 = Kecepatan Saat Hd = 4cm |
| 2 = Kecepatan Air Saat Hd = 2cm | 5 = Kecepatan Saat Hd = 5cm |
| 3 = Kecepatan Air Saat Hd = 3cm | 6 = Kecepatan Saat Hd = 6cm |

Tabel 4.15 Rekapitulasi Kecepatan Air Pelimpah Berterap

Section	V (m/dtk)				
	hd = 2 cm	hd = 3 cm	hd = 4 cm	hd = 5 cm	hd = 6 cm
1	2	3	4	5	6
1	0,304	0,386	0,445	0,492	0,546
2	1,101	0,543	0,586	0,826	0,914
3	0,993	1,101	1,134	1,289	1,317
4	1,122	1,381	1,544	1,709	1,663
5	1,234	1,503	1,678	1,879	1,860
6	0,683	0,928	1,442	1,455	1,616
7	0,460	0,776	0,980	1,224	1,449
8	0,293	0,540	0,445	0,597	1,119
9	0,460	0,630	0,656	0,805	1,067
10	0,552	0,801	0,686	0,746	0,845
11	0,598	0,737	0,661	0,770	0,920

Sumber : Perhitungan

Keterangan :

1 = Section

2 = Kecepatan Air Saat Hd = 2cm

3 = Kecepatan Air Saat Hd = 3cm

4 = Kecepatan Saat Hd = 4cm

5 = Kecepatan Saat Hd = 5cm

6 = Kecepatan Saat Hd = 6cm

Tabel 4.16 Rekapitulasi Kecepatan Air Pelimpah Berterap (Sill)

Section	V (m/dtk)				
	hd = 2 cm	hd = 3 cm	hd = 4 cm	hd = 5 cm	hd = 6 cm
1	2	3	4	5	6
1	0,304	0,386	0,445	0,492	0,546
2	0,508	0,564	0,768	0,869	0,892
3	1,095	1,163	1,177	1,277	1,347
4	1,193	1,449	1,644	1,701	1,789
5	1,258	1,654	1,744	1,845	1,897
6	0,676	1,010	1,678	1,445	1,638
7	0,527	0,809	1,196	1,204	1,454
8	0,207	0,386	0,546	0,495	1,029
9	0,508	0,592	0,630	0,781	0,951
10	0,656	0,651	0,661	0,826	0,991
11	0,569	0,625	0,630	0,913	0,952

Sumber : Perhitungan

Keterangan :

1 = Section

2 = Kecepatan Air Saat Hd = 2cm

3 = Kecepatan Air Saat Hd = 3cm

4 = Kecepatan Saat Hd = 4cm

5 = Kecepatan Saat Hd = 5cm

6 = Kecepatan Saat Hd = 6cm

Tabel 4.17 Rekapitulasi Kecepatan Air Pelimpah Berterap (Miring 20°)

Section	V (m/dtk)				
	hd = 2 cm	hd = 3 cm	hd = 4 cm	hd = 5 cm	hd = 6 cm
1	2	3	4	5	6
1	0,304	0,386	0,445	0,492	0,546
2	0,395	0,630	0,768	0,924	0,928
3	0,970	1,174	1,221	1,325	1,374
4	1,104	1,376	1,449	1,728	1,748
5	1,174	1,634	1,698	1,811	1,854
6	0,695	1,003	1,496	1,542	1,636
7	0,581	0,834	1,055	1,131	1,349
8	0,230	0,438	0,446	0,552	0,956
9	0,578	0,630	0,661	0,789	0,913
10	0,558	0,705	0,666	0,680	0,953
11	0,587	0,723	0,651	0,821	1,020

Sumber : Perhitungan

Keterangan :

1 = Section

2 = Kecepatan Air Saat Hd = 2cm

3 = Kecepatan Air Saat Hd = 3cm

4 = Kecepatan Saat Hd = 4cm

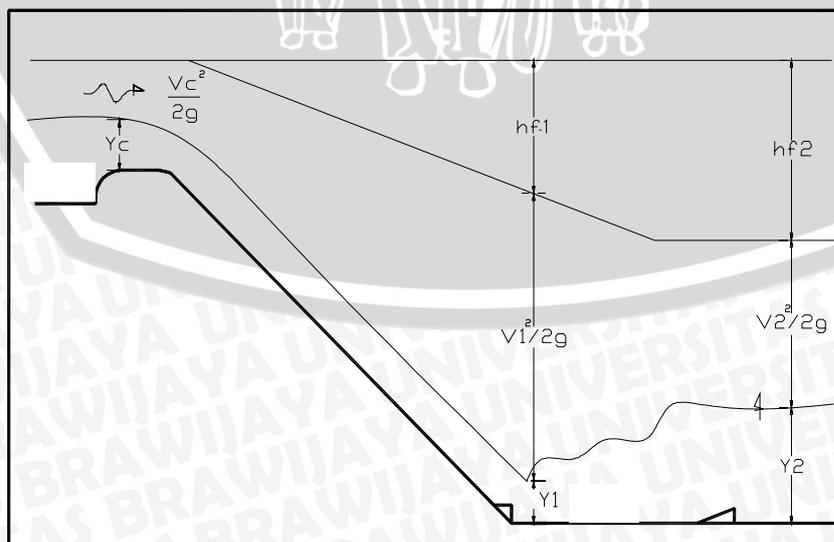
5 = Kecepatan Saat Hd = 5cm

6 = Kecepatan Saat Hd = 6cm

Pada tabel 4.14 – 4.17 telah didapatkan kecepatan pada section 1 dan 11 dimana kecepatan pada section 1 dan 11 akan dipergunakan sebagai perhitungan peredaman energi pada perhitungan berikutnya.

4.4 Perhitungan Peredaman Energi Pelimpah

Besarnya peredaman energi yang terjadi pada Pelimpah dapat diperoleh dengan membandingkan besarnya energi pada bagian hulu dengan pada bagian akhir dari peredam energi.



Gambar 4.15 Sketsa persamaan energi pada Pelimpah

Adapun hasil dari penelitian yang telah dilakukan adalah sebagai berikut :

Tabel 4.18 Rekapitulasi Energi Pelimpah Konvensional

Section	he (m)				
	hd = 2 cm	hd = 3 cm	hd = 4 cm	hd = 5 cm	hd = 6 cm
1	2	3	4	5	6
1	0,195	0,207	0,219	0,231	0,245
2	0,028	0,038	0,055	0,072	0,087
3	0,068	0,078	0,099	0,114	0,119
4	0,145	0,157	0,170	0,180	0,188
5	0,161	0,188	0,202	0,206	0,214
6	0,055	0,087	0,131	0,149	0,157
7	0,060	0,085	0,133	0,143	0,117
8	0,046	0,060	0,082	0,135	0,124
9	0,031	0,042	0,054	0,070	0,109
10	0,041	0,051	0,064	0,064	0,076
11	0,033	0,051	0,061	0,067	0,076

Sumber : Perhitungan

Keterangan :

1 = Section

2 = Energi Saat Hd = 2cm

3 = Energi Saat Hd = 3cm

4 = Energi Saat Hd = 4cm

5 = Energi Saat Hd = 5cm

6 = Energi Saat Hd = 6cm

Tabel 4.19 Rekapitulasi Energi Pelimpah Berterap

Section	he (m)				
	hd = 2 cm	hd = 3 cm	hd = 4 cm	hd = 5 cm	hd = 6 cm
1	2	3	4	5	6
1	0,195	0,208	0,220	0,232	0,245
2	0,078	0,039	0,048	0,075	0,090
3	0,059	0,077	0,086	0,116	0,130
4	0,076	0,112	0,140	0,172	0,172
5	0,095	0,128	0,160	0,201	0,199
6	0,056	0,074	0,117	0,126	0,157
7	0,050	0,077	0,117	0,108	0,149
8	0,042	0,062	0,071	0,104	0,132
9	0,025	0,044	0,057	0,079	0,098
10	0,030	0,051	0,060	0,061	0,082
11	0,032	0,046	0,060	0,061	0,078

Sumber : Perhitungan

Keterangan :

1 = Section

2 = Energi Saat Hd = 2cm

3 = Energi Saat Hd = 3cm

4 = Energi Saat Hd = 4cm

5 = Energi Saat Hd = 5cm

6 = Energi Saat Hd = 6cm

Tabel 4.20 Rekapitulasi Energi Pelimpah Berterap (Sill)

Section	he (m)				
	hd = 2 cm	hd = 3 cm	hd = 4 cm	hd = 5 cm	hd = 6 cm
1	2	3	4	5	6
1	0,196	0,208	0,220	0,232	0,245
2	0,029	0,040	0,062	0,077	0,088
3	0,072	0,083	0,094	0,113	0,130
4	0,082	0,120	0,156	0,170	0,195
5	0,090	0,150	0,169	0,193	0,209
6	0,051	0,080	0,152	0,126	0,146
7	0,054	0,084	0,150	0,119	0,142
8	0,039	0,054	0,084	0,109	0,126
9	0,027	0,041	0,057	0,067	0,086
10	0,035	0,048	0,058	0,070	0,085
11	0,028	0,047	0,054	0,073	0,081

Sumber : Perhitungan

Keterangan :

1 = Section

2 = Energi Saat Hd = 2cm

3 = Energi Saat Hd = 3cm

4 = Energi Saat Hd = 4cm

5 = Energi Saat Hd = 5cm

6 = Energi Saat Hd = 6cm

Tabel 4.21 Rekapitulasi Energi Pelimpah Berterap (Miring 20°)

Section	he (m)				
	hd = 2 cm	hd = 3 cm	hd = 4 cm	hd = 5 cm	hd = 6 cm
1	2	3	4	5	6
1	0,196	0,208	0,220	0,232	0,245
2	0,025	0,045	0,063	0,082	0,091
3	0,058	0,082	0,096	0,115	0,134
4	0,071	0,108	0,123	0,175	0,184
5	0,079	0,147	0,162	0,189	0,202
6	0,054	0,080	0,123	0,140	0,145
7	0,058	0,085	0,130	0,107	0,124
8	0,039	0,058	0,072	0,105	0,120
9	0,033	0,043	0,059	0,073	0,092
10	0,032	0,051	0,046	0,057	0,089
11	0,031	0,053	0,044	0,060	0,089

Sumber : Perhitungan

Keterangan :

1 = Section

2 = Energi Saat Hd = 2cm

3 = Energi Saat Hd = 3cm

4 = Energi Saat Hd = 4cm

5 = Energi Saat Hd = 5cm

6 = Energi Saat Hd = 6cm

Energi berada pada section 11, besarnya penurunan energi diperoleh dengan membandingkan besarnya energi pada section 1 dengan section 11. Dari hasil perhitungan tinggi muka air dan perhitungan kecepatan pada pelimpah hingga peredam energi USBR III didapatkan data sebagai berikut :

$$Q_2 = 0.001886 \text{ m}^3/\text{dt}$$

$$h_1 = 0,19 \text{ m}$$

$$h_6 = 0,029 \text{ m}$$

$$V_1 = 0,301 \text{ m/dt}$$

$$V_6 = 0,719 \text{ m/dt}$$

Perhitungan :

$$h_{e1} = h_1 + (V_1^2/2g);$$

$$h_{e6} = h_6 + (V_6^2/2g)$$

Besarnya Energi Pada Section 1 :

$$\begin{aligned} h_{e1} &= 0,17 + 0,025 \\ &= 0,195 \text{ m} \end{aligned}$$

Besarnya Energi Pada Section 11 :

$$\begin{aligned} h_{e6} &= 0,029 + 0,016 \\ &= 0,055 \text{ m} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \text{Besarnya peredaman energi} &:= (((h_{e1} + P) - h_{e11}) / (h_{e1} + P)) \times 100 \\ &= 42,472 \% \end{aligned}$$

Jadi diperoleh besarnya penurunan energi peredaman energi USBR III untuk debit Q_2 sebesar 42,472 %.

Tabel 4.22 Besarnya Efektivitas Peredaman Energi Pelimpah

Jenis Pelimpah	Saat Hd	He ₍₁₎	He ₍₆₎	Peredaman	Rerata
	(m)	(m)	(m)	(%)	(%)
1	2	3	4	5	6
Konvensional	2	0,195	0,056	71,464	42,472
	3	0,207	0,089	57,022	
	4	0,220	0,134	38,813	
	5	0,231	0,152	34,328	
	6	0,245	0,219	10,734	
Berterap (Datar)	2	0,195	0,056	71,446	52,906
	3	0,208	0,074	64,308	
	4	0,220	0,117	46,898	
	5	0,232	0,126	45,892	
	6	0,245	0,157	35,986	
Berterap (Sill)	2	0,196	0,051	73,932	50,577
	3	0,208	0,080	61,687	
	4	0,220	0,152	30,804	
	5	0,232	0,126	45,828	
	6	0,245	0,146	40,635	
Berterap (Miring)	2	0,196	0,054	72,503	51,680
	3	0,208	0,080	61,437	
	4	0,220	0,123	44,140	
	5	0,232	0,140	39,553	
	6	0,245	0,145	40,769	

Sumber : Hasil Perhitungan

Dari hasil perhitungan pada tabel 4.22 didapatkan bahwa rerata untuk pelimpah konvensional / standart ogee sebesar 42,772 %, pelimpah berterap datar sebesar 52,906 %, pelimpah berterap dengan anak tangga diberi blok halang sebesar 50,557 % dan pelimpah berterap dengan kemiringan anak tangga sebesar 20° sebesar 51,680 %. Dengan hasil diatas diperoleh kesimpulan bahwa pelimpah berterap mampu meredam energi lebih baik dari pada pelimpah konvensional hal ini banyak disebabkan oleh efek terap atau anak tangga yang mampu meredam kecepatan.

Tabel 4.23 Besarnya Efektivitas Peredaman Energi Pada Kolam Olak USBR

Tipe III

Jenis Pelimpah	Saat Hd	He ₍₅₎	He ₍₁₁₎	Peredaman	Rerata
	(m)	(m)	(m)	(%)	(%)
1	2	3	4	5	6
Konvensional	2	0,166	0,033	79,918	71,219
	3	0,193	0,051	73,420	
	4	0,207	0,062	70,059	
	5	0,212	0,068	68,032	
	6	0,219	0,077	64,665	
Berterap (Datar)	2	0,095	0,032	66,441	64,631
	3	0,128	0,046	63,792	
	4	0,160	0,060	62,402	
	5	0,201	0,061	69,462	
	6	0,199	0,078	61,058	
Berterap (Sill)	2	0,090	0,028	69,295	65,794
	3	0,150	0,047	68,749	
	4	0,169	0,054	67,813	
	5	0,193	0,073	62,013	
	6	0,209	0,081	61,099	
Berterap (Miring)	2	0,079	0,031	61,453	64,447
	3	0,147	0,053	63,863	
	4	0,162	0,044	72,836	
	5	0,189	0,060	68,209	
	6	0,202	0,089	55,875	

Sumber : Hasil Perhitungan

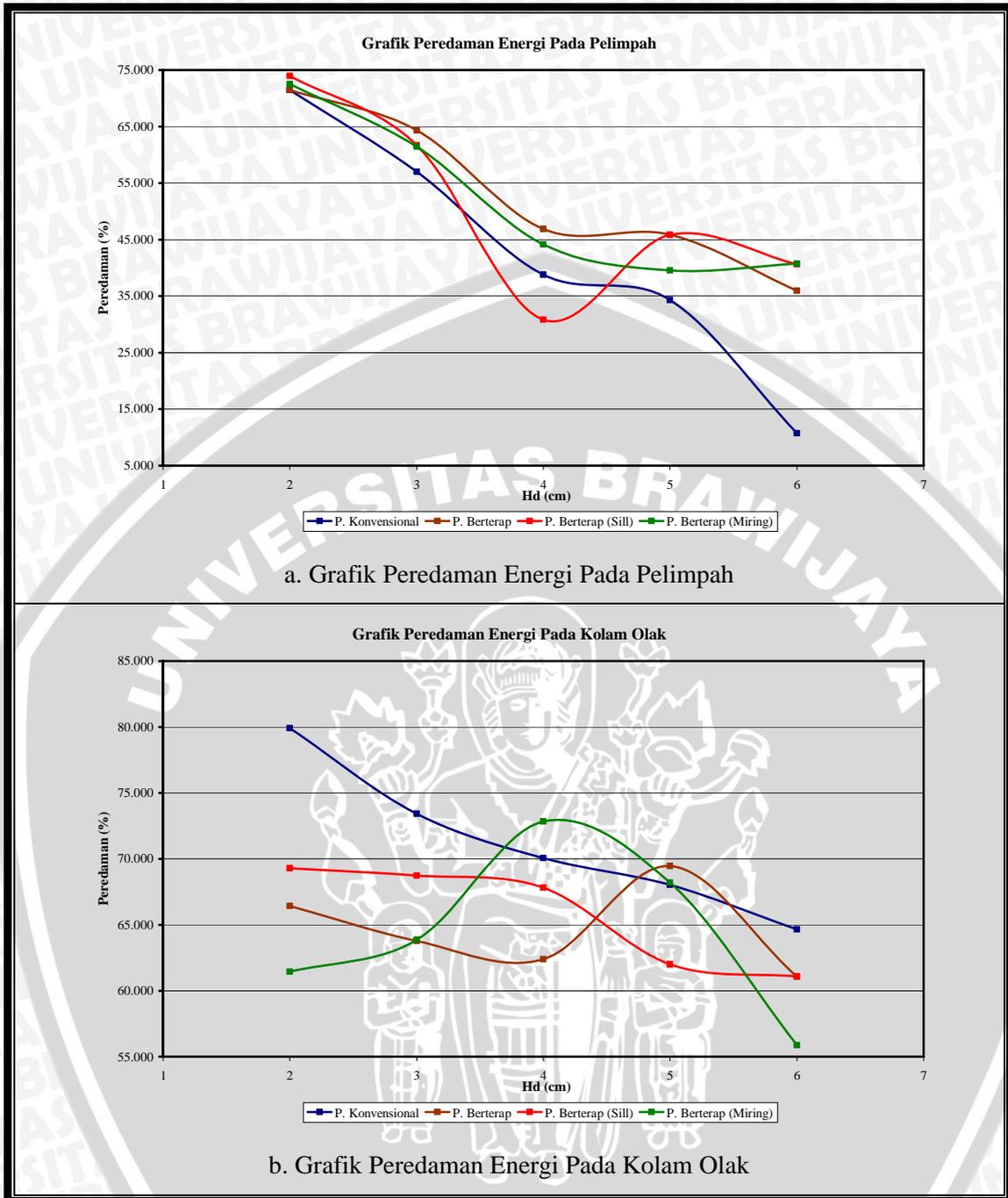
Dari hasil perhitungan pada tabel 4.23 didapatkan peredaman energi pada peredam energi untuk pelimpah konvensional / standart ogee sebesar 71,219 %, pelimpah berterap datar sebesar 64,631 %, pelimpah berterap dengan anak tangga diberi blok halang sebesar 65,794 % dan pelimpah berterap dengan kemiringan anak tangga sebesar 20° sebesar 64,447%. Dengan hasil diatas diperoleh kesimpulan bahwa peredam energi USBR tipe III memberikan kontribusi peredaman energi yang lebih besar pada

pelimpah konvensional dibandingkan dengan pelimpah lainnya. Hal ini disebabkan energi sisa setelah melewati pelimpah konvensional lebih besar dari pelimpah lainnya, sehingga dalam perhitungan prosentase peredaman energi pada peredam energi bernilai besar. Oleh karena itu perhitungan pada tabel 4.23 diatas tidak dapat dijadikan patokan besarnya reduksi peredaman energi pada peredaman energi pada peredam energi USBR tipe III.

Tabel 4.24 Rekapitulasi Nilai Peredaman Energi pada Pelimpah dan Kolam Olak

Jenis Pelimpah	Saat Hd	Peredaman Energi Pada			
	(m)	Pelimpah	Rerata	Kolam Olak	Rerata
	(m)	(%)	(%)	(%)	(%)
Konvensional	2	71.464	42.472	79.918	71.219
	3	57.022		73.420	
	4	38.813		70.059	
	5	34.328		68.032	
	6	10.734		64.665	
Berterap (Datar)	2	71.446	52.906	66.441	64.631
	3	64.308		63.792	
	4	46.898		62.402	
	5	45.892		69.462	
	6	35.986		61.058	
Berterap (Sill)	2	73.932	50.577	69.295	65.794
	3	61.687		68.749	
	4	30.804		67.813	
	5	45.828		62.013	
	6	40.635		61.099	
Berterap (Miring)	2	72.503	51.680	61.453	64.447
	3	61.437		63.863	
	4	44.140		72.836	
	5	39.553		68.209	
	6	40.769		55.875	

Sumber : Hasil Perhitungan



Gambar 4.16 Grafik Peredaman Energi

Berdasarkan data analisa yang didapat dari hasil *running* pada model peredam energi original desain pada debit diatas Q_5 dan Q_6 cm terjadi luapan air pada peredam energi dan loncatan air yang melampaui panjang dari peredam energi yang dapat dilihat pada lampiran 2 - 5. Hal ini menyulitkan dalam pengukuran ketinggian muka air dengan menggunakan meteran taraf diakibatkan oleh adanya blok halang bagian tengah. Maka dari itu untuk desain peredam energi pada original desain dianggap tidak memenuhi syarat dan tidak direkomendasikan karena tidak efektif dalam meredam besarnya energi.



Gambar 4.17 Foto Loncatan air yang terjadi pada Peredam Energi USBR tipe III

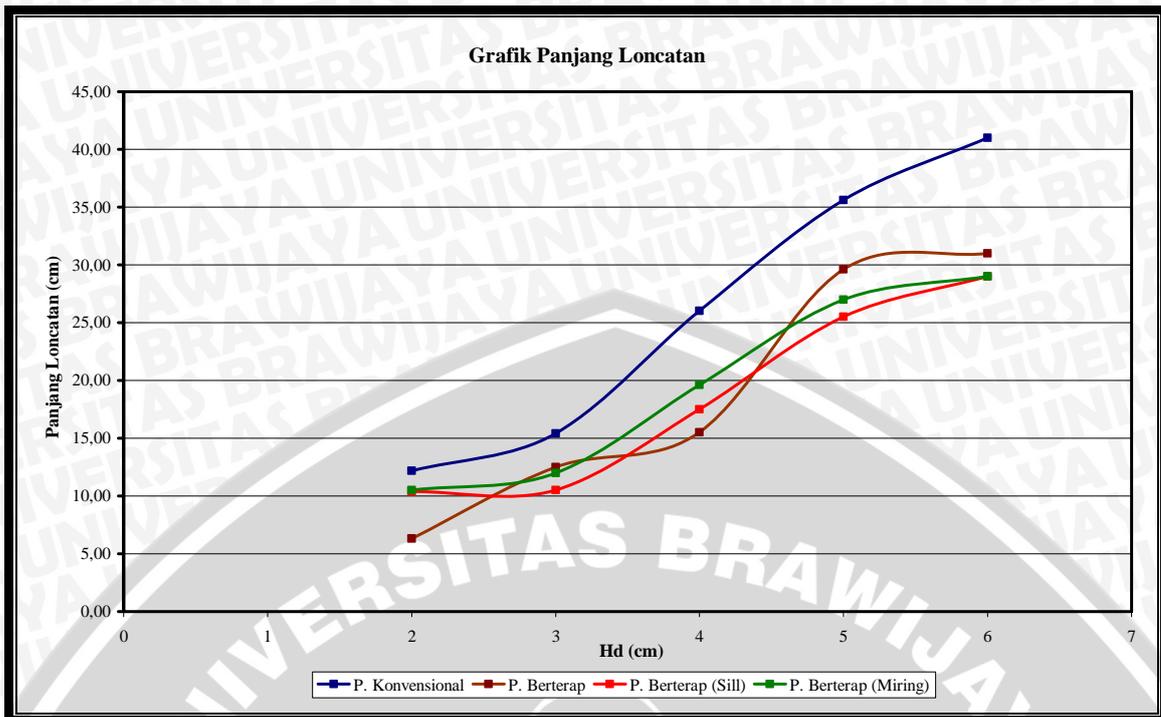
4.4.1 Pengaruh Panjang Loncatan Air

Perbandingan energi yang terjadi terhadap panjang loncatan. Adapun data dapat dilihat pada tabel di bawah ini :

Tabel 4.25 Panjang Loncatan

Jenis	Hd	Kanan	Tengah	Kiri	Rerata	Selisih
Pelimpah	(cm)	(cm)	(cm)	(cm)	(cm)	(%)
1	2	3	4	5	6	7
Konvensional	2	11,50	13,00	12,00	12,17	-
	3	15,09	15,59	15,59	15,43	
	4	26,59	26,39	25,09	26,03	
	5	35,59	35,59	35,59	35,59	
	6	41,00	41,00	41,00	41,00	
Berterap	2	6,30	6,30	6,30	6,30	48,22
	3	12,50	12,50	12,50	12,50	18,98
	4	15,50	15,50	15,50	15,50	40,45
	5	29,60	29,60	29,60	29,60	16,84
	6	31,00	31,00	31,00	31,00	24,39
Berterap (Sill)	2	10,40	10,40	10,40	10,40	14,52
	3	10,50	10,50	10,50	10,50	31,94
	4	17,50	17,50	17,50	17,50	32,76
	5	25,50	25,50	25,50	25,50	28,36
	6	29,00	29,00	29,00	29,00	29,27
Berterap (Miring)	2	10,50	10,50	10,50	10,50	13,70
	3	12,00	12,00	12,00	12,00	22,22
	4	19,60	19,60	19,60	19,60	24,69
	5	27,00	27,00	27,00	27,00	24,14
	6	29,00	29,00	29,00	29,00	29,27

Sumber: Perhitungan



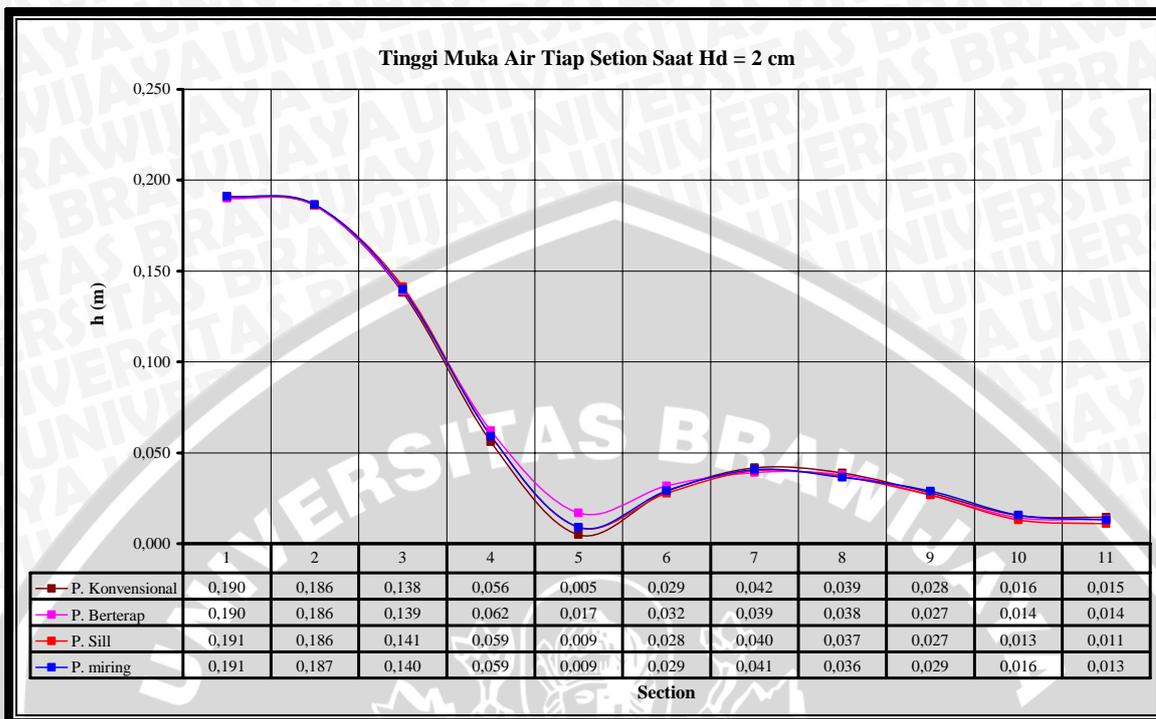
Gambar 4.18 Grafik panjang loncatan

Dari grafik di atas dapat diketahui efek terpadat dapat memperpendek bangunan kolam olakan paling besar 32,76 % pada bangunan pelimpah berterap dengan anak tangga datar daripada bangunan konvensional dan paling kecil sebesar 14,52% yang terjadi pada bangunan pelimpah berterap dengan anak tangga miring 20°

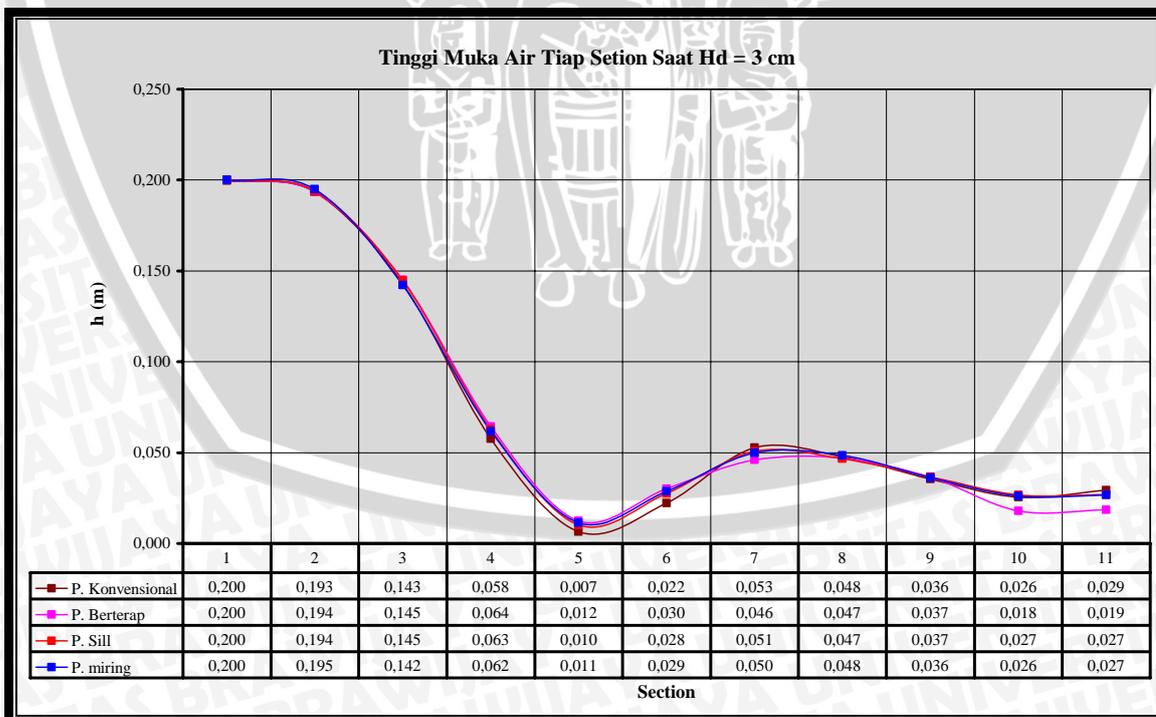
4.4.2 Pengaruh tinggi loncatan air

Tinggi loncat air berpengaruh pada tembok kolam olakan dimana semakin tinggi maka tembok olakan harus tinggi tentunya sangat merugikan dari segi biaya. Pada saat $hd = 2 - 4$ cm tinggi loncatan air pada pelimpah konvensional, pelimpah berterap, pelimpah berterap dengan anak tangga diberi blok halang dan pelimpah berterap dengan anak tangga miring berada pada section 7 dan pada saat $hd = 5 - 6$ cm terjadi loncatan pada section 8. Pada section ini nantinya akan dipergunakan sebagai bahan nilai pembandingan tinggi loncatan pelimpah konvensional dengan pelimpah berterap.

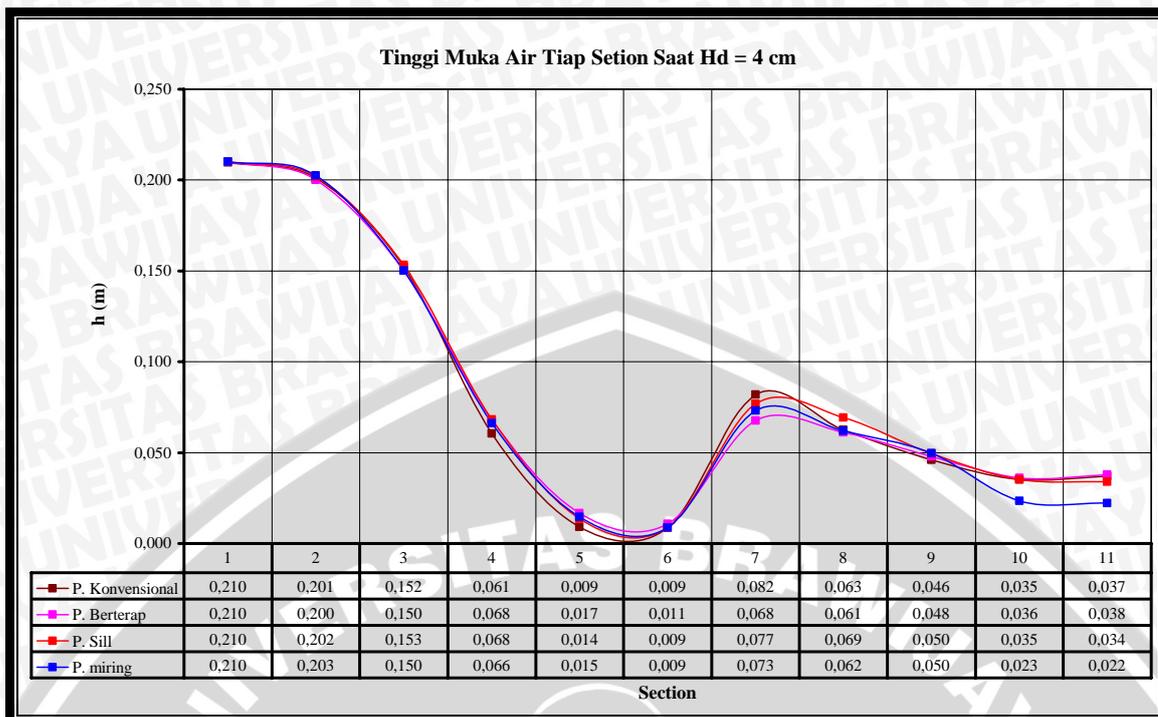
adapun section tersebut dapat dilihat pada gambar 4.19 – 4.23 di bawah ini :



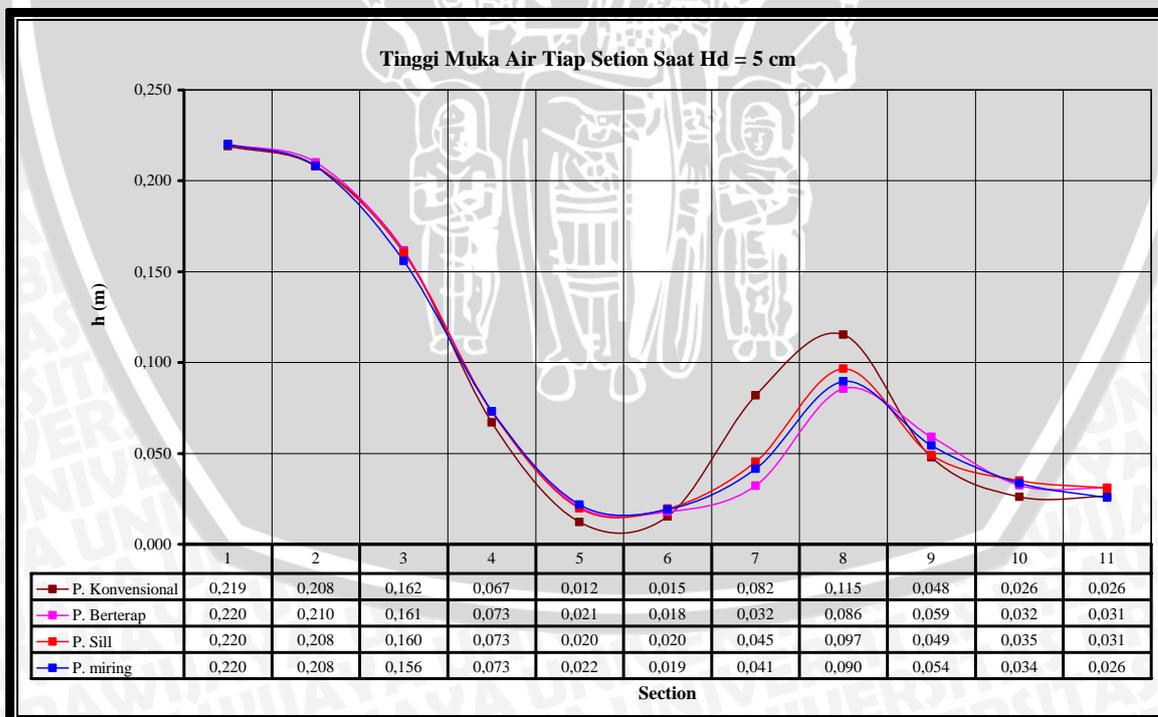
Gambar 4.19 Tinggi Muka Air Saat Hd = 2cm



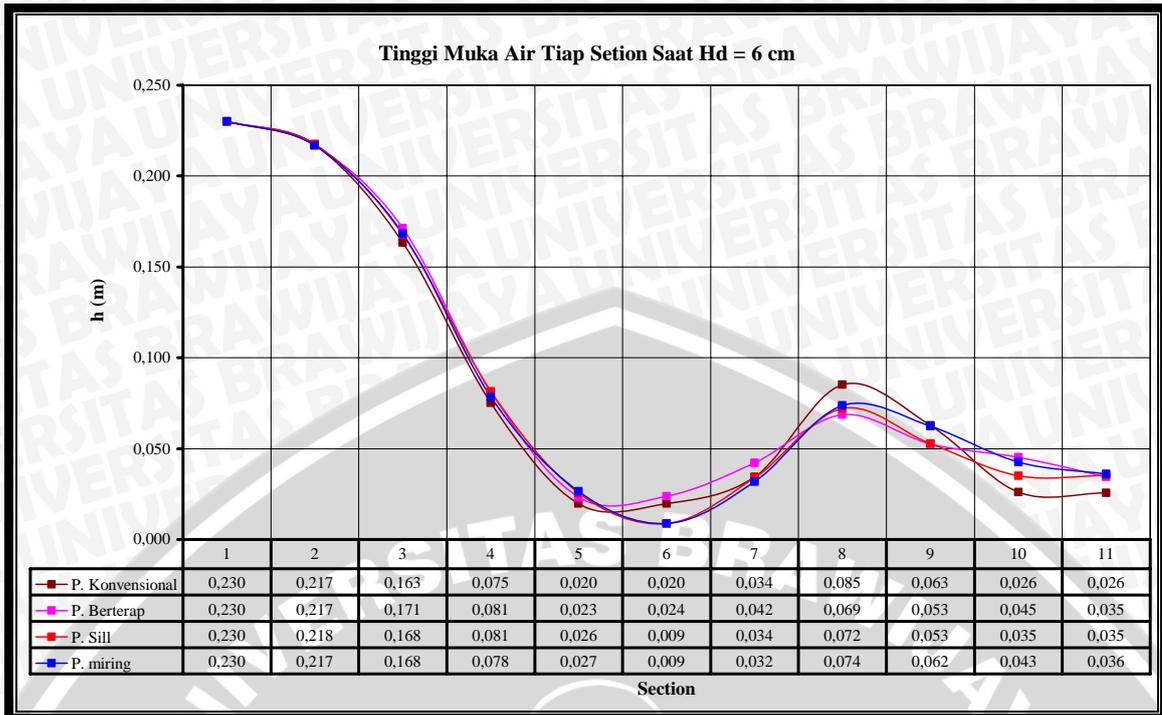
Gambar 4.20 Tinggi Muka Air Saat Hd = 3cm



Gambar 4.21 Tinggi Muka Air Saat Hd = 4cm



Gambar 4.22 Tinggi Muka Air Saat Hd = 5cm



Gambar 4.23 Tinggi Muka Air Saat Hd = 6cm

Hasil dari penelitian pada tabel 4.26 menunjukkan bahwa pelimpah berterap dengan anak tangga diberi blok halang mampu meredam atau menekan lompatan air hingga 15,348 % lebih baik dari pelimpah konvensional. kesimpulan dari penelitian di atas bahwa pelimpah berterap mampu meredam berbagai kondisi baik dari peredaman energi, panjang kolam olakan serta tinggi loncatan air terhadap pelimpah konvensional. Tetapi tentunya harus ada penelitian lanjutan guna mengetahui efek peredaman energi apabila pengaruh sudut dibuat sedemikian rupa sehingga membuat penelitian ini menjadi lebih sempurna lagi.

Tabel 4.26 Tinggi Loncat Air

Jenis	Hd	Section	Tinggi	Selisih
Pelimpah	(cm)	(cm)	Loncatan	(%)
1	2	3	4	5
Konvensional	2	7	0,042	-
	3	7	0,053	
	4	7	0,082	
	5	8	0,115	
	6	8	0,085	
Berterap	2	7	0,039	6,544
	3	7	0,046	12,799
	4	7	0,068	17,446
	5	8	0,086	25,823
	6	8	0,069	19,460
Berterap (Sill)	2	7	0,040	3,990
	3	7	0,051	4,224
	4	7	0,077	6,385
	5	8	0,097	16,349
	6	8	0,072	15,348
Berterap (Miring)	2	7	0,041	2,394
	3	7	0,050	5,422
	4	7	0,073	10,858
	5	8	0,090	22,270
	6	8	0,074	13,352

Sumber : Perhitungan

4.4.3 Pengaruh Jenis Pelimpah Terhadap Bilangan Froude

Kecepatan air berpengaruh pada bilangan froude dimana semakin tinggi kecepatan nilai bilangan froude juga semakin besar. Bilangan froude sangat berpengaruh pada dimensi kolam olak pada nantinya dimana semakin besar nilai froude maka semakin panjang loncatan dan mempengaruhi dimensi panjang kolam olak. Pada tabel 4.27 disajikan nilai bilangan froude pada kaki pelimpah pada section 6, dan pada bagian hilir setelah kolam olak bilangan froude pada section 11.

Tabel 4.27 Nilai Bilangan Froude pada berbagai pelimpah

Jenis Pelimpah	Saat Hd	$V_{(1)}$	$V_{(6)}$	$V_{(11)}$	$h_{(1)}$	$h_{(6)}$	$h_{(11)}$	$Fr_{(1)}$	Rerata	Rerata	Rerata	Rerata	
	(m)	(m/dt)	(m/dt)	(m/dt)	(m)	(m)	(m)		$Fr_{(1)}$	$Fr_{(6)}$	$Fr_{(6)}$	$Fr_{(11)}$	$Fr_{(11)}$
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14
Konvensional	2	0,304	1,775	0,606	0,020	0,005	0,015	0,683	0,706	8,040	6,463	1,608	1,552
	3	0,386	1,913	0,656	0,030	0,007	0,029	0,714		7,517		1,223	
	4	0,445	1,970	0,700	0,040	0,009	0,037	0,715		6,570		1,162	
	5	0,492	1,977	0,899	0,049	0,012	0,026	0,708		5,691		1,765	
	6	0,546	1,977	1,007	0,060	0,020	0,026	0,711		4,497		2,005	
Berterap (Datar)	2	0,304	1,234	0,598	0,020	0,017	0,014	0,687	0,705	3,031	3,912	1,643	1,486
	3	0,386	1,503	0,737	0,030	0,012	0,019	0,711		4,303		1,730	
	4	0,445	1,678	0,661	0,040	0,017	0,038	0,711		4,145		1,083	
	5	0,492	1,879	0,770	0,050	0,021	0,031	0,702		4,180		1,395	
	6	0,546	1,860	0,920	0,060	0,023	0,035	0,712		3,898		1,581	
Berterap (Sill)	2	0,304	1,258	0,569	0,021	0,009	0,011	0,670	0,701	4,250	4,440	1,733	1,464
	3	0,386	1,654	0,625	0,030	0,010	0,027	0,711		5,212		1,218	
	4	0,445	1,744	0,630	0,040	0,014	0,034	0,711		4,774		1,092	
	5	0,492	1,845	0,913	0,050	0,020	0,031	0,702		4,187		1,658	
	6	0,546	1,897	0,952	0,060	0,026	0,035	0,711		3,775		1,620	
Berterap (Miring)	2	0,304	1,174	0,587	0,021	0,009	0,013	0,669	0,701	3,973	4,175	1,645	1,560
	3	0,386	1,634	0,723	0,030	0,011	0,027	0,711		4,893		1,415	
	4	0,445	1,698	0,651	0,040	0,015	0,022	0,711		4,460		1,392	
	5	0,492	1,811	0,821	0,050	0,022	0,026	0,702		3,913		1,636	
	6	0,546	1,854	1,020	0,060	0,027	0,036	0,712		3,634		1,715	

Sumber : Perhitungan

Keterangan :

1. Jenis Pelimpah
2. Hd
3. Kecepatan (hulu pelimpah)
4. Kecepatan (kaki pelimpah)
5. Kecepatan (Hilir peredam energi)

6. Tinggi air (hulu pelimpah)
7. Tinggi air (kaki pelimpah)
8. Tinggi air (Hilir peredam energi)
9. $(3)/(g*(6))^{0,5}$
10. Froude Rerata (hulu pelimpah)

11. $(4)/(g*(7))^{0,5}$
12. Froude Rerata (kaki pelimpah)
13. $(5)/(g*(8))^{0,5}$
14. Froude Rerata (hilir peredam energi)



BAB V KESIMPULAN DAN SARAN

5.1. Kesimpulan

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

1. Dari hasil pengamatan pada model diketahui tingkat peredaman energi akibat lima perlakuan sebagai berikut :

a. Pelimpah konvensional memberikan pengaruh terhadap peredaman energi dan nilai bilangan froude yang terjadi dibagian kaki pelimpah dan hilir peredam energi USBR tipe III dalam lima perlakuan yaitu sebagai berikut :

- Peredaman pada Pelimpah (section 1- 6)

Kedalaman h_1 yang terjadi adalah antara 0,190 – 0,230 m. Kedalaman h_6 yang terjadi adalah antara 0,029 – 0,020 m. Sehingga terjadi peredaman energi rata-rata sebesar 42,472 % dan nilai bilangan froude rerata sebesar 6,463.

- Peredaman pada Pelimpah hingga hilir kolam olak USBR tipe III (section 1-11)

Kedalaman h_1 yang terjadi adalah antara 0,190 – 0,230 m. Kedalaman h_{11} yang terjadi adalah antara 0,015 - 0,026 m. Sehingga terjadi peredaman energi rata-rata sebesar 73,848 % dan nilai bilangan froude rerata sebesar 1,552.

b. Pelimpah berterap memberikan pengaruh terhadap peredaman energi dan nilai bilangan froude yang terjadi dibagian kaki pelimpah dan hilir peredam energi USBR tipe III dalam lima perlakuan yaitu sebagai berikut :

- Peredaman pada Pelimpah (section 1- 6)

Kedalaman h_1 yang terjadi adalah antara 0,190 – 0,230 m. Kedalaman h_6 yang terjadi adalah antara 0,032 – 0,024 m. Sehingga terjadi peredaman energi rata-rata sebesar 52,906 % dan nilai bilangan froude rerata sebesar 3,912.

- Peredaman pada Pelimpah hingga hilir kolam olak USBR tipe III (section 1-11)

Kedalaman h_1 yang terjadi adalah antara 0,190 – 0,230 m. Kedalaman h_{11} yang terjadi adalah antara 0,014 – 0,035 m. Sehingga terjadi peredaman energi rata-rata sebesar 75,211 % dan nilai bilangan froude rerata sebesar 1,486.

c. Pelimpah berterap dengan anak tangga diberi blok halang memberikan pengaruh terhadap peredaman energi dan nilai bilangan froude yang terjadi dibagian kaki pelimpah dan hilir peredam energi USBR tipe III dalam lima perlakuan yaitu sebagai berikut :

- Peredaman pada Pelimpah (section 1- 6)

Kedalaman h_1 yang terjadi adalah antara 0,191 - 0,230 m. Kedalaman h_6 yang terjadi adalah antara 0,028 – 0,009 m. Sehingga terjadi peredaman energi rata-rata sebesar 50,577 % dan nilai bilangan froude rerata sebesar 4,440.

- Peredaman pada Pelimpah hingga hilir kolam olak USBR tipe III (section 1-11)

Kedalaman h_1 yang terjadi adalah antara 0,191 - 0,230 m. Kedalaman h_{11} yang terjadi adalah antara 0,011 – 0,035 m. Sehingga terjadi peredaman energi rata-rata sebesar 74,796 % dan nilai bilangan froude rerata sebesar 1,464.

- d. Pelimpah berterap dengan anak tangga miring 20° memberikan pengaruh terhadap peredaman energi dan nilai bilangan froude yang terjadi dibagian kaki pelimpah dan hilir peredam energi USBR tipe III dalam lima perlakuan yaitu sebagai berikut :

- Peredaman pada Pelimpah (section 1- 6)

Kedalaman h_1 yang terjadi adalah antara 0,191 - 0,230 m. Kedalaman h_6 yang terjadi adalah antara 0,032 – 0,024 m. Sehingga terjadi peredaman energi rata-rata sebesar 51,680 % dan nilai bilangan froude rerata sebesar 4,175.

- Peredaman pada Pelimpah hingga hilir kolam olak USBR tipe III (section 1-11)

Kedalaman h_1 yang terjadi adalah antara 0,191 - 0,230 m. Kedalaman h_{11} yang terjadi adalah antara 0,014 – 0,035 m. Sehingga terjadi peredaman energi rata-rata sebesar 75,328 % dan nilai bilangan froude rerata sebesar 1,560.

2. Efektifitas Peredaman energi terbesar dalam penelitian ini adalah pelimpah berterap dengan anak tangga dengan anak tangga datar. Karena dari segi nilai peredaman energi besar, nilai bilangan froude lebih kecil dibandingkan tiga model lainnya. Efektifitas Peredaman energi terkecil adalah pelimpah konvensional.

5.1. Saran

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

1. Adanya penelitian lebih lanjut untuk pelimpah berterap terhadap peredaman energi. Yaitu dengan menganalisa berbagai variasi lebar dan sudut dari pelimpah
2. Untuk mengembangkan 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.