

**UJI MODEL FISIK *BAFFLED CHUTE* UNTUK PENINGKATAN
PEREDAMAN ENERGI PADA PELIMPAH BENDUNGAN RIAM
KIWA KECAMATAN PARAMASAN KABUPATEN BANJAR
PROVINSI KALIMANTAN SELATAN**

SKRIPSI

**TEKNIK PENGAIRAN
KONSENTRASI PERENCANAAN TEKNIK BANGUNAN AIR**

Ditujukan untuk memenuhi persyaratan
memperoleh gelar Sarjana Teknik



**UNIVERSITAS BRAWIJAYA
FAKULTAS TEKNIK
MALANG
2018**

LEMBAR PENGESAHAN

**UJI MODEL FISIK *BAFFLED CHUTE* UNTUK PENINGKATAN
PEREDAMAN ENERGI PADA PELIMPAH BENDUNGAN RIAM
KIWA KECAMATAN PARAMASAN KABUPATEN BANJAR
PROVINSI KALIMANTAN SELATAN**

SKRIPSI

**TEKNIK PENGAIRAN
KONSENTRASI PERENCANAAN TEKNIK BANGUNAN AIR**

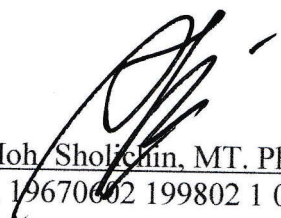
Ditujukan untuk memenuhi persyaratan
memperoleh gelar Sarjana Teknik



**MUHAMMAD ADHIA RAHMAN
NIM. 135060400111007**

Skripsi ini telah direvisi dan disetujui oleh dosen pembimbing
Pada tanggal 6 April 2018

Dosen Pembimbing I


Ir. Moh. Sholichin, MT. Ph.D
NIP. 19670602 199802 1 001

Dosen Pembimbing II


Dr. Eng. Evi Nur Cahya, ST., MT.
NIP. 201102 771203 2 001

Mengetahui
Ketua Jurusan Teknik Pengairan




Dr. Ir. Ussy Andawayanti, MS.
NIP. 19610131 198609 2 001



Skripsi ini saya dedikasikan kepada:

Almarhum ayahanda tercinta

Ibu dan kakak-kakak serta keluarga saya tercinta

Sahabat serta teman-teman Teknik Pengairan 2013

“Tidak harus hebat untuk memulai, tapi harus memulai untuk menjadi hebat”

-Zig Ziglar



UNIVERSITAS BRAWIJAYA
FAKULTAS TEKNIK
PROGRAM SARJANA



SERTIFIKAT BEBAS PLAGIASI

Nomor : 37 /UN10.F07.14.11/TU/2018

Sertifikat ini diberikan kepada :

MUHAMMAD ADHIA RAHMAN

Dengan Judul Skripsi :

UJI MODEL FISIK BAFFLED CHUTE UNTUK PENINGKATAN PEREDAMAN ENERGI PADA
PELIMPAH BENDUNGAN RIAM KIWA KECAMATAN PARAMASAN KABUPATEN BANJAR
PROVINSI KALIMANTAN SELATAN

Telah dideteksi tingkat plagiasinya dengan kriteria toleransi $\leq 20\%$, dan
dinyatakan Bebas dari Plagiasi pada tanggal 15 MEI 2018

Ketua Jurusan Teknik Pengairan



Dr. Ir. Ussy Andawayanti, MS
NIP. 19610131 198609 2 001

Ketua Program Studi S1 Teknik Pengairan

Dr. Very Dermawan, ST., MT
NIP. 19730217 199903 1001

PENGANTAR

Segala puji dan syukur penulis panjatkan kepada Allah SWT yang telah memberikan petunjuk serta rahmat-Nya sehingga penulis dapat menyelesaikan skripsi dengan judul “Uji Model Fisik *Baffled Chute* Untuk Peningkatan Peredaman Energi Pada Pelimpah Bendungan Riam Kiwa Kecamatan Paramasan, Kabupaten Banjar, Provinsi Kalimantan Selatan”.

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

1. Ayahanda almarhum Drs. H. Rosyadhy Hidayat dan ibunda Hj. Arenawati, S.Pd., kedua kakak saya Rosmita Annisa, ST. dan Mustafa Ramadhan, SE., keponakan-keponakan saya Safaraz Pranadipta, Jihan Nuriya Ramadhani dan Natta Cakrawangsa, serta keluarga lainnya yang selalu mendoakan dan memberikan semangat kepada penulis dalam penyelesaian skripsi ini.
2. Bapak Ir. Moh. Sholichin, MT., Ph.D., dan Ibu Dr. Eng. Evi Nur Cahya, ST., MT., selaku dosen pembimbing yang telah memberikan bantuan baik ilmu dan moral kepada penulis dalam skripsi ini.
3. Bapak Dr. Very Dermawan, ST., MT., dan Bapak Ir. Dwi Priyantoro, MS., selaku dosen penguji yang telah memberikan masukan baik ilmu dan moral kepada penulis dalam skripsi ini.
4. Saudari Mega Okvita K, mas Wanda, mas Giat, mas Nanang, mas Kiki dan bapak Tiran, sebagai tim peneliti yang sudah membantu penulis dengan maksimal dalam penelitian yang dilaksanakan untuk skripsi ini.
5. Teman-teman Teknik Pengairan 2013 atas segala bantuan dan dukungan baik secara ilmu dan moral.
6. Teman-teman Kost Putra Bunga Kopi No.15 atas segala bantuan dan dukungannya.
7. Semua pihak yang telah membantu namun belum terucapkan dalam pengantar ini.

Penulis menyadari sepenuhnya bahwa dalam pengerjaan skripsi ini masih banyak kekurangan sehingga masih jauh dari sempurna, hal ini dikarenakan keterbatasan pengetahuan serta pengalaman yang dimiliki penulis.

repository.ub.ac.id

Akhir kata penulis mengharapkan saran dan kritik yang membangun guna kesempurnaan skripsi ini, serta penyusun berharap semoga skripsi ini dapat bermanfaat bagi semua pihak.

Malang, April 2018

Penulis



DAFTAR ISI

	Halaman
PENGANTAR	i
DAFTAR ISI	iii
DAFTAR TABEL	v
DAFTAR GAMBAR	xi
DAFTAR LAMPIRAN	xv
RINGKASAN	xvii
BAB I PENDAHULUAN	1
1.1 Latar Belakang.....	1
1.2 Identifikasi Masalah.....	4
1.3 Rumusan Masalah.....	4
1.4 Batasan Masalah	4
1.5 Tujuan dan Manfaat.....	5
BAB II TINJAUAN PUSTAKA	7
2.1 Umum	7
2.2 Pelimpah Langsung (<i>overflow</i>).....	7
2.2.1 Analisa Hidraulika Pada Pelimpah	7
2.3 Saluran Transisi	11
2.3.1 Penyempitan Pada Saluran Transisi.....	12
2.4 Saluran Peluncur	13
2.5 <i>Baffled Chute</i>	15
2.6 Peredam Energi.....	19
2.6.1 Tipe Kolam Olakan (<i>Stilling Basin Type</i>).....	20
2.7 Loncatan Hidraulik	25
2.8 Kavitasi	26
2.9 Penggerusan di Hilir Bangunan Hidraulik.....	29
2.10 Skala Model dan Konstruksi Model	30
2.11 Penjabaran Skala Model Tanpa Distorsi (<i>Undistorted</i>).....	34
2.11.1 Kecepatan Aliran (n_v)	34
2.11.2 Waktu Aliran (n_t)	34
2.11.3 Debit Aliran (n_Q).....	35
2.11.4 Koefisien Chezy dan Manning	35
2.11.5 Kesalahan Model Test	35
BAB III METODE PENELITIAN	37
3.1 Fasilitas Penelitian	37
3.2 Skala Model	37

3.3	Konstruksi Model	40
3.4	Tahapan dan Rancangan Penelitian.....	40
3.4.1	Tahapan Penelitian	40
3.4.2	Rancangan Penelitian	40
3.5	Rancangan Hasil Penelitian.....	41
BAB IV	HASIL DAN PEMBAHASAN.....	45
4.1	Perhitungan Tinggi Muka Air	45
4.2	Perhitungan Kecepatan.....	46
4.3	Perhitungan Tinggi Tekanan	46
4.4	Perhitungan Penurunan Energi pada Peredam Energi II	47
4.5	Kalibrasi dan Verifikasi Model	47
4.5.1	Muka Air	47
4.5.2	Debit Aliran	47
4.5.3	Kontrol Elevasi Muka Air di Bagian Saluran Pengarah Hilir	50
4.5.4	Kebenaran Model	51
4.6	Analisa Hidraulika.....	52
4.6.1	Perhitungan Koefisien Limpahan Metode USBR	52
4.6.2	Perhitungan Profil Muka Air di Atas Pelimpah.....	55
4.6.3	Perhitungan Profil Muka Air di Saluran Transisi.....	58
4.6.4	Perencanaan Bangunan <i>Baffled Chute</i>	63
4.6.5	Perhitungan Profil Muka Air di Saluran Peluncur.....	64
4.6.6	Perhitungan Profil Muka Air di Peredam Energi.....	69
4.6.6.1	Perhitungan Profil Muka Air di Peredam Energi I	69
4.6.6.2	Perhitungan Profil Muka Air di Peredam Energi II.....	70
4.6.6.3	Perhitungan Penurunan Energi pada Peredam Energi II	70
4.6.7	Perhitungan Indeks Kavitasi.....	71
4.6.8	Perhitungan pada <i>Escape Channel</i>	98
4.7	Perbandingan Hasil.....	99
4.7.1	Perbandingan Perhitungan Tinggi Muka Air.....	99
4.7.2	Perbandingan Perhitungan Kecepatan	131
4.7.3	Perhitungan Kesalahan Relatif	152
BAB V	KESIMPULAN.....	157
5.1	Kesimpulan	157
5.2	Saran	159
DAFTAR PUSTAKA		
LAMPIRAN		

DAFTAR TABEL

No	Judul	Halaman
Tabel 2.1	Sifat Fisik Air pada Tekanan Atmosfer (Satuan SI).....	28
Tabel 3.1	Rasio Perbandingan Besaran-besaran <i>Prototype</i> ke Model.....	38
Tabel 3.2	Analisis ketelitian Penetapan Skala Model Minimal Metode Russell Berdasarkan Debit Banjir Rancangan Q_{2th}	39
Tabel 3.3	Konversi dari <i>Prototype</i> ke Model pada Desain Awal	39
Tabel 3.4	Data Teknis Debit Operasi.....	40
Tabel 3.5	Rancangan Hasil Penelitian	42
Tabel 4.1	Liku Debit Alat Ukur <i>Rechbox</i>	49
Tabel 4.2	Liku Debit pada <i>Escape Channel</i>	50
Tabel 4.3	Tingkat Kesalahan Model pada Hd di Atas Pelimpah.....	51
Tabel 4.4	Nilai Koefisien Limpahan (C) dan Tinggi Muka Air (Hd) Metode USBR...	54
Tabel 4.5	Nilai Koefisien Limpahan (C) dan Tinggi Muka Air (Hd) Hasil Uji Model Fisik	54
Tabel 4.6	Rekapitulasi Nilai Koefisien Limpahan (C) dan Tinggi Muka Air (Hd) Menurut Metode USBR dan Hasil Uji Model Fisik	54
Tabel 4.7	Kesalahan Relatif Tinggi Muka Air (Hd) Menurut Metode USBR dan Hasil Uji Model Fisik	55
Tabel 4.8	Perhitungan Profil Muka Air di atas Pelimpah untuk Q_{2th}	56
Tabel 4.9	Perhitungan Profil Muka Air di atas Pelimpah untuk Q_{25th}	56
Tabel 4.10	Perhitungan Profil Muka Air di atas Pelimpah untuk Q_{100th}	57
Tabel 4.11	Perhitungan Profil Muka Air di atas Pelimpah untuk Q_{1000th}	57
Tabel 4.12	Perhitungan Profil Muka Air di atas Pelimpah untuk Q_{PMF}	58
Tabel 4.13	Perhitungan Muka Air pada Saluran Transisi Q_{2th}	60
Tabel 4.14	Perhitungan Muka Air pada Saluran Transisi Q_{25th}	60
Tabel 4.15	Perhitungan Muka Air pada Saluran Transisi Q_{100th}	61
Tabel 4.16	Perhitungan Muka Air pada Saluran Transisi Q_{1000th}	61
Tabel 4.17	Perhitungan Muka Air pada Saluran Transisi Q_{PMF}	62
Tabel 4.18	Perhitungan Muka Air pada Saluran Peluncur Q_{2th}	66
Tabel 4.19	Perhitungan Muka Air pada Saluran Peluncur Q_{25th}	66

Tabel 4.20 Perhitungan Muka Air pada Saluran Peluncur Q_{100th}	67
Tabel 4.21 Perhitungan Muka Air pada Saluran Peluncur Q_{1000th}	67
Tabel 4.22 Perhitungan Muka Air pada Saluran Peluncur Q_{PMF}	68
Tabel 4.23 Perhitungan Profil Muka Air di Peredam Energi I.....	69
Tabel 4.24 Perhitungan Profil Muka Air di Peredam Energi II	70
Tabel 4.25 Perhitungan Penurunan Energi di Peredam Energi II	71
Tabel 4.26 Perhitungan Indeks Kavitasi untuk Q_{2th} <i>Original Design</i>	73
Tabel 4.27 Perhitungan Indeks Kavitasi untuk Q_{25th} <i>Original Design</i>	74
Tabel 4.28 Perhitungan Indeks Kavitasi untuk Q_{100th} <i>Original Design</i>	75
Tabel 4.29 Perhitungan Indeks Kavitasi untuk Q_{1000th} <i>Original Design</i>	76
Tabel 4.30 Perhitungan Indeks Kavitasi untuk Q_{PMF} <i>Original Design</i>	77
Tabel 4.31 Perhitungan Indeks Kavitasi untuk Q_{2th} Seri I	78
Tabel 4.32 Perhitungan Indeks Kavitasi untuk Q_{25th} Seri I.....	79
Tabel 4.33 Perhitungan Indeks Kavitasi untuk Q_{100th} Seri I.....	80
Tabel 4.34 Perhitungan Indeks Kavitasi untuk Q_{1000th} Seri I	81
Tabel 4.35 Perhitungan Indeks Kavitasi untuk Q_{PMF} Seri I.....	82
Tabel 4.36 Perhitungan Indeks Kavitasi untuk Q_{2th} Seri II.....	83
Tabel 4.37 Perhitungan Indeks Kavitasi untuk Q_{25th} Seri II.....	84
Tabel 4.38 Perhitungan Indeks Kavitasi untuk Q_{100th} Seri II	85
Tabel 4.39 Perhitungan Indeks Kavitasi untuk Q_{1000th} Seri II	86
Tabel 4.40 Perhitungan Indeks Kavitasi untuk Q_{PMF} Seri II	87
Tabel 4.41 Perhitungan Indeks Kavitasi untuk Q_{2th} Seri III.....	88
Tabel 4.42 Perhitungan Indeks Kavitasi untuk Q_{25th} Seri III	89
Tabel 4.43 Perhitungan Indeks Kavitasi untuk Q_{100th} Seri III	90
Tabel 4.44 Perhitungan Indeks Kavitasi untuk Q_{1000th} Seri III.....	91
Tabel 4.45 Perhitungan Indeks Kavitasi untuk Q_{PMF} Seri III.....	92
Tabel 4.46 Perhitungan Indeks Kavitasi untuk Q_{2th} Seri IV.....	93
Tabel 4.47 Perhitungan Indeks Kavitasi untuk Q_{25th} Seri IV	94
Tabel 4.48 Perhitungan Indeks Kavitasi untuk Q_{100th} Seri IV	95
Tabel 4.49 Perhitungan Indeks Kavitasi untuk Q_{1000th} Seri IV.....	96
Tabel 4.50 Perhitungan Indeks Kavitasi untuk Q_{PMF} Seri IV.....	97
Tabel 4.51 Hasil Perhitungan Gerusan Lokal Metode Schoklistsch	98
Tabel 4.52 Perbandingan Elevasi Muka Air Untuk Q_{2th} Menggunakan Peredam Energi USBR II	100

Tabel 4.53 Perbandingan Elevasi Muka Air Untuk Q_{2th} Menggunakan Peredam Energi USBR I.....	100
Tabel 4.54 Perbandingan Elevasi Muka Air Untuk Q_{2th} Menggunakan <i>Baffled Cute</i> 3 m	101
Tabel 4.55 Perbandingan Elevasi Muka Air Untuk Q_{2th} Menggunakan <i>Baffled Cute</i> 2 m	101
Tabel 4.56 Perbandingan Elevasi Muka Air Untuk Q_{25th} Menggunakan Peredam Energi USBR II.....	102
Tabel 4.57 Perbandingan Elevasi Muka Air Untuk Q_{25th} Menggunakan Peredam Energi USBR I.....	102
Tabel 4.58 Perbandingan Elevasi Muka Air Untuk Q_{25th} Menggunakan <i>Baffled Cute</i> 3 m	103
Tabel 4.59 Perbandingan Elevasi Muka Air Untuk Q_{25th} Menggunakan <i>Baffled Cute</i> 2 m	103
Tabel 4.60 Perbandingan Elevasi Muka Air Untuk Q_{100th} Menggunakan Peredam Energi USBR II.....	104
Tabel 4.61 Perbandingan Elevasi Muka Air Untuk Q_{100th} Menggunakan Peredam Energi USBR I.....	104
Tabel 4.62 Perbandingan Elevasi Muka Air Untuk Q_{100th} Menggunakan <i>Baffled Cute</i> 3 m	105
Tabel 4.63 Perbandingan Elevasi Muka Air Untuk Q_{100th} Menggunakan <i>Baffled Cute</i> 2 m	105
Tabel 4.64 Perbandingan Elevasi Muka Air Untuk Q_{1000th} Menggunakan Peredam Energi USBR II.....	106
Tabel 4.65 Perbandingan Elevasi Muka Air Untuk Q_{1000th} Menggunakan Peredam Energi USBR I.....	106
Tabel 4.66 Perbandingan Elevasi Muka Air Untuk Q_{1000th} Menggunakan <i>Baffled Cute</i> 3 m	107
Tabel 4.67 Perbandingan Elevasi Muka Air Untuk Q_{1000th} Menggunakan <i>Baffled Cute</i> 2 m	107
Tabel 4.68 Perbandingan Elevasi Muka Air Untuk Q_{PMF} Menggunakan Peredam Energi USBR II.....	108
Tabel 4.69 Perbandingan Elevasi Muka Air Untuk Q_{PMF} Menggunakan Peredam Energi USBR I.....	108

Tabel 4.70 Perbandingan Elevasi Muka Air Untuk Q_{PMF} Menggunakan <i>Baffled Cute</i> 3 m.....	109
Tabel 4.71 Perbandingan Elevasi Muka Air Untuk Q_{PMF} Menggunakan <i>Baffled Cute</i> 2 m.....	109
Tabel 4.72 Perbandingan Kecepatan Untuk Q_{2th} Menggunakan Peredam Energi USBR II.....	132
Tabel 4.73 Perbandingan Kecepatan Untuk Q_{2th} Menggunakan Peredam Energi USBR I	133
Tabel 4.74 Perbandingan Kecepatan Untuk Q_{2th} Menggunakan <i>Baffled Cute</i> 3 m.....	134
Tabel 4.75 Perbandingan Kecepatan Untuk Q_{2th} Menggunakan <i>Baffled Cute</i> 2 m.....	135
Tabel 4.76 Perbandingan Kecepatan Untuk Q_{25th} Menggunakan Peredam Energi USBR II.....	136
Tabel 4.77 Perbandingan Kecepatan Untuk Q_{25th} Menggunakan Peredam Energi USBR I	137
Tabel 4.78 Perbandingan Kecepatan Untuk Q_{25th} Menggunakan <i>Baffled Cute</i> 3 m	138
Tabel 4.79 Perbandingan Kecepatan Untuk Q_{25th} Menggunakan <i>Baffled Cute</i> 2 m	139
Tabel 4.80 Perbandingan Kecepatan Untuk Q_{100th} Menggunakan Peredam Energi USBR II.....	140
Tabel 4.81 Perbandingan Kecepatan Untuk Q_{100th} Menggunakan Peredam Energi USBR I	141
Tabel 4.82 Perbandingan Kecepatan Untuk Q_{100th} Menggunakan <i>Baffled Cute</i> 3 m	142
Tabel 4.83 Perbandingan Kecepatan Untuk Q_{100th} Menggunakan <i>Baffled Cute</i> 2 m	143
Tabel 4.84 Perbandingan Kecepatan Untuk Q_{100th} Menggunakan Peredam Energi USBR II.....	144
Tabel 4.85 Perbandingan Kecepatan Untuk Q_{100th} Menggunakan Peredam Energi USBR I	145
Tabel 4.86 Perbandingan Kecepatan Untuk Q_{100th} Menggunakan <i>Baffled Cute</i> 3 m.....	146
Tabel 4.87 Perbandingan Kecepatan Untuk Q_{100th} Menggunakan <i>Baffled Cute</i> 2 m.....	147
Tabel 4.88 Perbandingan Kecepatan Untuk Q_{PMF} Menggunakan Peredam Energi USBR II.....	148
Tabel 4.89 Perbandingan Kecepatan Untuk Q_{PMF} Menggunakan Peredam Energi USBR I	149
Tabel 4.90 Perbandingan Kecepatan Untuk Q_{PMF} Menggunakan <i>Baffled Cute</i> 3 m.....	150
Tabel 4.91 Perbandingan Kecepatan Untuk Q_{PMF} Menggunakan <i>Baffled Cute</i> 2 m.....	151

Tabel 4.92 Perhitungan Kesalahan Relatif Tinggi Muka Air Untuk Q_{2th}	153
Tabel 4.93 Perhitungan Kesalahan Relatif Tinggi Muka Air Untuk Q_{25th}	154
Tabel 4.94 Perhitungan Kesalahan Relatif Tinggi Muka Air Untuk Q_{100th}	154
Tabel 4.95 Perhitungan Kesalahan Relatif Tinggi Muka Air Untuk Q_{1000th}	155
Tabel 4.96 Perhitungan Kesalahan Relatif Tinggi Muka Air Untuk Q_{PMF}	155





Halaman ini sengaja dikosongkan

DAFTAR GAMBAR

No	Judul	Halaman
Gambar 1.1	Kondisi Fenomena Hidraulik pada Saluran Pelimpah	2
Gambar 1.2	Kondisi Fenomena Hidraulik pada Peredam Energi I dan Saluran Transisi.....	2
Gambar 1.3	Kondisi Fenomena Hidraulik pada Peredam Energi I dan <i>Escape Channel</i>	3
Gambar 1.4	Kondisi Aliran Hidraulik pada Peredam Energi II debit Q_{1000th}	3
Gambar 2.1	Koefisien Limpahan Dipengaruhi Oleh Faktor P/H_o	8
Gambar 2.2	Koefisien Limpahan Dipengaruhi Oleh Faktor H_e/H_o	9
Gambar 2.3	Koefisien Limpahan Dipengaruhi Oleh Faktor H_d/H_e	9
Gambar 2.4	Koefisien kontraksi pilar sesuai dengan bentuk tumpuannya	10
Gambar 2.5	Tinggi muka air di atas tubuh pelimpah	10
Gambar 2.6	Skema penyempitan pada saluran transisi	12
Gambar 2.7	Skema aliran pada saluran transisi	13
Gambar 2.8	Skema penampang memanjang aliran pada saluran peluncur	14
Gambar 2.9	Kurva rekomendasi ketinggian <i>baffled chute</i> dan kecepatan yang diijinkan	17
Gambar 2.10	Dasar Perencanaan <i>Baffled Chute</i>	19
Gambar 2.11	Bentuk Kolam Olakan Tipe I	20
Gambar 2.12	Bentuk Kolam Olakan Tipe II.....	21
Gambar 2.13	Bentuk Kolam Olakan Tipe III	22
Gambar 2.14	Bentuk Kolam Olakan Tipe IV	23
Gambar 2.15	Grafik Kedalaman Minimum Air di Hilir Kolam Olakan (Tipe I, II dan III).....	24
Gambar 2.16	Grafik Panjang Loncatan Hidraulis pada Kolam Olakan (Tipe I, II dan III).....	24
Gambar 2.17	Sketsa Loncatan Hidraulik.....	25
Gambar 2.18	Persamaan Momentum dalam Loncatan Hidraulik.....	25
Gambar 2.19	Pengendalian Loncatan Hidraulik dengan Kenaikan Mendadak	26
Gambar 2.20	Grafik Shield	30

Gambar 2.21	Hubungan Model dan <i>Prototype</i> pada Pengaliran melalui Bangunan Pelimpah	32
Gambar 3.1	Bagan Alir Pengerjaan Skripsi	43
Gambar 3.2	Bagan Alir Permodelan	44
Gambar 4.1	Dimensi alat ukur debit <i>rechbox</i>	48
Gambar 4.2	Lengkung Debit Alat Ukur Rechbox Model Fisik Bendungan Riam Kiwa	50
Gambar 4.3	Lengkung Debit <i>Escape Channel</i> Model Fisik Bendungan Riam Kiwa ...	51
Gambar 4.4	Grafik Perbandingan Elevasi Muka Air untuk Q_{2th} Menggunakan USBR II	111
Gambar 4.5	Grafik Perbandingan Elevasi Muka Air untuk Q_{2th} Menggunakan USBR I	111
Gambar 4.6	Grafik Perbandingan Elevasi Muka Air untuk Q_{2th} Menggunakan <i>Baffled Cute</i> 3 m	113
Gambar 4.7	Grafik Perbandingan Elevasi Muka Air untuk Q_{2th} Menggunakan <i>Baffled Cute</i> 2 m	113
Gambar 4.8	Grafik Perbandingan Elevasi Muka Air untuk Q_{25th} Menggunakan USBR II	115
Gambar 4.9	Grafik Perbandingan Elevasi Muka Air untuk Q_{25th} Menggunakan USBR I	115
Gambar 4.10	Grafik Perbandingan Elevasi Muka Air untuk Q_{25th} Menggunakan <i>Baffled Cute</i> 3 m	117
Gambar 4.11	Grafik Perbandingan Elevasi Muka Air untuk Q_{25th} Menggunakan <i>Baffled Cute</i> 2 m	117
Gambar 4.12	Grafik Perbandingan Elevasi Muka Air untuk Q_{100th} Menggunakan USBR II	119
Gambar 4.13	Grafik Perbandingan Elevasi Muka Air untuk Q_{100th} Menggunakan USBR I	119
Gambar 4.14	Grafik Perbandingan Elevasi Muka Air untuk Q_{100th} Menggunakan <i>Baffled Cute</i> 3 m	121
Gambar 4.15	Grafik Perbandingan Elevasi Muka Air untuk Q_{100th} Menggunakan <i>Baffled Cute</i> 2 m	121
Gambar 4.16	Grafik Perbandingan Elevasi Muka Air untuk Q_{100th} Menggunakan USBR II	123

Gambar 4.17	Grafik Perbandingan Elevasi Muka Air untuk Q_{1000th} Menggunakan USBR I.....	123
Gambar 4.18	Grafik Perbandingan Elevasi Muka Air untuk Q_{1000th} Menggunakan <i>Baffled Cute</i> 3 m	125
Gambar 4.19	Grafik Perbandingan Elevasi Muka Air untuk Q_{1000th} Menggunakan <i>Baffled Cute</i> 2 m	125
Gambar 4.20	Grafik Perbandingan Elevasi Muka Air untuk Q_{PMF} Menggunakan USBR II	127
Gambar 4.21	Grafik Perbandingan Elevasi Muka Air untuk Q_{PMF} Menggunakan USBR I.....	127
Gambar 4.22	Grafik Perbandingan Elevasi Muka Air untuk Q_{PMF} Menggunakan <i>Baffled Cute</i> 3 m	129
Gambar 4.23	Grafik Perbandingan Elevasi Muka Air untuk Q_{PMF} Menggunakan <i>Baffled Cute</i> 2 m	129
Gambar 4.24	Grafik Perbandingan Kecepatan Q_{2th} Menggunakan Peredam Energi USBR II	120
Gambar 4.25	Grafik Perbandingan Kecepatan Q_{2th} Menggunakan Peredam Energi USBR I.....	121
Gambar 4.26	Grafik Perbandingan Kecepatan Q_{2th} Menggunakan <i>Baffled Cute</i> 3 m....	122
Gambar 4.27	Grafik Perbandingan Kecepatan Q_{2th} Menggunakan <i>Baffled Cute</i> 2 m....	123
Gambar 4.28	Grafik Perbandingan Kecepatan Q_{25th} Menggunakan Peredam Energi USBR II	124
Gambar 4.29	Grafik Perbandingan Kecepatan Q_{25th} Menggunakan Peredam Energi USBR I.....	125
Gambar 4.30	Grafik Perbandingan Kecepatan Q_{25th} Menggunakan <i>Baffled Cute</i> 3 m ..	126
Gambar 4.31	Grafik Perbandingan Kecepatan Q_{25th} Menggunakan <i>Baffled Cute</i> 2 m ..	127
Gambar 4.32	Grafik Perbandingan Kecepatan Q_{100th} Menggunakan Peredam Energi USBR II	128
Gambar 4.33	Grafik Perbandingan Kecepatan Q_{100th} Menggunakan Peredam Energi USBR I.....	129
Gambar 4.34	Grafik Perbandingan Kecepatan Q_{100th} Menggunakan <i>Baffled Cute</i> 3 m .	130
Gambar 4.35	Grafik Perbandingan Kecepatan Q_{100th} Menggunakan <i>Baffled Cute</i> 2 m .	131
Gambar 4.36	Grafik Perbandingan Kecepatan Q_{1000th} Menggunakan Peredam Energi USBR II	132

Gambar 4.37	Grafik Perbandingan Kecepatan Q_{1000th} Menggunakan Peredam Energi USBR I	133
Gambar 4.38	Grafik Perbandingan Kecepatan Q_{1000th} Menggunakan <i>Baffled Cute</i> 3 m.	134
Gambar 4.39	Grafik Perbandingan Kecepatan Q_{1000th} Menggunakan <i>Baffled Cute</i> 2 m.	135
Gambar 4.40	Grafik Perbandingan Kecepatan Q_{PMF} Menggunakan Peredam Energi USBR II	136
Gambar 4.41	Grafik Perbandingan Kecepatan Q_{PMF} Menggunakan Peredam Energi USBR I	137
Gambar 4.42	Grafik Perbandingan Kecepatan Q_{PMF} Menggunakan <i>Baffled Cute</i> 3 m... ..	138
Gambar 4.43	Grafik Perbandingan Kecepatan Q_{PMF} Menggunakan <i>Baffled Cute</i> 2 m... ..	139



DAFTAR LAMPIRAN

No	Judul	Halaman
Lampiran 1	Gambar Teknis Perencanaan Uji Model Bendungan Riam Kiwa (<i>Original Design</i> , Model Seri I, II, III dan IV).....	163
Lampiran 2	Dokumentasi Penelitian	168





Halaman ini sengaja dikosongkan

RINGKASAN

Muhammad Adhia Rahman, Jurusan Teknik Pengairan, Fakultas Teknik, Universitas Brawijaya, April 2018. *Uji Model Fisik Baffled Chute Untuk Peningkatan Peredaman Energi Pada Pelimpah Bendungan Riam Kiwa Kecamatan Paramasan Kabupaten Banjar Provinsi Kalimantan Selatan*, Dosen Pembimbing: Ir. Moh. Solichin., MT., Ph.D dan Dr. Eng. Evi Nur Cahya, ST., MT.

Dengan adanya rencana pembangunan Bendungan Riam Kiwa, maka perlu dilakukan uji model fisik bendungan tersebut. Melihat kondisi uji model yang dilakukan sebelumnya bahwa kondisi aliran pada saluran pengarah hilir dalam kondisi aliran subkritis namun dengan nilai bilangan froude $\approx 0,9 - 1$ dan hal ini kurang dianjurkan secara keamanan hidraulis. Sehingga perlu dilakukan penelitian uji model perencanaan alternatif desain mengenai peredaman energi yang lebih efektif, yang mana pada kali ini menggunakan desain *baffled chute* pada saluran peluncur yang dikombinasikan dengan peredam energi USBR tipe II dan I pada peredam energi II. Hal ini ditujukan untuk menyempurnakan desain bangunan pelimpah.

Untuk mendukung pelaksanaan penelitian uji model fisik *baffled chute* Bendungan Riam Kiwa digunakan fasilitas Laboratorium Hidraulika Terapan Jurusan Teknik Pengairan Fakultas Teknik Universitas Brawijaya dengan skala *undistorted* 1:65. Penelitian dilakukan dengan 5 seri percobaan yakni: seri original design, seri I, II, III, dan IV. Hasil dari penelitian akan terfokuskan pada kondisi tinggi muka air dan besarnya kecepatan aliran, yang mana dari semua seri percobaan akan dibandingkan dengan melihat parameter penggunaan bangunannya.

Dari hasil pengujian, diketahui uji model fisik *baffled chute* Bendungan Riam Kiwa dilakukan dalam 2 kondisi yakni dengan tinggi 3 meter dan 2 meter. Pada sistem pelimpah, bangunan apron atas dan saluran pelimpah tidak mengalami perubahan signifikan karena tidak terpengaruh dengan bangunan *baffled chute* secara langsung. Namun pada bangunan peredam energi I, saluran transisi, saluran peluncur, bangunan peredam energi II dan saluran pengarah hilir mengalami perubahan kondisi tinggi muka air dan kecepatan aliran yang berbeda-beda. Secara keseluruhan dapat diketahui bahwa pada seri I, II, III dan IV, kondisi kecepatan aliran telah berkurang dibandingkan uji model *original design*, namun hal ini diiringi dengan sedikit naiknya tinggi muka air pada bangunan-bangunan tersebut. Disimpulkan bahwa model seri IV merupakan hasil pengujian yang lebih baik dari model seri lainnya pada uji model kali ini.

Kata kunci: Uji model fisik, *baffled chute*, peredam energi, efektifitas, dan trayektori aliran



Halaman ini sengaja dikosongkan

SUMMARY

Muhammad Adhia Rahman, Department of Water Resources Engineering, Faculty of Engineering, University of Brawijaya, April 2018. *Model Test Baffled Chute for Enhancement Dissipating Energy on Spillway of Riam Kiwa Dam at Paramasan Subdistrict Banjar Regency South Kalimantan Province*, Academic Supervisor: Ir. Moh. Solichin., MT., Ph.D and Dr. Eng. Evi Nur Cahya, ST., MT.

With the plan to build Riam Kiwa Dam, there is need to do a model test of the dam. By looking at the condition of the model test conducted earlier, the flow conditions in the escape channel was in the sub-critical flow conditions but with a value of froude number $\approx 0,9 - 1$ and it is less recommended in the security of hidraulic. So that needs to do a model test research of another alternatives design to increase more effective energy dissipation, at this time using the design of baffled chute on the chute channels combined with the USBR energy dissipator type II and I on the stilling basin II. It is intended to improve spillway building design.

To support the implementation of the model test research of baffled chute on Riam Kiwa Dam, that used Hydraulics Laboratory Facilities on Department of Water Resources Engineering, Faculty of Engineering, University of Brawijaya, with undistorted scale 1:65. Research done by 5 experimental series: original design series, series I, II, III, and IV. The results of the research will be focused on the condition of high water level and the velocity of the flow, which of all the series of experiments will be compared look by the parameters of the building purpose.

From the test results, the model test baffled chute on Riam Kiwa Dam is done in two conditions: with a height of 3 meters and 2 meters of baffled chute and combined with the USBR energy dissipator type II and I in the stilling basin II. On the spillway system, top apron and spillway channels do not take any significant change because it is not affected by the baffled chute building directly. But in the stilling basin I, transition channels, chute channel, the stilling basin II and escape channels take changes of the condition of high water and the velocity of the flow. As a whole, known that on the series I, II, III and IV, the condition of the velocity of flow has been reduced compared to the original design model test, but this is accompanied by a slight rise in the face of high water level on that the buildings. It was concluded that the model series IV is a better test results than other series models on this time model test.

Keywords: Model test, baffled chute, energy dissipator, the effectiveness, and jet trajectories.



Halaman ini sengaja dikosongkan

BAB I

PENDAHULUAN

1.1 Latar Belakang

Dalam kelangsungan kehidupannya, manusia sangat tergantung pada air. Namun dalam praktiknya, pemenuhan Sumber Daya Air (SDA) masih mengalami kendala. Kebutuhan air meningkat dengan seiring meningkatnya jumlah penduduk, sedangkan persediaan air di bumi adalah tetap. Melimpahnya jumlah air pada musim hujan dan kekeringan pada musim kemarau pada daerah tertentu, menunjukkan jika pendistribusian air kurang merata dan adanya masalah dalam pemanfaatannya. Oleh karena itu, salah satu upaya pemenuhan penyediaan air adalah pembangunan konstruksi di bidang pengairan. Pembangunan ini berfungsi untuk pemenuhan kebutuhan pangan (irigasi), pemenuhan air baku bagi masyarakat, maupun dalam pengendalian banjir.

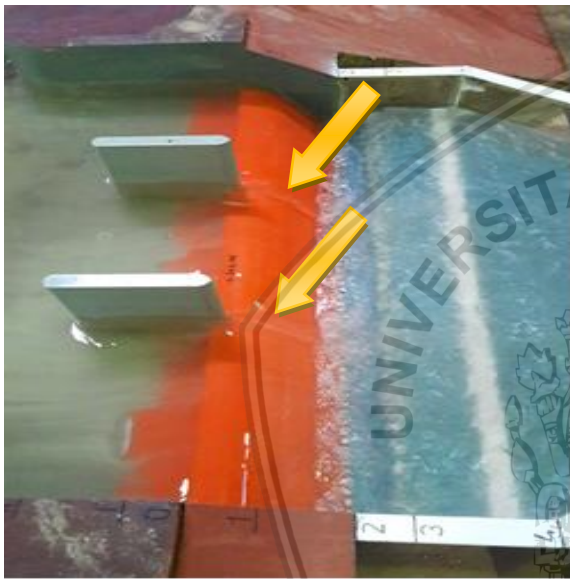
Di Indonesia, salah satu upaya pengembangan Sumber Daya Air (SDA) dengan membangun bendungan. Bendungan digunakan untuk mengatur dan menampung air. Pada musim penghujan air ditampung dan digunakan sebagai cadangan pada musim kemarau. Bendungan merupakan suatu konstruksi bangunan air yang besar sehingga dalam perencanaan bendungan tidaklah sesederhana perencanaan bangunan air yang lainnya. Tingkat resiko dan biaya investasi yang tinggi menuntut perencanaan bendungan sangatlah berhati-hati dan kajian perencanaan yang mendalam.

Bendungan dibangun dengan berbagai macam pelengkap dan fasilitas penunjang dalam pengoperasiannya. Salah satunya adalah saluran peluncur yang didesain dengan mempunyai kemiringan dasar yang semakin ke hilir semakin curam. Saluran peluncur berfungsi mengalirkan air dari saluran transisi dengan lancar tanpa hambatan hidraulis (Sosrodarsono, 2002, p.206).

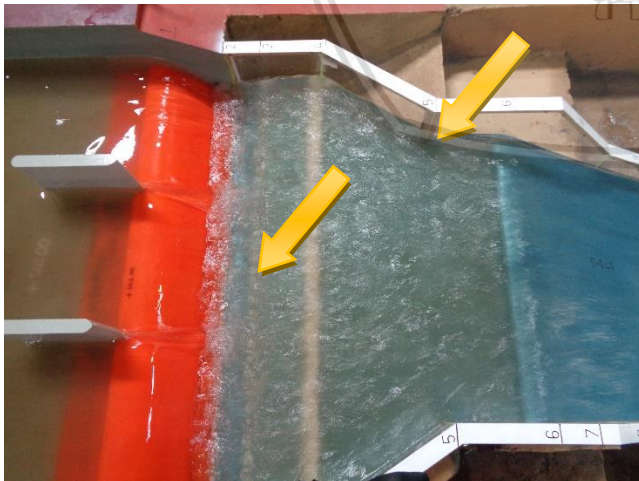
Memperhatikan Peraturan Daerah Kabupaten Banjar Nomor 03 Tahun 2013 Tentang Rencana Tata Ruang Wilayah Kabupaten Banjar Tahun 2013 - 2032, Bagian Keempat, Paragraf 3, Sistem Jaringan Sumber Daya Air, Pasal 24, maka pada hulu DAS Riam Kiwa (kiri) direncanakan pembangunan bangunan pengendali banjir dan penyediaan air irigasi yakni Bendungan Riam Kiwa (Kiri).

Pembangunan suatu bendungan di sungai, akan menyebabkan perubahan aspek dinamik morfologi sungai tersebut. Oleh karena itu dilakukan uji hidraulik model fisik (*model test*) bangunan pelimpah bendungan yang ditujukan untuk menyempurnakan dan memantapkan desain bangunan pelimpah. Setelah dilaksanakan uji model fisik (*model test*) maka akan diketahui fenomena hidraulika aliran dan pola gerusan yang terjadi pada bangunan pelimpah tersebut.

Pada uji model fisik (*model test*) seri 0 ternyata diketahui bahwa terjadi fenomena hidraulika pada sistem pelimpah yang direncanakan, dan hal tersebut tidak memenuhi keamanan dari segi hidraulik, seperti yang terlihat pada gambar 1.1 sampai 1.3:



Gambar 1.1 Kondisi fenomena hidraulik pada bangunan pelimpah.



Gambar 1.2 Kondisi fenomena hidraulik pada peredam energi I dan saluran transisi.



Gambar 1.3 Kondisi fenomena hidraulik pada peredam energi II dan *escape channel*

Hal tersebut mengharuskan perlu adanya modifikasi desain, yang mana dalam hal ini telah dilakukan modifikasi desain pada sistem pelimpah seperti penambahan panjang pilar pada pelimpah yang diperpanjang hingga ke hilirnya, perubahan tipe peredam energi pada peredam energi I, penambahan panjang saluran transisi, penurunan elevasi peredam energi II, serta penambahan batuan kosong (*rip-rap*) di hulu pada saluran pengarah hilir setelah peredam energi II yang diaplikasikan pada hasil *final design*. Pada desain alternatif akhir (*final design*) peredam energi akhir masih terjadi sedikit loncatan hidraulik pada Q_{1000th} sehingga membuat peredam energi tidak dapat menampung sebagian loncatan tersebut, dapat dilihat pada gambar 1.4. Akibat dari hal tersebut, membuat saluran pengarah hilir mengalami penggerusan dasar saluran dikarenakan kondisi aliran pada saluran tersebut dalam kondisi aliran subkritis namun dengan nilai bilangan $Fr \approx 0,9 - 1$ dan hal ini kurang dianjurkan secara keamanan hidraulis.



Gambar 1.4 Kondisi aliran hidraulik pada peredam energi II debit Q_{1000th}

1.2 Identifikasi Masalah

Berdasarkan latar belakang di atas, diketahui pada kondisi eksisting dari hasil *final design* yang sudah dilakukan bahwa aliran di hilir masih relatif cepat (aliran subkritis dengan nilai bilangan $Fr \approx 0,9 - 1$) yang mana sudah memenuhi syarat aman secara teori, namun tidak dianjurkan dalam kondisi seperti berikut, karena kemungkinan akan merubah bentuk dasar saluran pengarah hilir akibat terjadinya erosi dan banyaknya sedimen terangkut dengan besarnya bilangan Froude yang terjadi (Priyantoro, 1987, p.34). Oleh karena itu, perlu dilakukan penelitian dan perencanaan alternatif desain serta permodelan yang lain mengenai peredaman energi yang efektif agar diketahui alternatif desain yang lebih baik pada sistem pelimpah tersebut. Dalam hal ini akan dilakukan alternatif desain pada saluran peluncur dengan menggunakan desain *baffled chute* yang dikombinasikan dengan peredam energi USBR tipe I dan II pada peredam energi II.

Dari alternatif desain tersebut akan dilakukan permodelan pada Laboratorium Hidraulika Terapan yang ditujukan untuk memberikan gambaran yang lebih rinci tentang perilaku hidraulika aliran pada sistem pelimpah yang akan direncanakan. Dari gambaran tersebut, bisa didapatkan penyempurnaan hasil yang ingin dicapai yaitu alternatif desain sistem pelimpah yang aman dari segi hidraulika terhadap konstruksi bendungan itu sendiri.

1.3 Rumusan Masalah

Berdasarkan identifikasi masalah di atas, maka permasalahan dalam penelitian ini dapat dirumuskan sebagai berikut:

1. Bagaimana perencanaan *baffled chute* sebagai peredam energi pada sistem pelimpah Bendungan Riam Kiwa?
2. Bagaimana kondisi aliran pada sistem pelimpah setelah dilakukan modifikasi desain?
3. Apakah peredaman energi yang terjadi setelah dilakukan modifikasi desain menggunakan *baffled chute* telah efektif?

1.4 Batasan Masalah

Dalam penelitian ini, diberikan batasan-batasan masalah sebagai berikut:

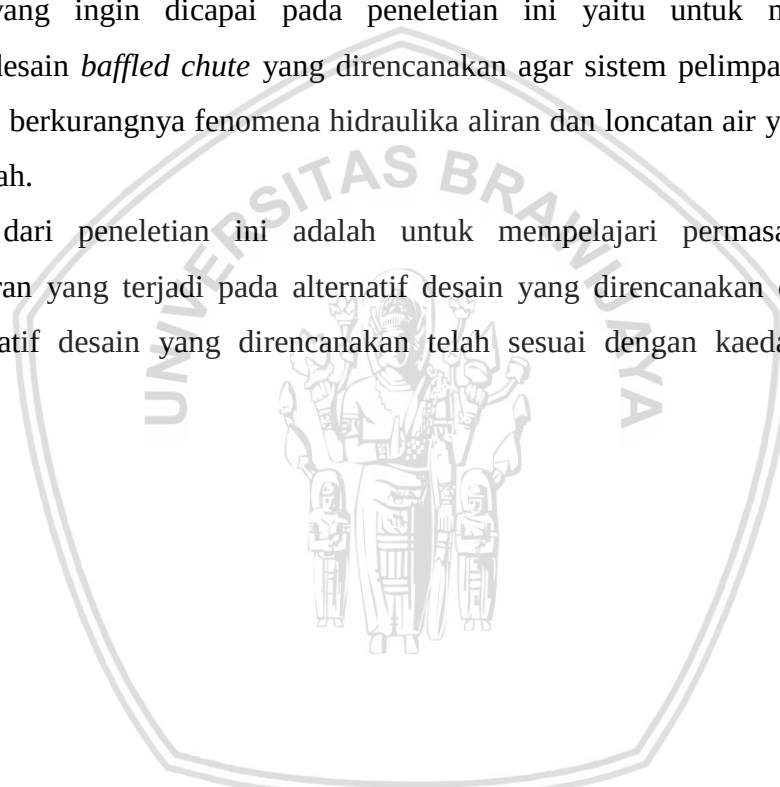
1. Model yang digunakan adalah model fisik Bangunan Pelimpah *Overflow* Bendungan Riam Kiwa pada Laboratorium Hidraulika Terapan dengan menggunakan skala tanpa distorsi (*undistorted*) (horizontal dan vertikal = 1:65).
2. Melakukan alternatif desain dengan memodifikasi saluran peluncur menjadi *baffled chute* yang dikombinasikan dengan peredam energi USBR tipe I dan II.

3. Menggunakan variasi debit banjir rancangan Q_{2th} , Q_{5th} , Q_{10th} , Q_{25th} , Q_{50th} , Q_{100th} , Q_{1000th} , dan Q_{PMF} yang merupakan debit yang ada dalam perencanaan sistem pelimpah *overflow* Bendungan Riam Kiwa.
4. Data analisa menggunakan data primer dari hasil pengukuran di Laboratorium Hidraulika Terapan Jurusan Pengairan Fakultas Teknik Universitas Brawijaya.
5. Tidak membahas analisa stabilitas konstruksi.
6. Tidak membahas tentang stabilitas lereng bendungan.

1.5 Tujuan dan Manfaat

Tujuan yang ingin dicapai pada peneletian ini yaitu untuk mengetahui dan menganalisa desain *baffled chute* yang direncanakan agar sistem pelimpah menjadi lebih efektif dengan berkurangnya fenomena hidraulika aliran dan loncatan air yang terjadi pada sistem pelimpah.

Manfaat dari peneletian ini adalah untuk mempelajari permasalahan perilaku hidraulika aliran yang terjadi pada alternatif desain yang direncanakan dan mengetahui apakah alternatif desain yang direncanakan telah sesuai dengan kaedah-kaedah yang berlaku.



Halaman ini sengaja dikosongkan



BAB II

TINJAUAN PUSTAKA

2.1 Umum

Bendungan Riam Kiwa merupakan bendungan dengan tipe pelimpah langsung (*overflow*) dan direncanakan harus bisa mengalirkan debit Q_{PMF} dengan aman sehingga tidak terjadi *overtopping* pada tubuh bendungan. Pada bagian hilir pelimpah terdapat peredam energi yang menggunakan USBR tipe II yang diperkirakan akan efektif meredam aliran dari pelimpah sehingga loncatan hidraulik yang terjadi tidak sampai pada saluran transisi. Desain saluran transisi pada sistem pelimpah Bendungan Riam Kiwa ini mengalami penyempitan dengan sudut inklasi sebesar $>12^{\circ}30'$, yang dapat dilihat pada gambar terlampir. Dengan adanya penyempitan diharapkan aliran dapat diatur pada bagian hilirnya sesuai dengan kaidah hidraulika yang berlaku.

Saluran peluncur didesain dengan kemiringan dasar saluran $S=0,40$ dengan penambahan desain *Baffled Chute* di sepanjang saluran peluncur untuk peredaman energi awal, di bagian hilir saluran peluncur terdapat peredam energi hilir USBR Tipe I dan II yang didesain aman untuk Q_{1000th} sehingga diperkirakan dapat meredam aliran dari saluran peluncur. Sebelum menuju saluran pengarah hilir (*escape channel*), terdapat kemiringan negatif dasar saluran 1:5 dengan panjang 25 m dan penambahan *rip-rap* serta *tetrapod* yang didesain untuk mengurangi *pulsating flow* yang terjadi sehingga diharapkan aliran cukup tenang saat menuju sungai.

2.2 Pelimpah Langsung (*Overflow*)

2.2.1 Analisa Hidraulika Pada Pelimpah

Dimensi saluran pengatur tipe pelimpah langsung (*overflow*) dapat diperoleh dengan rumus-rumus hidraulika sebagai berikut:

- a. Rumus debit yang melewati pelimpah dengan penampang segiempat (Sosrodarsono, 1977, p.181)

$$Q = CBH^{2/3} \dots\dots\dots (2-1)$$

dengan:

Q = debit (untuk perencanaan digunakan debit banjir rancangan, m^3/det)

C = koefisien debit

B = lebar efektif ambang pelimpah (m)

H = tinggi tekan di atas ambang pelimpah (m)

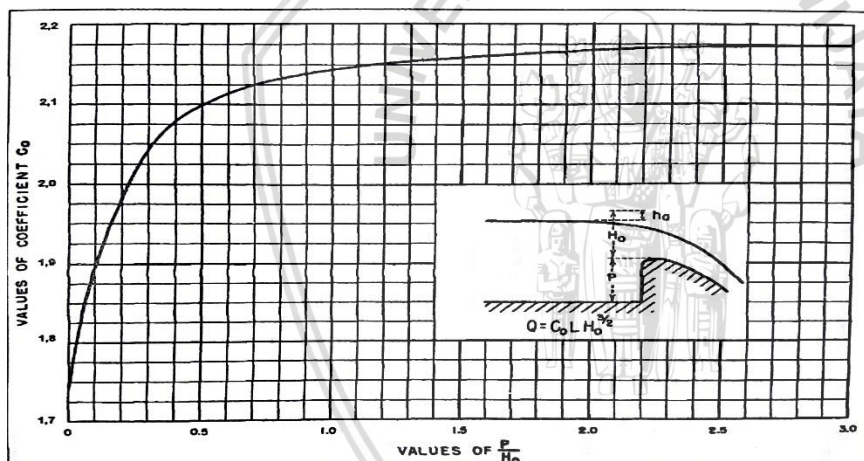
b. Koefisien debit

Secara teori besarnya koefisien debit (C) akan berkurang akibat adanya gesekan.

Beberapa factor yang mempengaruhi besarnya koefisien debit (C) adalah:

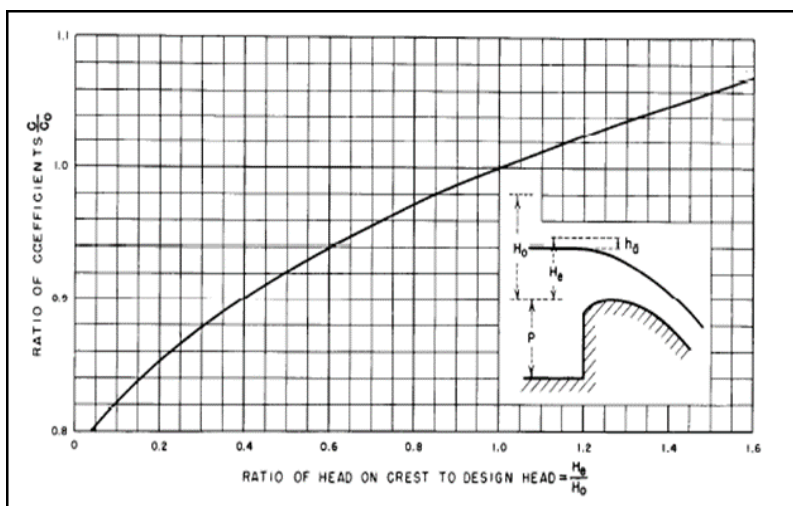
- Kedalaman air di dalam saluran pengarah aliran,
- Kemiringan lereng udik bendung,
- Tinggi air di atas mercu bendung,
- Perbedaan antara tinggi air rencana pada saluran pengatur aliran yang bersangkutan.

Semakin rendah air di atas ambang, koefisien (C) akan berkurang. Pengaruh-pengaruh kedalaman air di dalam saluran pengarah aliran dan kemiringan lereng hulu bendung terhadap angka (C) pada berbagai bangunan pelimpah dapat dilihat pada Gambar 2.1 sampai 2.3:



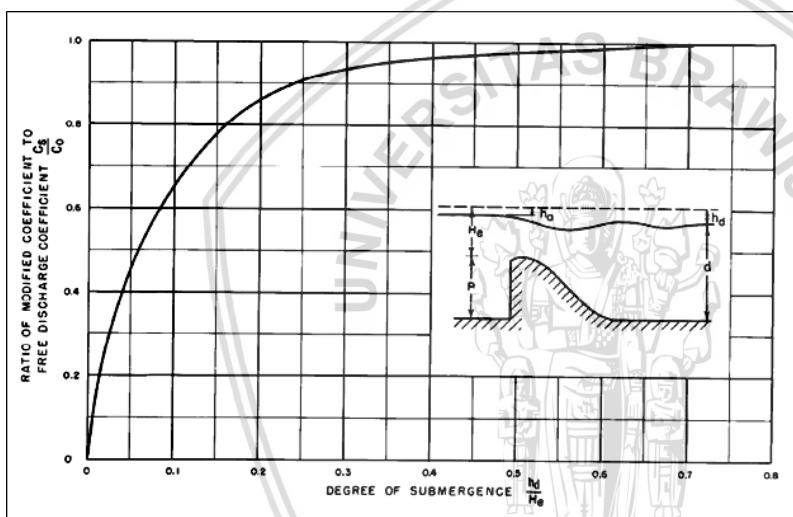
Gambar 2.1 Koefisien limpahan dipengaruhi oleh faktor P/H_0

Sumber: United States Department of The Interior: Bureau of Reclamation (1973, p.370).



Gambar 2.2 Koefisien limpahan dipengaruhi oleh faktor H_e/H_o

Sumber: United States Department of The Interior: Bureau of Reclamation (1973, p.371).



Gambar 2.3 Koefisien limpahan dipengaruhi oleh faktor H_d/H_e

Sumber: United States Department of The Interior: Bureau of Reclamation (1973, p.371).

Jika aliran di belakang ambang cukup tinggi, maka akan mempengaruhi debit yang masuk ambang dan disebut dengan aliran tenggelam. Kondisi ini sangat jarang atau hampir tidak pernah untuk aliran pelimpah dan hanya mungkin pada konstruksi bendung.

c. Lebar efektif ambang pelimpah (B_{eff})

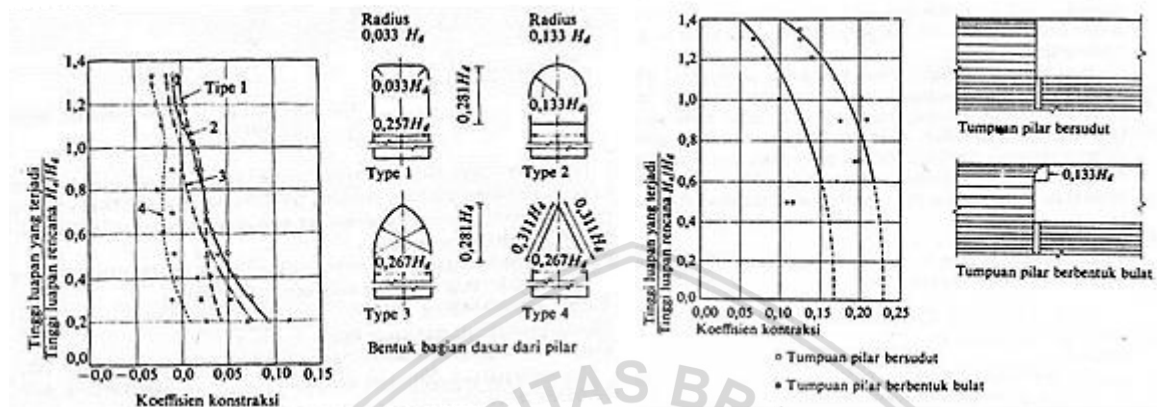
Pada saat terjadi debit *outflow* yang melintasi mercu ambang pelimpah akan terjadi kontraksi aliran baik pada kedua dinding samping maupun pada pilar-pilarnya. Debit air yang melewati mercu ambang pelimpah didasarkan pada lebar efektifnya. Besarnya perbandingan antara B_{eff} dan B dipengaruhi oleh bentuk pilar bagian hulu, tembok tepi dan kedalaman air. (United States Department of The Interior: Bureau of Reclamation, 1987, p.370)

$$B_{eff} = B - 2 (N \cdot K_p + K_a) H \dots \dots \dots (2-2)$$

Koefisien kontraksi tembok tepi sebagai berikut:

- Tembok tepi bersudut runcing 0,2
- Tembok tepi bersudut bulat/tumpul 0,1

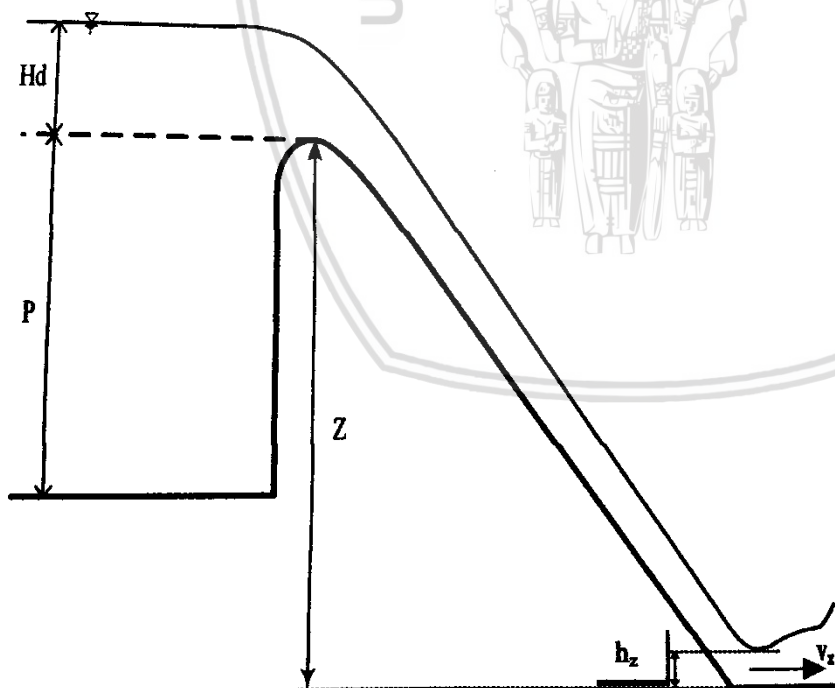
Atau dengan grafik pada dan Gambar 2.4 untuk kontraksi tembok tepi:



Gambar 2.4 Koefisien kontraksi pilar sesuai dengan bentuk tumpuannya.

Sumber: Sosrodarsono (2002, p.183).

d. Tinggi Muka Air diatas Pelimpah (*Crest*) dan Tubuh Pelimpah



Gambar 2.5 Tinggi muka air di atas tubuh pelimpah

Sumber: Chow (1997, p.347).

Kecepatan aliran teoritis pada pelimpah dapat dihitung dengan rumus sebagai berikut:

(Chow, 1997, p.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 aliran (m^3/dt)

L = lebar efektif pelimpah (m)

V_z = kecepatan aliran (m/dt)

g = percepatan gravitasi (m/dt^2)

Z = jarak vertikal dari permukaan hulu sampai lantai kaki hilir (m)

H_d = tinggi tekan air hulu (m)

y_z = kedalaman aliran di kaki pelimpah (m)

F_z = bilangan Froude

Sedangkan untuk menghitung tinggi muka air di atas mercu (*crest*) pelimpah, digunakan persamaan dimana kondisi di atas mercu (*crest*) pelimpah dianggap kritis (nilai $F_r = 1$) sehingga:

$$F_r = \frac{v}{\sqrt{g \cdot y_{cr}}} = \frac{\left[\frac{Q}{L \cdot y_{cr}} \right]}{\sqrt{g \cdot y_{cr}}} \dots \dots \dots (2-6)$$

$$y_{cr} = \sqrt[3]{\frac{q^2}{g}} \dots \dots \dots (2-7)$$

dengan:

y_{cr} = tinggi muka air kritis di atas mercu pelimpah (m)

q = debit aliran persatuan lebar ($m^3/dt/m'$)

g = percepatan gravitasi (m/dt^2)

2.3 Saluran Transisi

Saluran transisi pada bangunan pelimpah diperlukan untuk menghubungkan perubahan penampang dari ukuran dimensi yang lebih besar ukuran yang lebih kecil pada ruas hilir profil pelimpah sampai ke suatu potongan sebelum menuju ke saluran peluncur. Sedangkan secara lebih rinci umumnya perlu dibuat apabila:

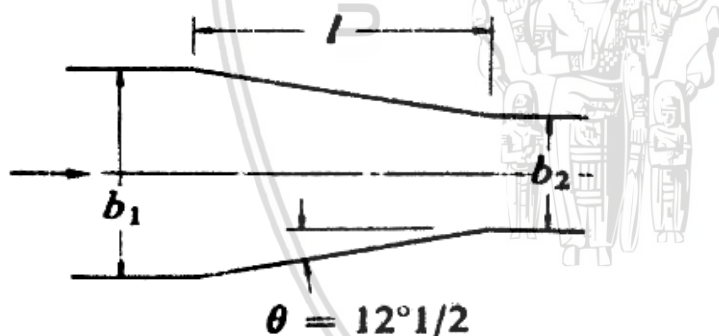
1. Ada perbedaan lebar antara ambang dan peluncur (ambang selalu lebih besar daripada saluran peluncur).
2. Ada perbedaan bentuk antara penampang ambang dan peluncur. Seringkali ambang berbentuk trapesium dan peluncur berbentuk segi empat.

3. Menenangkan aliran yang mempunyai turbulensi tinggi
4. Membuat kontrol hidraulis

Saluran transisi direncanakan agar debit banjir rencana yang akan disalurkan memberikan kondisi yang paling menguntungkan, baik pada aliran di dalam saluran transisi tersebut maupun pada aliran permulaan yang akan menuju saluran peluncur, dimana pada aliran permulaan yang akan menuju saluran peluncur diharapkan terjadi aliran kritis, karena pada potongan ini merupakan titik kontrol sebagai awal perhitungan kedalaman secara hidrolik.

2.3.1 Penyempitan Pada Saluran Transisi

Pada hakikatnya belum ada cara yang paling baik untuk merencanakan bentuk saluran transisi dan karenanya saluran tersebut direncanakan dengan pertimbangan yang didasarkan pada pengalaman-pengalaman serta pada pengujian-pengujian *model test* hidraulika di laboratorium. Untuk bangunan pelimpah yang relatif kecil, biasanya saluran ini dibuat dengan dinding tegak yang makin menyempit ke hilir dengan sudut inklinasi sebesar $>12^{\circ}30'$ terhadap sumbu saluran peluncur, seperti yang dapat dilihat pada Gambar 2.6:



Gambar 2.6 Skema penyempitan pada saluran transisi

Sumber: Sosrodarsono (1977, p.203).

Akan tetapi kondisi topografi yang kurang menguntungkan, kadang-kadang memaksakan pembuatan dinding saluran yang melebihi sudut inklinasi tersebut. Dalam kondisi yang demikian, maka pengujian-pengujian *model test* hidraulika sangat membantu, agar dapat diperoleh bentuk yang paling sesuai dalam berbagai variasi debit yang akan melintasi bangunan pelimpah.

Perhitungan hidraulika pada saluran transisi mengkondisikan aliran di ujung saluran transisi adalah subkritis dan hilir kritis sesuai dengan Rumus Bernoulli, yakni:

$$d_e + \frac{v_e^2}{2g} = d_c + \frac{v_c^2}{2g} + \frac{K(v_e^2 - v_c^2)}{2g} + h_m \dots\dots\dots (2-8)$$

dengan:

d_e = kedalaman aliran masuk ke dalam saluran transisi

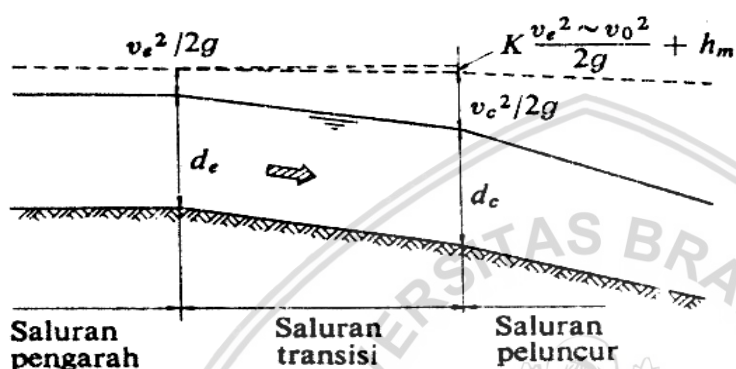
v_e = kecepatan aliran masuk ke dalam saluran transisi

d_c = kedalaman kritis pada ujung hilir saluran transisi

v_c = kecepatan aliran kritis pada ujung hilir saluran transisi

K = koefisien kehilangan tinggi tekanan yang disebabkan oleh perubahan penampang lintang saluran transisi (0,1 — 0,2)

h_m = kehilangan total tinggi tekanan yang disebabkan oleh gesekan dan lain-lain.



Gambar 2.7 Skema aliran pada saluran transisi

Sumber: Sosrodarsono (1977, p.204)

2.4 Saluran Peluncur

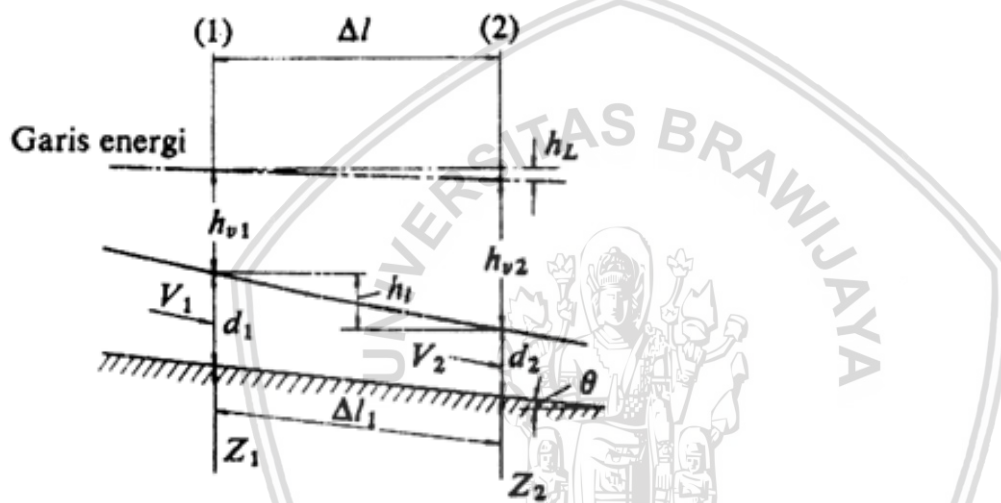
Saluran peluncur merupakan saluran pembawa dari ujung hilir saluran transisi sampai ke peredam energi. Agar saluran peluncur mempunyai volume beton kecil, maka alirannya harus mempunyai kecepatan tinggi. Saluran ini direncanakan dengan aliran super kritis, dengan $Fr > 1$, namun tidak sampai $Fr < 9$. Profil muka air pada saluran peluncur gelombang alirannya sudah menurun dan relatif berkurang dibanding pada bagian saluran transisi.

Dalam merencanakan saluran peluncur (*flood way*), harus memenuhi persyaratan sebagai berikut (Sosrodarsono, 2002, p.205):

1. Agar air yang melimpah dari saluran pengatur mengalir dengan lancar tanpa hambatan-hambatan hidrolis.
2. Agar konstruksi saluran peluncur cukup kukuh dan stabil dalam menampung semua beban yang timbul.
3. Agar biaya konstruksinya diusahakan seekonomis mungkin.

Guna memenuhi persyaratan tersebut, supaya diperhatikan hal-hal sebagai berikut:

1. Diusahakan agar tampak atanya selurus mungkin. Jika bentuk lengkung tidak bisa dihindarkan, maka harus dibuat lengkung dengan jari-jari (r) cukup besar.
2. Penampang lintang saluran peluncur sebagai patokan supaya diambil bentuk persegi empat.
3. Kemiringan dasar saluran diusahakan sedemikian rupa, sehingga semakin ke hilir semakin curam, agar kecepatan aliran dapat ditingkatkan secara berangsur-angsur dan kemudian aliran berkecepatan tinggi di dalam saluran tersebut tidak menimbulkan gejala kavitasi yang akan menghancurkan permukaan dasar saluran serta getaran-getaran yang ditimbulkan akan dapat memberikan efek yang negatif pada stabilitas saluran peluncur.



Gambar 2.8 Skema penampang memanjang aliran pada saluran peluncur.

Sumber: Sosrodarsono (2002, p.208)

Perhitungan profil muka air pada saluran peluncur dapat didekati dengan rumus kekekalan energi dalam aliran (persamaan Bernoulli), sebagai berikut:

$$z_1 + d_1 + h_{v1} = z_2 + d_2 + h_{v2} + h_L + h_e \dots\dots\dots (2-9)$$

dengan:

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

d = kedalaman air pada bidang tersebut (m)

h_v = tinggi tekan kecepatan pada bidang tersebut (m)

h_L = kehilangan tinggi tekan yang terjadi di antara 2 (dua) bidang vertical yang ditentukan akibat gesekan (m), dinyatakan dengan:

$$h_L = S_f \cdot \Delta l \quad ; \quad S_f = \frac{n^2 \cdot v^2}{R^{4/3}} \dots\dots\dots (2-10)$$

h_e = kehilangan tinggi tekan akibat perubahan penampang (m)

$$h_e = K \cdot \left| \frac{V_1^2 - V_2^2}{2g} \right| \dots\dots\dots (2-11)$$

g = percepatan gravitasi (m/dt^2)

sehingga menjadi:

$$\frac{V_1^2}{2g} + d_1 + S_0 \cdot \Delta l = \frac{V_2^2}{2g} + d_2 + h_l \dots\dots\dots (2-12)$$

dengan:

Δl = jarak horizontal antara bidang-1 dan bidang-2 (m)

h_l = kehilangan tinggi tekanan (m)

V_1 = kecepatan aliran pada bidang-1 (m/dt)

V_2 = kecepatan aliran pada bidang-2 (m/dt)

d_1 = kedalaman air pada bidang-1 (m)

d_2 = kedalaman air pada bidang-2 (m)

S_0 = kemiringan dasar saluran peluncur

2.5 Baffled Chute

Baffled Chute atau *Apron* merupakan salah satu dari tipe peredam energi yang direkomendasikan oleh USBR (peredam energi kolam olakan tipe IX), yang penempatannya biasanya pada saluran peluncur pada sistem pelimpah. Bangunan ini telah digunakan pada proyek-proyek irigasi selama bertahun-tahun. Fakta bahwa banyak dari struktur ini telah dibangun dan menunjukkan hasil yang memuaskan, mengindikasikan bahwa bangunan ini praktis dan dalam beberapa kasus bangunan ini adalah jawaban ekonomis dari masalah peredaman energi. Struktur prototipe yang dibangun dengan rekomendasi desain oleh USBR telah berhasil teruji dengan baik, bahkan ketika dioperasikan debit melebihi batas yang direncanakan. Struktur ini dibangun dengan beberapa baris blok atau *baffled chute* dengan jarak yang seragam. Efek dari *baffled chute* adalah untuk menghilangkan energi kinetik yang didapat dari terjunan. Sehingga kecepatan aliran tetap dalam batas-batas yang dapat diterima ketika di dasar saluran. Bangunan ini tidak memerlukan loncatan air untuk efektif, meskipun dasar saluran permukaan tidak dalam dan kurang ekstensif ketika loncatan air mengisi kolam olakan saat debit mengalir. Beberapa baris dari *baffled chute* pada saluran peluncur mencegah percepatan aliran yang berlebihan dan membuat kecepatan aliran masuk akal, terlepas dari ketinggian peluncur. Ketika aliran lewat di antara dan di sekitar *baffled chute*, dalam hal ini tidak mungkin

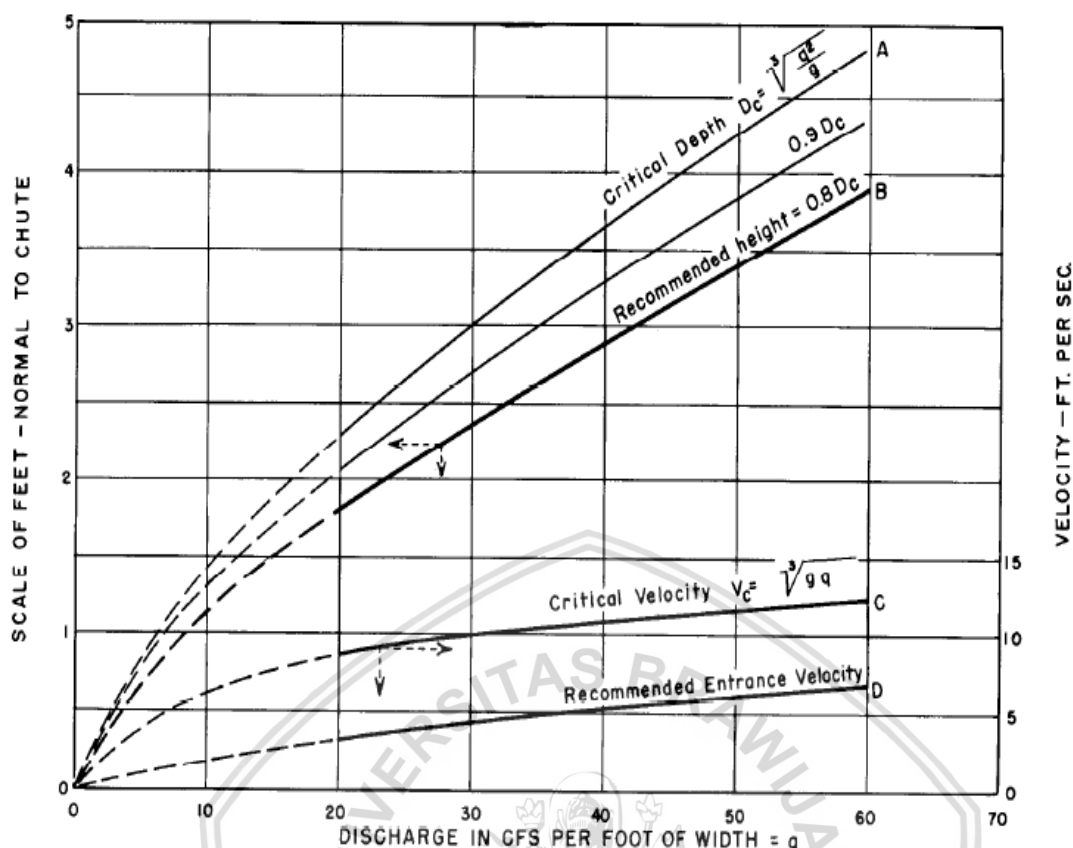
untuk menentukan kondisi aliran pada saluran secara biasa. Arus permukaannya melambat di setiap *baffled chute* dan menjadi cepat setelah melewati *baffled chute*, besarnya kecepatan arus tergantung pada debit dan ketinggian *baffled chute*.

Baffled Chute dibangun pada lereng yang memiliki kemiringan dengan memanjang ke bagian bawah saluran. *Backfill* yang ditempatkan pada satu atau lebih baris *baffled chute* di atasnya berfungsi untuk mengembalikan ketinggian dasar aliran di awal. Ketika permukaan atau dasar saluran terjadi degradasi, *baffled chute* baris selanjutnya yang akan menerima dampaknya dan mencegah percepatan aliran yang berlebihan pada saluran. Jika degradasi tidak terjadi, di permukaan akan tercipta kolam olakan pada dasar saluran hilir *baffled chute* yang bertujuan untuk menstabilkan pola permukaan. Jika degradasi terjadi berlebihan, maka diperlukan untuk memperpanjang saluran.

Sejumlah *baffled chute* telah dibangun dan dicoba di lapangan. Beberapa struktur yang sudah ada dikembangkan dari desain yang diperoleh dari uji model hidraulik yang dibuat. Desain lainnya untuk struktur yang ada, didapat dengan memodifikasi desain uji model yang teruji namun menyesuaikan dengan kondisi topografi dan aliran setempat.

Berikut secara sederhana perencanaan desain *Baffled Chute*:

1. *Baffled Chute* harus didesain untuk debit inflow maksimum, Q .
2. Untuk unit debit desain $\left(q = \frac{Q}{W}\right)$ dimungkinkan hingga sebesar 60 c.f.s. (*cubic feet per second*) per kaki atau $1,7 \text{ m}^3/\text{det per m}$ dari lebar saluran, W . Pada kondisi aliran yang cukup parah pada dasar saluran, q berkisar 35 c.f.s. per kaki ($0,99 \text{ m}^3/\text{det per m}$) dan kondisi aliran yang relatif ringan, q berkisar 20 c.f.s. per kaki ($0,57 \text{ m}^3/\text{det per m}$) atau kurang.



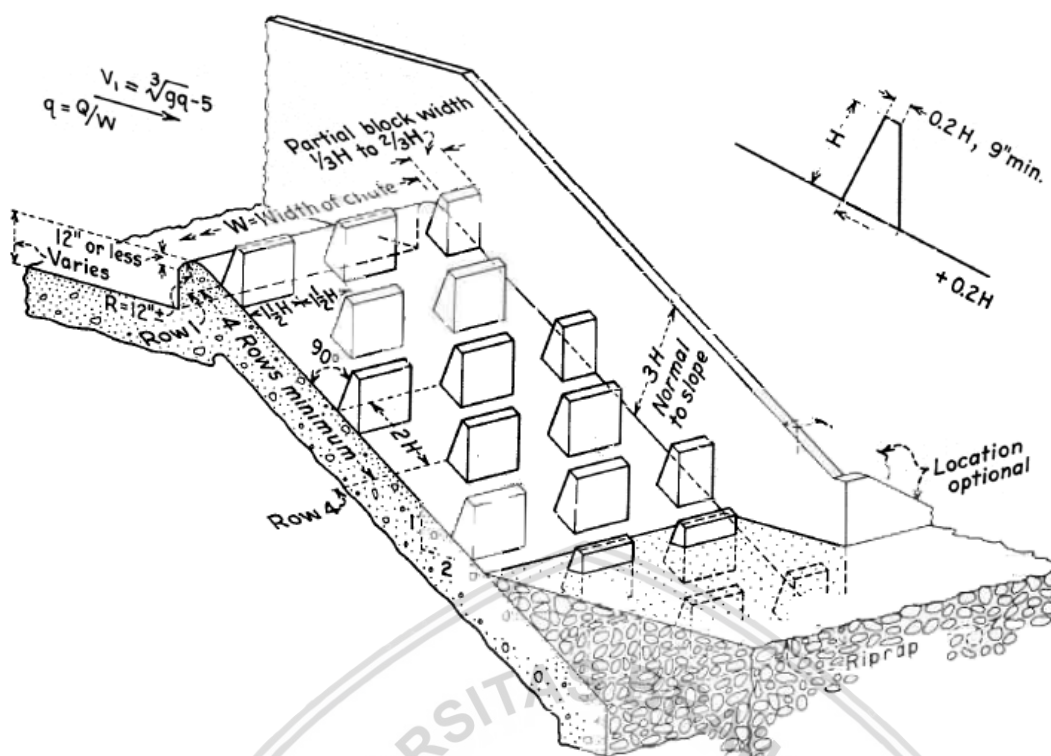
Gambar 2.9 Kurva rekomendasi ketinggian *baffled chute* dan kecepatan yang diijinkan.

Sumber: Peterka (1978, p.174)

- Kecepatan masuk, V_1 , sebisa mungkin serendah apa yang sudah ada. Kondisi ideal terjadi ketika $V_1 = \sqrt[3]{gq} - 5$ (kurva D, pada gambar 2.10). Kondisi aliran tidak dianjurkan ketika $V_1 = \sqrt[3]{gq}$ (kurva C, pada gambar 2.10).
- Penyeimbang vertikal antara lantai saluran masuk dengan *baffled chute*, digunakan untuk membuat kolam olakan atau V_1 yang diinginkan dan akan bervariasi dalam setiap instalasi. Kurva radius pendek digunakan untuk merencanakan puncak *baffled chute*. Baris pertama dari barisan *baffled chute* ditempatkan dekat dengan bagian atas *crest* peluncur dan tidak lebih dari 12 inci/1 feet (0,30 m) dari ketinggian di bawah puncak.
- Ketinggian *baffled chute*, H , harus sekitar $0,8 D_c$ (kurva B, gambar 2.10). Kedalaman kritis pada *baffled chute* persegi panjang adalah $D_c = \sqrt[3]{\frac{q^2}{g}}$ (kurva A, gambar 2.10). Dimensi ketinggian *baffled chute* tidak selalu dipermasalahkan tetapi tidak boleh kurang dari yang direkomendasikan. Ketinggian dapat ditinggikan hingga $0,9 D_c$ (gambar 2.10).

6. Lebar dan jarak *baffled chute* harus sama, sebaiknya dikisaran $3/2 H$, tapi tidak kurang dari H . Dimensi *baffled chute* yang lain tidak diharuskan ditampilkan pada potongan melintang. *Baffled chute*, dengan lebar $1/3 H$ hingga $2/3 H$, harus ditempatkan menghadap dinding penahan di baris 1, 3, 5, 7, dan seterusnya bergantian dengan lebar yang sama di baris 2, 4, 6, dst.
7. Jarak sepanjang lereng antara deretan *baffled chute* harus $2H$, dua kali ketinggian *baffled chute*, H . Saat ketinggian *baffled chute* kurang dari 3 feet (0,91 m), jarak antar baris mungkin lebih besar dari $2H$ tetapi tidak boleh melebihi 6 feet (1,83 m).
8. *Baffled chute* biasanya dibangun dengan sisi tegak menghadap ke hulu dan sisi miring menghadap hilir. Namun, *baffled chute* dengan tampak vertical juga dapat digunakan. *Baffled chute* vertikal cenderung menghasilkan lebih banyak percikan dan lebih sedikit penggerusan dasar saluran, tetapi tidak signifikan.
9. Setidaknya diperlukan empat baris *baffled chute* untuk mengendalikan aliran, walaupun dengan lebih sedikit baris juga sudah bisa berhasil. Baris tambahan melebihi baris keempat berfungsi untuk mempertahankan kendali aliran hulu dan banyaknya baris dapat dibangun jika memang diperlukan. *Baffled chute* harus diperluas ke bawah dasar saluran hilir.
10. Dinding penahan *baffled chute* harus tiga kali lebih tinggi dari ketinggian *baffled chute*, untuk mempertahankan aliran air dan menahan percikan. Tidak terlalu disarankan untuk menambah ketinggian dinding agar menampung semua percikan.

Ada juga varian desain untuk layout alternatif aliran masuk yang lain. Baris pertama dan kedua *baffled chute* dihapuskan dan digantikan oleh dentated sill berbentuk segitiga. Alasan untuk modifikasi ini adalah menghindari struktur tersumbat oleh puing-puing besar yang terjebak oleh *baffled chute* baris pertama.



Gambar 2.10 Dasar perencanaan *baffled chute*

Sumber: Peterka (1978, p.188)

2.6 Peredam Energi

Sebelum aliran air yang melintasi bangunan pelimpah dikembalikan lagi ke dalam sungai, maka aliran dengan kecepatan yang tinggi dalam kondisi superkritis tersebut harus diperlambat dan diubah pada kondisi aliran subkritis. Dengan demikian kandungan energi dengan daya penggerus yang sangat kuat timbul dalam aliran tersebut harus direduksi hingga mencapai mencapai tingkat normal kembali, sehingga aliran tersebut kembali ke dalam sungai tanpa membahayakan kestabilan alur sungai yang bersangkutan (Sosrodarsono, 2002, p.213).

Peredam energi mempunyai berbagai tipe yang disesuaikan dengan kondisi topografi dan sistem kerjanya:

1. Tipe loncatan (*water jump type*)
2. Tipe kolam olakan (*stilling basin type*)
3. Tipe bak pusaran (*roller bucket type*).

Agar diperoleh tipe peredam energi yang sesuai untuk bangunan pelimpah, maka perlu dipertimbangkan hal-hal sebagai berikut:

1. Gambaran karakteristik hidrolis pada peredam energi yang direncanakan.

2. Hubungan lokasi antara peredam energi dengan tubuh bendungan.
3. Karakteristik hidrolis dan karakteristik konstruktif dari bangunan pelimpah.
4. Kondisi-kondisi topografi, geologi dan Hidrolika di daerah tempat kedudukan peredam energi.
5. Situasi serta tingkat perkembangan dari sungai di sebelah hilir.

2.6.1 Tipe Kolam Olakan (Stilling Basin Type)

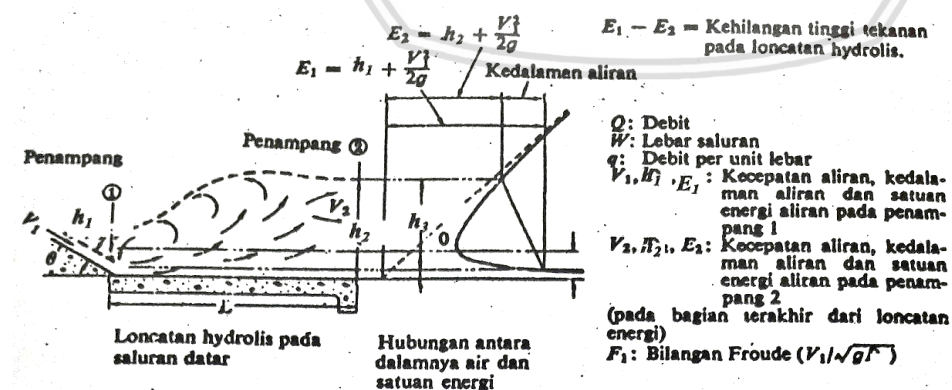
Kebanyakan tipe peredam energi yang digunakan sebagai dasar perencanaan umumnya adalah peredam energi tipe kolam olakan (*stilling basin type*), yang prinsip peredaman energinya sebagian besar terjadi akibat pergesekan atau benturan di antara molekul-molekul air, sehingga timbul olakan-olakan di dalam kolam tersebut, oleh karenanya dinamakan peredam energi tipe kolam olakan.

Menurut USBR, ada 4 tipe kolam olakan dalam perencanaan peredam energi kolam olak datar, yaitu:

1) Kolam Olakan Tipe I

Tipe ini digunakan untuk debit yang kecil dengan kapasitas peredaman energi yang kecil pula dan kolam olakannya berdimensi kecil. Tipe ini biasanya dibangun untuk suatu kondisi yang tidak memungkinkan pembuatan perlengkapan-perengkapan lainnya pada kolam olak tersebut. Secara teori kolam olakan tipe I cocok untuk keadaan sebagai berikut:

- Aliran dengan tekanan hidrostatik yang rendah ($P_w < 60$ m)
- Debit yang dialirkan kecil (debit spesifik $q < 18,5$ m³/det/m)
- Bilangan Froude di akhir saluran peluncur $< 4,50$.



Gambar 2.11 Bentuk kolam olakan tipe I

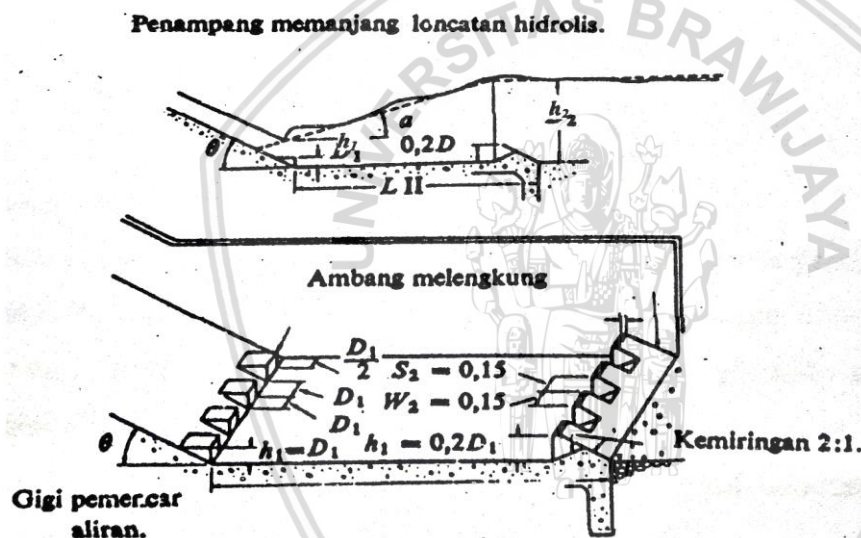
Sumber: Sosrodarsono (1989, p.217)

2) Kolam Olakan Tipe II

Kolam olakan ini dilengkapi dengan gigi-gigi pemencar aliran di pinggir hulu dasar kolam dan ambang bergerigi di pinggir hilirnya. Kolam olakan tipe ini digunakan untuk aliran dengan tekanan hidrostatik yang tinggi dan dengan debit yang besar. Secara teori kolam olakan tipe II cocok untuk keadaan sebagai berikut:

- Aliran dengan tekanan hidrostatik yang sangat tinggi ($P_w < 60\text{m}$)
- Debit yang dialirkan besar (debit spesifik $q > 45\text{ m}^3/\text{det}/\text{m}$)
- Bilangan Froude di akhir saluran peluncur $> 4,50$.

Gigi-gigi pemencar aliran berfungsi untuk lebih meningkatkan efektifitas peredaman, sedangkan ambang bergigi berfungsi sebagai penstabil loncatan hidraulis dalam kolam olakan tersebut. Kolam olakan tipe ini sangat sesuai untuk bendungan tipe urugan dan penggunaanya cukup luas.



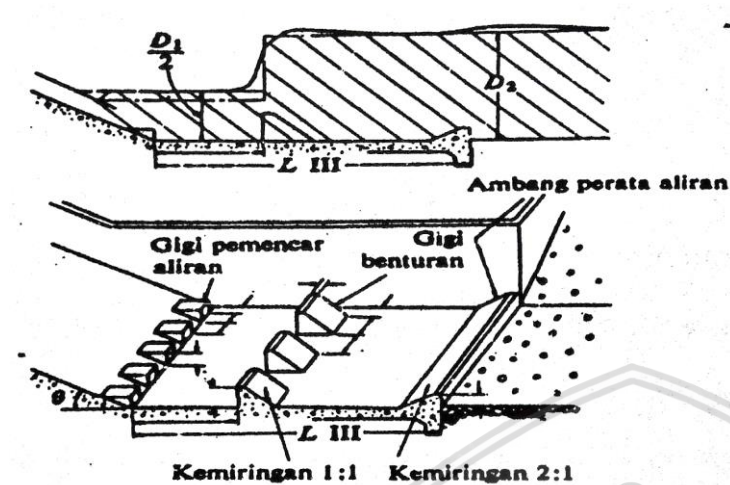
Gambar 2.12 Bentuk kolam olakan tipe II

Sumber: Sosrodarsono (1989, p.218)

3) Kolam Olakan Tipe III

Pada dasarnya prinsip kerja kolam olakan ini mirip dengan sistem kerja kolam olakan tipe II, namun lebih sesuai untuk mengalirkan air dengan tekanan hidrostatik yang rendah dan debit yang agak kecil. Untuk mengurangi panjang kolam olakan, biasanya dibuatkan gigi pemencar aliran di tepi hulu dasar kolam dan gigi penghadang aliran pada dasar kolam olakan. Kolam olakan tipe ini biasanya untuk bangunan pelimpah pada bendungan urugan yang rendah. Secara teori kolam olakan tipe III cocok untuk keadaan sebagai berikut:

- Aliran dengan tekanan hidrostatik yang rendah ($P_w < 60 \text{ m}$)
- Debit yang dialirkan kecil (debit spesifik $q < 18,5 \text{ m}^3/\text{det}/\text{m}$)
- Bilangan Froude di akhir saluran peluncur $> 4,50$.



Gambar 2.13 Bentuk kolam olakan tipe III

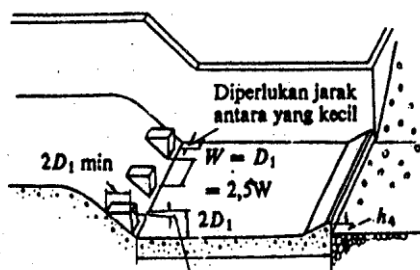
Sumber: Sosrodarsono (1989, p.218)

4) Kolam Olakan Tipe IV

Sistem kerja kolam olakan tipe ini sama dengan sistem kerja kolam olakan tipe III, tetapi penggunaannya yang cocok adalah untuk aliran dengan tekanan hidrostatik yang rendah dan debit yang besar per unit lebar. Biasanya kolam olakan ini digunakan pada bangunan pelimpah suatu bendungan urugan yang sangat rendah. Secara teori kolam olakan tipe IV cocok untuk keadaan sebagai berikut:

- Aliran dengan tekanan hidrostatik yang rendah ($P_w < 60 \text{ m}$)
- Debit yang dialirkan relative besar (debit spesifik $q > 18,5 \text{ m}^3/\text{det}/\text{m}$)
- Bilangan Froude di akhir saluran peluncur 2,5 s/d 4,5.

Berhubung peredaman energi untuk aliran dengan angka Froude antara 2,5 s/d 4,5 umumnya sangat sukar, karena getaran hidraulik yang timbul pada aliran tersebut tidak dapat dicegah secara sempurna, maka apabila keadaannya memungkinkan, sebaiknya lebar kolam diperbesar, supaya bilangan Froude yang ditimbulkan diluar angka-angka tersebut.



Puncak gigi pemencar aliran hendaknya dibuat 5° condong ke hilir. Jarak antara dua gigi pemencar = 2,5 W

Gambar 2.14 Bentuk kolam olakan tipe IV

Sumber: Sosrodarsono (1989, p.219)

Rumus hidraulika struktur yang digunakan dalam perhitungan pada tipe kolam olakan antara lain yaitu:

- Panjang loncatan hidraulis dan kedalaman minimum air yang diperkenankan di hilir

$$\frac{D_2}{D_1} = \frac{1}{2} \left(\sqrt{1 + 8F_1^2} - 1 \right) \dots\dots\dots (2-13)$$

$$L = A(D_2 - D_1) \dots\dots\dots (2-14)$$

$$F_1 = \frac{V_1}{\sqrt{gD_1}} \dots\dots\dots (2-16)$$

dengan:

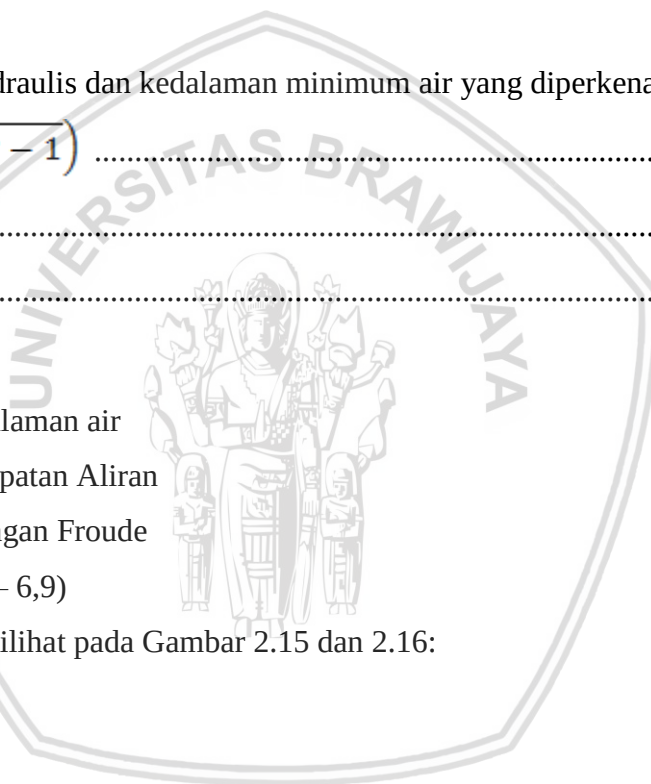
D_1 dan D_2 = Kedalaman air

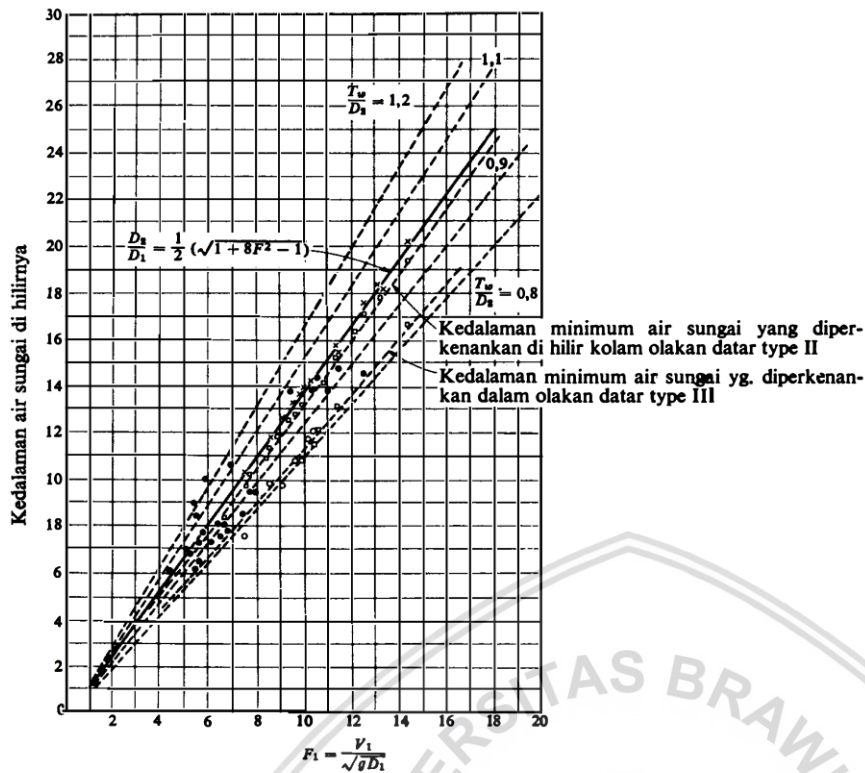
V_1 = Kecepatan Aliran

F_1 = Bilangan Froude

A = (5,0 – 6,9)

Seperti yang dapat dilihat pada Gambar 2.15 dan 2.16:

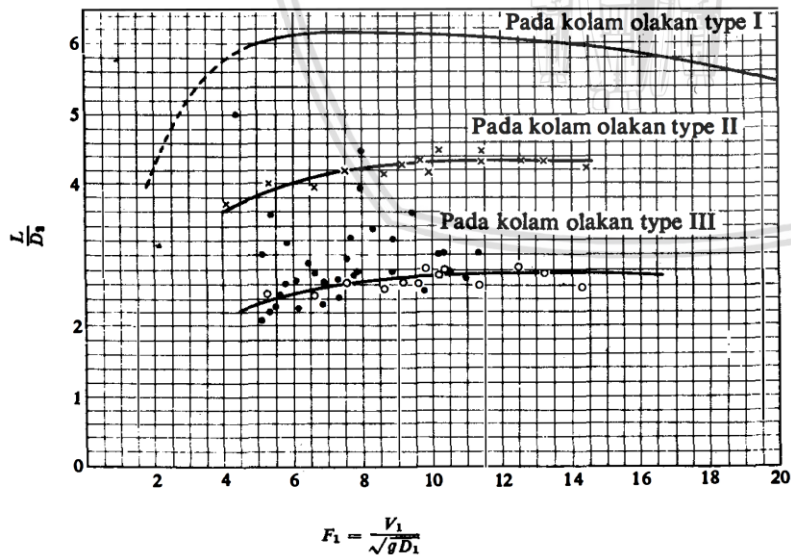




- × —Kondisi pengujian-pengujian model untuk kolam olakan datar type I
- —Kondisi sebenarnya kolam olakan datar type II
- —Kedalaman minimum air sungai untuk kolam olakan datar type II
- —Kedalaman minimum air sungai untuk kolam olakan datar type III

Gambar 2.15 Grafik kedalaman minimum air di hilir kolam olakan (tipe I, II dan III)

Sumber: Sosrodarsono (1989, p.221).



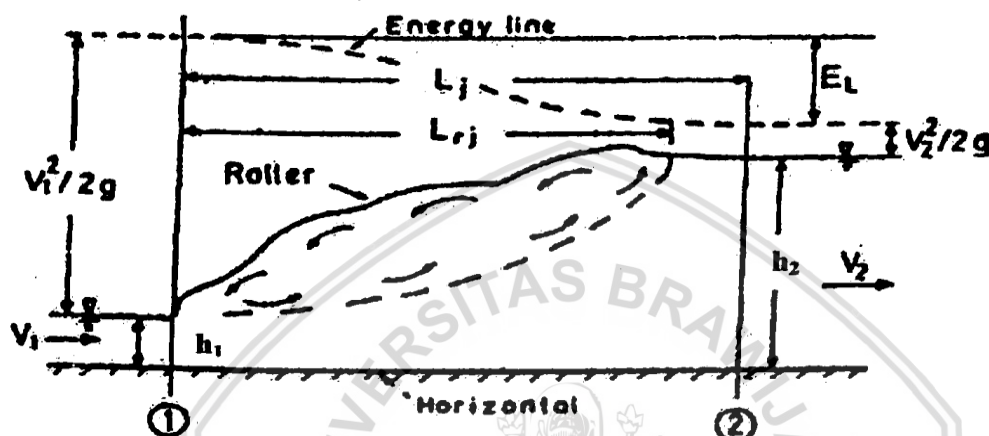
- —Kondisi sesungguhnya pada kolam olakan type II
- × —Kondisi pengujian model untuk kolam olakan type II
- —Kondisi pengujian model untuk kolam olakan type III

Gambar 2.16 Grafik panjang loncatan hidraulis pada kolam olakan (tipe I, II dan III)

Sumber: Sosrodarsono (1989, p.222).

2.7 Loncatan Hidraulik

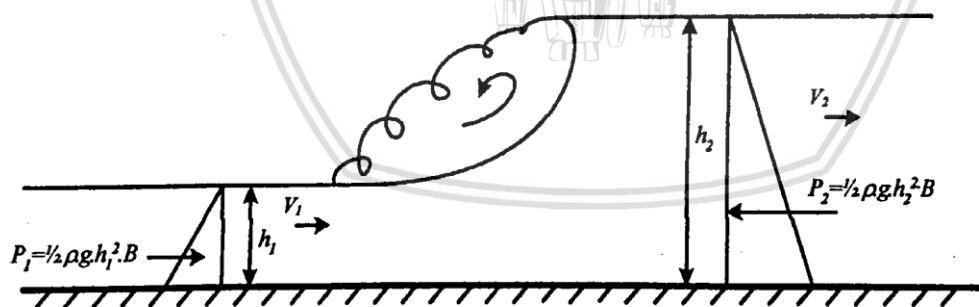
Loncatan hidraulik terjadi apabila suatu aliran berubah dari kondisi superkritis ke kondisi subkritis. Terdapat suatu kenaikan yang tiba-tiba pada permukaan air dan kehilangan energi yang besar dalam loncatan hidraulik. Pusaran turbulen yang berukuran besar terbentuk pada awal loncatan. Pusaran ini menarik energi dari aliran utama dan pusaran terpecah-pecah menjadi bagian-bagian yang lebih kecil sambil mengalir ke hilir (Subramanya, 1986, p.185), seperti yang terlihat pada Gambar 2.17:



Gambar 2.17 Sketsa loncatan hidraulik

Sumber: Subramanya (1986, p.189).

Pada peristiwa loncatan hidraulik, komponen dasar yang berpengaruh pada perhitungan energy adalah persamaan momentum, seperti pada Gambar 2.18:



Gambar 2.18 Persamaan momentum dalam loncatan hidraulik

Sumber: Raju (1986, p.12).

Dengan persamaan:

$$P_1 - P_2 = \rho \cdot Q (v_2 - v_1) \dots\dots\dots (2-17)$$

$$\left[\frac{1}{2} \rho \cdot g \cdot h_1^2 - \frac{1}{2} \rho \cdot g \cdot h_2^2 \right] \cdot B = \rho \cdot v_1 \cdot h_1 \cdot B (v_2 - v_1) \dots\dots\dots (2-18)$$

$$(h_1 - h_2)(h_1 + h_2) = \frac{2v_1^2}{g} \cdot (v_2 - v_1) \dots\dots\dots (2-19)$$

Sedangkan dari persamaan kontinuitas:

$$q = v_1 \cdot y_1 = v_2 \cdot y_2 \dots\dots\dots (2-20)$$

Dengan menggabungkan persamaan diatas, diperoleh:

$$(h_1 + h_2) = \frac{2v_1^2}{g} \cdot \frac{h_1}{h_2} \dots\dots\dots (2-21)$$

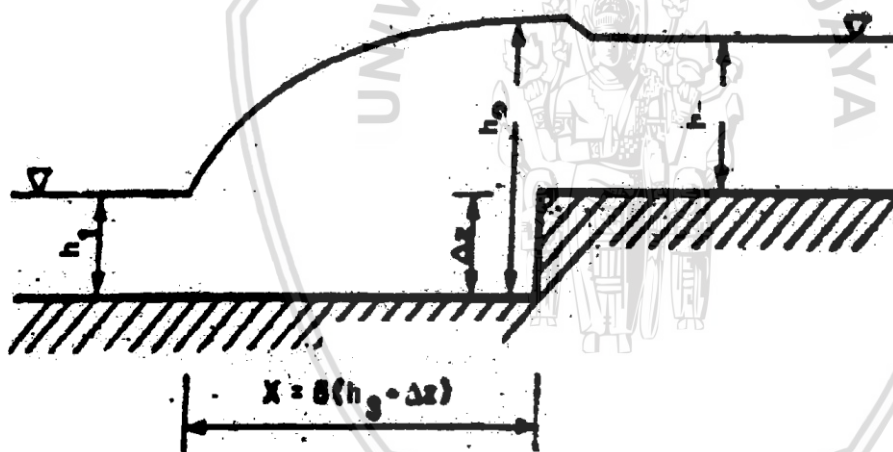
$$\frac{h_2}{h_1} \left(1 + \frac{h_2}{h_1}\right) = 2F_1^2 \dots\dots\dots (2-22)$$

Dengan menyederhanakan persamaan diatas maka diperoleh persamaan:

$$\frac{h_2}{h_1} = \frac{1}{2} \left(\sqrt{1 + 8F_1^2} + 1 \right) \dots\dots\dots (2-23)$$

Loncatan air dapat dikendalikan, salah satunya dengan menggunakan kenaikan mendadak (*abrupt rise*). Dalam bentuk analitik Forster dan Skrinde (1950) membuat persamaan perencanaan pengendalian loncatan hidraulik dengan kenaikan mendadak (*abrupt rise*) yang didasarkan pada persamaan momentum dan kontinuitas sebagai berikut (Subramanya, 1986, p.214):

$$\left(\frac{h_3}{h_1}\right)^2 = 1 + 2F_1^2 \left(1 - \frac{h_1}{h_3}\right) + \frac{\Delta z}{h_1} \cdot \left(\frac{\Delta z}{h_1} - \sqrt{1 + 8F_1^2} + 1\right) \dots\dots\dots (2-24)$$



Gambar 2.19 Pengendalian loncatan hidraulik dengan kenaikan mendadak

Sumber: Subramanya (1986, p.213).

2.8 Kavitasasi

Bila suatu cairan mengalir ke dalam suatu daerah yang tekanannya adalah sama dengan tekanannya sama dengan tekanan uap pada temperatur tersebut, yang merupakan titik awal terjadinya kavitasasi.

Apabila gelembung udara terbawa ke daerah yang bertekanan lebih tinggi gelembung-gelembung udara tadi tiba-tiba pecah dan sekitar cairan tersebut akan mengalir dengan cepat mengisi rongga-rongga yang terjadi karena pecahnya gelembung udara. Kekuatan

dorong yang terjadi akibat keadaan tersebut pada umumnya berakibat pada tekanan setempat yang sangat tinggi, yang menyebabkan permukaan yang padat menjadi berlubang dan rusak, gejala tersebut dikenal dengan kavitasi (Dake, 1983, p.196).

Dalam pengertian lain, kavitasi adalah suatu kejadian yang timbul dalam aliran dengan kecepatan begitu besar, sehingga tekanan air menjadi lebih kecil dari pada tekanan uap air maksimum di temperatur itu. Proses ini menimbulkan gelembung-gelembung uap air yang dapat menimbulkan erosi pada konstruksi (Patty, 1995, p.99).

Pengaruh kavitasi yang paling menonjol adalah di daerah kecepatan setempat yang tinggi, menurut persamaan Bernoulli cenderung mempunyai tekanan yang rendah. Saluran peluncur yang tinggi khususnya daerah dengan lengkungan jari-jari kecil mempunyai kecenderungan untuk mengalami kavitasi.

Suatu bentuk persamaan untuk memperkirakan kavitasi berupa parameter tak berdimensi, merupakan hubungan antara gaya pelindung terhadap kavitasi (*ambient pressure*) dan penyebab kavitasi (*dynamic pressure*) disebut indeks kavitasi. Perhitungan kavitasi dengan persamaan berikut (Roberto, Cassidy, Chaudry, 1998, p.386):

$$\sigma = \frac{P_o - P_v}{\rho \frac{V_o^2}{2}} \dots\dots\dots (2-25)$$

$$C_p = \frac{P - P_o}{\rho \frac{V_o^2}{2}} \dots\dots\dots (2-26)$$

dengan:

σ = indeks kavitasi

P_o = *ambient pressure* (kPa) $\rightarrow 1 \text{ kPa} = 1000 \text{ N/m}^2$

= $P_a + P_g$

P_a = tekanan atmosfir (= 101 kPa)

$P_g = r \cdot g \cdot h$ = tekanan setempat (kPa)

h = tinggi muka air (m)

P_v = tekanan uap (kPa)

ρ = massa jenis cairan (kg/m^3)

V_o = kecepatan aliran (m/dt)

C_p = koefisien kavitasi

Kriteria timbulnya kavitasi ditentukan dengan syarat:

1. $\sigma > C_p$: tidak terjadi kavitasi
2. $\sigma \leq C_p$: terjadi kavitasi

Untuk menghitung besarnya angka kavitasi, harus diketahui besarnya massa jenis air dan tekanan uap yang mana kedua hal tersebut dipengaruhi oleh suhu saat penelitian berlangsung. Adapun besarnya nilai massa jenis air dan tekanan uap berdasarkan suhu dapat dilihat pada Tabel 2.1 berikut:

Tabel 2.1
Sifat Fisik Air pada Tekanan Atmosfer (Satuan SI)

Temperatur (t)	Massa Jenis (ρ)	Tekanan Uap (P_v)	Kekentalan Kinematis (ν)
$^{\circ}\text{C}$	Kg/m^3	kPa	$\text{m}^2/\text{dt}.10^6$
0	999,868	0,61	7,787
5	999,992	0,87	1,519
10	999,726	1,23	1,307
15	999,125	1,70	1,140
20	998,228	2,33	1,004
25	997,069	3,16	0,893
30	995,671	4,23	0,801
35	994,055	5,62	0,724
40	992,238	7,58	0,658
45	990,233	9,58	0,602
50	998,052	12,30	0,553
60	983,200	19,90	0,475
70	977,770	31,10	0,413
80	971,800	47,30	0,365
90	965,310	70,10	0,326
100	958,360	101,30	0,294

Sumber: Fahley, Henry T. (1990, p.4)

Salah satu cara untuk mencegah kavitasi adalah dengan menghilangkan sumber dari penurunan tekanan tersebut. Desain formasi dasar dapat pula digunakan untuk mengurangi penurunan tekanan yang terjadi. Mengurangi kecepatan aliran juga merupakan salah satu cara untuk mengurangi tingkat kavitasi. Ada beberapa cara untuk menghindari gejala kavitasi antara lain:

1. Penggunaan material dasar yang lebih tahan terhadap kavitasi seperti *stainless stell*, beton berlapis *fiber* yang dapat mengurangi angka kavitasi meskipun gejala tersebut masih tetap ada.

2. Dengan menggunakan sistem pengudaraan kedalaman aliran sehingga dapat mengurangi kemunculan letupan-letupan udara yang dapat menyebabkan kavitasi.

Untuk mengontrol dan mereduksi munculnya gejala kavitasi pada dinding dan dasar bangunan, penggunaan sistem pengudaraan lebih tepat digunakan karena dapat menghindarkan terjadi penurunan tekanan sampai pada tekanan uap yang dapat menyebabkan kavitasi.

2.9 Penggerusan di Hilir Bangunan Hidraulik

Gaya hidrodinamik bekerja pada suatu butiran dari sedimen atau agregat dari partikel sedimen non kohesif yang apabila telah mencapai suatu nilai yang bila bertambah sedikit saja akan menyebabkan partikel atau butiran bergerak, maka kecepatan rata-ratanya telah mencapai kondisi kritis. Untuk itu kecepatan rata-rata dari partikel butiran tersebut perlu dihitung dengan persamaan berikut:

$$U^* = (g h I)^{1/2} \dots\dots\dots (2-27)$$

dimana:

U^* = kecepatan rata-rata butiran (m/dt)

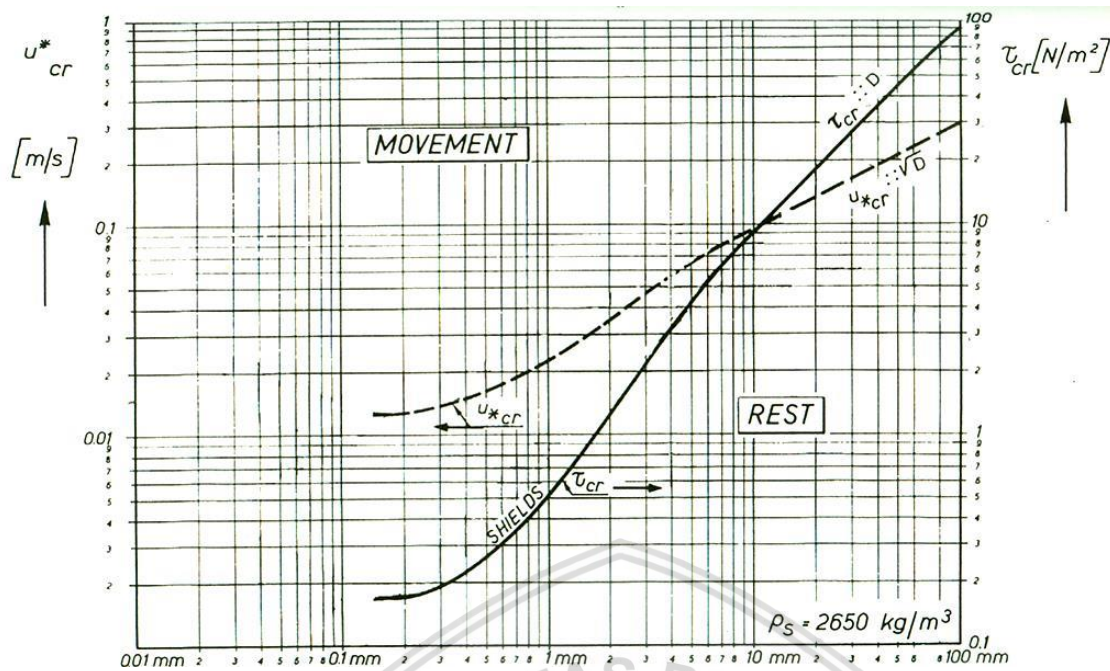
h = kedalaman rata-rata aliran (m)

I = kemiringan dasar saluran

g = gravitasi (9,81 m/dt²)

D = diameter butiran (mm).

Setelahnya, maka perlu dilakukan koreksi dengan menggunakan Grafik Shield untuk menentukan gerak butiran pada rerata ijin, seperti Gambar 2.20 berikut:



Gambar 2.20 Grafik shield

Sumber: Chow (1985).

Karakteristik gerusan pada hilir bangunan hidraulik telah menjadi subjek sejumlah penelitian dan berhubungan dengan memperkirakan kedalaman gerusan maksimum dari loncatan air. Persamaan oleh Schoklitsch secara umum ditulis dalam persamaan berikut (Priyantoro, 1987, p.80):

$$ds = 4,75 \left(\frac{H^{0,2} \cdot q^{0,5}}{D_{90}^{0,82}} \right) \dots\dots\dots (2-28)$$

dimana:

ds = kedalaman gerusan (m)

q = debit persatuan lebar ($\text{m}^3/\text{dt}/\text{m}$)

H = jarak vertikal antara garis energi dan dasar pada *stilling basin*

D_{90} = ukuran butiran (dimana 90% material tertahan).

2.10 Skala Model dan Konstruksi Model

Definisi dari skala model adalah ratio antara nilai masing-masing parameter yang ada di prototipe dengan nilai masing-masing parameter yang ada di model. Prinsip pembuatan skala adalah membentuk kembali masalah yang ada di prototipe dengan suatu angka pembanding. Sehingga kejadian (fenomena) yang ada di model sebangun dengan kondisi di prototipe.

Ada dua jenis skala model fisik hidrolika, yaitu skala model sama (*undistorted model*) dan skala model yang tidak sama (*distorted model*). Skala model sama adalah skala yang

dipakai dalam pembuatan model dimana perbandingan skala mendatar dan skala tegak adalah sama, sedangkan skala model yang tidak sama adalah perbandingan antara skala mendatar dan skala tegak yang tidak sama. Berdasarkan kondisi dasar yang digunakan, model fisik hidrolis dapat diklasifikasikan dalam dua tipe, yaitu model dengan dasar tetap (*fixed bed*) dan model dengan dasar tidak tetap (*movable bed*) (Triatmodjo, 1995).

Hubungan skala (*scale relations*) yang digunakan untuk pembuatan atau perencanaan model fisik dibedakan menjadi dua kelompok (de Vries, 1977, p.28):

- a) *Scale Law* adalah hubungan antar skala parameter yang harus dipenuhi (dalam hal ini adalah *Roughnes Condition* dan *Froude Condition*)
- b) *Scale Condition* adalah hubungan antar skala parameter yang harus dipenuhi untuk menghindari *Scale Effects* (dalam hal ini adalah kriteria kesebangunan)

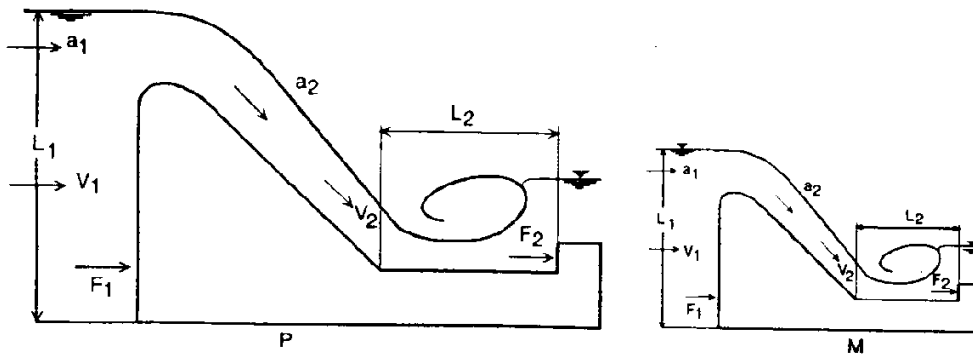
Gaya-gaya yang bekerja pada aliran zat cair dapat berupa gaya tekanan FP, gaya berat FG, gaya kental FV, gaya kenyal FE, dan gaya tegangan permukaan FST. Jika besar dan arah dari komponen gaya-gaya tersebut diketahui, maka resultan gaya dapat ditentukan. Apabila jumlah dari gaya-gaya pada elemen zat cair tidak sama dengan nol, maka elemen tersebut akan mengalami percepatan. Sistem gaya yang tidak seimbang tersebut dapat ditransformasikan menjadi sistem seimbang dengan menambah gaya inersia FI yang sama tetapi berlawanan arah dengan resultan gaya yang bekerja (R).

Dalam kebanyakan masalah teknik, tidak semua gaya-gaya tersebut bekerja secara bersamaan, atau mungkin beberapa gaya dapat diabaikan, atau saling berlawanan arah sehingga saling meniadakan. Misalnya dalam aliran sungai atau gelombang di laut, pengaruh gaya tegangan permukaan sangat kecil dibandingkan dengan gaya-gaya yang lain, sehingga gaya tersebut dapat diabaikan.

Pada pengaliran saluran terbuka, gaya yang paling dominan adalah gaya berat, sehingga gaya-gaya lain seperti gaya kenyal, tegangan permukaan, dan gaya kental dapat diabaikan. Angka Froude digunakan apabila gaya berat mempunyai pengaruh yang dominan dibandingkan gaya lain. Dan apabila suatu model dipelajari berdasarkan angka Froude, maka pengaruh gaya lain dihilangkan dengan membuat model yang besar dan permukaannya halus (Triatmodjo, 1995).

Hubungan antara model dan prototipe dipengaruhi oleh hukum-hukum sifat sebangun hidrolis. Perbandingan antara prototipe dan model disebut dengan skala model. Dalam merencanakan suatu model terdapat sifat-sifat kesebangunan model, yang amat menentukan ketelitian model tersebut.

Penjelasan mengenai sebangun geometrik, kinematik, dan dinamik dapat memperhatikan Gambar 2.21 berikut:



Gambar 2.21 Hubungan model dan *prototype* pada pengaliran melalui bangunan pelimpah

Yang dimaksudkan dengan kesebangunan tersebut adalah:

1. Sebangun geometris, disebut juga dengan sebangun bentuk. Yaitu perbandingan antara ukuran analog prototipe dengan model harus sama besarnya. Perbandingan yang digunakan adalah Panjang, Luas dan Volume.

$$n_L = \frac{\text{ukuran di prototipe}}{\text{ukuran di model}} = \frac{L_p}{L_m}$$

Semua ukuran pada titik sembarang di model dan prototipe harus mempunyai skala yang sama.

$$\text{skala panjang} \quad \frac{(L_1)_p}{(L_1)_m} = \frac{(L_2)_p}{(L_2)_m} = n_L$$

$$\text{skala luas} \quad \frac{(A_1)_p}{(A_1)_m} = \frac{(L_2^2)_p}{(L_2^2)_m} = n_L^2$$

$$\text{skala volume} \quad \frac{(V_1)_p}{(V_1)_m} = \frac{(L_2^3)_p}{(L_2^3)_m} = n_L^3$$

Sebangun geometrik sempurna tidak selalu mudah dicapai, sehingga kekasaran permukaan dari model yang kecil tidak mungkin merupakan hasil dari skala model, tetapi hanya dibuat permukaan yang lebih licin daripada prototipe.

2. Sebangun kinematis, yaitu sebangun gerakan. Perbandingan yang digunakan adalah Waktu, Kecepatan dan Debit.

$$\text{skala kecepatan} \quad \frac{v_p}{v_m} = \frac{L_p / T_p}{L_m / T_m} = \frac{n_L}{n_T}$$

$$\text{skala percepatan} \quad \frac{a_p}{a_m} = \frac{L_p / T_p^2}{L_m / T_m^2} = \frac{n_L}{n_T^2}$$

$$\text{skala debit} \quad \frac{Q_p}{Q_m} = \frac{L_p^3 / T_p}{L_m^3 / T_m} = \frac{n_L^3}{n_T^2}$$

3. Kesebangunan dinamik, yaitu kesebangunan gaya-gaya yang terjadi bila gerakannya sebangun kinematis, dan rasio dari massa yang bergerak serta gaya penyebabnya sudah homolog besarnya.

$$n_F = \frac{(F_1)_p}{(F_1)_m} = \frac{(F_2)_p}{(F_2)_m}$$

Apabila hubungan antar skala dan kesebangunan telah dipenuhi, maka tingkat ketelitian perlu diperhatikan sehubungan dengan besarnya nilai skala yang digunakan. Skala model yang digunakan dalam pengujian ini didasarkan pada beberapa pertimbangan berikut:

- Tujuan dari pengujian
- Ketelitian yang diharapkan
- Fasilitas yang tersedia di laboratorium (ruang, peralatan, dan kapasitas pompa)
- Waktu dan biaya yang tersedia

Untuk suatu bangunan pelimpah, analisa tinggi aliran di atas pelimpah dapat digunakan untuk menentukan skala model dengan penjabaran sebagai berikut (J.J. Sharp, 1986):

$$H_e = H - k_h \dots\dots\dots (2-29)$$

dengan:

H_e = tinggi efektif air di atas pelimpah (m)

H = tinggi air di atas pelimpah (m)

k_h = kehilangan tinggi = 0,457 mm untuk pelimpah mercu bulat (menurut Russel)

Debit aliran per satuan lebar di atas pelimpah dengan mempertimbangkan kedua ketinggian air tersebut adalah:

$$q_1 = C \cdot H^{3/2} \dots\dots\dots (2-30)$$

$$q_1 = C \cdot H_e^{3/2} \dots\dots\dots (2-31)$$

Penyelesaian persamaan diatas berdasarkan kontinuitas aliran menghasilkan:

$$\frac{\Delta q}{q} = 1 - \left\{ \frac{H_e}{H} \right\}^{3/2} \dots\dots\dots (2-32)$$

Dalam hal ini $\frac{\Delta q}{q}$ adalah rasio perbedaan yang diharapkan (ketelitian yang diharapkan).

2.11 Penjabaran Skala Model Tanpa Distorsi (*Undistorted*)

2.11.1 Kecepatan Aliran (n_v)

Untuk suatu bangunan hidrolika berupa pelimpah, dimana gaya gravitasi merupakan faktor yang dominan, maka yang menentukan keadaan aliran adalah bilangan Froude (Fr) :

$$Fr = \frac{v}{(g h)^{1/2}} \dots\dots\dots (2-33)$$

dengan :

v = kecepatan aliran (m/det)

g = percepatan gravitasi (9,81 m/dt²)

h = kedalaman aliran (m)

Agar keadaan aliran di model sama dengan di prototipe, maka nilai $(Fr)_p = (Fr)_m$. Dalam hal ini .perbandingan antara model dan prototipe bilangan Froude dirumuskan:

$$n_{Fr} = \frac{(Fr)_p}{(Fr)_m} = 1 \dots\dots\dots (2-34)$$

Berdasarkan ketentuan tersebut skala dari kecepatan aliran dapat dijabarkan:

$$\left[\frac{v}{(g h)^{1/2}} \right]_p = \left[\frac{v}{(g h)^{1/2}} \right]_m \dots\dots\dots (2-35)$$

$$\frac{v_p}{(g_p h_p)^{1/2}} = \frac{v_m}{(g_m h_m)^{1/2}} \rightarrow \frac{v_p}{v_m} = \left(\frac{g_p}{g_m} \right)^{1/2} \cdot \left(\frac{h_p}{h_m} \right)^{1/2} \dots\dots\dots (2-36)$$

$$n_v = (n_g)^{1/2} \cdot (n_h)^{1/2} \dots\dots\dots (2-37)$$

karena $g_p = g_m$, maka:

$$n_v = n_h^{1/2} \dots\dots\dots (2-38)$$

2.11.2 Waktu Aliran (n_t)

Waktu yang ditempuh oleh suatu partikel zat cair dengan gerak beraturan adalah:

$$\text{waktu } (t) = \frac{\text{jarak } (L)}{\text{kecepatan } (v)}$$

Untuk model skala tanpa distorsi, diperoleh :

$$n_t = \frac{n_L}{n_v} \text{ dan } n_v = (n_h)^{1/2}, \text{ sehingga :}$$

$$n_t = (n_h)^{1/2} \dots\dots\dots (2-39)$$

2.11.3 Debit Aliran (n_Q)

Rumus kontinuitas aliran : $Q = V \cdot A$, dengan A = luas penampang basah ($A = L \cdot h$).

Selanjutnya dengan memperhatikan hubungan:

$$n_Q = n_V \cdot n_A \dots\dots\dots (2-40)$$

$$n_V = (n_h)^{1/2} \dots\dots\dots (2-41)$$

$$n_A = n_L \cdot n_h \dots\dots\dots (2-42)$$

maka untuk model skala tanpa distorsi diperoleh :

$$n_Q = (n_h)^{5/2} \dots\dots\dots (2-43)$$

2.11.4 Koefisien Chezy dan Manning

A. Koefisien Chezy

Untuk suatu penampang yang lebar : $v = C (h I)^{1/2}$, maka:

$$n_V = n_C \cdot (n_h)^{1/2} (n_I)^{1/2} \dots\dots\dots (2-44)$$

dan $n_V = (n_h)^{1/2}$, sehingga untuk model skala tanpa distorsi diperoleh:

$$n_C = 1 \dots\dots\dots (2-45)$$

B. Koefisien Manning

Rumus Manning pada saluran dengan penampang lebar adalah:

$$v = \frac{1}{n} \cdot H^{2/3} \cdot I^{1/2}, \text{ sehingga untuk model skala tanpa distorsi diperoleh:}$$

$$n_V = \frac{(n_h)^{2/3}}{n_n} \text{ dan } n_V = (n_h)^{1/2}, \text{ sehingga:}$$

$$n_n = (n_h)^{1/6} \dots\dots\dots (2-46)$$

2.11.5 Kesalahan Model Test

Kesalahan sistematis dapat diperkecil dengan cara melakukan kalibrasi peralatan sebelum digunakan. Sedangkan kesalahan stokastik besarnya sangat tergantung dengan peralatan yang dipakai. Kesalahan biasanya diwujudkan dalam bentuk prosentase (%) dari hasil pengukuran. Untuk mengurangi kesalahan ini perlu dilakukan pemilihan alat atau instrumen yang sesuai pada percobaan yang sedang dilakukan. Dalam menganalisis perambatan kesalahan pada suatu peralatan ke hasil penelitian dapat dilakukan analisis statistik yaitu menggunakan metode *quadratic error propagation*. Dengan rumus sebagai berikut:

$$z = f(x,y) \dots\dots\dots (2-47)$$

x,y = stochastic independent variable and normal distribution

$$\sigma_z^2 = \sigma_x^2 \left(\frac{\partial \varepsilon}{\partial x} \right) + \sigma_y^2 \left(\frac{\partial \varepsilon}{\partial y} \right) \dots\dots\dots (2-48)$$

Misalkan percobaan yang diteliti adalah hubungan antara variabel z , x , dan y sebagai berikut ini:

$$Z = a x^b y^c$$

$$\sigma_z^2 = \sigma_x^2 (a b x^{b-1} y^c)^2 + c^2 (\sigma_y / y)^2$$

$$r_z = \sigma_z / z$$

$$r_x = \sigma_x / x$$

$$r_y = \sigma_y / y$$

$$(r_z)^2 = b^2 (r_x)^2 + c^2 (r_y)^2$$

Dari persamaan ini dapat ditentukan ketelitian z apabila kesalahan relatif x dan y diketahui.



BAB III

METODE PENELITIAN

3.1 Fasilitas Penelitian

Untuk mendukung pelaksanaan penelitian uji model fisik *baffled chute* Bendungan Riam Kiwa, Kecamatan Paramasan, Kabupaten Banjar, Provinsi Kalimantan Selatan digunakan fasilitas Laboratorium Hidraulika Terapan Jurusan Teknik Pengairan Fakultas Teknik Universitas Brawijaya dengan alat-alat sebagai berikut:

1. Empat buah pompa listrik masing-masing berkapasitas 25 l/dt, 45 l/dt, 30 l/dt dan 30 l/dt.
2. Kolam penampung air sebagai sistem distribusi air di model.
3. Bangunan ukur debit *rechbox* yang terbuat dari *fiberglass* tebal 5 mm dengan ukuran yang disesuaikan dengan standar.
4. Alat pengukur tinggi muka air berupa meteran taraf (*point gauge*), sipat datar, bak ukur, pengukuran kecepatan berupa tabung pitot dan pengukur tekanan dengan menggunakan *piezometer*.
5. Model fisik Bendungan Riam Kiwa dengan bangunan pelimpah, transisi, peluncur, peredam energi serta saluran pengarah hilir.
6. Besar dan dimensi bangunan sesuai dengan hasil akhir (*final design*) Uji Model Fisik Bendungan Riam Kiwa dengan skala 1:65.

3.2 Skala Model

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

- a. Tujuan dari pengujian
 - b. Ketelitian yang diharapkan
 - c. Fasilitas yang tersedia di laboratorium
 - d. Waktu dan biaya yang tersedia
- Perhitungan penetapan skala minimum:
- a. Jenis skala tanpa distorsi (*undistorted*)
 - b. Ketelitian kesalahan relatif yang diharapkan $< 5\%$

- c. Ketinggian air minimum di atas pelimpah *prototype* adalah 2,88 m = 288 cm
- d. Menggunakan Persamaan (2-32), berikut diperoleh:

$$0,05 = 1 - \left\{ \frac{H - 0,457}{H} \right\}^{3/2}$$

$$H = 13,594 \text{ mm}$$

Berdasarkan perhitungan kesalahan relatif 5%, maka didapatkan tinggi air minimal di pelimpah model adalah 13,594 mm (hitungan desain pelimpah, $Q_{2th} = 293,94 \text{ m}^3/\text{dt}$).

e. Skala model $n_L = \frac{13,594}{2880} = \frac{1}{211,86}$

Skala minimum yang dapat digunakan dalam model ini 1:211,86. Tetapi, dengan melihat ketersediaan ruangan yang masih mencukupi dalam model dan dengan mempertimbangkan tinggi muka air di atas pelimpah dan besar alat ukur yang digunakan dalam pengukuran tinggi muka air dan kecepatan, dalam hal ini maka ditetapkan skala yang dipakai adalah *undistorsted* 1:65.

Dengan skala 1:65 kesalahan relatif yang terjadi adalah 1,56% dan ketelitian model menjadi 98,44%, yang diperoleh dari:

$$\text{Skala model } n_L = \frac{1}{65} = \frac{43,911}{2880}, \text{ maka } H = 43,911$$

$$\text{Sehingga, } 1 - \left\{ \frac{H - 0,457}{H} \right\}^{3/2} = 1 - \left\{ \frac{43,911 - 0,457}{43,911} \right\}^{3/2} = 0,01557 = 1,56\%$$

Dengan menggunakan skala geometri 1:65, maka besaran-besaran yang berhubungan dengan pemodelan dapat diketahui sebagaimana dilihat pada Tabel 3.1 - 3.3 berikut:

Tabel 3.1
Rasio Perbandingan Besaran-besaran *Prototype* ke Model

No	Besaran	Notasi	Rumus	Rasio ($n_h = n_L = 65$)
1	Kecepatan	v	$n_v = n_h^{1/2}$	8.06
2	Waktu Aliran	t	$n_t = n_h^{1/2}$	8.06
3	Debit Aliran	Q	$n_Q = n_h^{5/2}$	34063.04
4	Diameter	d	$n_d = n_h$	65.00
5	Volume	V	$n_t = n_h^{1/2}$	8.06
6	Koefisien Chezy	C	$n_C = 1$	1.00
7	Koefisien Manning	n	$n_n = n_h^{1/6}$	2.01

Sumber: Laporan Akhir Uji Model Fisik Bendungan Riam Kiwa (2016)

Tabel 3.2

Analisis Ketelitian Penetapan Skala Model Minimal Metode Russell Berdasarkan Debit Banjir Rancangan Q_{2th}

No.	Tingkat Kesalahan yang Dijinkan di Model $e = \Delta q/q$	Tingkat Ketelitian Model Fisik Hidraulik $1 - e$	Asumsi Kehilangan Tinggi Tekan di Model k_h	Perhitungan Trial & Error $\{(H - k_h)/H\}^{3/2}$	Persyaratan Tinggi Air di Atas Ambang Pelimpah di Model Minimal H (hasil trial)	Tinggi Air di Atas Ambang Pelimpah Prototipe Q_{2th} H	Rasio Skala Model $1 : n$	Skala Model n
(1)	(2)	(3)	(4)	(5)	(6)	(7)	(8)	(9)
1	1.00	99.00	0.457	0.990	68.408	2.880	0.024	42.10
2	2.00	98.00	0.457	0.980	34.159	2.880	0.012	84.31
3	3.00	97.00	0.457	0.970	22.733	2.880	0.008	126.69
4	4.00	96.00	0.457	0.960	17.022	2.880	0.006	169.19
5	5.00	95.00	0.457	0.950	13.594	2.880	0.005	211.86
6	6.00	94.00	0.457	0.940	11.309	2.880	0.004	254.67
7	7.00	93.00	0.457	0.930	9.675	2.880	0.003	297.66
8	8.00	92.00	0.457	0.920	8.452	2.880	0.003	340.76
9	9.00	91.00	0.457	0.910	7.499	2.880	0.003	384.03
10	10.00	90.00	0.457	0.900	6.737	2.880	0.002	427.46
Q_{2th} merupakan debit perencanaan minimal. Berdasarkan perhitungan di atas, maka ditetapkan skala model 1 : 65								
11	1.56	98.44	0.457	0.984	43.911	2.880	0.015	65.00

Sumber: Laporan Akhir Uji Model Fisik Bendungan Riam Kiwa (2016)

Tabel 3.3

Konversi dari *Prototype* ke Model pada Desain Awal

Deskripsi	Dimensi Prototype (m)	Dimensi model	
		(m)	(cm)
1. Pelimpah			
- Elevasi puncak ambang	+143.00	+143.00	
- Elevasi dasar ambang	+140.00	+140.00	
- Tinggi	3.00	0.05	4.62
- Lebar	75.00	1.15	115.38
2. Peredam Energi 1			
- Tipe	USBR 2		
- Elevasi dasar	+133.00	+133.00	
- Panjang	39.00	0.60	60.00
- Lebar	50.00	0.77	76.92
3. Saluran Peluncur			
- Elevasi dasar awal (hulu)	+135.00	+135.00	
- Elevasi dasar akhir (hilir)	+106.00	+106.00	
- Slope	0.40		
- Panjang	58.00	0.89	89.23
- Lebar	50.00	0.77	76.92
4. Peredam Energi 2			
- Tipe	USBR 2		
- Elevasi dasar	+106.00	+106.00	
- Panjang	50.00	0.77	76.92
- Lebar	50.00	0.77	76.92

Sumber: Laporan Akhir Uji Model Fisik Bendungan Riam Kiwa (2016)

3.3 Konstruksi Model

Model Bendungan Riam Kiwa telah dibangun dengan menggunakan skala 1:65 yang terdiri dari:

1. Bagian bendungan utama terbuat dari pasangan batu bata dan semen serta dicat.
2. Untuk bangunan pelimpah, dasar saluran peluncur, dasar saluran transisi dan dasar peredam energi terbuat dari kayu jati dan *fiberglass* yang dicat agar sebangun dengan keadaan sesungguhnya di lapangan, baik sebangun geometris, sebangun kinematis, dan sebangun dinamis.
3. Dinding saluran peluncur, saluran transisi dan peredam energi terbuat dari bahan *fiberglass* agar dapat diamati keadaan alirannya.

3.4 Tahapan dan Rancangan Penelitian

3.4.1 Tahapan Penelitian

Tahapan penelitian model fisik *baffled chute* Bendungan Riam Kiwa adalah sebagai berikut:

1. Persiapan Awal

Persiapan awal yang dimaksud adalah pengumpulan data-data teknis debit operasi yang diujikan seperti dapat dilihat pada Tabel 3.4:

Tabel 3.4
Data Teknis Debit Operasi

Q Rancangan (Tahun)	Q Inflow <i>Prototype</i> (m ³ /det)	Q Outflow <i>Prototype</i> (m ³ /det)	Q Outflow Model (m ³ /det)	lt/det
2	449,092	293,94	0,0088	8,63
5	551,259	368,48	0,0108	10,82
10	626,459	423,50	0,0124	12,43
25	730,266	499,47	0,0147	14,66
50	814,234	560,84	0,0165	16,46
100	904,147	626,41	0,0184	18,39
1000	1257,469	881,61	0,0259	25,88
PMF	1791,143	1257,41	0,0369	36,91

Sumber: Laporan Akhir Uji Model Fisik Bendungan Riam Kiwa (2016)

2. Perancangan Model

Penetapan skala yang akan dibuat sebagai model dengan maksud agar kesalahan relatif yang diperoleh bila dibandingkan dengan prototipe maksimal adalah 5%.

3.4.2 Rancangan Penelitian

Penelitian perilaku hidraulika aliran di bangunan pelimpah serta bangunan-bangunan pelengkapanya diteliti dalam beberapa kondisi sebagai berikut:

- Model Seri 0 (*Original Design*)

Model seri 0 merupakan model *original design* yang berdasarkan pada kondisi model fisik yang telah ada. Pada model seri 0 (*Original Design*) ini, dilakukan sedikit perubahan pada uji model yang telah dilakukan sebelumnya, yakni mengubah tipe peredam energi II dengan mengembalikan seperti desain awal yang telah direncanakan konsultan (USBR tipe II). Juga dilakukan perubahan kemiringan negatif yang awalnya 1:10 menjadi 1:5 setelah peredam energi II. Serta panjang *rip-rap* yang awalnya 50 m menjadi 32 m.

- Model *Development Test*

Model ini merupakan *alternative design* atau modifikasi dari pengujian model seri 0. Pada model ini dilakukan 4 seri modifikasi dengan berbagai kombinasi, yaitu:

1. Model Seri I

Pada seri ini dilakukan penambahan bangunan pelengkap berupa *baffled chute* yang dipasang pada saluran peluncur dengan $H=3$ m dan juga dikombinasikan dengan peredam energi USBR tipe II.

2. Model Seri II

Pada seri ini dilakukan perubahan bangunan dari seri I yakni dengan menghilangkan peredam energi USBR tipe II diganti dengan peredam energi USBR tipe I.

3. Model Seri III

Pada seri ini dilakukan perubahan bangunan yakni tinggi dari *baffled chute* dengan $H=2$ m yang dikombinasikan dengan peredam energi USBR tipe I.

4. Model Seri IV

Pada seri ini dilakukan perubahan bangunan dari seri III yakni dengan mengganti peredam energi USBR tipe I dengan peredam energi USBR tipe II.

Semua rancangan penelitian dapat dilihat dapat pada gambar teknis (dilampikan).

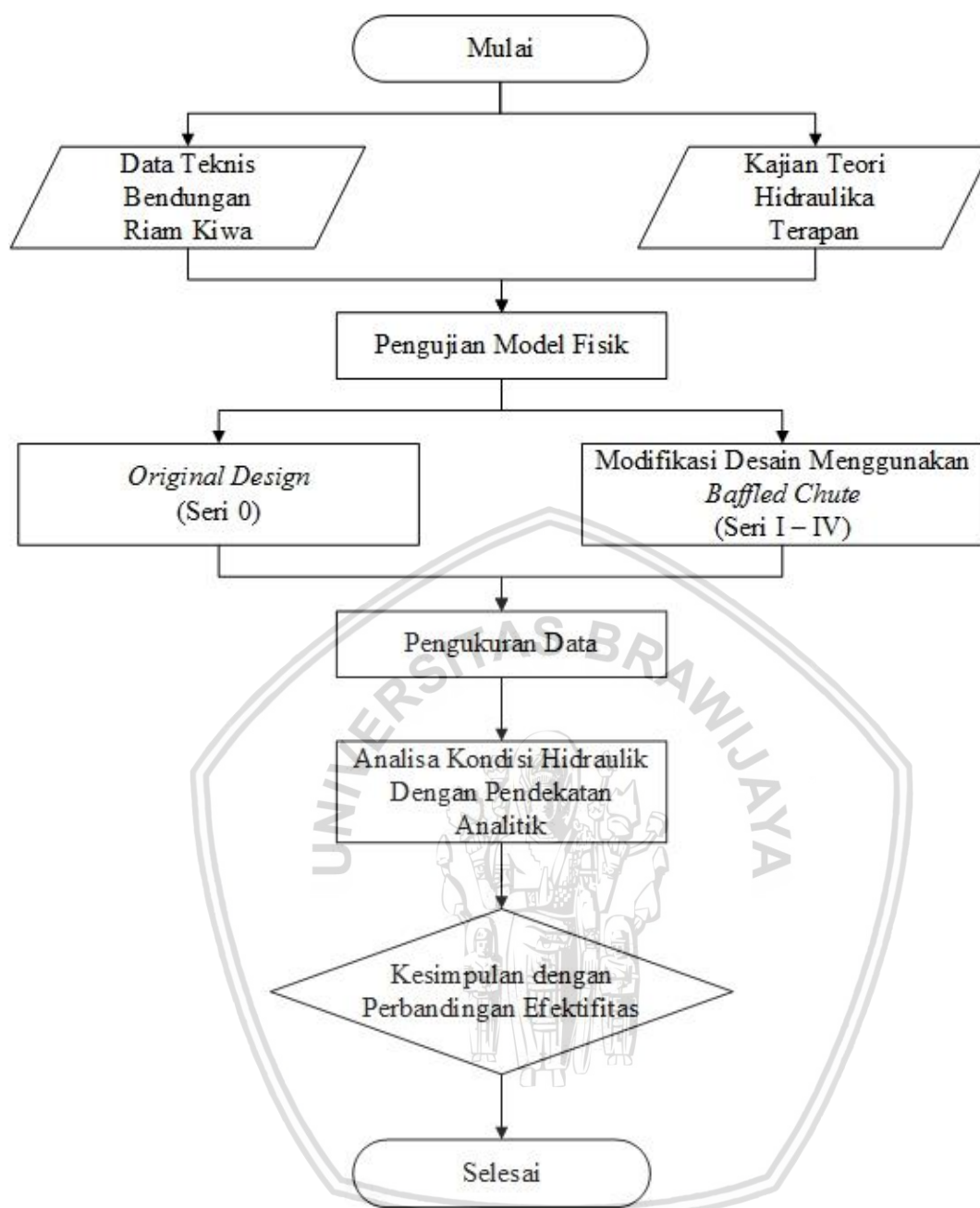
3.5 Rancangan Hasil Penelitian

Berdasarkan parameter dan rancangan penelitian di atas, maka diharapkan dapat memberikan alternatif hasil yang efektif, yang dalam hal ini aman teradap kestabilan konstruksi bangunan. Adapun fokus rancangan hasil penelitian disajikan dalam Tabel 3.5 berikut:

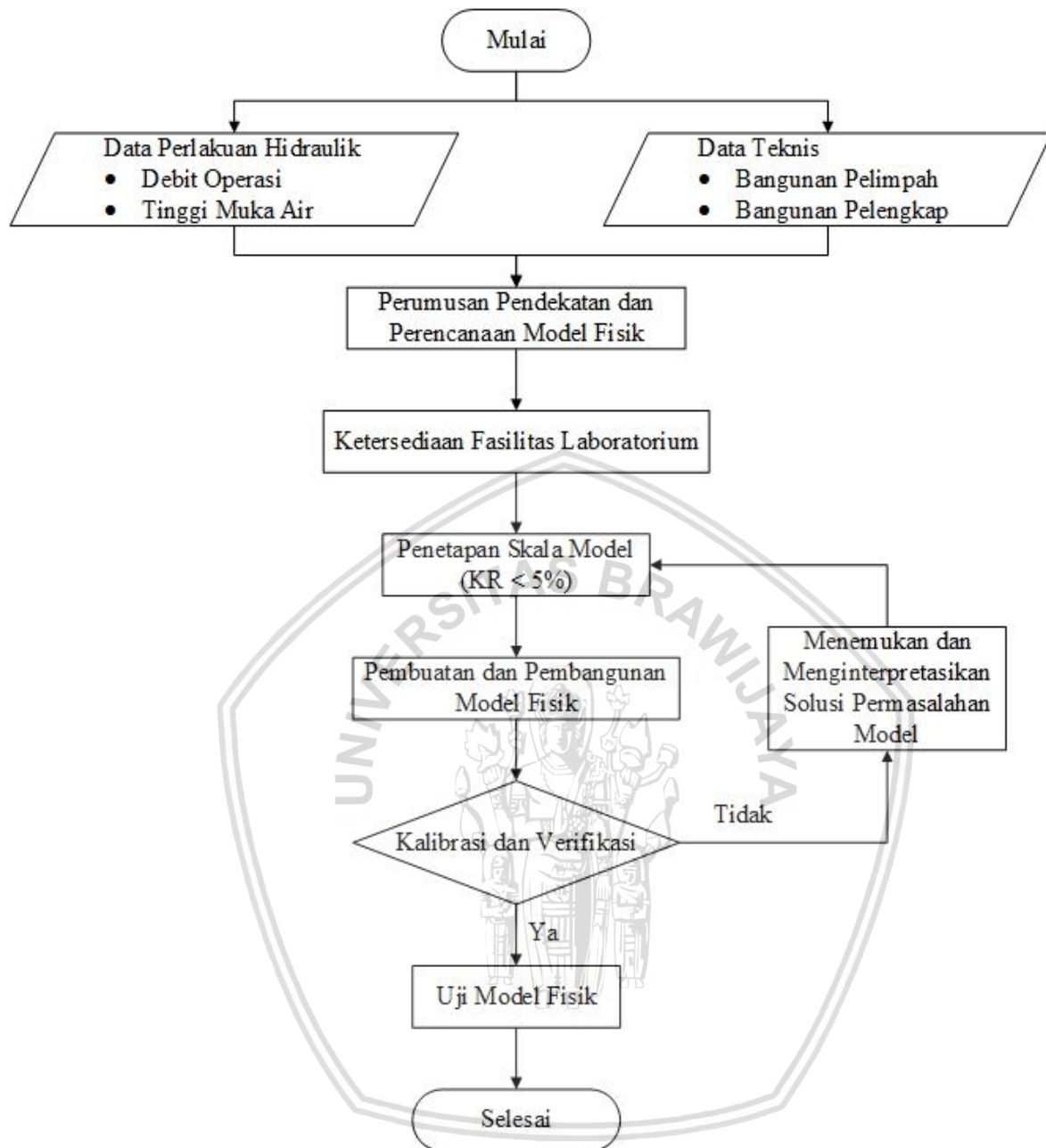
Tabel 3.5
Rancangan Fokus Hasil Penelitian

No	Bagian yang akan diuji	Data yang diperlukan	Rancangan hasil pengujian
1	Saluran Peluncur	• Tinggi tekan • Kecepatan • Tinggi muka air	• Kondisi aliran • Kavitasi
2	Peredam Energi	• Tinggi tekan • Kecepatan • Tinggi muka air	• Kondisi aliran • Kavitasi • Efektifitas peredam energi
3	Saluran Pengarah Hilir	• Tinggi tekan • Kecepatan • Tinggi muka air	• Kondisi aliran • Kavitasi





Gambar 3.1 Bagan alir pengerjaan skripsi.



Gambar 3.2 Bagan alir permodelan

BAB IV

HASIL DAN PEMBAHASAN

4.1 Perhitungan Tinggi Muka Air

Pengukuran tinggi muka air dilakukan dengan menggunakan alat ukur sipat datar (*waterpass*) dan meteran taraf (*point gauge*) dengan ketelitian 0,01 mm. Pengukuran tinggi muka air dilakukan pada alat ukur debit, di atas pelimpah, peredam energi I, saluran transisi, saluran peluncur, peredam energi II dan saluran pengarah hilir yang masing-masing dibagi atas beberapa section.

Pada alat ukur *rechbox* pengukuran tinggi muka air dilakukan dengan menggunakan meteran taraf (*point gauge*) untuk mengetahui tinggi muka air diatas ambang sehingga dapat diketahui besarnya debit yang mengalir. Untuk pengukuran tinggi muka air di atas pelimpah, peredam energi I, saluran transisi, saluran peluncur, peredam energi II dan saluran pengarah hilir dilakukan dengan menggunakan alat ukur sipat datar (*waterpass*).

Pengukuran menggunakan alat ukur sipat datar (*waterpass*) dilakukan dengan menentukan terlebih dahulu titik yang dijadikan patokan atau BM (*benchmark*). Titik patokan merupakan titik yang sudah diketahui elevasinya seperti pelimpah. Selanjutnya akan diperoleh pembacaan pada titik patokan (BM), kemudian dilakukan pengukuran pada titik yang akan ditinjau dan diperoleh bacaan pada titik yang ditinjau tersebut. Maka elevasi muka air dari titik yang ditinjau tersebut dapat dihitung menggunakan persamaan berikut:

$$\text{Elevasi muka air di titik A} = \left[(IPG - P_A) \times \left(\frac{Lr}{100} \right) \right] + El. PG$$

Karena skala model adalah 1:65, seperti disebutkan pada Bab III, maka:

$$\text{Elevasi muka air di titik A} = \left[(IPG - P_A) \times \left(\frac{65}{100} \right) \right] + El. PG$$

dengan:

A = Elevasi muka air *prototype*

IPG = Pembacaan *point gauge* pada elevasi indeks (cm)

P_A = Pembacaan pada bak ukur di titik tinjau A (cm)

Lr = Skala model

El. PG = Elevasi yang dipakai sebagai indeks ukur (m)

Selanjutnya, untuk menghitung tinggi muka air pada prototype dapat dihitung dengan menggunakan persamaan berikut:

$$H = El.Muka Air Prototype - El.Dasar saluran$$

4.2 Perhitungan Kecepatan

Pengukuran distribusi kecepatan dilakukan dengan menggunakan *pitot tube* untuk menghitung kecepatan di *prototype* menggunakan persamaan:

$$V_m = C_p \times \sqrt{2gh} \rightarrow V_p = \frac{(V_m \times n_h^{1/2})}{100}$$

dengan:

V_m = Kecepatan di model (m/dt)

C_p = Koefisien di pitot = 0,98

g = Gravitasi 9,81 (m/dt²) = 981 (cm/dt²)

h = Beda tinggi air pada pitot (cm)

V_p = Kecepatan di *prototype* (m/dt)

n_h = Skala model

Selanjutnya, untuk mengetahui jenis aliran yang terjadi dapat diketahui dengan menggunakan persamaan Bilangan Froude, yaitu:

$$F_r = \frac{V_p}{\sqrt{g \cdot H}}$$

dengan :

Fr = Bilangan Froude

V_p = Kecepatan di *prototype* (m/dt)

g = Gravitasi 9,81 (m/dt²)

H = Tinggi muka air di *prototype* (m)

4.3 Perhitungan Tinggi Tekanan

Pengukuran tinggi tekanan dengan menggunakan *piezometer*. Untuk menghitung tinggi tekan di prototipe menggunakan persamaan berikut:

$$H_p = H_m \times n_h$$

dengan:

H_p = Tinggi tekanan di prototipe (m)

H_m = Tinggi tekanan di model (m)

n_h = Skala model

4.4 Perhitungan Penurunan Energi pada Peredam Energi II

Besarnya peredaman energi yang terjadi pada kolam olakan dapat diperoleh dengan membandingkan besarnya energi pada bagian awal peredam energi dengan besarnya energi pada bagian akhir dari peredam energi, dengan menggunakan persamaan berikut:

$$E_n = H_n + \frac{V_n^2}{2g}$$

$$E = \frac{E_1 - E_2}{E_1} \times 100\%$$

dengan :

E_n = Besarnya energi (m)

H_n = Tinggi muka air (m)

V_n = Kecepatan aliran (m/dt)

E = Besarnya penurunan energi (%)

4.5 Kalibrasi dan Verifikasi Model

Kalibrasi dapat didefinisikan sebagai pengaturan model agar data-data yang ada di prototipe sesuai dengan yang ada dimodel, sehingga dapat dipakai sebagai acuan untuk pengukuran selanjutnya.

Verifikasi adalah pembuktian bahwa model sudah sesuai dengan yang ada di prototipe tanpa mengubah atau mengatur model lagi. Di dalam model ini yang perlu dilakukan adalah kalibrasi muka air, debit, dan kondisi aliran.

4.5.1 Muka Air

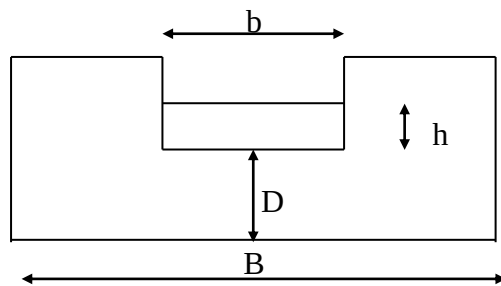
Kalibrasi dilakukan dengan cara memeriksa apakah debit yang melimpas pada pelimpah sudah sesuai dengan debit prototipe, dengan cara mengamati elevasi muka air di hulu bendung.

Kekasaran dasar saluran selalu ditandai dengan ukuran dan bentuk butiran bahan yang membentuk dasar saluran sehingga menimbulkan pengaruh hambatan terhadap aliran yang pada akhirnya akan menaikkan elevasi muka air.

4.5.2 Debit Aliran

Untuk mengetahui apakah debit di model sudah sesuai dengan kondisi prototipe, perlu dilakukan uji pendahuluan (*running test*). Evaluasi muka air di hulu bendung dicapai hingga konstan kemudian akan diperoleh debit di alat ukur debit rechbox. Hasil debit tersebut akan dibandingkan dengan kondisi debit di prototipe.

Debit aliran yang masuk ke model diukur dengan ambang lebar tipe rechbox dengan dimensi seperti Gambar 4.1 berikut:



Dengan:

$$b = 0,6 \text{ m}$$

$$B = 2,60 \text{ m}$$

$$D = 2,63 \text{ m}$$

$$h = \text{tinggi muka air (m)}$$

Gambar 4.1 Dimensi alat ukur debit rechbox.

Untuk mengetahui berapa besarnya debit aliran yang melalui alat ukur debit rechbox dapat digunakan rumus sebagai berikut:

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

dengan :

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

$$k = \text{koefisien debit (m}^{1/2} \cdot \text{menit}^{-1})$$

$$k = 107,1 + \frac{0,177}{h} + 14,2 \frac{h}{D} - 25,7 \sqrt{\frac{(B-b)h}{DB}} + 2,04 \sqrt{\frac{B}{D}}$$

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

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

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

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

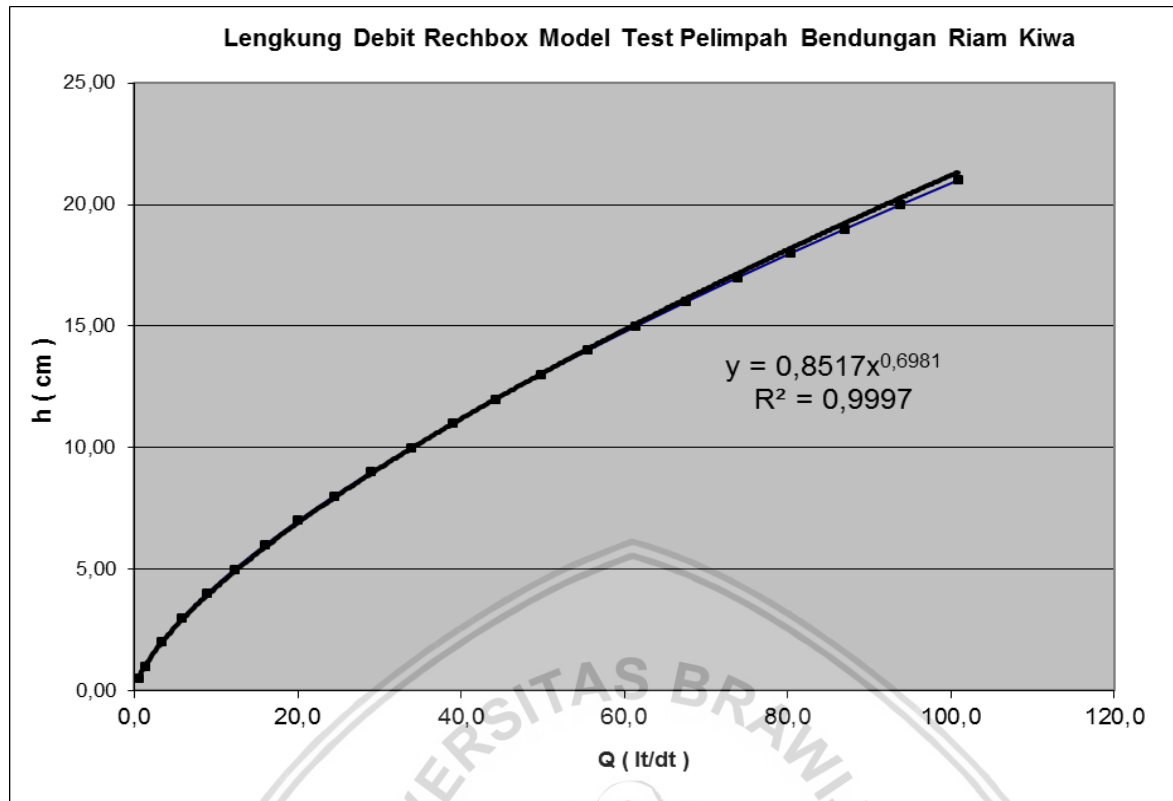
Langkah pengukuran:

1. Tentukan *index point gauge* (IPG) dengan menyentuhkan ujung jarum *point gauge* pada *crest* alat ukur debit.
2. Ukur tinggi pada alat ukur dengan menyentuhkan ujung jarum *point gauge* pada muka air, meteran taraf dibaca dan dicatat.
3. Harga K masukkan dalam rumus alat ukur debit, maka dapat dihitung besarnya debit percobaan.
4. Besarnya debit percobaan selanjutnya akan dibandingkan dengan tinggi muka air di hulu pelimpah. Jika pada salah satu debit percobaan, tinggi muka air di hulu pelimpah sudah sama atau mendekati nilai tinggi muka air hasil *routing* waduk, maka debit aliran yang lewat di alat ukur rechbox dianggap benar.
5. Tabel 4.1 dan Gambar 4.2 merupakan sajian mengenai hubungan tinggi muka air (h) dan debit (Q) alat ukur rechbox yang digunakan pada percobaan.

Tabel 4.1
Liku Debit Alat Ukur *Rechbox*

No	Tinggi air di atas ambang		Koefisien	Debit <i>Rechbox</i>		
	pelimpah <i>Rechbox</i>		Pelimpah <i>Rechbox</i>	Q Model		Q <i>Prototype</i>
	h (m)	h (cm)	K	Q (m³/menit)	Q (lt/det)	Q (m³/det)
		0				0
1	0.005	0.50	143.57	0.03	0.51	17.29
2	0.01	1.00	125.49	0.08	1.25	42.75
3	0.02	2.00	116.12	0.20	3.28	111.88
4	0.03	3.00	112.78	0.35	5.86	199.62
5	0.04	4.00	110.99	0.53	8.88	302.45
6	0.05	5.00	109.83	0.74	12.28	418.27
7	0.06	6.00	109.00	0.96	16.02	545.67
8	0.07	7.00	108.36	1.20	20.07	683.58
9	0.08	8.00	107.84	1.46	24.40	831.20
10	0.09	9.00	107.41	1.74	29.00	987.86
11	0.10	10.00	107.04	2.03	33.85	1153.03
12	0.11	11.00	106.72	2.34	38.94	1326.25
13	0.12	12.00	106.44	2.65	44.24	1507.11
14	0.13	13.00	106.18	2.99	49.77	1695.29
15	0.14	14.00	105.95	3.33	55.50	1890.46
16	0.15	15.00	105.74	3.69	61.43	2092.38
17	0.16	16.00	105.54	4.05	67.54	2300.78
18	0.17	17.00	105.36	4.43	73.85	2515.47
19	0.18	18.00	105.19	4.82	80.33	2736.23
20	0.19	19.00	105.03	5.22	86.98	2962.89
21	0.20	20.00	104.88	5.63	93.81	3195.29
22	0.21	21.00	104.74	6.05	100.79	3433.26
23	0.22	22.00	104.60	6.48	107.94	3676.68
24	0.23	23.00	104.47	6.91	115.24	3925.39
25	0.24	24.00	104.35	7.36	122.69	4179.30
26	0.25	25.00	104.24	7.82	130.30	4438.27
27	0.26	26.00	104.13	8.28	138.04	4702.21
28	0.27	27.00	104.02	8.76	145.94	4971.00
29	0.28	28.00	103.92	9.24	153.97	5244.57

Sumber: Hasil Perhitungan (2016).



Gambar 4.2 Lengkung debit alat ukur *rechbox* model fisik Bendungan Riam Kiwa.

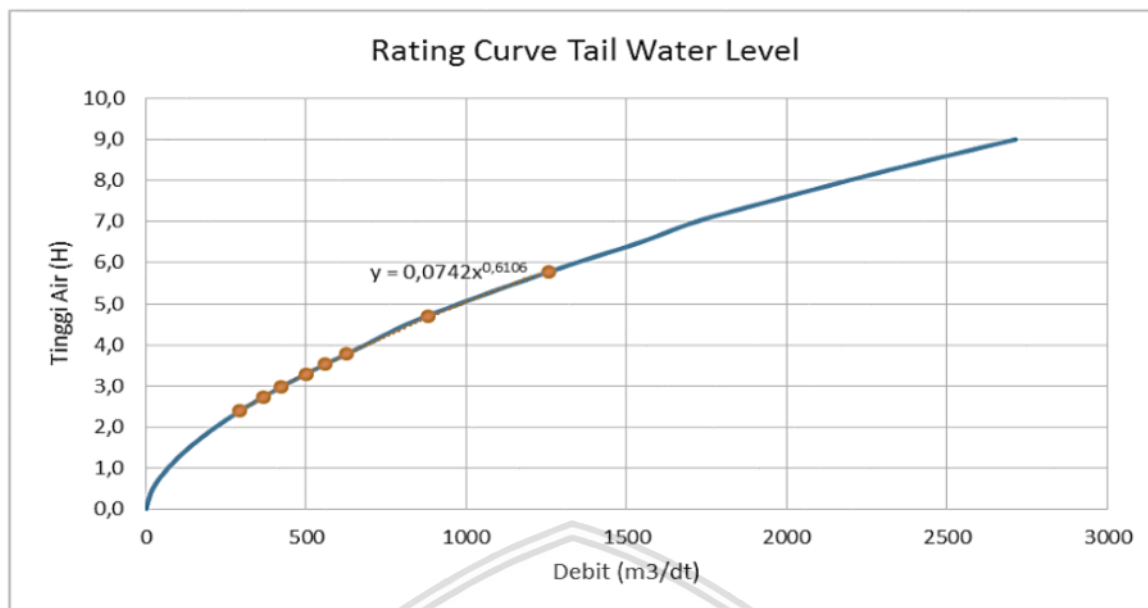
4.5.3 Kontrol Elevasi Muka Air di Bagian Saluran Pengarah Hilir

Saluran pengarah hilir merupakan bagian yang sangat penting dalam mengendalikan TWL (*Tail Water Level*) sebelum masuk ke sungai. Fenomena pembendungan alur sungai guna kepentingan pengisian tampungan waduk membawa konsekuensi perubahan pola aliran yang diakibatkan oleh interaksi aliran pada "*sequent depth*" dan TWL saluran. Untuk kepentingan analisa pengujian model fisik diperlukan pendekatan liku debit (*rating curve*) dengan menggunakan persamaan Manning sebagaimana disajikan dalam Tabel 4.2 dan Gambar 4.3:

Tabel 4.2
Liku Debit pada *Escape Channel*

Kala Ulang (tahun)	Elevasi Muka Air (m)	Tinggi Muka Air (H)		Debit (Q)	
		Prototipe (m)	Model (cm)	Prototipe (m ³ /dt)	Model (lt/dt)
2	113,39	2,39	3,68	293,940	8,63
5	113,74	2,74	4,21	368,480	10,82
10	113,98	2,98	4,59	423,500	12,43
25	114,29	3,29	5,06	499,470	14,66
50	114,53	3,53	5,44	560,840	16,46
100	114,78	3,78	5,82	626,410	18,39
1000	115,71	4,71	7,24	881,610	25,88
PMF	116,77	5,77	8,88	1257,410	36,91

Sumber: Hasil Perhitungan (2016).



Gambar 4.3 Lengkung debit *escape channel* model fisik Bendungan Riam Kiwa

4.5.4 Kebenaran Model

Mengacu pada penetapan skala dengan tingkat kesalahan sampai dengan 10%, terlihat bahwa hasil model secara keseluruhan telah memenuhi persyaratan. Sehingga dengan skala 1:65 hasil model tidak menimbulkan efek skala, dengan pengertian fenomena hidraulik hasil model akan menyerupai pada prototipe. Adapun kebenaran model tersebut ditabelkan pada Tabel 4.3 berikut:

Tabel 4.3
Tingkat Kesalahan Model pada Hd di Atas Pelimpah

Kala Ulang Q (Th)	Debit Rencana (m ³ /dt)	H air diatas pelimpah		Kesalahan Relatif (%)
		Perhitungan (m)	Model (m)	
2	293.94	2.88	2.74	4.91
5	368.48	3.35	3.37	0.51
10	423.50	3.68	3.69	0.33
25	499.47	4.11	4.02	2.26
50	560.84	4.44	4.15	6.60
100	626.41	4.78	4.41	7.80
1000	881.61	6.00	5.42	9.65
PMF	1257.41	7.60	7.17	5.66

Sumber: Hasil Perhitungan (2016).

4.6 Analisa Hidraulika

4.6.1 Perhitungan Koefisien Limpahan Metode USBR

Koefisien limpahan (C) dari ambang pelimpah diperoleh dengan langkah sebagai berikut:

$$Q_{1000th} : 881,610 \text{ m}^3/\text{dt}$$

$$L : 75,0 \text{ m}$$

$$P : 3 \text{ m}$$

$$\text{El. Crest: } +143,000$$

Langkah 1

Koefisien debit Q_{1000th}

$$H_o = 3,121 \text{ (asumsi)}$$

$$\frac{P}{H_o} = \frac{3}{3,121} = 0,961$$

Dari nilai $\frac{P}{H_o} = 0,961$ didapat nilai $C_o = 2,150 \text{ m}$, dilihat pada Gambar 2.1

$$H_d = H_e = 3,121 \text{ (asumsi)}$$

$$\frac{H_e}{H_o} = \frac{3,121}{3,121} = 1$$

Dari nilai $\frac{H_e}{H_o} = 1$ didapat nilai $\frac{C}{C_o} = 1$, dilihat pada Gambar 2.2

$$\begin{aligned} \text{Sehingga, nilai } C &= 1 * C_o \\ &= 1 * 2,150 \\ &= 2,150 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} h_d &= (\text{Crest spillway} + H_e) - (\text{Elv. Dasar hilir bendung} + d) \rightarrow (d = 2,980 \text{ m}) \\ &= (143,000 + 3,121) - (134,020 + 2,980) \\ &= 9,121 \text{ m} \end{aligned}$$

$$\frac{h_d}{H_e} = \frac{9,121}{3,121} = 2,923$$

Dari nilai $\frac{h_d}{H_e} = 2,923$ didapat nilai $\frac{C_s}{C} = 1$, dilihat pada Gambar 2.3

$$\begin{aligned} \text{Sehingga, nilai } C_s &= 1 * C = 1 * 2,150 \\ &= 2,150 \end{aligned}$$

Menggunakan Persamaan 2-2, maka:

$$\begin{aligned} B_{eff} &= B - (2 * (N) * (K_p + K_a) * H_o) \\ &= 75 - ((2) (0,1) (3,121)) \\ &= 74,376 \text{ m} \end{aligned}$$

Kontrol → Menggunakan Persamaan 2-1

$$\begin{aligned}
 Q_{\text{desain}} &= Q_{\text{hitung}} \\
 881,610 \text{ m}^3/\text{dt} &= C \cdot B_{\text{eff}} \cdot H_o^{3/2} \\
 881,610 \text{ m}^3/\text{dt} &= (2,150) \cdot (74,376) \cdot (3,121)^{3/2} \\
 881,610 \text{ m}^3/\text{dt} &= 881,610 \text{ m}^3/\text{dt} \rightarrow \text{OK!}
 \end{aligned}$$

Langkah 2

Koefisien debit selain $Q_{1000\text{th}}$, sebagai contoh $Q_{2\text{th}}$:

$$H_o = 3,121 \text{ (} H_o \text{ yang dipakai } Q_{1000\text{th}} \text{)}$$

$$H_d = H_e = 1,576 \text{ (asumsi)}$$

$$\frac{H_e}{H_o} = \frac{1,576}{3,121} = 0,505$$

Dari nilai $\frac{H_e}{H_o} = 0,505$ didapat nilai $\frac{C}{C_o} = 0,925$, dilihat pada Gambar 2.2

Sehingga, nilai $C = 0,925 \cdot C_o$

$$= 0,925 \cdot 2,150$$

$$= 1,989$$

$$h_d = (\text{Crest spillway} + H_e) - (\text{Elv. Dasar hilir bendung} + d) \rightarrow (d = 2,480 \text{ m})$$

$$= (143,000 + 1,576) - (134,020 + 2,480)$$

$$= 8,076$$

$$\frac{h_d}{H_e} = \frac{8,076}{1,576} = 5,124$$

Dari nilai $\frac{h_d}{H_e} = 5,124$ didapat nilai $\frac{C_s}{C} = 1$, dilihat pada Gambar 2.3

Sehingga, nilai $C_s = 1 \cdot C$

$$= 1 \cdot 1,989$$

$$= 1,989$$

Menggunakan Persamaan 2-2, maka:

$$B_{\text{eff}} = B - (2 \cdot (N) \cdot (K_p + K_a) \cdot H_o)$$

$$= 75 - ((2) (0,1) (1,576))$$

$$= 74,685 \text{ m}$$

Kontrol → Menggunakan Persamaan 2-1

$$\begin{aligned}
 Q_{\text{desain}} &= Q_{\text{hitung}} \\
 293,940 \text{ m}^3/\text{dt} &= C \cdot B_{\text{eff}} \cdot H_o^{3/2} \\
 293,940 \text{ m}^3/\text{dt} &= (1,989) \cdot (74,685) \cdot (1,576)^{3/2} \\
 293,940 \text{ m}^3/\text{dt} &= 293,940 \text{ m}^3/\text{dt} \rightarrow \text{OK!}
 \end{aligned}$$

Untuk hasil perhitungan nilai koefisien limpahan (C) dan tinggi air di atas pelimpah (Hd) dengan beberapa debit variasi debit disajikan pada Tabel 4.4 berikut ini:

Tabel 4.4

Nilai Koefisien Limpahan (C) dan Tinggi Muka Air (Hd) Metode USBR

Kala Ulang (Tahun)	Q (m ³ /dt)	B (m)	Hd (m)	Hd/Ho	C/Co	C	B'	El. Ma Hilir (m)	hd (m)	hd/Hd	Cs/C	Cs	Q (m ³ /dt)
2	293.940	75	1.576	0.505	0.925	1.989	74.685	136.50	8.076	5.124	1.0	1.989	293.940
25	499.470	75	2.194	0.703	0.959	2.062	74.561	136.74	8.455	3.855	1.0	2.062	499.470
100	626.410	75	2.529	0.810	0.973	2.091	74.494	136.99	8.541	3.378	1.0	2.091	626.410
1000	881.610	75	3.121	1.000	1.000	2.150	74.376	137.00	9.121	2.923	1.0	2.150	881.610
PMF	1257.410	75	3.890	1.246	1.027	2.208	74.222	137.06	9.826	2.526	1.0	2.208	1257.410

Sumber: Hasil Perhitungan (2017).

Selanjutnya koefisien limpahan yang diperoleh dengan cara USBR dibandingkan dengan koefisien limpahan hasil uji coba model, yang mana hasil perhitungan uji coba model disajikan pada Tabel 4.5 berikut:

Tabel 4.5

Nilai Koefisien Limpahan (C) dan Tinggi Muka Air (Hd) Hasil Uji Model Fisik

Debit Rencana (tahun)	Q (m ³ /dt)	Hd (m)	C (m ^{0.5} /dt)
2	293.940	1.460	2.565
25	499.470	2.055	2.608
100	626.410	2.196	2.961
1000	881.610	2.597	3.241
PMF	1257.410	3.182	3.408

Sumber: Hasil Perhitungan (2017).

Berdasarkan perhitungan nilai koefisien limpahan dan tinggi muka air dari metode di atas, maka dibuat suatu perbandingan yang hasilnya ditabelkan pada Tabel 4.6 berikut:

Tabel 4.6

Rekapitulasi Nilai Koefisien Limpahan (C) dan Tinggi Muka Air (Hd) Menurut Metode USBR dan Hasil Uji Model Fisik

Kala Ulang (tahun)	Q outflow (m ³ /dt)	Muka Air di atas Pelimpah (Hd)		Koefisien Limpahan (Cd)	
		USBR	Model	USBR	Model
		(m)	(m)	(m ^{0.5} /dt)	(m ^{0.5} /dt)
2	293.940	1.576	1.460	1.989	2.565
25	499.470	2.194	2.055	2.062	2.608
100	626.410	2.529	2.196	2.091	2.961
1000	881.610	3.121	2.597	2.150	3.241
PMF	1257.410	3.890	3.182	2.208	3.408

Sumber: Hasil Perhitungan (2017).

Dari hasil perbandingan diatas, maka dapat diketahui seberapa besar kesalahan relatif tinggi muka air yang terjadi antara hasil perhitungan USBR dengan hasil uji model yang dilakukan yang mana seperti terlihat pada Tabel 4.7 berikut ini:

Tabel 4.7

Kesalahan Relatif Tinggi Muka Air (Hd) Menurut Metode USBR dan Hasil Uji Model Fisik

Debit Rencana (tahun)	Q (m ³ /dt)	Muka Air di atas Pelimpah (Hd)		KR (%)
		Hitungan (m)	Model (m)	
2	293.940	1.576	1.460	7.408
25	499.470	2.194	2.055	6.304
100	626.410	2.529	2.196	13.145
1000	881.610	3.121	2.597	16.785
PMF	1257.410	3.890	3.182	18.196

Sumber: Hasil Perhitungan (2017).

4.6.2 Perhitungan Profil Muka Air di Atas Pelimpah

Menggunakan persamaan 2-3 sampai 2-5 dapat dihitung profil muka air di atas pelimpah. Berikut contoh perhitungan diambil untuk Q_{2th}:

- Q_{2th} = 293,940 m³/dt
- z = 1 m
- Dengan mensubstitusi persamaan $V_z = \sqrt{(2g(Z + H_d - Y_z))}$ dengan $V_z = \frac{Q}{L \cdot Y_z}$ maka didapatkan persamaan sebagai berikut:

$$\sqrt{(2g(Z + H_d - Y_z))} - \frac{Q}{L \cdot Y_z} = 0 \rightarrow \sqrt{(2 \cdot 9,81(1 + 1,576 - Y_z))} - \frac{293,940}{75 \cdot Y_z} = 0$$

selanjutnya dengan coba-coba (*trial & error*) akan didapatkan nilai $y_z = 0,635$ m.

- Selanjutnya didapatkan nilai $V_z = \frac{293,940}{35 \cdot 0,635} = 6,172$ m³/dt
- Bilangan froude, $F_z = \frac{V_z}{\sqrt{g \cdot Y_z}} = \frac{6,172}{\sqrt{9,81 \cdot 0,635}} = 2,473$
- Elevasi dasar saluran = 142,00 m
- Elevasi muka air = 142,00 + 0,635 = + 142,635

Perhitungan untuk debit selanjutnya dapat dilihat pada Tabel 4.8 - 4.12:

Tabel 4.8

Perhitungan Profil Muka Air di atas Pelimpah untuk Q_{2th}

$$Q_{2th} = 293,940 \text{ m}^3/\text{dt}$$

$$H_d = 1,576 \text{ m}$$

$$B = 75 \text{ m}$$

z (m)	Yz coba-coba (m)	Vz (m/dt)	Fz	El. Dasar Pelimpah (m)	El. Muka Air (m)
0.000	1.161	2.854	1.000	143.000	144.161
1.000	0.635	6.172	2.473	142.000	142.635
2.000	0.505	7.763	3.488	141.000	141.505
3.000	0.435	9.014	4.365	140.000	140.435
4.000	0.388	10.089	5.168	139.000	139.388
5.000	0.355	11.048	5.923	138.000	138.355
6.000	0.329	11.925	2.000	137.000	137.329
7.000	0.308	12.737	7.331	136.000	136.308
8.000	0.290	13.498	7.998	135.000	135.290
9.300	0.272	14.424	8.835	133.700	133.972

Sumber: Hasil Perhitungan (2017).

Tabel 4.9

Perhitungan Profil Muka Air di atas Pelimpah untuk Q_{25th}

$$Q_{25th} = 499,470 \text{ m}^3/\text{dt}$$

$$H_d = 2,194 \text{ m}$$

$$B = 75 \text{ m}$$

z (m)	Yz coba-coba (m)	Vz (m/dt)	Fz	El. Dasar Pelimpah (m)	El. Muka Air (m)
0.000	1.654	3.255	1.000	143.000	144.654
1.000	1.020	6.531	2.065	142.000	143.020
2.000	0.818	8.138	2.872	141.000	141.818
3.000	0.710	9.379	3.554	140.000	140.710
4.000	0.638	10.441	4.174	139.000	139.638
5.000	0.585	11.387	4.754	138.000	138.585
6.000	0.544	12.251	2.000	137.000	137.544
7.000	0.510	13.053	5.834	136.000	136.510
8.000	0.482	13.803	6.345	135.000	135.482
9.300	0.452	14.718	6.986	133.700	134.152

Sumber: Hasil Perhitungan (2017).

Tabel 4.10

Perhitungan Profil Muka Air di atas Pelimpah untuk Q_{100th}

$$Q_{100th} = 626,410 \text{ m}^3/\text{dt}$$

$$H_d = 2,529 \text{ m}$$

$$B = 75 \text{ m}$$

z (m)	Yz coba-coba (m)	Vz (m/dt)	Fz	El. Dasar Pelimpah (m)	El. Muka Air (m)
0.000	1.923	3.447	1.000	143.000	144.923
1.000	1.249	6.688	1.911	142.000	143.249
2.000	1.004	8.315	2.649	141.000	142.004
3.000	0.874	9.556	3.264	140.000	140.874
4.000	0.787	10.614	3.820	139.000	139.787
5.000	0.723	11.556	4.340	138.000	138.723
6.000	0.673	12.415	2.000	137.000	137.673
7.000	0.632	13.212	5.305	136.000	136.632
8.000	0.598	13.958	5.761	135.000	135.598
9.300	0.562	14.868	6.333	133.700	134.262

Sumber: Hasil Perhitungan (2017).

Tabel 4.11

Perhitungan Profil Muka Air di atas Pelimpah untuk Q_{100th}

$$Q_{100th} = 881,610 \text{ m}^3/\text{dt}$$

$$H_d = 3,121 \text{ m}$$

$$B = 75 \text{ m}$$

z (m)	Yz coba-coba (m)	Vz (m/dt)	Fz	El. Dasar Pelimpah (m)	El. Muka Air (m)
0.000	2.415	3.721	1.000	143.000	145.415
1.000	1.708	6.880	1.681	142.000	143.708
2.000	1.370	8.578	2.340	141.000	142.370
3.000	1.196	9.830	2.870	140.000	141.196
4.000	1.080	10.887	3.345	139.000	140.080
5.000	0.994	11.825	3.787	138.000	138.994
6.000	0.927	12.679	2.000	137.000	137.927
7.000	0.873	13.470	4.604	136.000	136.873
8.000	0.827	14.211	4.989	135.000	135.827
9.300	0.778	15.114	5.472	133.700	134.478

Sumber: Hasil Perhitungan (2017).

Tabel 4.12

Perhitungan Profil Muka Air di atas Pelimpah untuk Q_{PMF}

$$Q_{PMF} = 1257,410 \text{ m}^3/\text{dt}$$

$$H_d = 3,890 \text{ m}$$

$$B = 75 \text{ m}$$

z (m)	Yz coba-coba (m)	Vz (m/dt)	Fz	El. Dasar Pelimpah (m)	El. Muka Air (m)
0.000	3.060	4.035	1.000	143.000	146.060
1.000	2.398	6.993	1.442	142.000	144.398
2.000	1.893	8.855	2.055	141.000	142.893
3.000	1.654	10.135	2.516	140.000	141.654
4.000	1.497	11.199	2.922	139.000	140.497
5.000	1.381	12.137	3.297	138.000	139.381
6.000	1.291	12.989	2.000	137.000	138.291
7.000	1.217	13.776	3.987	136.000	137.217
8.000	1.155	14.512	4.311	135.000	136.155
9.300	1.088	15.409	4.717	133.700	134.788

Sumber: Hasil Perhitungan (2017).

4.6.3 Perhitungan Profil Muka Air di Saluran Transisi

Menggunakan Persamaan 2-8 sampai 2-12, dapat dihitung profil muka air pada saluran transisi. Berikut contoh perhitungan:

Diketahui: (Pada *section 8*)

$$Q_{100} : 626,410 \text{ m}^3/\text{dt}$$

$$n : 0,014 \text{ (beton)}$$

$$k : 0,1$$

$$B_8 : 50 \text{ m}$$

$$\text{El. section 8} : +135,000 \text{ m}$$

$$\text{El. datum} : +133,000 \text{ m}$$

Berikut ini adalah langkah perhitungan tinggi muka air di saluran transisi:

$$\text{Tinggi datum, } Z = \text{El. section 8} - \text{El. datum} = +135,000 - +133,000 = 2 \text{ m}$$

$$\text{Tinggi muka air, } h_8 = \sqrt[3]{\frac{\left(\frac{Q}{B}\right)^2}{g}} = \sqrt[3]{\frac{\left(\frac{626,41}{50}\right)^2}{(9,81)}} = 2,520 \text{ m}$$

$$\text{Kecepatan aliran kritis, } V_8 = \frac{Q}{A} = \frac{626,41}{(2,520 \cdot 50)} = 4,972 \text{ m/dt}$$

$$\text{Jari-jari hidrolik, } R = \frac{A}{P} = \frac{h_g \cdot B}{(2 \cdot h_g) + B} = \frac{(2,520 \cdot 50)}{(2 \cdot 2,520) + 50} = 2,289 \text{ m}$$

$$\text{Kemiringan garis energi, } S_{f8} = \frac{n^2 \cdot V_8^2}{R_8^{4/3}} = \frac{0,014^2 \cdot 4,972^2}{2,289^{4/3}} = 0,0016$$

$$H_{v8} = \frac{V_8^2}{2 \cdot g} = \frac{4,972^2}{2 \cdot 9,81} = 1,260 \text{ m}$$

$$H_1 = Z_8 + H_8 + H_{v8} = 2 + 2,520 + 1,260 = 5,780 \text{ m}$$

$$\text{Bilangan Froude untuk } h_8 \text{ adalah, } Fr = \frac{V_c}{\sqrt{g \cdot h_8}} = \frac{4,972}{\sqrt{(9,81) \cdot 2,520}} = 1,00 \text{ (kritis)}$$

Langkah selanjutnya adalah sebagai berikut: (*section 7*)

$$1. \text{ Panjang antara } section \text{ 8 dan 7, } \Delta X = 9,43 \text{ m}$$

$$2. \text{ Lebar dasar saluran, } B_7 = 50 \text{ m}$$

$$3. \text{ Tinggi datum, } Z = \text{El. } section \text{ 7} - \text{El. datum} = +133,000 - +133,000 = 0 \text{ m}$$

$$4. \text{ Coba-coba tinggi muka air, } h_7 \text{ (coba-coba)} = 5,398 \text{ m}$$

$$5. \text{ Luas penampang basah, } A = B \cdot h = (50) \cdot (5,398) = 269,915 \text{ m}^2$$

$$6. \text{ Kecepatan aliran, } V_7 = \frac{Q}{A} = \frac{626,41}{269,915} = 2,321 \text{ m/dt}$$

$$7. \text{ Jari-jari hidrolik, } R_7 = \frac{A}{P} = \frac{h_7 \cdot B}{(2 \cdot h_7) + B} = \frac{5,398 \cdot 50}{(2 \cdot 5,398) + 50} = 4,440 \text{ m}$$

$$8. \text{ Kemiringan garis energi, } S_{f7} = \frac{n^2 \cdot V_7^2}{R_7^{4/3}} = \frac{0,014^2 \cdot 2,321^2}{4,440^{4/3}} = 0,0001$$

$$9. \text{ Kemiringan garis energi rerata, } S_f \text{ rerata} = \frac{S_{f8} + S_{f7}}{2} = \frac{0,0016 + 0,0001}{2} = 0,0009$$

$$10. \text{ Kehilangan energi akibat gesekan, } H_f = S_f \text{ rerata} \cdot \Delta x = 0,0009 \cdot 9,43 = 0,0083 \text{ m}$$

$$11. H_{v7} = \frac{V_7^2}{2 \cdot g} = \frac{2,321^2}{2 \cdot 9,81} = 0,275 \text{ m}$$

12. Faktor perubahan bentuk penampang (*eddy loss*)

$$H_e = k \left| \frac{V_8^2 - V_7^2}{2 \cdot g} \right| = 0,1 \left| \frac{4,972^2 - 2,321^2}{2 \cdot (9,81)} \right| = 0,099 \text{ m}$$

13. Dengan menggunakan persamaan tinggi garis energi di hulu dan hilir saluran:

$$Z_8 + H_8 + H_{v8} = Z_7 + H_7 + H_{v7} + H_f + H_e$$

$$2 + 2,520 + 1,260 = 0 + 5,398 + 0,275 + 0,0083 + 0,099$$

$$5,780 \text{ m} = 5,780 \text{ m} \rightarrow \text{OK!}$$

14. Elevasi muka air = el. Dasar saluran + h_7

$$= +133,000 + 5,398$$

$$= +138,398 \text{ m}$$

$$15. \text{ Bilangan Froude, } Fr = \frac{V_7}{\sqrt{g \cdot h_7}} = \frac{2,321}{\sqrt{9,81 \cdot 5,398}} = 0,319 \text{ (sub kritis)}$$

Perhitungan untuk debit selanjutnya dapat dilihat pada Tabel 4.13 - 4.17:

Tabel 4.13

Perhitungan Profil Muka Air pada Saluran Transisi untuk Q_{2th}

Q 2th = 293,94 m³/dt El. Datum = +133,00

n (beton) = 0,014 k = 0,1

No. Section	Jarak (m)	ΔX (m)	B (m)	Z (m)	h (m)	A (m ²)	V (m/dt)	P (m)	R (m)	Sf	Sf Rerata	Hf (m)	Hv (m)	He (m)	H ₁ (m)	H ₂ (m)	El. Dasar Saluran	El. Muka Air	Fr	Jenis Aliran
8	0	0	50,00	2,00	1,522	76,080	3,864	53,043	1,434	0,0018			0,761		4,282		135,000	136,522	1	Kritis
7	9,43	9,43	50,00	0,00	4,103	205,164	1,433	58,207	3,525	0,0001	0,0009	0,0089	0,105	0,066	4,208	4,282	133,000	137,103	0,226	Sub Kritis
6	14,63	5,20	50,00	0,00	4,103	205,142	1,433	58,206	3,524	0,0001	0,0001	0,0004	0,105	0,000	4,207	4,208	133,000	137,103	0,226	Sub Kritis
5	28,61	13,98	64,84	1,00	3,097	200,817	1,464	71,039	2,827	0,0001	0,0001	0,0013	0,109	0,000	4,206	4,208	134,000	137,097	0,266	Sub Kritis

Sumber: Hasil Perhitungan (2017).

Tabel 4.14

Perhitungan Profil Muka Air pada Saluran Transisi untuk Q_{25th}

Q 25th = 499,47 m³/dt El. Datum = +133,00

n (beton) = 0,014 k = 0,1

No. Section	Jarak (m)	ΔX (m)	B (m)	Z (m)	h (m)	A (m ²)	V (m/dt)	P (m)	R (m)	Sf	Sf Rerata	Hf (m)	Hv (m)	He (m)	H ₁ (m)	H ₂ (m)	El. Dasar Saluran	El. Muka Air	Fr	Jenis Aliran
8	0	0	50,00	2,00	2,167	108,336	4,610	54,333	1,994	0,0017			1,083		5,250		135,000	137,167	1	Kritis
7	9,43	9,43	50,00	0,00	4,946	247,310	2,020	59,892	4,129	0,0001	0,0009	0,0084	0,208	0,088	5,154	5,250	133,000	137,946	0,290	Sub Kritis
6	14,63	5,20	50,00	0,00	4,945	247,263	2,020	59,891	4,129	0,0001	0,0001	0,0006	0,208	0,000	5,153	5,154	133,000	137,945	0,290	Sub Kritis
5	28,61	13,98	64,84	1,00	3,956	256,514	1,947	72,757	3,526	0,0001	0,0001	0,0018	0,193	0,001	5,149	5,152	134,000	137,956	0,313	Sub Kritis

Sumber: Hasil Perhitungan (2017).

Tabel 4.15

Perhitungan Profil Muka Air pada Saluran Transisi untuk Q_{100th}

$Q_{100th} = 626,41 \text{ m}^3/\text{dt}$ El. Datum = +133,00

n (beton) = 0,014 $k = 0,1$

No. Section	Jarak (m)	ΔX (m)	B (m)	Z (m)	h (m)	A (m ²)	V (m/dt)	P (m)	R (m)	Sf	Sf Rerata	Hf (m)	Hv (m)	He (m)	H ₁ (m)	H ₂ (m)	El. Dasar Saluran (m)	El. Muka Air (m)	Fr	Jenis Aliran
8	0	0	50,00	2,00	2,520	125,991	4,972	55,040	2,289	0,0016		1,260			5,780		135,000	137,520	1	Kritis
7	9,43	9,43	50,00	0,00	5,398	269,915	2,321	60,797	4,440	0,0001	0,0009	0,0083	0,275	0,099	5,673	5,780	133,000	138,398	0,319	Sub Kritis
6	14,63	5,20	50,00	0,00	5,397	269,846	2,321	60,794	4,439	0,0001	0,0001	0,0008	0,275	0,000	5,672	5,672	133,000	138,397	0,319	Sub Kritis
5	28,61	13,98	64,84	1,00	4,423	286,824	2,184	73,691	3,892	0,0002	0,0001	0,0021	0,243	0,003	5,666	5,672	134,000	138,423	0,332	Sub Kritis

Sumber: Hasil Perhitungan (2017).

Tabel 4.16

Perhitungan Profil Muka Air pada Saluran Transisi untuk Q_{1000th}

$Q_{1000th} = 881,61 \text{ m}^3/\text{dt}$ El. Datum = +133,00

n (beton) = 0,014 $k = 0,1$

No. Section	Jarak (m)	ΔX (m)	B (m)	Z (m)	h (m)	A (m ²)	V (m/dt)	P (m)	R (m)	Sf	Sf Rerata	Hf (m)	Hv (m)	He (m)	H ₁ (m)	H ₂ (m)	El. Dasar Saluran (m)	El. Muka Air (m)	Fr	Jenis Aliran
8	0	0	50,00	2,00	3,165	158,228	5,572	56,329	2,809	0,0015		1,582			6,747		135,000	138,165	1	Kritis
7	9,43	9,43	50,00	0,00	6,210	310,520	2,839	62,421	4,975	0,0002	0,0009	0,0081	0,411	0,117	6,621	6,746	133,000	139,210	0,364	Sub Kritis
6	14,63	5,20	50,00	0,00	6,209	310,461	2,840	62,418	4,974	0,0002	0,0002	0,0010	0,411	0,000	6,620	6,621	133,000	139,209	0,364	Sub Kritis
5	28,61	13,98	64,84	1,00	5,271	341,827	2,579	75,388	4,534	0,0002	0,0002	0,0025	0,339	0,007	6,610	6,620	134,000	139,271	0,359	Sub Kritis

Sumber: Hasil Perhitungan (2017).

Tabel 4.17

Perhitungan Profil Muka Air pada Saluran Transisi untuk Q_{PMF}

$$Q_{PMF} = 1257,41 \text{ m}^3/\text{dt} \quad \text{El. Datum} = +133,00$$

$$n (\text{beton}) = 0,014 \quad k = 0,1$$

No. Section	Jarak (m)	ΔX (m)	B (m)	Z (m)	h (m)	A (m ²)	V (m/dt)	P (m)	R (m)	Sf	Sf Rerata	Hf (m)	Hv (m)	He (m)	H ₁ (m)	H ₂ (m)	El. Dasar Saluran	El. Muka Air	Fr	Jenis Aliran
8	0	0	50,00	2,00	4,010	200,486	6,272	58,019	3,456	0,0015			2,005		8,015		135,000	139,010	1	Kritis
7	9,43	9,43	50,00	0,00	7,254	362,689	3,467	64,508	5,622	0,0002	0,0009	0,0081	0,613	0,139	7,866	8,014	133,000	140,254	0,411	Sub Kritis
6	14,63	5,20	50,00	0,00	7,252	362,606	3,468	64,504	5,621	0,0002	0,0002	0,0012	0,613	0,000	7,865	7,866	133,000	140,252	0,411	Sub Kritis
5	28,61	13,98	64,84	1,00	6,376	413,482	3,041	77,598	5,329	0,0002	0,0002	0,0030	0,471	0,014	7,848	7,865	134,000	140,376	0,384	Sub Kritis

Sumber: Hasil Perhitungan (2017).

4.6.4 Perencanaan Bangunan *Baffled Chute*

Penentuan dimensi *baffled chute* menggunakan data $Q_{100\text{th}} \text{ Outflow} = 626,41 \text{ m}^3/\text{dt}$ dengan rumus-rumus sebagai berikut:

- Untuk $H = 3 \text{ m}$.

$$Q_{100\text{th}} \text{ Outflow} = 626,41 \text{ m}^3/\text{dt} = 22121,46 \text{ ft}^3/\text{s}$$

$$W = 50 \text{ m} = 164,04 \text{ ft}$$

$$\begin{aligned} q &= \frac{Q}{W} \\ &= \frac{22.121,46}{164,04} \\ &= 134,85 \text{ c.f.s per foot} \end{aligned}$$

Hasil dari perhitungan q berada di luar grafik yang direkomendasikan (pada gambar 2.9), maka dengan melihat syarat lain untuk mendapatkan H , diketahui bahwa dinding penahan memiliki syarat $3H$ (pada gambar 2.10) dan tinggi dinding penahan diketahui 9 m, maka diasumsikan dengan $3H = 9 \text{ m}$, maka $H = 3 \text{ m}$.

Jadi diketahui:

Dimensi *baffled chute*

$$\begin{aligned} H &= 3 \text{ m} & H/2 + 0,2H &= 3/2 + 0,2 \cdot 3 \\ 0,2H &= 0,2 \cdot 3 & &= 2.1 \text{ m} \\ &= 0,6 \text{ m} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \text{Lebar antar baffled chute} & & \text{Jarak antar baffled chute} \\ 1 \frac{1}{2}H &= 1. \frac{1}{2} \cdot 3 & 2H &= 2 \cdot 3 \\ &= 4,5 \text{ m} & &= 6 \text{ m} \end{aligned}$$

Setelah digambarkan, maka didapat jumlah *baffled chute* yang diperlukan sepanjang saluran peluncur sebanyak 55 buah.

- Untuk $H = 2 \text{ m}$.

$$Q_{100\text{th}} \text{ Outflow} = 626,41 \text{ m}^3/\text{dt}$$

$$W = 50 \text{ m}$$

$$\begin{aligned} q &= \frac{Q}{W} & D_c &= \sqrt[3]{\frac{q^2}{g}} \\ &= \frac{626,41}{50} = 12,53 \text{ m}^3/\text{dt}/\text{m} & &= \sqrt[3]{\frac{12,53^2}{9,81}} = \sqrt[3]{16,0042} \\ & & &= 2,52 \text{ m} \end{aligned}$$

$$V_c = \sqrt[3]{gq}$$

$$= \sqrt[3]{9,81 \times 12,53} = \sqrt[3]{122,92}$$

$$= 4,97 \text{ m/dt}$$

$$H = 0,8 D_c$$

$$= 0,8 \times 2,52 = 2,016 \text{ m} \approx 2 \text{ m}$$

Jadi diketahui:

Dimensi *baffled chute*

$$H = 2 \text{ m}$$

$$H/2 + 0,2H = 2/2 + 0,2 \cdot 2$$

$$0,2H = 0,2 \cdot 2$$

$$= 1,4 \text{ m}$$

$$= 0,4 \text{ m}$$

Lebar antar *baffled chute*

Jarak antar *baffled chute*

$$1 \frac{1}{2}H = 1,5 \cdot 2$$

$$2H = 2 \cdot 2$$

$$= 1 \text{ m}$$

$$= 4 \text{ m}$$

Setelah digambarkan, maka didapat jumlah *baffled chute* yang diperlukan sepanjang saluran peluncur sebanyak 128 buah.

4.6.5 Perhitungan Profil Muka Air di Saluran Peluncur

Menggunakan Persamaan 2-9 sampai 2-12, dapat dihitung profil muka air pada saluran peluncur. Berikut contoh perhitungan:

Diketahui: (Pada *section 8*)

$$Q_{100} : 626,410 \text{ m}^3/\text{dt}$$

$$n : 0,014 \text{ (beton)}$$

$$k : 0,1$$

$$B_8 : 50 \text{ m}$$

$$\text{El. section 8} : +135,000 \text{ m}$$

$$\text{El. datum} : +106,000 \text{ m}$$

Berikut ini adalah langkah perhitungan tinggi muka air di saluran peluncur:

$$\text{Tinggi datum, } Z = \text{El. section 8} - \text{El. datum} = +135,000 - +106,000 = 29 \text{ m}$$

$$\text{Tinggi muka air, } h_8 = \sqrt[3]{\frac{\left(\frac{Q}{B}\right)^2}{g}} = \sqrt[3]{\frac{\left(\frac{626,41}{50}\right)^2}{(9,81)}} = 2,520 \text{ m}$$

$$\text{Kecepatan aliran kritis, } V_8 = \frac{Q}{A} = \frac{626,41}{(2,520 \cdot 50)} = 4,972 \text{ m/dt}$$

$$\text{Jari-jari hidrolis, } R = \frac{A}{P} = \frac{h_g \cdot B}{(2 \cdot h_g) + B} = \frac{(2,520 \cdot 50)}{(2 \cdot 2,520) + 50} = 2,289 \text{ m}$$

$$\text{Kemiringan garis energi, } S_{f8} = \frac{n^2 \cdot V_8^2}{R_g^{4/3}} = \frac{0,014^2 \cdot 4,972^2}{2,289^{4/3}} = 0,0016$$

$$H_{v8} = \frac{V_8^2}{2.g} = \frac{4,972}{2.9,81} = 1,260 \text{ m}$$

$$H_1 = Z_8 + H_8 + H_{v8} = 29 + 2,520 + 1,260 = 32,780 \text{ m}$$

$$\text{Bilangan Froude untuk } h_8 \text{ adalah, } Fr = \frac{V_c}{\sqrt{g.h_8}} = \frac{4,972}{\sqrt{(9,81).2,520}} = 1,00 \text{ (kritis)}$$

Langkah selanjutnya adalah sebagai berikut: (*section 9*)

1. Panjang antara *section 8* dan *9*, ΔX = 18,20 m
2. Lebar dasar saluran, B_9 = 50 m
3. Tinggi datum, Z = El. *section 9* – El. datum = + 133,350 - +106,000 = 27,35 m
4. Coba-coba tinggi muka air, h_9 (coba-coba) = 1,488 m
5. Luas penampang basah, $A = B . h = (50) . (1,488)$ = 74,410 m²

$$6. \text{ Kecepatan aliran, } V_9 = \frac{Q}{A} = \frac{626,41}{74,410} = 8,418 \text{ m/dt}$$

$$7. \text{ Jari-jari hidrolik, } R_9 = \frac{A}{P} = \frac{h_9 . B}{(2 . h_9) + B} = \frac{1,488 . 50}{(2 . 1,488) + 50} = 1,405 \text{ m}$$

$$8. \text{ Kemiringan garis energi, } Sf_9 = \frac{n^2 . V_9^2}{R_9^{4/3}} = \frac{0,014^2 . 8,418^2}{1,405^{4/3}} = 0,0088$$

$$9. \text{ Kemiringan garis energi rerata, } Sf \text{ rerata} = \frac{Sf_8 + Sf_9}{2} = \frac{0,0016 + 0,0088}{2} = 0,0052$$

$$10. \text{ Kehilangan energi akibat gesekan, } H_f = Sf \text{ rerata} . \Delta x = 0,0052 . 18,20 = 0,0950 \text{ m}$$

$$11. H_{v9} = \frac{V_9^2}{2.g} = \frac{8,148}{2.9,81} = 3,612 \text{ m}$$

12. Faktor perubahan bentuk penampang (*eddy loss*)

$$H_e = k \left| \frac{V_8^2 - V_9^2}{2.g} \right| = 0,1 \left| \frac{4,972^2 - 8,148^2}{2.(9,81)} \right| = 0,235 \text{ m}$$

13. Dengan menggunakan persamaan tinggi garis energi di hulu dan hilir saluran:

$$Z_8 + H_8 + H_{v8} = Z_9 + H_9 + H_{v9} + H_f + H_e$$

$$29 + 2,520 + 1,260 = 27,35 + 1,488 + 3,612 + 0,0950 + 0,235$$

$$32,780 \text{ m} = 32,780 \text{ m} \rightarrow \text{OK!}$$

14. Elevasi muka air = el. Dasar saluran + h_9

$$= +133,350 + 1,488$$

$$= +134,838 \text{ m}$$

$$15. \text{ Bilangan Froude, } Fr = \frac{V_9}{\sqrt{g.h_9}} = \frac{8,148}{\sqrt{9,81 . 1,488}} = 2,203 \text{ (super kritis)}$$

Perhitungan untuk debit selanjutnya dapat dilihat pada Tabel 4.18 - 4.22:

Tabel 4.18

Perhitungan Profil Muka Air pada Saluran Peluncur untuk Q_{2th}

Q 2th = 293,94 m³/dt EL. Datum = +106,00

n (beton) = 0,014 k = 0,1

No. Section	Jarak (m)	ΔX (m)	B (m)	Z (m)	h (m)	A (m ²)	V (m/dt)	P (m)	R (m)	Sf	Sf Rerata	Hf (m)	Hv (m)	He (m)	H ₁ (m)	H ₂ (m)	El. Dasar Saluran	El. Muka Air	Fr	Jenis Aliran
8	0	0	50,00	29,00	1,522	76,080	3,864	53,043	1,434	0,0018			0,761		31,282		135,000	136,522	1	Kritis
9	18,20	18,20	50,00	27,35	0,796	39,795	7,386	51,592	0,771	0,0151	0,0085	0,1540	2,781	0,202	30,927	31,283	133,350	134,146	2,643	Super Kritis
10	33,15	14,95	50,00	22,63	0,509	25,474	11,539	51,019	0,499	0,0659	0,0405	0,6055	6,786	0,401	29,921	30,927	128,625	129,134	5,161	Super Kritis
11	39,65	6,50	50,00	13,01	0,345	17,261	17,029	50,690	0,341	0,2390	0,1525	0,9909	14,780	0,799	28,130	29,921	119,005	119,350	9,253	Super Kritis
12	50,70	11,05	50,00	8,04	0,325	16,264	18,073	50,651	0,321	0,2912	0,2651	2,9293	16,649	0,187	25,014	28,130	114,040	114,365	10,118	Super Kritis
13	62,40	11,70	50,00	0,60	0,298	14,906	19,720	50,596	0,295	0,3888	0,3400	3,9780	19,820	0,317	20,719	25,014	106,600	106,898	11,531	Super Kritis

Sumber: Hasil Perhitungan (2017).

Tabel 4.19

Perhitungan Profil Muka Air pada Saluran Peluncur untuk Q_{25th}

Q 25th = 499,47 m³/dt EL. Datum = +106,00

n (beton) = 0,014 k = 0,1

No. Section	Jarak (m)	ΔX (m)	B (m)	Z (m)	h (m)	A (m ²)	V (m/dt)	P (m)	R (m)	Sf	Sf Rerata	Hf (m)	Hv (m)	He (m)	H ₁ (m)	H ₂ (m)	El. Dasar Saluran	El. Muka Air	Fr	Jenis Aliran
8	0	0	50,00	29,00	2,167	108,336	4,610	54,333	1,994	0,0017			1,083		32,250		135,000	137,167	1	Kritis
9	18,20	18,20	50,00	27,35	1,236	61,781	8,084	52,471	1,177	0,0103	0,0060	0,1089	3,331	0,225	31,917	32,251	133,350	134,586	2,322	Super Kritis
10	33,15	14,95	50,00	22,63	0,815	40,730	12,263	51,629	0,789	0,0404	0,0254	0,3793	7,665	0,433	31,104	31,917	128,625	129,440	4,338	Super Kritis
11	39,65	6,50	50,00	13,01	0,562	28,091	17,781	51,124	0,549	0,1377	0,0891	0,5789	16,114	0,845	29,680	31,104	119,005	119,567	7,574	Super Kritis
12	50,70	11,05	50,00	8,04	0,517	25,826	19,340	51,033	0,506	0,1818	0,1597	1,7651	19,064	0,295	27,620	29,680	114,040	114,557	8,592	Super Kritis
13	62,40	11,70	50,00	0,60	0,465	23,242	21,490	50,930	0,456	0,2576	0,2197	2,5705	23,537	0,447	24,602	27,620	106,600	107,065	10,063	Super Kritis

Sumber: Hasil Perhitungan (2017).

Tabel 4.20

Perhitungan Profil Muka Air pada Saluran Peluncur untuk Q_{100th} $Q_{100th} = 626,41 \text{ m}^3/\text{dt}$ El. Datum = +106,00 $n(\text{beton}) = 0,014$ $k = 0,1$

No. Section	Jarak (m)	ΔX (m)	B (m)	Z (m)	h (m)	A (m ²)	V (m/dt)	P (m)	R (m)	Sf	Sf Rerata	Hf (m)	Hv (m)	He (m)	H ₁ (m)	H ₂ (m)	El. Dasar Saluran	El. Muka Air	Fr	Jenis Aliran
8	0	0	50,00	29,00	2,520	125,991	4,972	55,040	2,289	0,0016			1,260		32,780		135,000	137,520	1	Kritis
9	18,20	18,20	50,00	27,35	1,488	74,410	8,418	52,976	1,405	0,0088	0,0052	0,0950	3,612	0,235	32,450	32,780	133,350	134,838	2,203	Super Kritis
10	33,15	14,95	50,00	22,63	0,996	49,776	12,585	51,991	0,957	0,0329	0,0209	0,3119	8,072	0,446	31,692	32,450	128,625	129,621	4,027	Super Kritis
11	39,65	6,50	50,00	13,01	0,693	34,632	18,088	51,385	0,674	0,1085	0,0707	0,4596	16,675	0,860	30,373	31,692	119,005	119,698	6,939	Super Kritis
12	50,70	11,05	50,00	8,04	0,633	31,651	19,791	51,266	0,617	0,1460	0,1273	1,4064	19,964	0,329	28,637	30,373	114,040	114,673	7,942	Super Kritis
13	62,40	11,70	50,00	0,60	0,567	28,345	22,100	51,134	0,554	0,2102	0,1781	2,0841	24,893	0,493	26,060	28,637	106,600	107,167	9,371	Super Kritis

Sumber: Hasil Perhitungan (2017).

Tabel 4.21

Perhitungan Profil Muka Air pada Saluran Peluncur untuk Q_{1000th} $Q_{1000th} = 881,61 \text{ m}^3/\text{dt}$ El. Datum = +106,00 $n(\text{beton}) = 0,014$ $k = 0,1$

No. Section	Jarak (m)	ΔX (m)	B (m)	Z (m)	h (m)	A (m ²)	V (m/dt)	P (m)	R (m)	Sf	Sf Rerata	Hf (m)	Hv (m)	He (m)	H ₁ (m)	H ₂ (m)	El. Dasar Saluran	El. Muka Air	Fr	Jenis Aliran
8	0	0	50,00	29,00	3,165	158,228	5,572	56,329	2,809	0,0015			1,582		33,747		135,000	138,165	1	Kritis
9	18,20	18,20	50,00	27,35	1,966	98,280	8,970	53,931	1,822	0,0071	0,0043	0,0784	4,101	0,252	33,417	33,747	133,350	135,316	2,043	Super Kritis
10	33,15	14,95	50,00	22,63	1,346	67,297	13,100	52,692	1,277	0,0243	0,0157	0,2344	8,747	0,465	32,718	33,417	128,625	129,971	3,605	Super Kritis
11	39,65	6,50	50,00	13,01	0,950	47,502	18,559	51,900	0,915	0,0760	0,0501	0,3258	17,556	0,881	31,511	32,718	119,005	119,955	6,079	Super Kritis
12	50,70	11,05	50,00	8,04	0,864	43,182	20,416	51,727	0,835	0,1039	0,0900	0,9940	21,245	0,369	30,148	31,511	114,040	114,904	7,014	Super Kritis
13	62,40	11,70	50,00	0,60	0,770	38,494	22,902	51,540	0,747	0,1517	0,1278	1,4955	26,734	0,549	28,104	30,148	106,600	107,370	8,334	Super Kritis

Sumber: Hasil Perhitungan (2017).

Tabel 4.22
Perhitungan Profil Muka Air pada Saluran Peluncur untuk Q_{PMF}
 $Q_{PMF} = 1257,41 \text{ m}^3/\text{dt}$ El. Datum = +106,00
 n (beton) = 0,014 k = 0,1

No. Section	Jarak (m)	ΔX (m)	B (m)	Z (m)	h (m)	A (m ²)	V (m/dt)	P (m)	R (m)	Sf				H ₁ (m)	H _e (m)	H ₂ (m)	El. Dasar Saluran	El. Muka Air	Fr	Jenis Aliran
										Sf	Sf Rerata	Hf (m)	Hv (m)							
8	0	0	50.00	29.00	4.010	200.486	6.272	58.019	3.456	0.0015			2.005	35.015			135.000	139.010	1	Kritis
9	18.20	18.20	50.00	27.35	2.615	130.753	9.617	55.230	2.367	0.0057	0.0036	0.0657	4.714	34.679	0.271	35.015	133.350	135.965	1.899	Super Kritis
10	33.15	14.95	50.00	22.63	1.837	91.833	13.692	53.673	1.711	0.0180	0.0119	0.1772	9.556	34.017	0.484	34.679	128.625	130.462	3.226	Super Kritis
11	39.65	6.50	50.00	13.01	1.318	65.887	19.084	52.635	1.252	0.0529	0.0354	0.2303	18.563	32.886	0.901	34.017	119.005	120.323	5.308	Super Kritis
12	50.70	11.05	50.00	8.04	1.195	59.770	21.037	52.391	1.141	0.0728	0.0628	0.6944	22.557	31.792	0.399	32.886	114.040	115.235	6.143	Super Kritis
13	62.40	11.70	50.00	0.60	1.064	53.188	23.641	52.128	1.020	0.1066	0.0897	1.0495	28.486	30.150	0.593	31.792	106.600	107.664	7.318	Super Kritis

Sumber: Hasil Perhitungan (2017).

4.6.6 Perhitungan Profil Muka Air di Peredam Energi

Perhitungan profil muka air pada peredam energi dipengaruhi oleh hukum persamaan momentum, yang ditinjau dari awal peredam energi h_1 dan akhir peredam energi h_2 , perhitungan profil muka air di peredam energi menggunakan Persamaan 2-13 sampai 2-24.

4.6.6.1 Perhitungan Profil Muka Air di Peredam Energi I

Contoh perhitungan:

$$Q_{2th} = 293,940 \text{ m}^3/\text{dt}$$

$$B_{Hulu} = 75 \text{ m}$$

$$B_{Hilir} = 64,845 \text{ m}$$

$$H_1 = 0,272 \text{ m (didapat dari perhitungan dari perhitungan saluran pelimpah)}$$

Berikut ini adalah langkah perhitungan tinggi muka air di peredam energi I:

$$\text{El. Muka Air Hulu Peredam Energi I} = +133,070 + 0,272 = +133,972$$

$$v_1 = \frac{Q}{A} = \frac{293,940}{(0,272 \cdot 75)} = 14,424 \text{ m/dt}$$

$$Fr_1 = \frac{V_1}{\sqrt{g \cdot h_1}} = \frac{14,424}{\sqrt{9,81 \cdot 0,272}} = 8,835$$

Maka dengan menggunakan persamaan (2-23), diketahui:

$$\frac{h_2}{h_1} = \frac{1}{2} (\sqrt{1 + 8Fr^2} - 1)$$

$$\frac{h_2}{0,272} = \frac{1}{2} (\sqrt{1 + 8 \cdot 8,835^2} - 1)$$

$$h_2 = 3,262 \text{ m}$$

$$\text{El. Muka Air Hilir Peredam Energi I} = +134,000 + 3,262 = +137,262$$

$$v_2 = \frac{Q}{A} = \frac{293,940}{(3,262 \cdot 64,845)} = 1,390 \text{ m/dt}$$

$$Fr_2 = \frac{V_2}{\sqrt{g \cdot h_2}} = \frac{1,390}{\sqrt{9,81 \cdot 3,262}} = 0,246$$

Untuk perhitungan selanjutnya dapat dilihat pada Tabel 4.23:

Tabel 4.23

Perhitungan Profil Muka Air pada Peredam Energi I

Kala Ulang	Q	h_1	v_1	Fr_1	h_2	v_2	Fr_2	B Hulu	B Hilir	El Muka Air	El Muka Air
(Tahun)	(m ³ /dt)	m	(m/dt)		(m)	(m/dt)		(m)	(m)	Hulu	Hilir
2	293.940	0.272	14.424	8.835	3.262	1.390	0.246			133.972	137.262
25	499.470	0.452	14.718	6.986	4.250	1.812	0.281			134.152	138.250
100	626.410	0.562	14.868	6.333	4.759	2.030	0.297	75.000	64.845	134.262	138.759
1000	881.610	0.778	15.115	5.472	5.642	2.410	0.324			134.478	139.642
PMF	1257.410	1.088	15.410	4.717	6.734	2.880	0.354			134.788	140.734

Sumber: Hasil Perhitungan (2017).

4.6.6.2 Perhitungan Profil Muka Air di Peredam Energi II

Contoh perhitungan:

$$Q_{2th} = 293,940 \text{ m}^3/\text{dt}$$

$$B = 50 \text{ m}$$

$$H_1 = 0,298 \text{ m (didapat dari perhitungan dari perhitungan saluran peluncur)}$$

Berikut ini adalah langkah perhitungan tinggi muka air di peredam energi II:

$$\text{El. Muka Air Hulu Peredam Energi II} = +106,600 + 0,298 = +106,898$$

$$v_1 = \frac{Q}{A} = \frac{293,940}{(0,298 \cdot 50)} = 19,720 \text{ m/dt}$$

$$Fr_1 = \frac{V_1}{\sqrt{g \cdot h_1}} = \frac{19,720}{\sqrt{9,81 \cdot 0,298}} = 11,531$$

Maka dengan menggunakan persamaan (2-23), diketahui:

$$\frac{h_2}{h_1} = \frac{1}{2} (\sqrt{1 + 8Fr^2} - 1)$$

$$\frac{h_2}{0,298} = \frac{1}{2} (\sqrt{1 + 8 \cdot 11,531^2} - 1)$$

$$h_2 = 4,715 \text{ m}$$

$$\text{El. Muka Air Hilir Peredam Energi II} = +106,600 + 4,715 = +111,315$$

$$v_2 = \frac{Q}{A} = \frac{293,940}{(4,715 \cdot 50)} = 1,247 \text{ m/dt}$$

$$Fr_2 = \frac{V_2}{\sqrt{g \cdot h_2}} = \frac{1,247}{\sqrt{9,81 \cdot 4,715}} = 0,183$$

Untuk perhitungan selanjutnya dapat dilihat pada Tabel 4.24:

Tabel 4.24

Perhitungan Profil Muka Air pada Peredam Energi II

Kala Ulang	Q	h ₁	v ₁	Fr ₁	h ₂	v ₂	Fr ₂	B	El Muka Air	El Muka Air
(Tahun)	(m ³ /dt)	m	(m/dt)		(m)	(m/dt)		(m)	Hulu	Hilir
2	293.940	0.298	19.720	11.531	4.715	1.247	0.183		106.898	111.315
25	499.470	0.465	21.490	10.063	6.387	1.564	0.198		107.065	112.987
100	626.410	0.567	22.100	9.371	7.235	1.732	0.206	50.000	107.167	113.835
1000	881.610	0.770	22.902	8.334	8.697	2.027	0.220		107.370	115.297
PMF	1257.410	1.064	23.641	7.318	10.490	2.397	0.236		107.664	117.090

Sumber: Hasil Perhitungan (2017).

4.6.6.3 Perhitungan Penurunan Energi pada Peredam Energi II

Contoh Perhitungan:

Pada Q_{2th} (293,940 m³/dt):

$$H_1 = 0,298 \text{ m} \quad V_1 = 19,720 \text{ m/dt}$$

$$H_2 = 4,175 \text{ m} \quad V_2 = 1,247 \text{ m/dt}$$

$$E_1 = H_1 + \frac{V_1^2}{2g}$$

$$= 0,298 + \frac{19,720^2}{2 \cdot 9,81}$$

$$= 20,119 \text{ m}$$

$$E_2 = H_2 + \frac{V_2^2}{2g}$$

$$= 4,175 + \frac{1,247^2}{2 \cdot 9,81}$$

$$= 4,794 \text{ m}$$

$$E = \frac{E_1 - E_2}{E_1} \times 100\%$$

$$= \frac{20,119 - 4,794}{20,119} \times 100\%$$

$$= 76,17 \%$$

Jadi, diketahui bahwa penurunan energi pada Q_{2th} di peredam energi II adalah 76,17%.

Untuk perhitungan selanjutnya dapat dilihat pada Tabel 4.25:

Tabel 4.25

Perhitungan Penurunan Energi pada Peredam Energi II

Kala Ulang (Tahun)	Q (m ³ /dt)	Tinggi Muka Air		Kecepatan Aliran		Energi Aliran		Penurunan Energi E (%)
		H ₁ (m)	H ₂ (m)	V ₁ (m/dt)	V ₂ (m/dt)	E ₁ (m)	E ₂ (m)	
2	293.940	0.298	4.715	19.720	1.247	20.119	4.794	76.17
25	499.470	0.465	6.387	21.490	1.564	24.002	6.512	72.87
100	626.410	0.567	7.235	22.100	1.732	25.460	7.388	70.98
1000	881.610	0.770	8.697	22.902	2.027	27.504	8.906	67.62
PMF	1257.410	1.064	10.490	23.641	2.397	29.550	10.783	63.51

Sumber: Hasil Perhitungan (2017).

4.6.7 Perhitungan Indeks Kavitasi

Sebagai contoh diambil debit Q_{100th} dengan data tinggi muka air (h) dan kecepatan aliran (V) didapatkan dari hasil pengukuran model. Perhitungan indeks kavitasi menggunakan Persamaan 2-25 dan 2-26. Berikut langkah-langkah perhitungan indeks kavitasi pada section (IV) pada Q_{100th}:

1. Diketahui jenis air pada suhu 25°C adalah sebesar 997,07 kg/m³
2. Data pengukuran tinggi muka air Q_{100th} *Original Design*, h = 5,860 m
3. Tekanan pada titik yang ditinjau, dalam hal ini menggunakan persamaan:

$$P_g = \rho \cdot g \cdot h$$

$$= 997,07 \cdot 9,81 \cdot 5,860$$

$$= 57318,11 \text{ N/m}^2$$

4. Tekanan pada titik yang ditinjau dikonversikan ke dalam satuan kPa

$$P_g = 57318,11 \text{ N/m}^2 \cdot 10^{-3}$$

$$= 57,318 \text{ kPa}$$

5. Tekanan atmosfer (P_a) sebesar 101 kPa
6. Tekanan setempat diperoleh dari:

$$\begin{aligned}
 P_0 &= P_g + P_a \\
 &= 57,318 \text{ kPa} + 101 \text{ kPa} \\
 &= 158,318 \text{ kPa}
 \end{aligned}$$

7. Tekanan uap (P_v) untuk suhu 25°C adalah sebesar 3,160 kPa

8. Kecepatan aliran (V_o) di section IV = 1,107 m/dt

$$9. \frac{V_o^2}{2} = \frac{1,107^2}{2} = 0,612 \text{ m}^2/\text{dt}^2$$

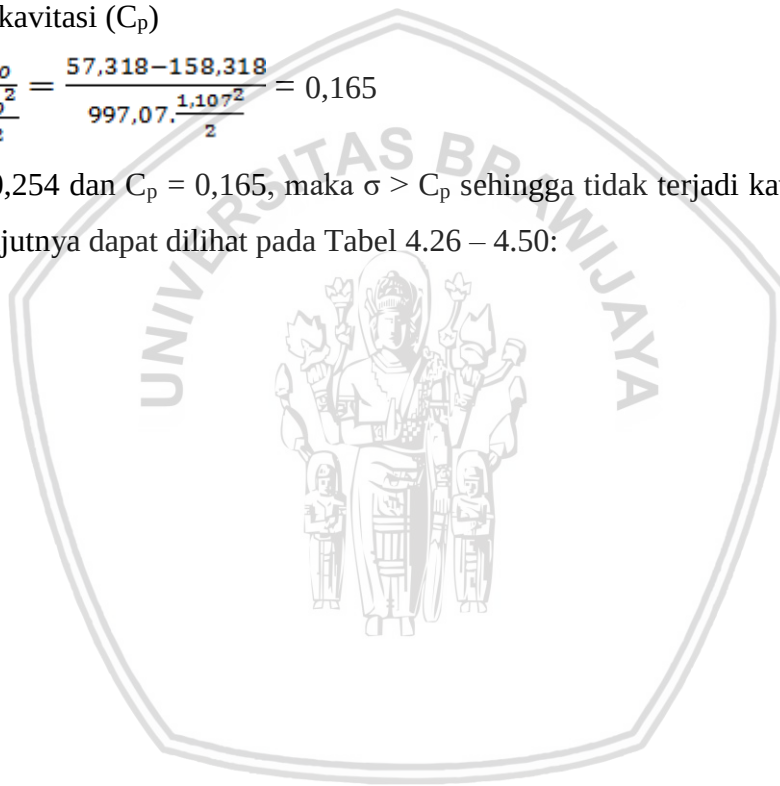
10. Indeks kavitasi (σ)

$$\sigma = \frac{P_0 - P_v}{\rho_w \cdot \frac{V_o^2}{2}} = \frac{158,318 - 3,160}{997,07 \cdot \frac{1,107^2}{2}} = 0,254$$

11. Angka batas kavitasi (C_p)

$$C_p = - \frac{P_g - P_0}{\rho_w \cdot \frac{V_o^2}{2}} = \frac{57,318 - 158,318}{997,07 \cdot \frac{1,107^2}{2}} = 0,165$$

Karena $\sigma = 0,254$ dan $C_p = 0,165$, maka $\sigma > C_p$ sehingga tidak terjadi kavitasi. Untuk perhitungan selanjutnya dapat dilihat pada Tabel 4.26 – 4.50:



Tabel 4.26
Perhitungan Indeks Kavitasasi untuk Q_{2th} pada *Original Design*

Keterangan	No. Sec.	ρ_w (kg/m ³)	h (m)	Pg (N/m ²)	Pa (kPa)	Po (kPa)	Pv (kPa)	Vo (m/dt)	Vo ² /2 (m ² /dt ²)		σ	Cp	Kondisi
Apron atas	IV	997.07	4.777	46721.76	46.722	101	147.722	3.160	1.107	0.612	0.237	0.165	Tidak Terjadi Kavitasasi
	III	997.07	4.809	47039.65	47.040	101	148.040	3.160	1.107	0.612	0.237	0.165	Tidak Terjadi Kavitasasi
	II	997.07	4.798	46933.68	46.934	101	147.934	3.160	1.107	0.612	0.237	0.165	Tidak Terjadi Kavitasasi
	I	997.07	4.755	46509.83	46.510	101	147.510	3.160	1.530	1.170	0.124	0.087	Tidak Terjadi Kavitasasi
Crest Pelimpah	0	997.07	1.460	14275.73	14.276	101	115.276	3.160	4.040	8.163	0.014	0.012	Tidak Terjadi Kavitasasi
Pelimpah	1	997.07	0.378	3700.57	3.701	101	104.701	3.160	7.423	27.549	0.004	0.004	Tidak Terjadi Kavitasasi
Peredam Energi I	2	997.07	2.800	27387.49	27.387	101	128.387	3.160	1.715	1.471	0.085	0.069	Tidak Terjadi Kavitasasi
	3	997.07	3.435	33603.47	33.603	101	134.603	3.160	1.260	0.793	0.166	0.128	Tidak Terjadi Kavitasasi
	4	997.07	4.237	41444.77	41.445	101	142.445	3.160	1.746	1.524	0.092	0.066	Tidak Terjadi Kavitasasi
	5	997.07	3.280	32082.49	32.082	101	133.082	3.160	1.565	1.225	0.106	0.083	Tidak Terjadi Kavitasasi
Saluran Transisi	6	997.07	4.280	41868.63	41.869	101	142.869	3.160	1.800	1.619	0.087	0.063	Tidak Terjadi Kavitasasi
	7	997.07	4.280	41868.63	41.869	101	142.869	3.160	1.565	1.225	0.114	0.083	Tidak Terjadi Kavitasasi
Crest Peluncur	8	997.07	1.873	18323.54	18.324	101	119.324	3.160	4.736	11.214	0.010	0.009	Tidak Terjadi Kavitasasi
Peluncur	9	997.07	0.485	4743.90	4.744	101	105.744	3.160	6.608	21.836	0.005	0.005	Tidak Terjadi Kavitasasi
	10	997.07	0.162	1581.30	1.581	101	102.581	3.160	13.079	85.527	0.001	0.001	Terjadi Kavitasasi
	11	997.07	0.172	1687.27	1.687	101	102.687	3.160	17.661	155.957	0.001	0.001	Terjadi Kavitasasi
	12	997.07	0.512	5004.74	5.005	101	106.005	3.160	20.226	204.541	0.001	0.000	Tidak Terjadi Kavitasasi
Peredam Energi II	13	997.07	5.937	58068.00	58.068	101	159.068	3.160	4.687	10.982	0.014	0.009	Tidak Terjadi Kavitasasi
	14	997.07	6.603	64587.20	64.587	101	165.587	3.160	3.882	7.534	0.022	0.013	Tidak Terjadi Kavitasasi
	15	997.07	7.383	72216.58	72.217	101	173.217	3.160	3.309	5.475	0.031	0.019	Tidak Terjadi Kavitasasi
	16	997.07	7.546	73806.03	73.806	101	174.806	3.160	1.565	1.225	0.141	0.083	Tidak Terjadi Kavitasasi
Escape Channel	17	997.07	7.009	68558.39	68.558	101	169.558	3.160	1.682	1.415	0.118	0.072	Tidak Terjadi Kavitasasi
	18	997.07	2.200	21523.63	21.524	101	122.524	3.160	2.705	3.657	0.033	0.028	Tidak Terjadi Kavitasasi
	19	997.07	2.233	21841.52	21.842	101	122.842	3.160	2.466	3.041	0.039	0.033	Tidak Terjadi Kavitasasi
	20	997.07	1.280	12516.74	12.517	101	113.517	3.160	4.220	8.905	0.012	0.011	Tidak Terjadi Kavitasasi

Sumber: Hasil Perhitungan (2017)

Tabel 4.27
Perhitungan Indeks Kavitas untuk Q_{25th} pada *Original Design*

Keterangan	No. Sec.	ρ_w (kg/m ³)	h (m)	Pg (N/m ²)	Pa (kPa)	Po (kPa)	Pv (kPa)	Vo (m/dt)	Vo ² /2 (m ² /dt ²)		σ	Cp	Kondisi
Apron atas	IV	997.07	5.492	53715.35	53.715	101	154.715	3.160	1.107	0.612	0.248	0.165	Tidak Terjadi Kavitas
	III	997.07	5.448	53291.49	53.291	101	154.291	3.160	1.107	0.612	0.248	0.165	Tidak Terjadi Kavitas
	II	997.07	5.448	53291.49	53.291	101	154.291	3.160	1.565	1.225	0.124	0.083	Tidak Terjadi Kavitas
	I	997.07	5.405	52867.64	52.868	101	153.868	3.160	1.917	1.837	0.082	0.055	Tidak Terjadi Kavitas
Crest Pelimpah	0	997.07	2.055	20103.72	20.104	101	121.104	3.160	4.380	9.592	0.012	0.011	Tidak Terjadi Kavitas
Pelimpah	1	997.07	1.353	13237.29	13.237	101	114.237	3.160	8.520	36.292	0.003	0.003	Tidak Terjadi Kavitas
Peredam Energi I	2	997.07	3.038	29718.69	29.719	101	130.719	3.160	4.466	9.975	0.013	0.010	Tidak Terjadi Kavitas
	3	997.07	3.609	35298.89	35.299	101	136.299	3.160	3.770	7.108	0.019	0.014	Tidak Terjadi Kavitas
	4	997.07	4.735	46319.09	46.319	101	147.319	3.160	3.063	4.691	0.031	0.022	Tidak Terjadi Kavitas
	5	997.07	4.125	40347.64	40.348	101	141.348	3.160	2.213	2.450	0.057	0.041	Tidak Terjadi Kavitas
Saluran Transisi	6	997.07	5.060	49498.00	49.498	101	150.498	3.160	2.213	2.450	0.060	0.041	Tidak Terjadi Kavitas
	7	997.07	4.974	48650.29	48.650	101	149.650	3.160	2.388	2.850	0.052	0.036	Tidak Terjadi Kavitas
Crest Peluncur	8	997.07	2.588	25317.13	25.317	101	126.317	3.160	5.570	15.513	0.008	0.007	Tidak Terjadi Kavitas
Peluncur	9	997.07	1.200	11737.50	11.737	101	112.737	3.160	8.922	39.800	0.003	0.003	Tidak Terjadi Kavitas
	10	997.07	0.443	4336.35	4.336	101	105.336	3.160	13.250	87.776	0.001	0.001	Tidak Terjadi Kavitas
	11	997.07	0.378	3700.57	3.701	101	104.701	3.160	17.557	154.115	0.001	0.001	Tidak Terjadi Kavitas
	12	997.07	0.598	5852.45	5.852	101	106.852	3.160	18.408	169.429	0.001	0.001	Tidak Terjadi Kavitas
Peredam Energi II	13	997.07	6.045	59127.64	59.128	101	160.128	3.160	9.412	44.296	0.004	0.002	Tidak Terjadi Kavitas
	14	997.07	6.863	67130.33	67.130	101	168.130	3.160	5.605	15.709	0.011	0.006	Tidak Terjadi Kavitas
	15	997.07	8.271	80905.58	80.906	101	181.906	3.160	2.626	3.447	0.052	0.029	Tidak Terjadi Kavitas
	16	997.07	8.596	84084.49	84.084	101	185.084	3.160	2.300	2.646	0.069	0.038	Tidak Terjadi Kavitas
Escape Channel	17	997.07	7.973	77989.14	77.989	101	178.989	3.160	2.016	2.032	0.087	0.050	Tidak Terjadi Kavitas
	18	997.07	3.208	31378.24	31.378	101	132.378	3.160	2.923	4.272	0.030	0.024	Tidak Terjadi Kavitas
	19	997.07	2.926	28623.19	28.623	101	129.623	3.160	3.380	5.712	0.022	0.018	Tidak Terjadi Kavitas
	20	997.07	1.908	18662.62	18.663	101	119.663	3.160	4.769	11.372	0.010	0.009	Tidak Terjadi Kavitas

Sumber: Hasil Perhitungan (2017).

Tabel 4.28

Perhitungan Indeks Kavitas untuk Q_{100th} pada *Original Design*

Keterangan	No. Sec.	ρ_w (kg/m ³)	h (m)	Pg (N/m ²)	Pa (kPa)	Po (kPa)	Pv (kPa)	Vo (m/dt)	Vo ² /2 (m ² /dt ²)		σ	Cp	Kondisi
Apron atas	IV	997.07	5.860	57318.11	57.318	101	158.318	3.160	1.107	0.612	0.254	0.165	Tidak Terjadi Kavitas
	III	997.07	5.817	56894.25	56.894	101	157.894	3.160	1.565	1.225	0.127	0.083	Tidak Terjadi Kavitas
	II	997.07	5.806	56788.29	56.788	101	157.788	3.160	1.565	1.225	0.127	0.083	Tidak Terjadi Kavitas
	I	997.07	5.578	54563.06	54.563	101	155.563	3.160	2.466	3.041	0.050	0.033	Tidak Terjadi Kavitas
Crest Pelimpah	0	997.07	2.196	21481.25	21.481	101	122.481	3.160	5.190	13.468	0.009	0.008	Tidak Terjadi Kavitas
Pelimpah	1	997.07	0.931	9104.71	9.105	101	110.105	3.160	9.059	41.031	0.003	0.002	Tidak Terjadi Kavitas
Peredam Energi I	2	997.07	3.288	32155.85	32.156	101	133.156	3.160	7.166	25.676	0.005	0.004	Tidak Terjadi Kavitas
	3	997.07	3.728	36464.49	36.464	101	137.464	3.160	4.946	12.232	0.011	0.008	Tidak Terjadi Kavitas
	4	997.07	4.909	48014.51	48.015	101	149.015	3.160	3.320	5.512	0.027	0.018	Tidak Terjadi Kavitas
	5	997.07	4.515	44162.33	44.162	101	145.162	3.160	3.063	4.691	0.030	0.022	Tidak Terjadi Kavitas
	6	997.07	5.472	53524.61	53.525	101	154.525	3.160	3.194	5.099	0.030	0.020	Tidak Terjadi Kavitas
Saluran Transisi	7	997.07	5.451	53312.69	53.313	101	154.313	3.160	3.825	7.315	0.021	0.014	Tidak Terjadi Kavitas
Crest Peluncur	8	997.07	2.762	27012.54	27.013	101	128.013	3.160	6.701	22.454	0.006	0.005	Tidak Terjadi Kavitas
Peluncur	9	997.07	1.547	15128.33	15.128	101	116.128	3.160	9.836	48.376	0.002	0.002	Tidak Terjadi Kavitas
	10	997.07	0.627	6137.73	6.138	101	107.138	3.160	13.644	93.084	0.001	0.001	Tidak Terjadi Kavitas
	11	997.07	0.487	4760.21	4.760	101	105.760	3.160	17.580	154.527	0.001	0.001	Tidak Terjadi Kavitas
	12	997.07	0.652	6382.26	6.382	101	107.382	3.160	18.428	169.802	0.001	0.001	Tidak Terjadi Kavitas
	13	997.07	6.403	62624.43	62.624	101	163.624	3.160	15.961	127.370	0.001	0.001	Tidak Terjadi Kavitas
	14	997.07	6.376	62361.97	62.362	101	163.362	3.160	11.482	65.918	0.002	0.002	Tidak Terjadi Kavitas
	15	997.07	8.402	82177.15	82.177	101	183.177	3.160	2.851	4.063	0.044	0.025	Tidak Terjadi Kavitas
Peredam Energi II	16	997.07	8.445	82601.00	82.601	101	183.601	3.160	3.927	7.712	0.023	0.013	Tidak Terjadi Kavitas
Escape Channel	17	997.07	8.374	81909.79	81.910	101	182.910	3.160	2.975	4.425	0.041	0.023	Tidak Terjadi Kavitas
	18	997.07	3.652	35722.74	35.723	101	136.723	3.160	4.037	8.148	0.016	0.012	Tidak Terjadi Kavitas
	19	997.07	3.446	33709.44	33.709	101	134.709	3.160	4.691	11.000	0.012	0.009	Tidak Terjadi Kavitas
	20	997.07	2.320	22689.23	22.689	101	123.689	3.160	5.446	14.831	0.008	0.007	Tidak Terjadi Kavitas

Sumber: Hasil Perhitungan (2017).

Tabel 4.29
Perhitungan Indeks Kavitasasi untuk Q_{1000th} pada *Original Design*

Keterangan	No. Sec.	ρ_w	h	Pg	Pa	Po	Pv	Vo	$V\sigma^2/2$	σ	Cp	Kondisi		
		(kg/m ³)							(m ² /dt ²)					
Apron atas	IV	997.07	6.358	62192.43	62.192	101	163.192	3.160	1.781	1.586	0.101	0.064	Tidak Terjadi Kavitasi	
	III	997.07	6.293	61556.65	61.557	101	162.557	3.160	1.682	1.415	0.113	0.072	Tidak Terjadi Kavitasi	
	II	997.07	6.293	61556.65	61.557	101	162.557	3.160	1.682	1.415	0.113	0.072	Tidak Terjadi Kavitasi	
	I	997.07	6.228	60920.87	60.921	101	161.921	3.160	2.016	2.032	0.078	0.050	Tidak Terjadi Kavitasi	
Crest Pelimpah	0	997.07	2.597	25401.90	25.402	101	126.402	3.160	4.562	10.405	0.012	0.010	Tidak Terjadi Kavitasi	
Peredam Energi I	Pelimpah	1	997.07	1.332	13025.36	13.025	101	114.025	3.160	8.572	36.742	0.003	0.003	Tidak Terjadi Kavitasi
		2	997.07	3.298	32261.81	32.262	101	133.262	3.160	12.570	78.997	0.002	0.001	Tidak Terjadi Kavitasi
		3	997.07	3.847	37630.09	37.630	101	138.630	3.160	9.575	45.840	0.003	0.002	Tidak Terjadi Kavitasi
		4	997.07	5.190	50769.56	50.770	101	151.770	3.160	5.922	17.536	0.008	0.006	Tidak Terjadi Kavitasi
		5	997.07	5.122	50096.29	50.096	101	151.096	3.160	3.440	5.916	0.025	0.017	Tidak Terjadi Kavitasi
Saluran Transisi		6	997.07	6.035	59034.72	59.035	101	160.035	3.160	3.130	4.899	0.032	0.021	Tidak Terjadi Kavitasi
		7	997.07	6.003	58716.83	58.717	101	159.717	3.160	3.130	4.899	0.032	0.021	Tidak Terjadi Kavitasi
Crest Peluncur	8	997.07	3.271	31992.83	31.993	101	132.993	3.160	6.357	20.206	0.006	0.005	Tidak Terjadi Kavitasi	
Peluncur		9	997.07	2.067	20214.58	20.215	101	121.215	3.160	9.669	46.743	0.003	0.002	Tidak Terjadi Kavitasi
		10	997.07	0.963	9422.60	9.423	101	110.423	3.160	14.042	98.594	0.001	0.001	Tidak Terjadi Kavitasi
		11	997.07	0.638	6243.70	6.244	101	107.244	3.160	17.948	161.058	0.001	0.001	Tidak Terjadi Kavitasi
		12	997.07	0.880	8607.50	8.607	101	109.607	3.160	20.013	200.253	0.001	0.001	Tidak Terjadi Kavitasi
		13	997.07	5.243	51286.34	51.286	101	152.286	3.160	18.218	165.948	0.001	0.001	Tidak Terjadi Kavitasi
Peredam Energi II		14	997.07	5.921	57911.50	57.912	101	158.912	3.160	11.057	61.128	0.003	0.002	Tidak Terjadi Kavitasi
		15	997.07	7.968	77938.61	77.939	101	178.939	3.160	4.037	8.148	0.022	0.012	Tidak Terjadi Kavitasi
		16	997.07	8.250	80693.66	80.694	101	181.694	3.160	2.632	3.464	0.052	0.029	Tidak Terjadi Kavitasi
		17	997.07	8.342	81591.90	81.592	101	182.592	3.160	3.117	4.858	0.037	0.021	Tidak Terjadi Kavitasi
Escape Channel		18	997.07	4.270	41762.66	41.763	101	142.763	3.160	4.186	8.761	0.016	0.012	Tidak Terjadi Kavitasi
		19	997.07	3.956	38689.72	38.690	101	139.690	3.160	4.472	10.000	0.014	0.010	Tidak Terjadi Kavitasi
		20	997.07	2.688	26291.99	26.292	101	127.292	3.160	5.889	17.343	0.007	0.006	Tidak Terjadi Kavitasi

Sumber: Hasil Perhitungan (2017).

Tabel 4.30

Perhitungan Indeks Kavitas untuk Q_{PMF} pada *Original Design*

Keterangan	No. Sec.	ρ_w (kg/m ³)	h (m)	Pg (N/m ²)	Pa (kPa)	Po (kPa)	Pv (kPa)	Vo (m/dt)	Vo ² /2 (m ² /dt ²)		σ	Cp	Kondisi
Apron atas	IV	997.07	7.073	69186.02	69.186	101	170.186	3.160	2.475	3.062	0.055	0.033	Tidak Terjadi Kavitas
	III	997.07	6.987	68338.31	68.338	101	169.338	3.160	2.280	2.600	0.064	0.039	Tidak Terjadi Kavitas
	II	997.07	6.976	68232.35	68.232	101	169.232	3.160	2.632	3.464	0.048	0.029	Tidak Terjadi Kavitas
	I	997.07	6.922	67702.53	67.703	101	168.703	3.160	2.553	3.260	0.051	0.031	Tidak Terjadi Kavitas
Crest Pelimpah	0	997.07	3.182	31123.93	31.124	101	132.124	3.160	5.109	13.053	0.010	0.008	Tidak Terjadi Kavitas
Pelimpah	1	997.07	1.397	13661.14	13.661	101	114.661	3.160	8.004	32.029	0.003	0.003	Tidak Terjadi Kavitas
Peredam Energi I	2	997.07	3.363	32897.59	32.898	101	133.898	3.160	12.906	83.284	0.002	0.001	Tidak Terjadi Kavitas
	3	997.07	4.064	39749.36	39.749	101	140.749	3.160	9.654	46.601	0.003	0.002	Tidak Terjadi Kavitas
	4	997.07	5.819	56915.45	56.915	101	157.915	3.160	7.282	26.517	0.006	0.004	Tidak Terjadi Kavitas
	5	997.07	5.999	58679.33	58.679	101	159.679	3.160	3.779	7.142	0.022	0.014	Tidak Terjadi Kavitas
Saluran Transisi	6	997.07	6.794	66452.16	66.452	101	167.452	3.160	3.886	7.550	0.022	0.013	Tidak Terjadi Kavitas
	7	997.07	6.664	65180.60	65.181	101	166.181	3.160	4.091	8.367	0.020	0.012	Tidak Terjadi Kavitas
Crest Peluncur	8	997.07	4.127	40363.95	40.364	101	141.364	3.160	6.700	22.443	0.006	0.005	Tidak Terjadi Kavitas
Peluncur	9	997.07	2.933	28691.66	28.692	101	129.692	3.160	9.520	45.312	0.003	0.002	Tidak Terjadi Kavitas
	10	997.07	1.245	12177.65	12.178	101	113.178	3.160	14.584	106.350	0.001	0.001	Tidak Terjadi Kavitas
	11	997.07	1.223	11965.73	11.966	101	112.966	3.160	18.890	178.412	0.001	0.001	Tidak Terjadi Kavitas
	12	997.07	1.422	13905.67	13.906	101	114.906	3.160	20.881	218.012	0.001	0.000	Tidak Terjadi Kavitas
Peredam Energi II	13	997.07	4.225	41325.77	41.326	101	142.326	3.160	17.072	145.728	0.001	0.001	Tidak Terjadi Kavitas
	14	997.07	5.173	50600.02	50.600	101	151.600	3.160	16.249	132.021	0.001	0.001	Tidak Terjadi Kavitas
	15	997.07	8.228	80481.73	80.482	101	181.482	3.160	11.916	71.001	0.003	0.001	Tidak Terjadi Kavitas
	16	997.07	8.596	84084.49	84.084	101	185.084	3.160	2.844	4.045	0.045	0.025	Tidak Terjadi Kavitas
Escape Channel	17	997.07	8.212	80320.34	80.320	101	181.320	3.160	3.722	6.928	0.026	0.015	Tidak Terjadi Kavitas
	18	997.07	4.443	43458.08	43.458	101	144.458	3.160	4.865	11.833	0.012	0.009	Tidak Terjadi Kavitas
	19	997.07	4.356	42610.37	42.610	101	143.610	3.160	4.905	12.032	0.012	0.008	Tidak Terjadi Kavitas
	20	997.07	3.468	33921.36	33.921	101	134.921	3.160	6.547	21.434	0.006	0.005	Tidak Terjadi Kavitas

Sumber: Hasil Perhitungan (2017).

Tabel 4.31
Perhitungan Indeks Kavitas untuk Q_{2th} pada Seri I

Keterangan	No. Sec.	ρ_w (kg/m ³)	h (m)	P_g (N/m ²)	P_a (kPa)	P_o (kPa)	P_v (kPa)	V_o (m/dt)	$V_o^{2/2}$ (m ² /dt ²)		σ	Cp	Kondisi
Apron atas	IV	997.07	4.777	46721.76	46.722	101	147.722	3.160	1.107	0.612	0.237	0.165	Tidak Terjadi Kavitas
	III	997.07	4.809	47039.65	47.040	101	148.040	3.160	1.107	0.612	0.237	0.165	Tidak Terjadi Kavitas
	II	997.07	4.798	46933.68	46.934	101	147.934	3.160	1.107	0.612	0.237	0.165	Tidak Terjadi Kavitas
	I	997.07	4.755	46509.83	46.510	101	147.510	3.160	1.530	1.170	0.124	0.087	Tidak Terjadi Kavitas
Crest Pelimpah	0	997.07	1.460	14275.73	14.276	101	115.276	3.160	4.040	8.163	0.014	0.012	Tidak Terjadi Kavitas
Pelimpah	1	997.07	0.378	3700.57	3.701	101	104.701	3.160	7.423	27.549	0.004	0.004	Tidak Terjadi Kavitas
Peredam Energi I	2	997.07	3.775	36924.21	36.924	101	137.924	3.160	8.232	33.882	0.004	0.003	Tidak Terjadi Kavitas
	3	997.07	4.400	43034.23	43.034	101	144.034	3.160	3.614	6.529	0.022	0.016	Tidak Terjadi Kavitas
	4	997.07	4.909	48014.51	48.015	101	149.015	3.160	2.115	2.236	0.065	0.045	Tidak Terjadi Kavitas
	5	997.07	4.093	40029.75	40.030	101	141.030	3.160	1.565	1.225	0.113	0.083	Tidak Terjadi Kavitas
Saluran Transisi	6	997.07	5.115	50027.82	50.028	101	151.028	3.160	1.565	1.225	0.121	0.083	Tidak Terjadi Kavitas
	7	997.07	5.093	49815.89	49.816	101	150.816	3.160	1.917	1.837	0.081	0.055	Tidak Terjadi Kavitas
Crest Peluncur	8	997.07	2.892	28284.11	28.284	101	129.284	3.160	4.087	8.352	0.015	0.012	Tidak Terjadi Kavitas
Peluncur	9	997.07	2.218	21698.07	21.698	101	122.698	3.160	5.030	12.650	0.009	0.008	Tidak Terjadi Kavitas
	10	997.07	3.542	34641.92	34.642	101	135.642	3.160	2.658	3.534	0.038	0.029	Tidak Terjadi Kavitas
	11	997.07	5.318	52019.93	52.020	101	153.020	3.160	2.353	2.768	0.054	0.037	Tidak Terjadi Kavitas
	12	997.07	4.780	46754.36	46.754	101	147.754	3.160	2.571	3.304	0.044	0.031	Tidak Terjadi Kavitas
	13	997.07	6.825	66757.01	66.757	101	167.757	3.160	3.380	5.712	0.029	0.018	Tidak Terjadi Kavitas
Peredam Energi II	14	997.07	7.502	73382.17	73.382	101	174.382	3.160	3.317	5.500	0.031	0.018	Tidak Terjadi Kavitas
	15	997.07	7.535	73700.07	73.700	101	174.700	3.160	1.107	0.612	0.281	0.165	Tidak Terjadi Kavitas
	16	997.07	7.556	73911.99	73.912	101	174.912	3.160	1.107	0.612	0.281	0.165	Tidak Terjadi Kavitas
	17	997.07	7.150	69935.92	69.936	101	170.936	3.160	1.107	0.612	0.275	0.165	Tidak Terjadi Kavitas
Escape Channel	18	997.07	2.428	23748.87	23.749	101	124.749	3.160	2.777	3.856	0.032	0.026	Tidak Terjadi Kavitas
	19	997.07	2.135	20887.85	20.888	101	121.888	3.160	3.317	5.500	0.022	0.018	Tidak Terjadi Kavitas
	20	997.07	1.345	13152.52	13.153	101	114.153	3.160	4.816	11.599	0.010	0.009	Tidak Terjadi Kavitas

Sumber: Hasil Perhitungan (2017).

Tabel 4.32
Perhitungan Indeks Kavitas untuk Q_{25th} pada Seri I

Keterangan	No. Sec.	ρ_w	h	Pg	Pa	Po	Pv	Vo	Vo ^{2/2}		σ	Cp	Kondisi
		(kg/m ³)							(m ² /dt ²)				
Apron atas	IV	997.07	5.492	53715.35	53.715	101	154.715	3.160	1.107	0.612	0.248	0.165	Tidak Terjadi Kavitasi
	III	997.07	5.448	53291.49	53.291	101	154.291	3.160	1.107	0.612	0.248	0.165	Tidak Terjadi Kavitasi
	II	997.07	5.448	53291.49	53.291	101	154.291	3.160	1.565	1.225	0.124	0.083	Tidak Terjadi Kavitasi
	I	997.07	5.405	52867.64	52.868	101	153.868	3.160	1.917	1.837	0.082	0.055	Tidak Terjadi Kavitasi
Crest Pelimpah	0	997.07	2.055	20103.72	20.104	101	121.104	3.160	4.380	9.592	0.012	0.011	Tidak Terjadi Kavitasi
Pelimpah	1	997.07	1.353	13237.29	13.237	101	114.237	3.160	8.520	36.292	0.003	0.003	Tidak Terjadi Kavitasi
	2	997.07	4.143	40526.97	40.527	101	141.527	3.160	4.037	8.148	0.017	0.012	Tidak Terjadi Kavitasi
	3	997.07	4.714	46107.17	46.107	101	147.107	3.160	2.202	2.424	0.060	0.042	Tidak Terjadi Kavitasi
Peredam Energi I	4	997.07	5.255	51405.34	51.405	101	152.405	3.160	1.917	1.837	0.081	0.055	Tidak Terjadi Kavitasi
	5	997.07	4.818	47129.31	47.129	101	148.129	3.160	2.388	2.850	0.051	0.036	Tidak Terjadi Kavitasi
Saluran Transisi	6	997.07	5.819	56915.45	56.915	101	157.915	3.160	2.539	3.223	0.048	0.031	Tidak Terjadi Kavitasi
	7	997.07	5.775	56491.59	56.492	101	157.492	3.160	3.491	6.095	0.025	0.017	Tidak Terjadi Kavitasi
Crest Peluncur	8	997.07	3.520	34429.99	34.430	101	135.430	3.160	4.471	9.994	0.013	0.010	Tidak Terjadi Kavitasi
Peluncur	9	997.07	3.085	30175.15	30.175	101	131.175	3.160	5.419	14.685	0.009	0.007	Tidak Terjadi Kavitasi
	10	997.07	4.950	48417.17	48.417	101	149.417	3.160	4.449	9.898	0.015	0.010	Tidak Terjadi Kavitasi
	11	997.07	5.123	50112.59	50.113	101	151.113	3.160	4.333	9.388	0.016	0.011	Tidak Terjadi Kavitasi
	12	997.07	4.802	46966.29	46.966	101	147.966	3.160	1.107	0.612	0.237	0.165	Tidak Terjadi Kavitasi
Peredam Energi II	13	997.07	7.508	73432.71	73.433	101	174.433	3.160	1.412	0.997	0.172	0.102	Tidak Terjadi Kavitasi
	14	997.07	8.542	83554.67	83.555	101	184.555	3.160	1.565	1.225	0.149	0.083	Tidak Terjadi Kavitasi
	15	997.07	8.271	80905.58	80.906	101	181.906	3.160	1.565	1.225	0.146	0.083	Tidak Terjadi Kavitasi
	16	997.07	8.401	82177.15	82.177	101	183.177	3.160	2.103	2.211	0.082	0.046	Tidak Terjadi Kavitasi
Escape Channel	17	997.07	7.952	77777.21	77.777	101	178.777	3.160	2.466	3.041	0.058	0.033	Tidak Terjadi Kavitasi
	18	997.07	3.100	30318.60	30.319	101	131.319	3.160	3.777	7.133	0.018	0.014	Tidak Terjadi Kavitasi
	19	997.07	2.764	27033.74	27.034	101	128.034	3.160	4.087	8.352	0.015	0.012	Tidak Terjadi Kavitasi
	20	997.07	1.843	18026.84	18.027	101	119.027	3.160	5.384	14.492	0.008	0.007	Tidak Terjadi Kavitasi

Sumber: Hasil Perhitungan (2017).

Tabel 4.33
Perhitungan Indeks Kavitas untuk Q_{100th} pada Seri I

Keterangan	No. Sec.	ρ_w (kg/m ³)	h (m)	Pg (N/m ²)	Pa (kPa)	Po (kPa)	Pv (kPa)	Vo (m/dt)	Vo ^{2/2} (m ² /dt ²)		σ	Cp	Kondisi
Apron atas	IV	997.07	5.860	57318.11	57.318	101	158.318	3.160	1.107	0.612	0.254	0.165	Tidak Terjadi Kavitasi
	III	997.07	5.817	56894.25	56.894	101	157.894	3.160	1.565	1.225	0.127	0.083	Tidak Terjadi Kavitasi
	II	997.07	5.806	56788.29	56.788	101	157.788	3.160	1.565	1.225	0.127	0.083	Tidak Terjadi Kavitasi
	I	997.07	5.578	54563.06	54.563	101	155.563	3.160	2.466	3.041	0.050	0.033	Tidak Terjadi Kavitasi
Crest Pelimpah	0	997.07	2.196	21481.25	21.481	101	122.481	3.160	5.190	13.468	0.009	0.008	Tidak Terjadi Kavitasi
Pelimpah	1	997.07	0.931	9104.71	9.105	101	110.105	3.160	9.059	41.031	0.003	0.002	Tidak Terjadi Kavitasi
Peredam Energi I	2	997.07	4.620	45189.36	45.189	101	146.189	3.160	4.935	12.179	0.012	0.008	Tidak Terjadi Kavitasi
	3	997.07	4.866	47590.66	47.591	101	148.591	3.160	4.886	11.935	0.012	0.008	Tidak Terjadi Kavitasi
	4	997.07	5.602	54796.18	54.796	101	155.796	3.160	4.425	9.792	0.016	0.010	Tidak Terjadi Kavitasi
	5	997.07	5.252	51367.85	51.368	101	152.368	3.160	2.475	3.062	0.049	0.033	Tidak Terjadi Kavitasi
Saluran Transisi	6	997.07	6.274	61365.91	61.366	101	162.366	3.160	2.475	3.062	0.052	0.033	Tidak Terjadi Kavitasi
	7	997.07	6.274	61365.91	61.366	101	162.366	3.160	2.553	3.260	0.049	0.031	Tidak Terjadi Kavitasi
Crest Peluncur	8	997.07	3.845	37608.89	37.609	101	138.609	3.160	4.141	8.574	0.016	0.012	Tidak Terjadi Kavitasi
Peluncur	9	997.07	3.605	35261.40	35.261	101	136.261	3.160	6.356	20.200	0.007	0.005	Tidak Terjadi Kavitasi
	10	997.07	5.947	58165.81	58.166	101	159.166	3.160	1.746	1.524	0.103	0.066	Tidak Terjadi Kavitasi
	11	997.07	5.719	55940.58	55.941	101	156.941	3.160	8.548	36.536	0.004	0.003	Tidak Terjadi Kavitasi
	12	997.07	5.203	50886.94	50.887	101	151.887	3.160	2.783	3.873	0.039	0.026	Tidak Terjadi Kavitasi
Peredam Energi II	13	997.07	7.443	72796.93	72.797	101	173.797	3.160	1.260	0.793	0.216	0.128	Tidak Terjadi Kavitasi
	14	997.07	8.846	86521.65	86.522	101	187.522	3.160	1.412	0.997	0.185	0.102	Tidak Terjadi Kavitasi
	15	997.07	8.694	85038.16	85.038	101	186.038	3.160	1.682	1.415	0.130	0.072	Tidak Terjadi Kavitasi
	16	997.07	8.900	87051.47	87.051	101	188.051	3.160	1.917	1.837	0.101	0.055	Tidak Terjadi Kavitasi
Escape Channel	17	997.07	8.439	82545.57	82.546	101	183.546	3.160	2.466	3.041	0.059	0.033	Tidak Terjadi Kavitasi
	18	997.07	3.501	34239.25	34.239	101	135.239	3.160	3.765	7.087	0.019	0.014	Tidak Terjadi Kavitasi
	19	997.07	3.186	31166.31	31.166	101	132.166	3.160	4.189	8.775	0.015	0.012	Tidak Terjadi Kavitasi
	20	997.07	2.125	20781.89	20.782	101	121.782	3.160	5.785	16.734	0.007	0.006	Tidak Terjadi Kavitasi

Sumber: Hasil Perhitungan (2017).

Tabel 4.34
Perhitungan Indeks Kavitas untuk Q_{1000th} Seri I

Keterangan	No. Sec.	ρ_w (kg/m ³)	h (m)	P_g (N/m ²)	P_a (kPa)	P_o (kPa)	P_v (kPa)	V_o (m/dt)	$V_o^2/2$ (m ² /dt ²)	σ	Cp	Kondisi	
Apron atas	IV	997.07	6.358	62192.43	62.192	101	163.192	3.160	1.781	1.586	0.101	0.064	Tidak Terjadi Kavitasi
	III	997.07	6.293	61556.65	61.557	101	162.557	3.160	1.682	1.415	0.113	0.072	Tidak Terjadi Kavitasi
	II	997.07	6.293	61556.65	61.557	101	162.557	3.160	1.682	1.415	0.113	0.072	Tidak Terjadi Kavitasi
	I	997.07	6.228	60920.87	60.921	101	161.921	3.160	2.016	2.032	0.078	0.050	Tidak Terjadi Kavitasi
Crest Pelimpah	0	997.07	2.597	25401.90	25.402	101	126.402	3.160	4.562	10.405	0.012	0.010	Tidak Terjadi Kavitasi
Pelimpah	1	997.07	1.332	13025.36	13.025	101	114.025	3.160	8.572	36.742	0.003	0.003	Tidak Terjadi Kavitasi
	2	997.07	5.053	49427.90	49.428	101	150.428	3.160	6.640	22.044	0.007	0.005	Tidak Terjadi Kavitasi
	3	997.07	5.407	52888.83	52.889	101	153.889	3.160	4.409	9.718	0.016	0.010	Tidak Terjadi Kavitasi
	4	997.07	6.274	61365.91	61.366	101	162.366	3.160	3.827	7.324	0.022	0.014	Tidak Terjadi Kavitasi
	5	997.07	6.248	61116.49	61.116	101	162.116	3.160	2.923	4.272	0.037	0.024	Tidak Terjadi Kavitasi
Saluran Transisi	6	997.07	7.184	70266.85	70.267	101	171.267	3.160	2.856	4.077	0.041	0.025	Tidak Terjadi Kavitasi
	7	997.07	7.184	70266.85	70.267	101	171.267	3.160	3.440	5.916	0.028	0.017	Tidak Terjadi Kavitasi
Crest Peluncur	8	997.07	4.863	47569.46	47.569	101	148.569	3.160	4.423	9.780	0.015	0.010	Tidak Terjadi Kavitasi
	9	997.07	4.905	47977.02	47.977	101	148.977	3.160	6.485	21.025	0.007	0.005	Tidak Terjadi Kavitasi
	10	997.07	5.340	52231.86	52.232	101	153.232	3.160	3.237	5.238	0.029	0.019	Tidak Terjadi Kavitasi
	11	997.07	5.427	53079.57	53.080	101	154.080	3.160	7.271	26.432	0.006	0.004	Tidak Terjadi Kavitasi
Peluncur	12	997.07	7.315	71549.82	71.550	101	172.550	3.160	3.779	7.142	0.024	0.014	Tidak Terjadi Kavitasi
	13	997.07	7.107	69512.06	69.512	101	170.512	3.160	1.107	0.612	0.274	0.165	Tidak Terjadi Kavitasi
	14	997.07	8.965	87687.25	87.687	101	188.687	3.160	2.912	4.239	0.044	0.024	Tidak Terjadi Kavitasi
Peredam Energi II	15	997.07	8.824	86309.72	86.310	101	187.310	3.160	1.898	1.802	0.102	0.056	Tidak Terjadi Kavitasi
	16	997.07	8.802	86097.80	86.098	101	187.098	3.160	2.016	2.032	0.091	0.050	Tidak Terjadi Kavitasi
	17	997.07	8.082	79048.78	79.049	101	180.049	3.160	3.063	4.691	0.038	0.022	Tidak Terjadi Kavitasi
Escape Channel	18	997.07	4.270	41762.66	41.763	101	142.763	3.160	3.984	7.937	0.018	0.013	Tidak Terjadi Kavitasi
	19	997.07	3.728	36464.49	36.464	101	137.464	3.160	4.518	10.205	0.013	0.010	Tidak Terjadi Kavitasi
	20	997.07	2.677	26186.03	26.186	101	127.186	3.160	6.325	20.001	0.006	0.005	Tidak Terjadi Kavitasi

Sumber: Hasil Perhitungan (2017).

Tabel 4.35
Perhitungan Indeks Kavitas untuk Q_{PMF} Seri I

Keterangan	No. Sec.	ρ_w (kg/m ³)	h (m)	P_g (N/m ²)	P_a (kPa)	P_o (kPa)	P_v (kPa)	V_o (m/dt)	$V_o^{2/2}$ (m ² /dt ²)		σ	Cp	Kondisi
Apron atas	IV	997.07	7.073	69186.02	69.186	101	170.186	3.160	2.475	3.062	0.055	0.033	Tidak Terjadi Kavitas
	III	997.07	6.987	68338.31	68.338	101	169.338	3.160	2.280	2.600	0.064	0.039	Tidak Terjadi Kavitas
	II	997.07	6.976	68232.35	68.232	101	169.232	3.160	2.632	3.464	0.048	0.029	Tidak Terjadi Kavitas
	I	997.07	6.922	67702.53	67.703	101	168.703	3.160	2.553	3.260	0.051	0.031	Tidak Terjadi Kavitas
Crest Pelimpah	0	997.07	3.182	31123.93	31.124	101	132.124	3.160	5.109	13.053	0.010	0.008	Tidak Terjadi Kavitas
Pelimpah	1	997.07	1.397	13661.14	13.661	101	114.661	3.160	8.004	32.029	0.003	0.003	Tidak Terjadi Kavitas
Peredam Energi I	2	997.07	5.649	55255.89	55.256	101	156.256	3.160	6.227	19.388	0.008	0.005	Tidak Terjadi Kavitas
	3	997.07	6.068	59352.61	59.353	101	160.353	3.160	6.226	19.379	0.008	0.005	Tidak Terjadi Kavitas
	4	997.07	7.032	68783.36	68.783	101	169.783	3.160	6.760	22.846	0.007	0.004	Tidak Terjadi Kavitas
	5	997.07	7.256	70971.10	70.971	101	171.971	3.160	7.201	25.924	0.007	0.004	Tidak Terjadi Kavitas
	6	997.07	8.202	80227.42	80.227	101	181.227	3.160	6.762	22.862	0.008	0.004	Tidak Terjadi Kavitas
Saluran Transisi	7	997.07	8.126	79485.67	79.486	101	180.486	3.160	6.701	22.454	0.008	0.005	Tidak Terjadi Kavitas
Crest Peluncur	8	997.07	5.730	56046.54	56.047	101	157.047	3.160	6.671	22.250	0.007	0.005	Tidak Terjadi Kavitas
Peluncur	9	997.07	5.685	55606.39	55.606	101	156.606	3.160	6.421	20.616	0.007	0.005	Tidak Terjadi Kavitas
	10	997.07	5.167	50536.44	50.536	101	151.536	3.160	1.260	0.793	0.188	0.128	Tidak Terjadi Kavitas
	11	997.07	6.098	59649.30	59.649	101	160.649	3.160	8.276	34.244	0.005	0.003	Tidak Terjadi Kavitas
	12	997.07	5.733	56079.15	56.079	101	157.079	3.160	5.531	15.294	0.010	0.007	Tidak Terjadi Kavitas
	13	997.07	7.648	74810.24	74.810	101	175.810	3.160	5.607	15.717	0.011	0.006	Tidak Terjadi Kavitas
	14	997.07	9.062	88640.92	88.641	101	189.641	3.160	3.166	5.012	0.037	0.020	Tidak Terjadi Kavitas
	15	997.07	8.629	84402.38	84.402	101	185.402	3.160	2.280	2.600	0.070	0.039	Tidak Terjadi Kavitas
Peredam Energi II	16	997.07	8.596	84084.49	84.084	101	185.084	3.160	2.626	3.447	0.053	0.029	Tidak Terjadi Kavitas
Escape Channel	17	997.07	8.223	80426.30	80.426	101	181.426	3.160	2.016	2.032	0.088	0.050	Tidak Terjadi Kavitas
	18	997.07	4.454	43564.04	43.564	101	144.564	3.160	4.188	8.768	0.016	0.012	Tidak Terjadi Kavitas
	19	997.07	4.194	41020.92	41.021	101	142.021	3.160	4.785	11.450	0.012	0.009	Tidak Terjadi Kavitas
	20	997.07	3.425	33497.51	33.498	101	134.498	3.160	6.323	19.992	0.007	0.005	Tidak Terjadi Kavitas

Sumber: Hasil Perhitungan (2017).

Tabel 4.36
Perhitungan Indeks Kavitas untuk Q_{2th} pada Seri II

Keterangan	No. Sec.	ρ_w (kg/m ³)	h (m)	Pg (N/m ²)	Pa (kPa)	Po (kPa)	Pv (kPa)	Vo (m/dt)	Vo ^{2/2} (m ² /dt ²)		σ	Cp	Kondisi
Apron atas	IV	997.07	4.777	46721.76	46.722	101	147.722	3.160	1.107	0.612	0.237	0.165	Tidak Terjadi Kavitas
	III	997.07	4.809	47039.65	47.040	101	148.040	3.160	1.107	0.612	0.237	0.165	Tidak Terjadi Kavitas
	II	997.07	4.798	46933.68	46.934	101	147.934	3.160	1.107	0.612	0.237	0.165	Tidak Terjadi Kavitas
	I	997.07	4.755	46509.83	46.510	101	147.510	3.160	1.530	1.170	0.124	0.087	Tidak Terjadi Kavitas
Crest Pelimpah	0	997.07	1.460	14275.73	14.276	101	115.276	3.160	4.040	8.163	0.014	0.012	Tidak Terjadi Kavitas
Pelimpah	1	997.07	0.378	3700.57	3.701	101	104.701	3.160	7.423	27.549	0.004	0.004	Tidak Terjadi Kavitas
Peredam Energi I	2	997.07	3.775	36924.21	36.924	101	137.924	3.160	8.232	33.882	0.004	0.003	Tidak Terjadi Kavitas
	3	997.07	4.400	43034.23	43.034	101	144.034	3.160	3.614	6.529	0.022	0.016	Tidak Terjadi Kavitas
	4	997.07	4.909	48014.51	48.015	101	149.015	3.160	2.115	2.236	0.065	0.045	Tidak Terjadi Kavitas
	5	997.07	4.093	40029.75	40.030	101	141.030	3.160	1.565	1.225	0.113	0.083	Tidak Terjadi Kavitas
Saluran Transisi	6	997.07	5.115	50027.82	50.028	101	151.028	3.160	1.565	1.225	0.121	0.083	Tidak Terjadi Kavitas
	7	997.07	5.093	49815.89	49.816	101	150.816	3.160	1.917	1.837	0.081	0.055	Tidak Terjadi Kavitas
Crest Peluncur	8	997.07	2.892	28284.11	28.284	101	129.284	3.160	4.087	8.352	0.015	0.012	Tidak Terjadi Kavitas
Peluncur	9	997.07	2.218	21698.07	21.698	101	122.698	3.160	5.030	12.650	0.009	0.008	Tidak Terjadi Kavitas
	10	997.07	3.542	34641.92	34.642	101	135.642	3.160	2.658	3.534	0.038	0.029	Tidak Terjadi Kavitas
	11	997.07	5.318	52019.93	52.020	101	153.020	3.160	2.353	2.768	0.054	0.037	Tidak Terjadi Kavitas
	12	997.07	4.780	46754.36	46.754	101	147.754	3.160	2.571	3.304	0.044	0.031	Tidak Terjadi Kavitas
	13	997.07	6.847	66968.94	66.969	101	167.969	3.160	1.107	0.612	0.270	0.165	Tidak Terjadi Kavitas
	14	997.07	7.546	73806.03	73.806	101	174.806	3.160	1.107	0.612	0.281	0.165	Tidak Terjadi Kavitas
Peredam Energi II	15	997.07	7.719	75501.44	75.501	101	176.501	3.160	1.107	0.612	0.284	0.165	Tidak Terjadi Kavitas
	16	997.07	7.697	75289.52	75.290	101	176.290	3.160	1.107	0.612	0.284	0.165	Tidak Terjadi Kavitas
Escape Channel	17	997.07	7.848	76758.33	76.758	101	177.758	3.160	1.107	0.612	0.286	0.165	Tidak Terjadi Kavitas
	18	997.07	2.461	24066.76	24.067	101	125.067	3.160	2.705	3.657	0.033	0.028	Tidak Terjadi Kavitas
	19	997.07	2.146	20993.82	20.994	101	121.994	3.160	3.554	6.314	0.019	0.016	Tidak Terjadi Kavitas
	20	997.07	1.583	15483.71	15.484	101	116.484	3.160	4.040	8.163	0.014	0.012	Tidak Terjadi Kavitas

Sumber: Hasil Perhitungan (2017).

Tabel 4.37
Perhitungan Indeks Kavitas untuk Q_{25th} pada Seri II

Keterangan	No. Sec.	ρ_w	h	Pg	Pa	Po	Pv	Vo	Vo ² /2		σ	Cp	Kondisi
		(kg/m ³)							(m)	(N/m ²)			
Apron atas	IV	997.07	5.492	53715.35	53.715	101	154.715	3.160	1.107	0.612	0.248	0.165	Tidak Terjadi Kavitasi
	III	997.07	5.448	53291.49	53.291	101	154.291	3.160	1.107	0.612	0.248	0.165	Tidak Terjadi Kavitasi
	II	997.07	5.448	53291.49	53.291	101	154.291	3.160	1.565	1.225	0.124	0.083	Tidak Terjadi Kavitasi
	I	997.07	5.405	52867.64	52.868	101	153.868	3.160	1.917	1.837	0.082	0.055	Tidak Terjadi Kavitasi
Crest Pelimpah	0	997.07	2.055	20103.72	20.104	101	121.104	3.160	4.380	9.592	0.012	0.011	Tidak Terjadi Kavitasi
Pelimpah	1	997.07	1.353	13237.29	13.237	101	114.237	3.160	8.520	36.292	0.003	0.003	Tidak Terjadi Kavitasi
	2	997.07	4.143	40526.97	40.527	101	141.527	3.160	4.037	8.148	0.017	0.012	Tidak Terjadi Kavitasi
	3	997.07	4.714	46107.17	46.107	101	147.107	3.160	2.202	2.424	0.060	0.042	Tidak Terjadi Kavitasi
	4	997.07	5.255	51405.34	51.405	101	152.405	3.160	1.917	1.837	0.081	0.055	Tidak Terjadi Kavitasi
Peredam Energi I	5	997.07	4.818	47129.31	47.129	101	148.129	3.160	2.388	2.850	0.051	0.036	Tidak Terjadi Kavitasi
	6	997.07	5.819	56915.45	56.915	101	157.915	3.160	2.539	3.223	0.048	0.031	Tidak Terjadi Kavitasi
	7	997.07	5.775	56491.59	56.492	101	157.492	3.160	3.491	6.095	0.025	0.017	Tidak Terjadi Kavitasi
	8	997.07	3.520	34429.99	34.430	101	135.430	3.160	4.471	9.994	0.013	0.010	Tidak Terjadi Kavitasi
Crest Peluncur	9	997.07	3.085	30175.15	30.175	101	131.175	3.160	5.419	14.685	0.009	0.007	Tidak Terjadi Kavitasi
	10	997.07	4.950	48417.17	48.417	101	149.417	3.160	4.449	9.898	0.015	0.010	Tidak Terjadi Kavitasi
	11	997.07	5.123	50112.59	50.113	101	151.113	3.160	4.333	9.388	0.016	0.011	Tidak Terjadi Kavitasi
	12	997.07	4.802	46966.29	46.966	101	147.966	3.160	1.107	0.612	0.237	0.165	Tidak Terjadi Kavitasi
Peluncur	13	997.07	7.475	73114.82	73.115	101	174.115	3.160	1.997	1.995	0.086	0.051	Tidak Terjadi Kavitasi
	14	997.07	8.488	83024.85	83.025	101	184.025	3.160	1.800	1.619	0.112	0.063	Tidak Terjadi Kavitasi
	15	997.07	8.347	81647.33	81.647	101	182.647	3.160	2.213	2.450	0.073	0.041	Tidak Terjadi Kavitasi
	16	997.07	8.456	82706.96	82.707	101	183.707	3.160	2.705	3.657	0.050	0.028	Tidak Terjadi Kavitasi
Peredam Energi II	17	997.07	8.443	82586.33	82.586	101	183.586	3.160	2.777	3.856	0.047	0.026	Tidak Terjadi Kavitasi
	18	997.07	3.100	30318.60	30.319	101	131.319	3.160	3.985	7.938	0.016	0.013	Tidak Terjadi Kavitasi
	19	997.07	2.818	27563.55	27.564	101	128.564	3.160	4.330	9.375	0.013	0.011	Tidak Terjadi Kavitasi
	20	997.07	1.886	18450.69	18.451	101	119.451	3.160	5.371	14.424	0.008	0.007	Tidak Terjadi Kavitasi

Sumber: Hasil Perhitungan (2017).

Tabel 4.38
Perhitungan Indeks Kavitas untuk Q_{100th} pada Seri II

Keterangan	No. Sec.	ρ_w (kg/m ³)	h (m)	P_g (N/m ²)	P_a (kPa)	P_o (kPa)	P_v (kPa)	V_o (m/dt)	$V_o^2/2$ (m ² /dt ²)		σ	C_p	Kondisi
Apron atas	IV	997.07	5.860	57318.11	57.318	101	158.318	3.160	1.107	0.612	0.254	0.165	Tidak Terjadi Kavitasi
	III	997.07	5.817	56894.25	56.894	101	157.894	3.160	1.565	1.225	0.127	0.083	Tidak Terjadi Kavitasi
	II	997.07	5.806	56788.29	56.788	101	157.788	3.160	1.565	1.225	0.127	0.083	Tidak Terjadi Kavitasi
	I	997.07	5.578	54563.06	54.563	101	155.563	3.160	2.466	3.041	0.050	0.033	Tidak Terjadi Kavitasi
Crest Pelimpah	0	997.07	2.196	21481.25	21.481	101	122.481	3.160	5.190	13.468	0.009	0.008	Tidak Terjadi Kavitasi
Pelimpah	1	997.07	0.931	9104.71	9.105	101	110.105	3.160	9.059	41.031	0.003	0.002	Tidak Terjadi Kavitasi
	2	997.07	4.620	45189.36	45.189	101	146.189	3.160	4.935	12.179	0.012	0.008	Tidak Terjadi Kavitasi
Peredam Energi I	3	997.07	4.866	47590.66	47.591	101	148.591	3.160	4.886	11.935	0.012	0.008	Tidak Terjadi Kavitasi
	4	997.07	5.602	54796.18	54.796	101	155.796	3.160	4.425	9.792	0.016	0.010	Tidak Terjadi Kavitasi
	5	997.07	5.252	51367.85	51.368	101	152.368	3.160	2.475	3.062	0.049	0.033	Tidak Terjadi Kavitasi
Saluran Transisi	6	997.07	6.274	61365.91	61.366	101	162.366	3.160	2.475	3.062	0.052	0.033	Tidak Terjadi Kavitasi
	7	997.07	6.274	61365.91	61.366	101	162.366	3.160	2.553	3.260	0.049	0.031	Tidak Terjadi Kavitasi
Crest Peluncur	8	997.07	3.845	37608.89	37.609	101	138.609	3.160	4.141	8.574	0.016	0.012	Tidak Terjadi Kavitasi
Peluncur	9	997.07	3.605	35261.40	35.261	101	136.261	3.160	6.356	20.200	0.007	0.005	Tidak Terjadi Kavitasi
	10	997.07	5.947	58165.81	58.166	101	159.166	3.160	1.746	1.524	0.103	0.066	Tidak Terjadi Kavitasi
	11	997.07	5.719	55940.58	55.941	101	156.941	3.160	8.548	36.536	0.004	0.003	Tidak Terjadi Kavitasi
	12	997.07	5.203	50886.94	50.887	101	151.887	3.160	2.783	3.873	0.039	0.026	Tidak Terjadi Kavitasi
Peredam Energi II	13	997.07	7.605	74386.38	74.386	101	175.386	3.160	1.627	1.323	0.131	0.077	Tidak Terjadi Kavitasi
	14	997.07	8.596	84084.49	84.084	101	185.084	3.160	1.968	1.937	0.094	0.052	Tidak Terjadi Kavitasi
	15	997.07	8.499	83130.82	83.131	101	184.131	3.160	2.345	2.750	0.066	0.037	Tidak Terjadi Kavitasi
	16	997.07	8.770	85779.91	85.780	101	186.780	3.160	2.466	3.041	0.061	0.033	Tidak Terjadi Kavitasi
Escape Channel	17	997.07	8.682	84917.53	84.918	101	185.918	3.160	2.851	4.063	0.045	0.025	Tidak Terjadi Kavitasi
	18	997.07	3.338	32649.80	32.650	101	133.650	3.160	4.033	8.131	0.016	0.012	Tidak Terjadi Kavitasi
	19	997.07	2.796	27351.63	27.352	101	128.352	3.160	4.333	9.388	0.013	0.011	Tidak Terjadi Kavitasi
	20	997.07	2.103	20569.96	20.570	101	121.570	3.160	5.786	16.738	0.007	0.006	Tidak Terjadi Kavitasi

Sumber: Hasil Perhitungan (2017).

Tabel 4.39
Perhitungan Indeks Kavitas untuk Q_{1000th} pada Seri II

Keterangan	No. Sec.	ρ _w (kg/m ³)	h (m)	Pg (N/m ²)	Pa (kPa)	Pv (kPa)	Vo (m/dt)	Vo ^{2/2} (m ² /dt ²)	σ	Cp	Kondisi		
Apron atas	IV	997.07	6.358	62192.43	62.192	101	163.192	3.160	1.781	1.586	0.101	0.064	Tidak Terjadi Kavitasi
	III	997.07	6.293	61556.65	61.557	101	162.557	3.160	1.682	1.415	0.113	0.072	Tidak Terjadi Kavitasi
	II	997.07	6.293	61556.65	61.557	101	162.557	3.160	1.682	1.415	0.113	0.072	Tidak Terjadi Kavitasi
	I	997.07	6.228	60920.87	60.921	101	161.921	3.160	2.016	2.032	0.078	0.050	Tidak Terjadi Kavitasi
Crest Pelimpah	0	997.07	2.597	25401.90	25.402	101	126.402	3.160	4.562	10.405	0.012	0.010	Tidak Terjadi Kavitasi
Pelimpah	1	997.07	1.332	13025.36	13.025	101	114.025	3.160	8.572	36.742	0.003	0.003	Tidak Terjadi Kavitasi
	2	997.07	5.053	49427.90	49.428	101	150.428	3.160	6.640	22.044	0.007	0.005	Tidak Terjadi Kavitasi
	3	997.07	5.407	52888.83	52.889	101	153.889	3.160	4.409	9.718	0.016	0.010	Tidak Terjadi Kavitasi
	4	997.07	6.274	61365.91	61.366	101	162.366	3.160	3.827	7.324	0.022	0.014	Tidak Terjadi Kavitasi
	5	997.07	6.248	61116.49	61.116	101	162.116	3.160	2.923	4.272	0.037	0.024	Tidak Terjadi Kavitasi
Saluran Transisi	6	997.07	7.184	70266.85	70.267	101	171.267	3.160	2.856	4.077	0.041	0.025	Tidak Terjadi Kavitasi
	7	997.07	7.184	70266.85	70.267	101	171.267	3.160	3.440	5.916	0.028	0.017	Tidak Terjadi Kavitasi
Crest Peluncur	8	997.07	4.863	47569.46	47.569	101	148.569	3.160	4.423	9.780	0.015	0.010	Tidak Terjadi Kavitasi
	9	997.07	4.905	47977.02	47.977	101	148.977	3.160	6.485	21.025	0.007	0.005	Tidak Terjadi Kavitasi
Peluncur	10	997.07	5.340	52231.86	52.232	101	153.232	3.160	3.237	5.238	0.029	0.019	Tidak Terjadi Kavitasi
	11	997.07	5.427	53079.57	53.080	101	154.080	3.160	7.271	26.432	0.006	0.004	Tidak Terjadi Kavitasi
	12	997.07	7.315	71549.82	71.550	101	172.550	3.160	3.779	7.142	0.024	0.014	Tidak Terjadi Kavitasi
	13	997.07	6.912	67604.72	67.605	101	168.605	3.160	2.475	3.062	0.054	0.033	Tidak Terjadi Kavitasi
	14	997.07	8.791	85991.83	85.992	101	186.992	3.160	2.705	3.657	0.050	0.028	Tidak Terjadi Kavitasi
Peredam Energi II	15	997.07	8.932	87369.36	87.369	101	188.369	3.160	3.253	5.292	0.035	0.019	Tidak Terjadi Kavitasi
	16	997.07	8.737	85462.01	85.462	101	186.462	3.160	2.856	4.077	0.045	0.025	Tidak Terjadi Kavitasi
	17	997.07	8.519	83328.07	83.328	101	184.328	3.160	3.725	6.938	0.026	0.015	Tidak Terjadi Kavitasi
Escape Channel	18	997.07	4.205	41126.88	41.127	101	142.127	3.160	4.824	11.636	0.012	0.009	Tidak Terjadi Kavitasi
	19	997.07	3.836	37524.12	37.524	101	138.524	3.160	4.866	11.838	0.011	0.009	Tidak Terjadi Kavitasi
	20	997.07	2.677	26186.03	26.186	101	127.186	3.160	6.128	18.779	0.007	0.005	Tidak Terjadi Kavitasi

Sumber: Hasil Perhitungan (2017).

Tabel 4.40
Perhitungan Indeks Kavitas untuk Q_{PMF} pada Seri II

Keterangan	No. Sec.	ρ_w	h	Pg	Pa	Po	Pv	Vo	Vo ² /2 (m ² /dt ²)	σ	Cp	Kondisi	
		(kg/m ³)											
Apron atas	IV	997.07	7.073	69186.02	69.186	101	170.186	3.160	2.475	3.062	0.055	0.033	Tidak Terjadi Kavitasi
	III	997.07	6.987	68338.31	68.338	101	169.338	3.160	2.280	2.600	0.064	0.039	Tidak Terjadi Kavitasi
	II	997.07	6.976	68232.35	68.232	101	169.232	3.160	2.632	3.464	0.048	0.029	Tidak Terjadi Kavitasi
	I	997.07	6.922	67702.53	67.703	101	168.703	3.160	2.553	3.260	0.051	0.031	Tidak Terjadi Kavitasi
Crest Pelimpah	0	997.07	3.182	31123.93	31.124	101	132.124	3.160	5.109	13.053	0.010	0.008	Tidak Terjadi Kavitasi
Pelimpah	1	997.07	1.397	13661.14	13.661	101	114.661	3.160	8.004	32.029	0.003	0.003	Tidak Terjadi Kavitasi
	2	997.07	5.649	55255.89	55.256	101	156.256	3.160	6.227	19.388	0.008	0.005	Tidak Terjadi Kavitasi
	3	997.07	6.068	59352.61	59.353	101	160.353	3.160	6.226	19.379	0.008	0.005	Tidak Terjadi Kavitasi
	4	997.07	7.032	68783.36	68.783	101	169.783	3.160	6.760	22.846	0.007	0.004	Tidak Terjadi Kavitasi
	5	997.07	7.256	70971.10	70.971	101	171.971	3.160	7.201	25.924	0.007	0.004	Tidak Terjadi Kavitasi
Saluran Transisi	6	997.07	8.202	80227.42	80.227	101	181.227	3.160	6.762	22.862	0.008	0.004	Tidak Terjadi Kavitasi
	7	997.07	8.126	79485.67	79.486	101	180.486	3.160	6.701	22.454	0.008	0.005	Tidak Terjadi Kavitasi
Crest Peluncur	8	997.07	5.730	56046.54	56.047	101	157.047	3.160	6.671	22.250	0.007	0.005	Tidak Terjadi Kavitasi
Peluncur	9	997.07	5.685	55606.39	55.606	101	156.606	3.160	6.421	20.616	0.007	0.005	Tidak Terjadi Kavitasi
	10	997.07	5.167	50536.44	50.536	101	151.536	3.160	1.260	0.793	0.188	0.128	Tidak Terjadi Kavitasi
	11	997.07	6.098	59649.30	59.649	101	160.649	3.160	8.276	34.244	0.005	0.003	Tidak Terjadi Kavitasi
	12	997.07	5.733	56079.15	56.079	101	157.079	3.160	5.531	15.294	0.010	0.007	Tidak Terjadi Kavitasi
	13	997.07	7.562	73962.53	73.963	101	174.963	3.160	1.800	1.619	0.106	0.063	Tidak Terjadi Kavitasi
Peredam Energi II	14	997.07	8.683	84932.20	84.932	101	185.932	3.160	4.665	10.881	0.017	0.009	Tidak Terjadi Kavitasi
	15	997.07	8.900	87051.47	87.051	101	188.051	3.160	3.031	4.593	0.040	0.022	Tidak Terjadi Kavitasi
	16	997.07	8.878	86839.54	86.840	101	187.840	3.160	3.554	6.314	0.029	0.016	Tidak Terjadi Kavitasi
	17	997.07	8.703	85129.45	85.129	101	186.129	3.160	3.938	7.754	0.024	0.013	Tidak Terjadi Kavitasi
Escape Channel	18	997.07	4.313	42186.52	42.187	101	143.187	3.160	4.865	11.833	0.012	0.009	Tidak Terjadi Kavitasi
	19	997.07	3.988	39007.61	39.008	101	140.008	3.160	4.905	12.029	0.011	0.008	Tidak Terjadi Kavitasi
	20	997.07	3.316	32437.88	32.438	101	133.438	3.160	6.821	23.263	0.006	0.004	Tidak Terjadi Kavitasi

Sumber: Hasil Perhitungan (2017).

Tabel 4.41
Perhitungan Indeks Kavitas untuk Q_{2th} pada Seri III

Keterangan	No. Sec.	ρ_w (kg/m ³)	h (m)	P_g (N/m ²)	P_a (kPa)	P_o (kPa)	P_v (kPa)	V_o (m/dt)	$V_o^{2/2}$ (m ² /dt ²)		σ	Cp	Kondisi
Apron atas	IV	997.07	4.777	46721.76	46.722	101	147.722	3.160	1.107	0.612	0.237	0.165	Tidak Terjadi Kavitas
	III	997.07	4.809	47039.65	47.040	101	148.040	3.160	1.107	0.612	0.237	0.165	Tidak Terjadi Kavitas
	II	997.07	4.798	46933.68	46.934	101	147.934	3.160	1.107	0.612	0.237	0.165	Tidak Terjadi Kavitas
	I	997.07	4.755	46509.83	46.510	101	147.510	3.160	1.530	1.170	0.124	0.087	Tidak Terjadi Kavitas
Crest Pelimpah	0	997.07	1.460	14275.73	14.276	101	115.276	3.160	4.040	8.163	0.014	0.012	Tidak Terjadi Kavitas
Pelimpah	1	997.07	0.378	3700.57	3.701	101	104.701	3.160	7.423	27.549	0.004	0.004	Tidak Terjadi Kavitas
Peredam Energi I	2	997.07	3.418	33427.41	33.427	101	134.427	3.160	1.868	1.745	0.075	0.058	Tidak Terjadi Kavitas
	3	997.07	3.977	38901.65	38.902	101	139.902	3.160	2.367	2.802	0.049	0.036	Tidak Terjadi Kavitas
	4	997.07	4.670	45683.31	45.683	101	146.683	3.160	2.388	2.850	0.051	0.036	Tidak Terjadi Kavitas
	5	997.07	3.735	36532.96	36.533	101	137.533	3.160	1.565	1.225	0.110	0.083	Tidak Terjadi Kavitas
Saluran Transisi	6	997.07	4.790	46848.91	46.849	101	147.849	3.160	1.565	1.225	0.118	0.083	Tidak Terjadi Kavitas
	7	997.07	4.735	46319.09	46.319	101	147.319	3.160	1.800	1.619	0.089	0.063	Tidak Terjadi Kavitas
Crest Peluncur	8	997.07	2.512	24575.38	24.575	101	125.575	3.160	2.553	3.260	0.038	0.031	Tidak Terjadi Kavitas
Peluncur	9	997.07	2.598	25406.79	25.407	101	126.407	3.160	6.639	22.035	0.006	0.005	Tidak Terjadi Kavitas
	10	997.07	3.173	31039.16	31.039	101	132.039	3.160	2.553	3.260	0.040	0.031	Tidak Terjadi Kavitas
	11	997.07	3.823	37396.97	37.397	101	138.397	3.160	1.898	1.802	0.075	0.056	Tidak Terjadi Kavitas
	12	997.07	3.242	31707.54	31.708	101	132.708	3.160	5.030	12.650	0.010	0.008	Tidak Terjadi Kavitas
Peredam Energi II	13	997.07	8.038	78624.92	78.625	101	179.625	3.160	1.107	0.612	0.289	0.165	Tidak Terjadi Kavitas
	14	997.07	8.141	79634.02	79.634	101	180.634	3.160	1.107	0.612	0.291	0.165	Tidak Terjadi Kavitas
	15	997.07	7.849	76773.01	76.773	101	177.773	3.160	1.107	0.612	0.286	0.165	Tidak Terjadi Kavitas
	16	997.07	7.730	75607.41	75.607	101	176.607	3.160	1.412	0.997	0.174	0.102	Tidak Terjadi Kavitas
Escape Chamel	17	997.07	7.858	76864.30	76.864	101	177.864	3.160	1.260	0.793	0.221	0.128	Tidak Terjadi Kavitas
	18	997.07	2.385	23325.01	23.325	101	124.325	3.160	2.711	3.674	0.033	0.028	Tidak Terjadi Kavitas
	19	997.07	2.309	22583.27	22.583	101	123.583	3.160	3.130	4.899	0.025	0.021	Tidak Terjadi Kavitas
	20	997.07	1.821	17814.91	17.815	101	118.815	3.160	4.275	9.136	0.013	0.011	Tidak Terjadi Kavitas

Sumber: Hasil Perhitungan (2017).

Tabel 4.42
Perhitungan Indeks Kavitas untuk Q_{25th} pada Seri III

Keterangan	No. Sec.	ρ_w (kg/m ³)	h (m)	Pg (N/m ²)	Pa (kPa)	Po (kPa)	Pv (kPa)	Vo (m/dt)	Vo ² /2 (m ² /dt ²)		σ	Cp	Kondisi
Apron atas	IV	997.07	5.492	53715.35	53.715	101	154.715	3.160	1.107	0.612	0.248	0.165	Tidak Terjadi Kavitas
	III	997.07	5.448	53291.49	53.291	101	154.291	3.160	1.107	0.612	0.248	0.165	Tidak Terjadi Kavitas
	II	997.07	5.448	53291.49	53.291	101	154.291	3.160	1.565	1.225	0.124	0.083	Tidak Terjadi Kavitas
	I	997.07	5.405	52867.64	52.868	101	153.868	3.160	1.917	1.837	0.082	0.055	Tidak Terjadi Kavitas
Crest Pelimpah	0	997.07	2.055	20103.72	20.104	101	121.104	3.160	4.380	9.592	0.012	0.011	Tidak Terjadi Kavitas
Peredam Energi I	Pelimpah	1	997.07	1.353	13237.29	13.237	101	114.237	3.160	8.520	0.003	0.003	Tidak Terjadi Kavitas
		2	997.07	4.003	39149.44	39.149	101	140.149	3.160	3.029	4.588	0.022	Tidak Terjadi Kavitas
		3	997.07	4.508	44093.86	44.094	101	145.094	3.160	2.626	3.447	0.029	Tidak Terjadi Kavitas
		4	997.07	5.125	50133.78	50.134	101	151.134	3.160	3.155	4.977	0.020	Tidak Terjadi Kavitas
Saluran Transisi		5	997.07	4.678	45751.78	45.752	101	146.752	3.160	2.115	2.236	0.045	Tidak Terjadi Kavitas
		6	997.07	5.602	54796.18	54.796	101	155.796	3.160	2.213	2.450	0.041	Tidak Terjadi Kavitas
		7	997.07	5.580	54584.25	54.584	101	155.584	3.160	2.213	2.450	0.062	Tidak Terjadi Kavitas
		8	997.07	3.249	31780.90	31.781	101	132.781	3.160	3.063	4.691	0.022	Tidak Terjadi Kavitas
Peluncur		9	997.07	3.193	31234.78	31.235	101	132.235	3.160	6.323	19.992	0.005	Tidak Terjadi Kavitas
		10	997.07	4.430	43330.92	43.331	101	144.331	3.160	3.098	4.799	0.021	Tidak Terjadi Kavitas
		11	997.07	4.863	47569.46	47.569	101	148.569	3.160	1.800	1.619	0.063	Tidak Terjadi Kavitas
		12	997.07	3.924	38383.24	38.383	101	139.383	3.160	7.142	25.501	0.004	Tidak Terjadi Kavitas
Peredam Energi II		13	997.07	8.223	80426.30	80.426	101	181.426	3.160	1.107	0.612	0.165	Tidak Terjadi Kavitas
		14	997.07	8.466	82812.93	82.813	101	183.813	3.160	1.107	0.612	0.165	Tidak Terjadi Kavitas
		15	997.07	8.726	85356.05	85.356	101	186.356	3.160	1.107	0.612	0.165	Tidak Terjadi Kavitas
		16	997.07	8.651	84614.31	84.614	101	185.614	3.160	1.530	1.170	0.087	Tidak Terjadi Kavitas
Escape Chamel		17	997.07	8.508	83222.11	83.222	101	184.222	3.160	2.084	2.172	0.047	Tidak Terjadi Kavitas
		18	997.07	3.013	29470.90	29.471	101	130.471	3.160	3.497	6.114	0.017	Tidak Terjadi Kavitas
		19	997.07	2.883	28199.33	28.199	101	129.199	3.160	3.834	7.349	0.014	Tidak Terjadi Kavitas
		20	997.07	1.930	18874.55	18.875	101	119.875	3.160	5.336	14.236	0.007	Tidak Terjadi Kavitas

Sumber: Hasil Perhitungan (2017).

Tabel 4.43
Perhitungan Indeks Kavitas untuk Q_{100th} pada Seri III

Keterangan	No. Sec.	ρ_w (kg/m ³)	h (m)	Pg (N/m ²)	Pa (kPa)	Po (kPa)	Pv (kPa)	Vo (m/dt)	$Vo^2/2$ (m ² /dt ²)	σ	Cp	Kondisi
Apron atas	IV	997.07	5.860	57318.11	57.318	101	158.318	3.160	1.107	0.612	0.254	Tidak Terjadi Kavitas
	III	997.07	5.817	56894.25	56.894	101	157.894	3.160	1.565	1.225	0.127	Tidak Terjadi Kavitas
	II	997.07	5.806	56788.29	56.788	101	157.788	3.160	1.565	1.225	0.127	Tidak Terjadi Kavitas
	I	997.07	5.578	54563.06	54.563	101	155.563	3.160	2.466	3.041	0.050	Tidak Terjadi Kavitas
Crest Pelimpah	0	997.07	2.196	21481.25	21.481	101	122.481	3.160	5.190	13.468	0.009	Tidak Terjadi Kavitas
Pelimpah	1	997.07	0.931	9104.71	9.105	101	110.105	3.160	9.059	41.031	0.003	Tidak Terjadi Kavitas
Peredam Energi I	2	997.07	4.360	42646.24	42.646	101	143.646	3.160	5.118	13.098	0.011	Tidak Terjadi Kavitas
	3	997.07	4.746	46425.06	46.425	101	147.425	3.160	3.477	6.046	0.024	Tidak Terjadi Kavitas
	4	997.07	5.591	54690.21	54.690	101	155.690	3.160	4.918	12.093	0.013	Tidak Terjadi Kavitas
	5	997.07	5.219	51049.96	51.050	101	152.050	3.160	2.202	2.424	0.062	Tidak Terjadi Kavitas
Saluran Transisi	6	997.07	6.133	59988.39	59.988	101	160.988	3.160	2.367	2.802	0.056	Tidak Terjadi Kavitas
	7	997.07	6.155	60200.31	60.200	101	161.200	3.160	2.553	3.260	0.049	Tidak Terjadi Kavitas
Crest Peluncur	8	997.07	3.748	36655.22	36.655	101	137.655	3.160	3.614	6.529	0.021	Tidak Terjadi Kavitas
Peluncur	9	997.07	4.212	41195.35	41.195	101	142.195	3.160	5.709	16.295	0.009	Tidak Terjadi Kavitas
	10	997.07	4.863	47569.46	47.569	101	148.569	3.160	4.518	10.205	0.014	Tidak Terjadi Kavitas
	11	997.07	4.950	48417.17	48.417	101	149.417	3.160	1.476	1.089	0.135	Tidak Terjadi Kavitas
	12	997.07	4.563	44635.09	44.635	101	145.635	3.160	6.577	21.631	0.007	Tidak Terjadi Kavitas
Peredam Energi II	13	997.07	8.873	86784.11	86.784	101	187.784	3.160	1.107	0.612	0.302	Tidak Terjadi Kavitas
	14	997.07	8.445	82601.00	82.601	101	183.601	3.160	1.107	0.612	0.296	Tidak Terjadi Kavitas
	15	997.07	8.531	83448.71	83.449	101	184.449	3.160	1.107	0.612	0.297	Tidak Terjadi Kavitas
	16	997.07	8.705	85144.12	85.144	101	186.144	3.160	1.986	1.971	0.093	Tidak Terjadi Kavitas
Escape Chamel	17	997.07	8.877	86824.87	86.825	101	187.825	3.160	2.519	3.172	0.058	Tidak Terjadi Kavitas
	18	997.07	3.696	36146.60	36.147	101	137.147	3.160	3.827	7.322	0.018	Tidak Terjadi Kavitas
	19	997.07	3.381	33073.66	33.074	101	134.074	3.160	4.040	8.163	0.016	Tidak Terjadi Kavitas
	20	997.07	2.331	22795.20	22.795	101	123.795	3.160	5.459	14.900	0.008	Tidak Terjadi Kavitas

Sumber: Hasil Perhitungan (2017).

Tabel 4.44
Perhitungan Indeks Kavitas untuk Q_{1000th} pada Seri III

Keterangan	No. Sec.	ρ_w (kg/m ³)	h (m)	P_g (N/m ²)	P_a (kPa)	P_o (kPa)	P_v (kPa)	V_o (m/dt)	$V_o^{2/2}$ (m ² /dt ²)		σ	Cp	Kondisi
Apron atas	IV	997.07	6.358	62192.43	62.192	101	163.192	3.160	1.781	1.586	0.101	0.064	Tidak Terjadi Kavitas
	III	997.07	6.293	61556.65	61.557	101	162.557	3.160	1.682	1.415	0.113	0.072	Tidak Terjadi Kavitas
	II	997.07	6.293	61556.65	61.557	101	162.557	3.160	1.682	1.415	0.113	0.072	Tidak Terjadi Kavitas
	I	997.07	6.228	60920.87	60.921	101	161.921	3.160	2.016	2.032	0.078	0.050	Tidak Terjadi Kavitas
Crest Pelimpah	0	997.07	2.597	25401.90	25.402	101	126.402	3.160	4.562	10.405	0.012	0.010	Tidak Terjadi Kavitas
Peredam Energi I	Pelimpah	1	997.07	1.332	13025.36	13.025	101	114.025	3.160	8.572	0.003	0.003	Tidak Terjadi Kavitas
		2	997.07	4.555	44553.58	44.554	101	145.554	3.160	5.456	0.010	0.007	Tidak Terjadi Kavitas
		3	997.07	5.104	49921.85	49.922	101	150.922	3.160	2.908	0.027	0.035	Tidak Terjadi Kavitas
		4	997.07	6.122	59882.42	59.882	101	160.882	3.160	2.617	0.046	0.030	Tidak Terjadi Kavitas
		5	997.07	5.902	57725.66	57.726	101	158.726	3.160	2.553	0.048	0.031	Tidak Terjadi Kavitas
Saluran Transisi		6	997.07	6.924	67723.72	67.724	101	168.724	3.160	2.632	0.048	0.029	Tidak Terjadi Kavitas
		7	997.07	6.815	66664.09	66.664	101	167.664	3.160	2.923	0.039	0.024	Tidak Terjadi Kavitas
Peluncur	Crest Peluncur	8	997.07	4.452	43542.85	43.543	101	144.543	3.160	4.188	0.016	0.012	Tidak Terjadi Kavitas
		9	997.07	5.295	51791.70	51.792	101	152.792	3.160	5.221	0.011	0.007	Tidak Terjadi Kavitas
		10	997.07	5.427	53079.57	53.080	101	154.080	3.160	5.106	0.012	0.008	Tidak Terjadi Kavitas
		11	997.07	4.723	46191.94	46.192	101	147.192	3.160	1.800	0.089	0.063	Tidak Terjadi Kavitas
		12	997.07	4.845	47390.14	47.390	101	148.390	3.160	6.601	0.007	0.005	Tidak Terjadi Kavitas
		13	997.07	8.613	84240.99	84.241	101	185.241	3.160	1.682	0.129	0.072	Tidak Terjadi Kavitas
		14	997.07	8.488	83024.85	83.025	101	184.025	3.160	1.715	0.123	0.069	Tidak Terjadi Kavitas
		15	997.07	8.856	86627.61	86.628	101	187.628	3.160	1.647	0.136	0.075	Tidak Terjadi Kavitas
		16	997.07	8.878	86839.54	86.840	101	187.840	3.160	3.063	0.039	0.022	Tidak Terjadi Kavitas
		17	997.07	8.638	84493.67	84.494	101	185.494	3.160	2.923	0.043	0.024	Tidak Terjadi Kavitas
Escape Channel		18	997.07	4.194	41020.92	41.021	101	142.021	3.160	4.091	0.017	0.012	Tidak Terjadi Kavitas
		19	997.07	3.901	38159.90	38.160	101	139.160	3.160	4.286	0.015	0.011	Tidak Terjadi Kavitas
		20	997.07	2.786	27245.66	27.246	101	128.246	3.160	5.958	0.007	0.006	Tidak Terjadi Kavitas

Sumber: Hasil Perhitungan (2017).

Tabel 4.45
Perhitungan Indeks Kavitas untuk Q_{PMF} pada Seri III

Keterangan	No. Sec.	ρ _w (kg/m ³)	h (m)	Pg (N/m ²)	Pa (kPa)	Pv (kPa)	Vo (m/dt)	Vo ^{2/2} (m ² /dt ²)	σ	Cp	Kondisi		
Apron atas	IV	997.07	7.073	69186.02	69.186	101	170.186	3.160	2.475	3.062	0.055	0.033	Tidak Terjadi Kavitasi
	III	997.07	6.987	68338.31	68.338	101	169.338	3.160	2.280	2.600	0.064	0.039	Tidak Terjadi Kavitasi
	II	997.07	6.976	68232.35	68.232	101	169.232	3.160	2.632	3.464	0.048	0.029	Tidak Terjadi Kavitasi
	I	997.07	6.922	67702.53	67.703	101	168.703	3.160	2.553	3.260	0.051	0.031	Tidak Terjadi Kavitasi
Crest Pelimpah	0	997.07	3.182	31123.93	31.124	101	132.124	3.160	5.109	13.053	0.010	0.008	Tidak Terjadi Kavitasi
Pelimpah	1	997.07	1.397	13661.14	13.661	101	114.661	3.160	8.004	32.029	0.003	0.003	Tidak Terjadi Kavitasi
Peredam Energi I	2	997.07	5.097	49851.75	49.852	101	150.852	3.160	9.647	46.536	0.003	0.002	Tidak Terjadi Kavitasi
	3	997.07	5.570	54478.28	54.478	101	155.478	3.160	3.288	5.406	0.028	0.019	Tidak Terjadi Kavitasi
	4	997.07	6.815	66664.09	66.664	101	167.664	3.160	2.115	2.236	0.074	0.045	Tidak Terjadi Kavitasi
	5	997.07	6.887	67368.34	67.368	101	168.368	3.160	2.783	3.873	0.043	0.026	Tidak Terjadi Kavitasi
Saluran Transisi	6	997.07	7.758	75882.91	75.883	101	176.883	3.160	3.433	5.894	0.030	0.017	Tidak Terjadi Kavitasi
	7	997.07	7.877	77048.51	77.049	101	178.049	3.160	3.876	7.511	0.023	0.013	Tidak Terjadi Kavitasi
Crest Peluncur	8	997.07	5.427	53079.57	53.080	101	154.080	3.160	5.068	12.841	0.012	0.008	Tidak Terjadi Kavitasi
Peluncur	9	997.07	5.512	53910.97	53.911	101	154.911	3.160	7.851	30.819	0.005	0.003	Tidak Terjadi Kavitasi
	10	997.07	5.373	52549.75	52.550	101	153.550	3.160	9.517	45.288	0.003	0.002	Tidak Terjadi Kavitasi
	11	997.07	5.513	53927.27	53.927	101	154.927	3.160	7.109	25.272	0.006	0.004	Tidak Terjadi Kavitasi
	12	997.07	5.495	53747.95	53.748	101	154.748	3.160	6.730	22.648	0.007	0.004	Tidak Terjadi Kavitasi
	13	997.07	7.735	75657.94	75.658	101	176.658	3.160	2.202	2.424	0.072	0.042	Tidak Terjadi Kavitasi
Peredam Energi II	14	997.07	8.835	86415.69	86.416	101	187.416	3.160	2.519	3.172	0.058	0.032	Tidak Terjadi Kavitasi
	15	997.07	8.813	86203.76	86.204	101	187.204	3.160	3.024	4.574	0.040	0.022	Tidak Terjadi Kavitasi
	16	997.07	8.596	84084.49	84.084	101	185.084	3.160	3.765	7.087	0.026	0.014	Tidak Terjadi Kavitasi
	17	997.07	7.999	78241.82	78.242	101	179.242	3.160	4.040	8.163	0.022	0.012	Tidak Terjadi Kavitasi
Escape Channel	18	997.07	4.378	42822.30	42.822	101	143.822	3.160	5.264	13.856	0.010	0.007	Tidak Terjadi Kavitasi
	19	997.07	4.335	42398.44	42.398	101	143.398	3.160	5.188	13.459	0.010	0.008	Tidak Terjadi Kavitasi
	20	997.07	3.013	29470.90	29.471	101	130.471	3.160	5.513	15.196	0.008	0.007	Tidak Terjadi Kavitasi

Sumber: Hasil Perhitungan (2017).

Tabel 4.46
Perhitungan Indeks Kavitas untuk Q_{2th} pada Seri IV

Keterangan	No. Sec.	ρ_w (kg/m ³)	h (m)	Pg (N/m ²)	Pa (kPa)	Po (kPa)	Pv (kPa)	Vo (m/dt)	Vo ^{2/2} (m ² /dt ²)		σ	Cp	Kondisi
Apron atas	IV	997.07	4.777	46721.76	46.722	101	147.722	3.160	1.107	0.612	0.237	0.165	Tidak Terjadi Kavitas
	III	997.07	4.809	47039.65	47.040	101	148.040	3.160	1.107	0.612	0.237	0.165	Tidak Terjadi Kavitas
	II	997.07	4.798	46933.68	46.934	101	147.934	3.160	1.107	0.612	0.237	0.165	Tidak Terjadi Kavitas
	I	997.07	4.755	46509.83	46.510	101	147.510	3.160	1.530	1.170	0.124	0.087	Tidak Terjadi Kavitas
Crest Pelimpah	0	997.07	1.460	14275.73	14.276	101	115.276	3.160	4.040	8.163	0.014	0.012	Tidak Terjadi Kavitas
Peredam Energi I	Pelimpah	1	997.07	3700.57	3.701	101	104.701	3.160	7.423	27.549	0.004	0.004	Tidak Terjadi Kavitas
		2	997.07	33427.41	33.427	101	134.427	3.160	1.868	1.745	0.075	0.058	Tidak Terjadi Kavitas
		3	997.07	38901.65	38.902	101	139.902	3.160	2.367	2.802	0.049	0.036	Tidak Terjadi Kavitas
		4	997.07	45683.31	45.683	101	146.683	3.160	2.388	2.850	0.051	0.036	Tidak Terjadi Kavitas
Saluran Transisi		5	997.07	36532.96	36.533	101	137.533	3.160	1.565	1.225	0.110	0.083	Tidak Terjadi Kavitas
		6	997.07	46848.91	46.849	101	147.849	3.160	1.565	1.225	0.118	0.083	Tidak Terjadi Kavitas
		7	997.07	46319.09	46.319	101	147.319	3.160	1.800	1.619	0.089	0.063	Tidak Terjadi Kavitas
		8	997.07	24575.38	24.575	101	125.575	3.160	2.553	3.260	0.038	0.031	Tidak Terjadi Kavitas
Peluncur		9	997.07	25406.79	25.407	101	126.407	3.160	6.639	22.035	0.006	0.005	Tidak Terjadi Kavitas
		10	997.07	31039.16	31.039	101	132.039	3.160	2.553	3.260	0.040	0.031	Tidak Terjadi Kavitas
		11	997.07	37396.97	37.397	101	138.397	3.160	1.898	1.802	0.075	0.056	Tidak Terjadi Kavitas
		12	997.07	31707.54	31.708	101	132.708	3.160	5.030	12.650	0.010	0.008	Tidak Terjadi Kavitas
Peredam Energi II		13	997.07	70359.77	70.360	101	171.360	3.160	1.107	0.612	0.275	0.165	Tidak Terjadi Kavitas
		14	997.07	74865.66	74.866	101	175.866	3.160	1.342	0.901	0.192	0.112	Tidak Terjadi Kavitas
		15	997.07	74865.66	74.866	101	175.866	3.160	1.495	1.118	0.155	0.091	Tidak Terjadi Kavitas
		16	997.07	74441.81	74.442	101	175.442	3.160	1.688	1.425	0.121	0.071	Tidak Terjadi Kavitas
Escape Channel		17	997.07	69300.13	69.300	101	170.300	3.160	1.688	1.425	0.118	0.071	Tidak Terjadi Kavitas
		18	997.07	22901.16	22.901	101	123.901	3.160	1.190	0.708	0.171	0.143	Tidak Terjadi Kavitas
		19	997.07	20146.11	20.146	101	121.146	3.160	3.320	5.512	0.021	0.018	Tidak Terjadi Kavitas
		20	997.07	12198.85	12.199	101	113.199	3.160	4.471	9.994	0.011	0.010	Tidak Terjadi Kavitas

Sumber: Hasil Perhitungan (2017).

Tabel 4.47
Perhitungan Indeks Kavitas untuk Q_{25th} pada Seri IV

Keterangan	No. Sec.	ρ_w (kg/m ³)	h (m)	Pg (N/m ²)	Pa (kPa)	Po (kPa)	Pv (kPa)	Vo (m/dt)	Vo ² /2 (m ² /dt ²)		σ	Cp	Kondisi
Apron atas	IV	997.07	5.492	53715.35	53.715	101	154.715	3.160	1.107	0.612	0.248	0.165	Tidak Terjadi Kavitas
	III	997.07	5.448	53291.49	53.291	101	154.291	3.160	1.107	0.612	0.248	0.165	Tidak Terjadi Kavitas
	II	997.07	5.448	53291.49	53.291	101	154.291	3.160	1.565	1.225	0.124	0.083	Tidak Terjadi Kavitas
	I	997.07	5.405	52867.64	52.868	101	153.868	3.160	1.917	1.837	0.082	0.055	Tidak Terjadi Kavitas
Crest Pelimpah	0	997.07	2.055	20103.72	20.104	101	121.104	3.160	4.380	9.592	0.012	0.011	Tidak Terjadi Kavitas
Peredam Energi I	Pelimpah	997.07	1.353	13237.29	13.237	101	114.237	3.160	8.520	36.292	0.003	0.003	Tidak Terjadi Kavitas
	2	997.07	4.003	39149.44	39.149	101	140.149	3.160	3.029	4.588	0.030	0.022	Tidak Terjadi Kavitas
	3	997.07	4.508	44093.86	44.094	101	145.094	3.160	2.626	3.447	0.041	0.029	Tidak Terjadi Kavitas
	4	997.07	5.125	50133.78	50.134	101	151.134	3.160	3.155	4.977	0.030	0.020	Tidak Terjadi Kavitas
Saluran Transisi	5	997.07	4.678	45751.78	45.752	101	146.752	3.160	2.115	2.236	0.064	0.045	Tidak Terjadi Kavitas
	6	997.07	5.602	54796.18	54.796	101	155.796	3.160	2.213	2.450	0.062	0.041	Tidak Terjadi Kavitas
	7	997.07	5.580	54584.25	54.584	101	155.584	3.160	2.213	2.450	0.062	0.041	Tidak Terjadi Kavitas
	8	997.07	3.249	31780.90	31.781	101	132.781	3.160	3.063	4.691	0.028	0.022	Tidak Terjadi Kavitas
Peluncur	9	997.07	3.193	31234.78	31.235	101	132.235	3.160	6.323	19.992	0.006	0.005	Tidak Terjadi Kavitas
	10	997.07	4.430	43330.92	43.331	101	144.331	3.160	3.098	4.799	0.030	0.021	Tidak Terjadi Kavitas
	11	997.07	4.863	47569.46	47.569	101	148.569	3.160	1.800	1.619	0.090	0.063	Tidak Terjadi Kavitas
	12	997.07	3.924	38383.24	38.383	101	139.383	3.160	7.142	25.501	0.005	0.004	Tidak Terjadi Kavitas
Peredam Energi II	13	997.07	8.201	80214.38	80.214	101	181.214	3.160	1.107	0.612	0.292	0.165	Tidak Terjadi Kavitas
	14	997.07	8.488	83024.85	83.025	101	184.025	3.160	1.107	0.612	0.296	0.165	Tidak Terjadi Kavitas
	15	997.07	8.228	80481.73	80.482	101	181.482	3.160	1.107	0.612	0.292	0.165	Tidak Terjadi Kavitas
	16	997.07	8.488	83024.85	83.025	101	184.025	3.160	1.321	0.873	0.208	0.116	Tidak Terjadi Kavitas
Escape Channel	17	997.07	7.941	77671.25	77.671	101	178.671	3.160	1.190	0.708	0.249	0.143	Tidak Terjadi Kavitas
	18	997.07	2.959	28941.08	28.941	101	129.941	3.160	3.194	5.102	0.025	0.020	Tidak Terjadi Kavitas
	19	997.07	2.731	26715.85	26.716	101	127.716	3.160	3.500	6.124	0.020	0.017	Tidak Terjadi Kavitas
	20	997.07	1.735	16967.20	16.967	101	117.967	3.160	5.021	12.603	0.009	0.008	Tidak Terjadi Kavitas

Sumber: Hasil Perhitungan (2017).

Tabel 4.48
Perhitungan Indeks Kavitas untuk Q_{100th} pada Seri IV

Keterangan	No. Sec.	ρ_w (kg/m ³)	h (m)	P_g (N/m ²)	P_a (kPa)	P_o (kPa)	P_v (kPa)	V_o (m/dt)	$V_o^{2/2}$ (m ² /dt ²)		σ	C_p	Kondisi
Apron atas	IV	997.07	5.860	57318.11	57.318	101	158.318	3.160	1.107	0.612	0.254	0.165	Tidak Terjadi Kavitas
	III	997.07	5.817	56894.25	56.894	101	157.894	3.160	1.565	1.225	0.127	0.083	Tidak Terjadi Kavitas
	II	997.07	5.806	56788.29	56.788	101	157.788	3.160	1.565	1.225	0.127	0.083	Tidak Terjadi Kavitas
	I	997.07	5.578	54563.06	54.563	101	155.563	3.160	2.466	3.041	0.050	0.033	Tidak Terjadi Kavitas
Crest Pelimpah	0	997.07	2.196	21481.25	21.481	101	122.481	3.160	5.190	13.468	0.009	0.008	Tidak Terjadi Kavitas
Pelimpah	1	997.07	0.931	9104.71	9.105	101	110.105	3.160	9.059	41.031	0.003	0.002	Tidak Terjadi Kavitas
	2	997.07	4.360	42646.24	42.646	101	143.646	3.160	5.118	13.098	0.011	0.008	Tidak Terjadi Kavitas
	3	997.07	4.746	46425.06	46.425	101	147.425	3.160	3.477	6.046	0.024	0.017	Tidak Terjadi Kavitas
Peredam Energi I	4	997.07	5.591	54690.21	54.690	101	155.690	3.160	4.918	12.093	0.013	0.008	Tidak Terjadi Kavitas
	5	997.07	5.219	51049.96	51.050	101	152.050	3.160	2.202	2.424	0.062	0.042	Tidak Terjadi Kavitas
Saluran Transisi	6	997.07	6.133	59988.39	59.988	101	160.988	3.160	2.367	2.802	0.056	0.036	Tidak Terjadi Kavitas
	7	997.07	6.155	60200.31	60.200	101	161.200	3.160	2.553	3.260	0.049	0.031	Tidak Terjadi Kavitas
Crest Peluncur	8	997.07	3.748	36655.22	36.655	101	137.655	3.160	3.614	6.529	0.021	0.016	Tidak Terjadi Kavitas
Peluncur	9	997.07	4.212	41195.35	41.195	101	142.195	3.160	5.709	16.295	0.009	0.006	Tidak Terjadi Kavitas
	10	997.07	4.863	47569.46	47.569	101	148.569	3.160	4.518	10.205	0.014	0.010	Tidak Terjadi Kavitas
	11	997.07	4.950	48417.17	48.417	101	149.417	3.160	1.476	1.089	0.135	0.093	Tidak Terjadi Kavitas
	12	997.07	4.563	44635.09	44.635	101	145.635	3.160	6.577	21.631	0.007	0.005	Tidak Terjadi Kavitas
	13	997.07	8.017	78413.00	78.413	101	179.413	3.160	2.289	2.619	0.067	0.039	Tidak Terjadi Kavitas
Peredam Energi II	14	997.07	8.921	87263.39	87.263	101	188.263	3.160	2.367	2.802	0.066	0.036	Tidak Terjadi Kavitas
	15	997.07	8.662	84720.27	84.720	101	185.720	3.160	2.300	2.646	0.069	0.038	Tidak Terjadi Kavitas
	16	997.07	8.770	85779.91	85.780	101	186.780	3.160	2.300	2.646	0.070	0.038	Tidak Terjadi Kavitas
	17	997.07	8.309	81274.01	81.274	101	182.274	3.160	2.539	3.223	0.056	0.031	Tidak Terjadi Kavitas
Escape Channel	18	997.07	3.360	32861.73	32.862	101	133.862	3.160	4.087	8.352	0.016	0.012	Tidak Terjadi Kavitas
	19	997.07	3.078	30106.68	30.107	101	131.107	3.160	4.285	9.179	0.014	0.011	Tidak Terjadi Kavitas
	20	997.07	2.016	19722.25	19.722	101	120.722	3.160	5.856	17.144	0.007	0.006	Tidak Terjadi Kavitas

Sumber: Hasil Perhitungan (2017).

Tabel 4.49
Perhitungan Indeks Kavitas untuk Q_{1000th} pada Seri IV

Keterangan	No. Sec.	ρ_w (kg/m ³)	h (m)	Pg (N/m ²)	Pa (kPa)	Pb (kPa)	Pv (kPa)	Vo (m/dt)	Vo ^{2/2} (m ² /dt ²)		σ	Cp	Kondisi
Apron atas	IV	997.07	6.358	62192.43	62.192	101	163.192	3.160	1.781	1.586	0.101	0.064	Tidak Terjadi Kavitas
	III	997.07	6.293	61556.65	61.557	101	162.557	3.160	1.682	1.415	0.113	0.072	Tidak Terjadi Kavitas
	II	997.07	6.293	61556.65	61.557	101	162.557	3.160	1.682	1.415	0.113	0.072	Tidak Terjadi Kavitas
	I	997.07	6.228	60920.87	60.921	101	161.921	3.160	2.016	2.032	0.078	0.050	Tidak Terjadi Kavitas
Crest Pelimpah	0	997.07	2.597	25401.90	25.402	101	126.402	3.160	4.562	10.405	0.012	0.010	Tidak Terjadi Kavitas
Pelimpah	1	997.07	1.332	13025.36	13.025	101	114.025	3.160	8.572	36.742	0.003	0.003	Tidak Terjadi Kavitas
Peredam Energi I	2	997.07	4.555	44553.58	44.554	101	145.554	3.160	5.456	14.884	0.010	0.007	Tidak Terjadi Kavitas
	3	997.07	5.104	49921.85	49.922	101	150.922	3.160	2.908	4.227	0.035	0.024	Tidak Terjadi Kavitas
	4	997.07	6.122	59882.42	59.882	101	160.882	3.160	2.617	3.426	0.046	0.030	Tidak Terjadi Kavitas
	5	997.07	5.902	57725.66	57.726	101	158.726	3.160	2.553	3.260	0.048	0.031	Tidak Terjadi Kavitas
Saluran Transisi	6	997.07	6.924	67723.72	67.724	101	168.724	3.160	2.632	3.464	0.048	0.029	Tidak Terjadi Kavitas
	7	997.07	6.815	66664.09	66.664	101	167.664	3.160	2.923	4.272	0.039	0.024	Tidak Terjadi Kavitas
Crest Peluncur	8	997.07	4.452	43542.85	43.543	101	144.543	3.160	4.188	8.768	0.016	0.012	Tidak Terjadi Kavitas
Peluncur	9	997.07	5.295	51791.70	51.792	101	152.792	3.160	5.221	13.631	0.011	0.007	Tidak Terjadi Kavitas
	10	997.07	5.427	53079.57	53.080	101	154.080	3.160	5.106	13.034	0.012	0.008	Tidak Terjadi Kavitas
	11	997.07	4.723	46191.94	46.192	101	147.192	3.160	1.800	1.619	0.089	0.063	Tidak Terjadi Kavitas
	12	997.07	4.845	47390.14	47.390	101	148.390	3.160	6.601	21.783	0.007	0.005	Tidak Terjadi Kavitas
Peredam Energi II	13	997.07	7.258	70995.55	70.996	101	171.996	3.160	3.059	4.678	0.036	0.022	Tidak Terjadi Kavitas
	14	997.07	8.770	85779.91	85.780	101	186.780	3.160	2.967	4.403	0.042	0.023	Tidak Terjadi Kavitas
	15	997.07	8.705	85144.12	85.144	101	186.144	3.160	2.757	3.801	0.048	0.027	Tidak Terjadi Kavitas
	16	997.07	8.683	84932.20	84.932	101	185.932	3.160	2.783	3.873	0.047	0.026	Tidak Terjadi Kavitas
Escape Channel	17	997.07	8.038	78624.92	78.625	101	179.625	3.160	2.995	4.486	0.039	0.023	Tidak Terjadi Kavitas
	18	997.07	4.010	39219.54	39.220	101	140.220	3.160	4.651	10.817	0.013	0.009	Tidak Terjadi Kavitas
	19	997.07	3.869	37842.01	37.842	101	138.842	3.160	4.824	11.636	0.012	0.009	Tidak Terjadi Kavitas
	20	997.07	2.493	24384.65	24.385	101	125.385	3.160	6.190	19.156	0.006	0.005	Tidak Terjadi Kavitas

Sumber: Hasil Perhitungan (2017).

Tabel 4.50
Perhitungan Indeks Kavitasasi untuk Q_{PMF} pada Seri IV

Keterangan	No. Sec.	ρ_w	h	P_g	P_a	P_o	P_v	V_o	$V_o^2/2$	σ	C_p	Kondisi	
		(kg/m ³)											(m)
Apron atas	IV	997.07	7.073	69186.02	69.186	101	170.186	3.160	2.475	3.062	0.055	0.033	Tidak Terjadi Kavitasi
	III	997.07	6.987	68338.31	68.338	101	169.338	3.160	2.280	2.600	0.064	0.039	Tidak Terjadi Kavitasi
	II	997.07	6.976	68232.35	68.232	101	169.232	3.160	2.632	3.464	0.048	0.029	Tidak Terjadi Kavitasi
	I	997.07	6.922	67702.53	67.703	101	168.703	3.160	2.553	3.260	0.051	0.031	Tidak Terjadi Kavitasi
Crest Pelimpah	0	997.07	3.182	31123.93	31.124	101	132.124	3.160	5.109	13.053	0.010	0.008	Tidak Terjadi Kavitasi
Pelimpah	1	997.07	1.397	13661.14	13.661	101	114.661	3.160	8.004	32.029	0.003	0.003	Tidak Terjadi Kavitasi
	2	997.07	5.097	49851.75	49.852	101	150.852	3.160	9.647	46.536	0.003	0.002	Tidak Terjadi Kavitasi
	3	997.07	5.570	54478.28	54.478	101	155.478	3.160	3.288	5.406	0.028	0.019	Tidak Terjadi Kavitasi
	4	997.07	6.815	66664.09	66.664	101	167.664	3.160	2.115	2.236	0.074	0.045	Tidak Terjadi Kavitasi
	5	997.07	6.887	67368.34	67.368	101	168.368	3.160	2.783	3.873	0.043	0.026	Tidak Terjadi Kavitasi
Saluran Transisi	6	997.07	7.758	75882.91	75.883	101	176.883	3.160	3.433	5.894	0.030	0.017	Tidak Terjadi Kavitasi
	7	997.07	7.877	77048.51	77.049	101	178.049	3.160	3.876	7.511	0.023	0.013	Tidak Terjadi Kavitasi
Crest Peluncur	8	997.07	5.427	53079.57	53.080	101	154.080	3.160	5.068	12.841	0.012	0.008	Tidak Terjadi Kavitasi
Peluncur	9	997.07	5.512	53910.97	53.911	101	154.911	3.160	7.851	30.819	0.005	0.003	Tidak Terjadi Kavitasi
	10	997.07	5.373	52549.75	52.550	101	153.550	3.160	9.517	45.288	0.003	0.002	Tidak Terjadi Kavitasi
	11	997.07	5.513	53927.27	53.927	101	154.927	3.160	7.109	25.272	0.006	0.004	Tidak Terjadi Kavitasi
	12	997.07	5.495	53747.95	53.748	101	154.748	3.160	6.730	22.648	0.007	0.004	Tidak Terjadi Kavitasi
	13	997.07	6.944	67922.61	67.923	101	168.923	3.160	4.692	11.007	0.015	0.009	Tidak Terjadi Kavitasi
Peredam Energi II	14	997.07	8.824	86309.72	86.310	101	187.310	3.160	3.827	7.324	0.025	0.014	Tidak Terjadi Kavitasi
	15	997.07	8.987	87899.18	87.899	101	188.899	3.160	3.257	5.303	0.035	0.019	Tidak Terjadi Kavitasi
	16	997.07	8.878	86839.54	86.840	101	187.840	3.160	3.317	5.500	0.034	0.018	Tidak Terjadi Kavitasi
	17	997.07	8.212	80320.34	80.320	101	181.320	3.160	3.668	6.727	0.027	0.015	Tidak Terjadi Kavitasi
Escape Channel	18	997.07	4.335	42398.44	42.398	101	143.398	3.160	5.029	12.645	0.011	0.008	Tidak Terjadi Kavitasi
	19	997.07	3.793	37100.27	37.100	101	138.100	3.160	5.210	13.572	0.010	0.007	Tidak Terjadi Kavitasi
	20	997.07	2.970	29047.04	29.047	101	130.047	3.160	6.999	24.493	0.005	0.004	Tidak Terjadi Kavitasi

Sumber: Hasil Perhitungan (2017).

4.6.8 Perhitungan pada *Escape Channel*

Perhitungan pada *escape channel* menggunakan persamaan kecepatan geser dan dilakukan koreksi dengan menggunakan Grafik Shield untuk menentukan gerak butiran pada rerata ijin. Pada perhitungan saluran pengarah hilir ini menggunakan Persamaan 2-27 dan 2-28, sebagaimana contoh perhitungan:

$$h = 3 \text{ m} \quad I = 2,76 \times 10^{-4}$$

$$g = 9,81 \text{ m/dt}^2 \quad D = 0,5 \text{ mm}$$

Penyelesaian:

$$\begin{aligned} U^* &= (g h I)^{1/2} \\ &= (9,81 \cdot 3 \cdot 2,76 \times 10^{-4}) \\ &= 9,02 \times 10^{-2} \text{ m/dt} \end{aligned}$$

$$D = 0,5 \text{ mm} \rightarrow U^*_{cr} = 0,0175 \text{ (Didapat dari grafik shield, gambar 2.20)}$$

Material dasar bergerak atau diam dapat diketahui, jika $U^* < U^*_{cr}$ maka material dasar tidak bergerak dan jika $U^* > U^*_{cr}$ maka material dasar bergerak. Dari perhitungan diketahui $U^* > U^*_{cr}$, sehingga dapat disimpulkan bahwa material dasar bergerak. Perhitungan kedalaman gerusan menggunakan metode Schoklistsch. Contoh perhitungan:

$$Q_{100th} = 626,410 \text{ m}^3/\text{dt} \quad B = 50 \text{ m}$$

$$H = 2,84 \text{ m} \quad D_{90} = 500 \text{ mm}$$

Penyelesaian:

$$\begin{aligned} \text{Metode Schoklistsch, } d_s &= 4,75 \left(\frac{H^{0,2} q^{0,5}}{D_{90}^{0,32}} \right) \\ &= 4,75 \left(\frac{2,84^{0,2} 4,39^{0,5}}{500^{0,32}} \right) \\ &= 2,428 \text{ m} \end{aligned}$$

Untuk perhitungan selanjutnya dapat dilihat pada Tabel 4.51:

Tabel 4.51
Hasil Perhitungan Gerusan Lokal Metode Schoklistsch

Kala Ulang	Q	q	B	H	D ₉₀	Metode Schoklistsch
(tahun)	(m ³ /dt)	(m ³ /dt/m)	(m)	(m)	(mm)	(m)
Q ₂	293.94	4.39	50.00	0.32	500	1.072
Q ₂₅	499.47	7.45	50.00	1.99	500	2.020
Q ₁₀₀	626.41	9.35	50.00	2.84	500	2.428
Q ₁₀₀₀	881.61	13.16	50.00	4.30	500	3.130
Q _{PMF}	1257.41	18.77	50.00	6.09	500	4.009

Sumber: Hasil Perhitungan (2017).

4.7 Perbandingan Hasil

4.7.1 Perbandingan Perhitungan Tinggi Muka Air

Setelah dilakukan perhitungan tinggi muka air secara analitis, maka perlu dibandingkan dengan hasil pengukuran dengan uji model penelitian yang telah dilakukan untuk mengetahui sejauh mana perbedaannya. Setelahnya hasil perhitungan tinggi muka air dikonversi menjadi elevasi muka air dan dilakukan perbandingan. Berikut contoh perhitungan terhadap data hasil uji model penelitian:

Data pengukuran tinggi muka air di peredam energi II pada section 14 (as) saat debit operasional Q_{2th} Seri *Orginal Design*.

$$\text{El. PG} = +143,00 \quad P_A = 115,5$$

$$\text{IPG} = 68,60 \quad \text{El. Dasar} = +106,00$$

$$\begin{aligned} \text{Elevasi muka air (A)} &= \left[(\text{IPG} - P_A) \times \left(\frac{65}{100} \right) \right] + \text{El. PG} \\ &= \left[(68,60 - 115,5) \times \left(\frac{65}{100} \right) \right] + 143,00 \\ &= +112,60 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \text{Tinggi muka air (H)} &= \text{El. Muka Air Prototype} - \text{El. Dasar saluran} \\ &= (+112,52) - (+106,00) \\ &= 6,60 \text{ m} \end{aligned}$$

Jadi, diketahui bahwa tinggi muka air di *prototype* pada section 14 (as) adalah 6,60 m. Selanjutnya perbandingan dapat pada Tabel 4.52 - 4.71 serta grafik pada Gambar 4.4 – 4.23 berikut ini:

Tabel 4.52

Perbandingan Elevasi Muka Air Untuk Q_{2th} Menggunakan Peredam Energi USBR II

Keterangan	No. Sec.	Elevasi Dasar	Elevasi Muka Air			
			Original Design	Seri I	Seri IV	Analitis
Apron atas	IV	140.00	144.78	144.78	144.78	144.65
	III	140.00	144.81	144.81	144.81	144.65
	II	140.00	144.80	144.80	144.80	144.65
	I	140.00	144.76	144.76	144.76	144.65
Pelimpah	0	143.00	144.46	144.46	144.46	144.16
	1	142.47	142.85	142.85	142.85	
Peredam Energi I	2	133.70	136.50	137.48	137.12	133.97
	3	133.00	136.44	137.40	136.98	
	4	133.00	137.24	137.91	137.67	
	5	134.00	137.28	138.09	137.74	137.26
Saluran Transisi	6	133.00	137.28	138.11	137.79	137.10
	7	133.00	137.28	138.09	137.74	137.10
Peluncur	8	135.00	136.87	137.89	137.51	136.52
	9	133.35	133.84	135.57	135.95	134.15
	10	128.63	128.79	132.17	131.80	129.13
	11	119.01	119.18	124.32	122.83	119.35
	12	114.04	114.55	118.82	117.28	114.37
	13	106.60	112.54	113.43	113.79	106.90
Peredam Energi II	14	106.00	112.60	113.50	113.65	
	15	106.00	113.38	113.53	113.65	
	16	106.00	113.54	113.56	113.61	
	17	106.60	113.61	113.75	113.69	111.31
Escape Channel	18	111.00	113.20	113.43	113.34	
	19	111.00	113.23	113.13	113.06	
	20	111.00	112.28	112.34	112.24	

Sumber: Hasil Perhitungan (2017).

Tabel 4.53

Perbandingan Elevasi Muka Air Untuk Q_{2th} Menggunakan Peredam Energi USBR I

Keterangan	No. Sec.	Elevasi Dasar	Elevasi Muka Air			
			Original Design	Seri II	Seri III	Analitis
Apron atas	IV	140.00	144.78	144.78	144.78	144.65
	III	140.00	144.81	144.81	144.81	144.65
	II	140.00	144.80	144.80	144.80	144.65
	I	140.00	144.76	144.76	144.76	144.65
Pelimpah	0	143.00	144.46	144.46	144.46	144.16
	1	142.47	142.85	142.85	142.85	
Peredam Energi I	2	133.70	136.50	137.48	137.12	133.97
	3	133.00	136.44	137.40	136.98	
	4	133.00	137.24	137.91	137.67	
	5	134.00	137.28	138.09	137.74	137.26
Saluran Transisi	6	133.00	137.28	138.11	137.79	137.10
	7	133.00	137.28	138.09	137.74	137.10
Peluncur	8	135.00	136.87	137.89	137.51	136.52
	9	133.35	133.84	135.57	135.95	134.15
	10	128.63	128.79	132.17	131.80	129.13
	11	119.01	119.18	124.32	122.83	119.35
	12	114.04	114.55	118.82	117.28	114.37
	13	106.60	112.54	113.45	114.64	106.90
Peredam Energi II	14	106.00	112.60	113.54	114.14	
	15	106.00	113.38	113.72	113.85	
	16	106.00	113.54	113.70	113.73	
	17	106.00	113.61	113.85	113.86	111.31
Escape Channel	18	111.00	113.20	113.46	113.38	
	19	111.00	113.23	113.14	113.31	
	20	111.00	112.28	112.58	112.82	

Sumber: Hasil Perhitungan (2017).

Tabel 4.54

Perbandingan Elevasi Muka Air Untuk Q_{2th} Menggunakan *Baffled Chute* 3 m

Keterangan	No. Sec.	Elevasi Dasar	Elevasi Muka Air			
			Original Design	Seri I	Seri II	Analitis
Apron atas	IV	140.00	144.78	144.78	144.78	144.65
	III	140.00	144.81	144.81	144.81	144.65
	II	140.00	144.80	144.80	144.80	144.65
	I	140.00	144.76	144.76	144.76	144.65
Pelimpah	0	143.00	144.46	144.46	144.46	144.16
	1	142.47	142.85	142.85	142.85	
Peredam Energi I	2	133.70	136.50	137.48	137.48	133.97
	3	133.00	136.44	137.40	137.40	
	4	133.00	137.24	137.91	137.91	
	5	134.00	137.28	138.09	138.09	137.26
Saluran Transisi	6	133.00	137.28	138.11	138.11	137.10
	7	133.00	137.28	138.09	138.09	137.10
Peluncur	8	135.00	136.87	137.89	137.89	136.52
	9	133.35	133.84	135.57	135.57	134.15
	10	128.63	128.79	132.17	132.17	129.13
	11	119.01	119.18	124.32	124.32	119.35
	12	114.04	114.55	118.82	118.82	114.37
	13	106.60	112.54	113.43	113.45	106.90
	14	106.00	112.60	113.50	113.54	
Peredam Energi II	15	106.00	113.38	113.53	113.72	
	16	106.00	113.54	113.56	113.70	
	17	106.60	113.61	113.75	113.85	111.31
	18	111.00	113.20	113.43	113.46	
Escape Channel	19	111.00	113.23	113.13	113.14	
	20	111.00	112.28	112.34	112.58	

Sumber: Hasil Perhitungan (2017).

Tabel 4.55

Perbandingan Elevasi Muka Air Untuk Q_{2th} Menggunakan *Baffled Chute* 2 m

Keterangan	No. Sec.	Elevasi Dasar	Elevasi Muka Air			
			Original Design	Seri III	Seri IV	Analitis
Apron atas	IV	140.00	144.78	144.78	144.78	144.65
	III	140.00	144.81	144.81	144.81	144.65
	II	140.00	144.80	144.80	144.80	144.65
	I	140.00	144.76	144.76	144.76	144.65
Pelimpah	0	143.00	144.46	144.46	144.46	144.16
	1	142.47	142.85	142.85	142.85	
Peredam Energi I	2	133.70	136.50	137.12	137.12	133.97
	3	133.00	136.44	136.98	136.98	
	4	133.00	137.24	137.67	137.67	
	5	134.00	137.28	137.74	137.74	137.26
Saluran Transisi	6	133.00	137.28	137.79	137.79	137.10
	7	133.00	137.28	137.74	137.74	137.10
Peluncur	8	135.00	136.87	137.51	137.51	136.52
	9	133.35	133.84	135.95	135.95	134.15
	10	128.63	128.79	131.80	131.80	129.13
	11	119.01	119.18	122.83	122.83	119.35
	12	114.04	114.55	117.28	117.28	114.37
	13	106.60	112.54	114.64	113.79	106.90
	14	106.00	112.60	114.14	113.65	
Peredam Energi II	15	106.00	113.38	113.85	113.65	
	16	106.00	113.54	113.73	113.61	
	17	106.60	113.61	113.86	113.69	111.31
	18	111.00	113.20	113.38	113.34	
Escape Channel	19	111.00	113.23	113.31	113.06	
	20	111.00	112.28	112.82	112.24	

Sumber: Hasil Perhitungan (2017).

Tabel 4.56

Perbandingan Elevasi Muka Air Untuk Q_{25th} Menggunakan Peredam Energi USBR II

Keterangan	No. Sec.	Elevasi Dasar	Elevasi Muka Air			
			Original Design	Seri I	Seri IV	Analitis
Apron atas	IV	140.00	145.49	145.49	145.49	145.32
	III	140.00	145.45	145.45	145.45	145.32
	II	140.00	145.45	145.45	145.45	145.32
	I	140.00	145.41	145.41	145.41	145.32
Pelimpah	0	143.00	145.06	145.06	145.06	144.65
	1	142.47	143.82	143.82	143.82	
Peredam Energi I	2	133.70	136.74	137.84	137.70	134.15
	3	133.00	136.61	137.71	137.51	
	4	133.00	137.74	138.26	138.13	
	5	134.00	138.13	138.82	138.68	138.25
Saluran Transisi	6	133.00	138.06	138.82	138.60	137.95
	7	133.00	137.97	138.78	138.58	137.95
Peluncur	8	135.00	137.58	138.52	138.24	137.17
	9	133.35	134.55	136.44	136.54	134.59
	10	128.63	129.07	133.58	133.06	129.44
	11	119.01	119.38	124.13	123.87	119.57
	12	114.04	114.64	118.84	117.96	114.56
	13	106.60	112.65	114.11	114.80	107.06
Peredam Energi II	14	106.00	112.86	114.54	114.49	
	15	106.00	114.27	114.27	114.23	
	16	106.00	114.60	114.40	114.49	
	17	106.60	114.57	114.55	114.54	112.99
Escape Channel	18	111.00	114.21	114.10	113.96	
	19	111.00	113.92	113.76	113.73	
	20	111.00	112.91	112.84	112.73	

Sumber: Hasil Perhitungan (2017).

Tabel 4.57

Perbandingan Elevasi Muka Air Untuk Q_{25th} Menggunakan Peredam Energi USBR I

Keterangan	No. Sec.	Elevasi Dasar	Elevasi Muka Air			
			Original Design	Seri II	Seri III	Analitis
Apron atas	IV	140.00	145.49	145.49	145.49	145.32
	III	140.00	145.45	145.45	145.45	145.32
	II	140.00	145.45	145.45	145.45	145.32
	I	140.00	145.41	145.41	145.41	145.32
Pelimpah	0	143.00	145.06	145.06	145.06	144.65
	1	142.47	143.82	143.82	143.82	
Peredam Energi I	2	133.70	136.74	137.84	137.70	134.15
	3	133.00	136.61	137.71	137.51	
	4	133.00	137.74	138.26	138.13	
	5	134.00	138.13	138.82	138.68	138.25
Saluran Transisi	6	133.00	138.06	138.82	138.60	137.95
	7	133.00	137.97	138.78	138.58	137.95
Peluncur	8	135.00	137.58	138.52	138.24	137.17
	9	133.35	134.55	136.44	136.54	134.59
	10	128.63	129.07	133.58	133.06	129.44
	11	119.01	119.38	124.13	123.87	119.57
	12	114.04	114.64	118.84	117.96	114.56
	13	106.60	112.65	114.08	114.82	107.06
Peredam Energi II	14	106.00	112.86	114.49	114.47	
	15	106.00	114.27	114.35	114.73	
	16	106.00	114.60	114.45	114.65	
	17	106.00	114.57	114.44	114.51	112.99
Escape Channel	18	111.00	114.21	114.10	114.01	
	19	111.00	113.92	113.82	113.88	
	20	111.00	112.91	112.88	112.93	

Sumber: Hasil Perhitungan (2017).

Tabel 4.58

Perbandingan Elevasi Muka Air Untuk Q_{25th} Menggunakan *Baffled Chute* 3 m

Keterangan	No. Sec.	Elevasi Dasar	Elevasi Muka Air			
			Original Design	Seri I	Seri II	Analitis
Apron atas	IV	140.00	145.49	145.49	145.49	145.32
	III	140.00	145.45	145.45	145.45	145.32
	II	140.00	145.45	145.45	145.45	145.32
	I	140.00	145.41	145.41	145.41	145.32
Pelimpah	0	143.00	145.06	145.06	145.06	144.65
	1	142.47	143.82	143.82	143.82	
Peredam Energi I	2	133.70	136.74	137.84	137.84	134.15
	3	133.00	136.61	137.71	137.71	
	4	133.00	137.74	138.26	138.26	
	5	134.00	138.13	138.82	138.82	138.25
Saluran Transisi	6	133.00	138.06	138.82	138.82	137.95
	7	133.00	137.97	138.78	138.78	137.95
Peluncur	8	135.00	137.58	138.52	138.52	137.17
	9	133.35	134.55	136.44	136.44	134.59
	10	128.63	129.07	133.58	133.58	129.44
	11	119.01	119.38	124.13	124.13	119.57
	12	114.04	114.64	118.84	118.84	114.56
	13	106.60	112.65	114.11	114.08	107.06
Peredam Energi II	14	106.00	112.86	114.54	114.49	
	15	106.00	114.27	114.27	114.35	
	16	106.00	114.60	114.40	114.45	
	17	106.60	114.57	114.55	114.44	112.99
Escape Channel	18	111.00	114.21	114.10	114.10	
	19	111.00	113.92	113.76	113.82	
	20	111.00	112.91	112.84	112.88	

Sumber: Hasil Perhitungan (2017).

Tabel 4.59

Perbandingan Elevasi Muka Air Untuk Q_{25th} Menggunakan *Baffled Chute* 2 m

Keterangan	No. Sec.	Elevasi Dasar	Elevasi Muka Air			
			Original Design	Seri III	Seri IV	Analitis
Apron atas	IV	140.00	145.49	145.49	145.49	145.32
	III	140.00	145.45	145.45	145.45	145.32
	II	140.00	145.45	145.45	145.45	145.32
	I	140.00	145.41	145.41	145.41	145.32
Pelimpah	0	143.00	145.06	145.06	145.06	144.65
	1	142.47	143.82	143.82	143.82	
Peredam Energi I	2	133.70	136.74	137.70	137.70	134.15
	3	133.00	136.61	137.51	137.51	
	4	133.00	137.74	138.13	138.13	
	5	134.00	138.13	138.68	138.68	138.25
Saluran Transisi	6	133.00	138.06	138.60	138.60	137.95
	7	133.00	137.97	138.58	138.58	137.95
Peluncur	8	135.00	137.58	138.24	138.24	137.17
	9	133.35	134.55	136.54	136.54	134.59
	10	128.63	129.07	133.06	133.06	129.44
	11	119.01	119.38	123.87	123.87	119.57
	12	114.04	114.64	117.96	117.96	114.56
	13	106.60	112.65	114.82	114.80	107.06
Peredam Energi II	14	106.00	112.86	114.47	114.49	
	15	106.00	114.27	114.73	114.23	
	16	106.00	114.60	114.65	114.49	
	17	106.60	114.57	114.51	114.54	112.99
Escape Channel	18	111.00	114.21	114.01	113.96	
	19	111.00	113.92	113.88	113.73	
	20	111.00	112.91	112.93	112.73	

Sumber: Hasil Perhitungan (2017).

Tabel 4.60

Perbandingan Elevasi Muka Air Untuk Q_{100th} Menggunakan Peredam Energi USBR II

Keterangan	No. Sec.	Elevasi Dasar	Elevasi Muka Air			
			Original Design	Seri I	Seri IV	Analitis
Apron atas	IV	140.00	145.86	145.86	145.86	145.68
	III	140.00	145.82	145.82	145.82	145.69
	II	140.00	145.81	145.81	145.81	145.69
	I	140.00	145.58	145.58	145.58	145.69
Pelimpah	0	143.00	145.20	145.20	145.20	144.92
	1	142.47	143.40	143.40	143.40	
Peredam Energi I	2	133.70	136.99	138.32	138.06	134.26
	3	133.00	136.73	137.87	137.75	
	4	133.00	137.91	138.60	138.59	
	5	134.00	138.52	139.25	139.22	138.76
Saluran Transisi	6	133.00	138.47	139.27	139.13	138.40
	7	133.00	138.45	139.27	139.15	138.40
Peluncur	8	135.00	137.76	138.84	138.74	137.52
	9	133.35	134.90	136.96	137.56	134.84
	10	128.63	129.25	134.57	133.49	129.62
	11	119.01	119.49	124.72	123.96	119.70
	12	114.04	114.69	119.24	118.60	114.67
	13	106.60	113.00	114.04	114.62	107.17
Peredam Energi II	14	106.00	112.37	114.84	114.92	
	15	106.00	114.40	114.69	114.66	
	16	106.00	114.44	114.90	114.77	
	17	106.60	114.97	115.04	114.91	113.84
Escape Channel	18	111.00	114.65	114.50	114.36	
	19	111.00	114.44	114.18	114.08	
	20	111.00	113.32	113.12	113.01	

Sumber: Hasil Perhitungan (2017).

Tabel 4.61

Perbandingan Elevasi Muka Air Untuk Q_{100th} Menggunakan Peredam Energi USBR I

Keterangan	No. Sec.	Elevasi Dasar	Elevasi Muka Air			
			Original Design	Seri II	Seri III	Analitis
Apron atas	IV	140.00	145.86	145.86	145.86	145.68
	III	140.00	145.82	145.82	145.82	145.69
	II	140.00	145.81	145.81	145.81	145.69
	I	140.00	145.58	145.58	145.58	145.69
Pelimpah	0	143.00	145.20	145.20	145.20	144.92
	1	142.47	143.40	143.40	143.40	
Peredam Energi I	2	133.70	136.99	138.32	138.06	134.26
	3	133.00	136.73	137.87	137.75	
	4	133.00	137.91	138.60	138.59	
	5	134.00	138.52	139.25	139.22	138.76
Saluran Transisi	6	133.00	138.47	139.27	139.13	138.40
	7	133.00	138.45	139.27	139.15	138.40
Peluncur	8	135.00	137.76	138.84	138.74	137.52
	9	133.35	134.90	136.96	137.56	134.84
	10	128.63	129.25	134.57	133.49	129.62
	11	119.01	119.49	124.72	123.96	119.70
	12	114.04	114.69	119.24	118.60	114.67
	13	106.60	113.00	114.21	115.47	107.17
Peredam Energi II	14	106.00	112.37	114.60	114.44	
	15	106.00	114.40	114.50	114.53	
	16	106.00	114.44	114.77	114.70	
	17	106.00	114.97	114.68	114.88	113.84
Escape Channel	18	111.00	114.65	114.34	114.69	
	19	111.00	114.44	113.79	114.38	
	20	111.00	113.32	113.10	113.33	

Sumber: Hasil Perhitungan (2017).

Tabel 4.62

Perbandingan Elevasi Muka Air Untuk Q_{100th} Menggunakan *Baffled Chute* 3 m

Keterangan	No. Sec.	Elevasi Dasar	Elevasi Muka Air			
			Original Design	Seri I	Seri II	Analitis
Apron atas	IV	140.00	145.86	145.86	145.86	145.68
	III	140.00	145.82	145.82	145.82	145.69
	II	140.00	145.81	145.81	145.81	145.69
	I	140.00	145.58	145.58	145.58	145.69
Pelimpah	0	143.00	145.20	145.20	145.20	144.92
	1	142.47	143.40	143.40	143.40	
Peredam Energi I	2	133.70	136.99	138.32	138.32	134.26
	3	133.00	136.73	137.87	137.87	
	4	133.00	137.91	138.60	138.60	
	5	134.00	138.52	139.25	139.25	138.76
Saluran Transisi	6	133.00	138.47	139.27	139.27	138.40
	7	133.00	138.45	139.27	139.27	138.40
Peluncur	8	135.00	137.76	138.84	138.84	137.52
	9	133.35	134.90	136.96	136.96	134.84
	10	128.63	129.25	134.57	134.57	129.62
	11	119.01	119.49	124.72	124.72	119.70
	12	114.04	114.69	119.24	119.24	114.67
	13	106.60	113.00	114.04	114.21	107.17
Peredam Energi II	14	106.00	112.37	114.84	114.60	
	15	106.00	114.40	114.69	114.50	
	16	106.00	114.44	114.90	114.77	
	17	106.60	114.97	115.04	114.68	113.84
Escape Channel	18	111.00	114.65	114.50	114.34	
	19	111.00	114.44	114.18	113.79	
	20	111.00	113.32	113.12	113.10	

Sumber: Hasil Perhitungan (2017).

Tabel 4.63

Perbandingan Elevasi Muka Air Untuk Q_{100th} Menggunakan *Baffled Chute* 2 m

Keterangan	No. Sec.	Elevasi Dasar	Elevasi Muka Air			
			Original Design	Seri III	Seri IV	Analitis
Apron atas	IV	140.00	145.86	145.86	145.86	145.68
	III	140.00	145.82	145.82	145.82	145.69
	II	140.00	145.81	145.81	145.81	145.69
	I	140.00	145.58	145.58	145.58	145.69
Pelimpah	0	143.00	145.20	145.20	145.20	144.92
	1	142.47	143.40	143.40	143.40	
Peredam Energi I	2	133.70	136.99	138.06	138.06	134.26
	3	133.00	136.73	137.75	137.75	
	4	133.00	137.91	138.59	138.59	
	5	134.00	138.52	139.22	139.22	138.76
Saluran Transisi	6	133.00	138.47	139.13	139.13	138.40
	7	133.00	138.45	139.15	139.15	138.40
Peluncur	8	135.00	137.76	138.74	138.74	137.52
	9	133.35	134.90	137.56	137.56	134.84
	10	128.63	129.25	133.49	133.49	129.62
	11	119.01	119.49	123.96	123.96	119.70
	12	114.04	114.69	118.60	118.60	114.67
	13	106.60	113.00	115.47	114.62	107.17
Peredam Energi II	14	106.00	112.37	114.44	114.92	
	15	106.00	114.40	114.53	114.66	
	16	106.00	114.44	114.70	114.77	
	17	106.60	114.97	114.88	114.91	113.84
Escape Channel	18	111.00	114.65	114.69	114.36	
	19	111.00	114.44	114.38	114.08	
	20	111.00	113.32	113.33	113.01	

Sumber: Hasil Perhitungan (2017).

Tabel 4.64

Perbandingan Elevasi Muka Air Untuk Q_{1000th} Menggunakan Peredam Energi USBR II

Keterangan	No. Sec.	Elevasi Dasar	Elevasi Muka Air			
			Original Design	Seri I	Seri IV	Analitis
Apron atas	IV	140.00	146.36	146.36	146.36	146.34
	III	140.00	146.29	146.29	146.29	146.34
	II	140.00	146.29	146.29	146.29	146.34
	I	140.00	146.23	146.23	146.23	146.34
Pelimpah	0	143.00	145.60	145.60	145.60	145.42
	1	142.47	143.80	143.80	143.80	
Peredam Energi I	2	133.70	137.00	138.75	138.26	134.48
	3	133.00	136.85	138.41	138.10	
	4	133.00	138.19	139.27	139.12	
	5	134.00	139.12	140.25	139.90	139.64
Saluran Transisi	6	133.00	139.04	140.18	139.92	139.21
	7	133.00	139.00	140.18	139.82	139.21
Peluncur	8	135.00	138.27	139.86	139.45	138.16
	9	133.35	135.42	138.26	138.65	135.32
	10	128.63	129.59	133.97	134.05	129.97
	11	119.01	119.64	124.43	123.73	119.96
	12	114.04	114.92	121.36	118.89	114.90
	13	106.60	111.84	113.71	113.86	107.37
	14	106.00	111.92	114.96	114.77	
Peredam Energi II	15	106.00	113.97	114.82	114.70	
	16	106.00	114.25	114.80	114.68	
	17	106.60	114.94	114.68	114.64	115.30
	18	111.00	115.27	115.27	115.01	
Escape Channel	19	111.00	114.95	114.73	114.87	
	20	111.00	113.69	113.67	113.49	

Sumber: Hasil Perhitungan (2017).

Tabel 4.65

Perbandingan Elevasi Muka Air Untuk Q_{1000th} Menggunakan Peredam Energi USBR I

Keterangan	No. Sec.	Elevasi Dasar	Elevasi Muka Air			
			Original Design	Seri II	Seri III	Analitis
Apron atas	IV	140.00	146.36	146.36	146.36	146.34
	III	140.00	146.29	146.29	146.29	146.34
	II	140.00	146.29	146.29	146.29	146.34
	I	140.00	146.23	146.23	146.23	146.34
Pelimpah	0	143.00	145.60	145.60	145.60	145.42
	1	142.47	143.80	143.80	143.80	
Peredam Energi I	2	133.70	137.00	138.75	138.26	134.48
	3	133.00	136.85	138.41	138.10	
	4	133.00	138.19	139.27	139.12	
	5	134.00	139.12	140.25	139.90	139.64
Saluran Transisi	6	133.00	139.04	140.18	139.92	139.21
	7	133.00	139.00	140.18	139.82	139.21
Peluncur	8	135.00	138.27	139.86	139.45	138.16
	9	133.35	135.42	138.26	138.65	135.32
	10	128.63	129.59	133.97	134.05	129.97
	11	119.01	119.64	124.43	123.73	119.96
	12	114.04	114.92	121.36	118.89	114.90
	13	106.60	111.84	113.51	115.21	107.37
	14	106.00	111.92	114.79	114.49	
Peredam Energi II	15	106.00	113.97	114.93	114.86	
	16	106.00	114.25	114.74	114.88	
	17	106.00	114.94	114.52	114.64	115.30
	18	111.00	115.27	115.20	115.19	
Escape Channel	19	111.00	114.95	114.83	114.90	
	20	111.00	113.69	113.67	113.78	

Sumber: Hasil Perhitungan (2017).

Tabel 4.66

Perbandingan Elevasi Muka Air Untuk Q_{1000th} Menggunakan *Baffled Chute* 3 m

Keterangan	No. Sec.	Elevasi Dasar	Elevasi Muka Air			
			Original Design	Seri I	Seri II	Analitis
Apron atas	IV	140.00	146.36	146.36	146.36	146.34
	III	140.00	146.29	146.29	146.29	146.34
	II	140.00	146.29	146.29	146.29	146.34
	I	140.00	146.23	146.23	146.23	146.34
Pelimpah	0	143.00	145.60	145.60	145.60	145.42
	1	142.47	143.80	143.80	143.80	
Peredam Energi I	2	133.70	137.00	138.75	138.75	134.48
	3	133.00	136.85	138.41	138.41	
	4	133.00	138.19	139.27	139.27	
	5	134.00	139.12	140.25	140.25	139.64
Saluran Transisi	6	133.00	139.04	140.18	140.18	139.21
	7	133.00	139.00	140.18	140.18	139.21
Peluncur	8	135.00	138.27	139.86	139.86	138.16
	9	133.35	135.42	138.26	138.26	135.32
	10	128.63	129.59	133.97	133.97	129.97
	11	119.01	119.64	124.43	124.43	119.96
	12	114.04	114.92	121.36	121.36	114.90
	13	106.60	111.84	113.71	113.51	107.37
	14	106.00	111.92	114.96	114.79	
Peredam Energi II	15	106.00	113.97	114.82	114.93	
	16	106.00	114.25	114.80	114.74	
	17	106.60	114.94	114.68	114.52	115.30
	18	111.00	115.27	115.27	115.20	
Escape Channel	19	111.00	114.95	114.73	114.83	
	20	111.00	113.69	113.67	113.67	

Sumber: Hasil Perhitungan (2017).

Tabel 4.67

Perbandingan Elevasi Muka Air Untuk Q_{1000th} Menggunakan *Baffled Chute* 2 m

Keterangan	No. Sec.	Elevasi Dasar	Elevasi Muka Air			
			Original Design	Seri III	Seri IV	Analitis
Apron atas	IV	140.00	146.36	146.36	146.36	146.34
	III	140.00	146.29	146.29	146.29	146.34
	II	140.00	146.29	146.29	146.29	146.34
	I	140.00	146.23	146.23	146.23	146.34
Pelimpah	0	143.00	145.60	145.60	145.60	145.42
	1	142.47	143.80	143.80	143.80	
Peredam Energi I	2	133.70	137.00	138.26	138.26	134.48
	3	133.00	136.85	138.10	138.10	
	4	133.00	138.19	139.12	139.12	
	5	134.00	139.12	139.90	139.90	139.64
Saluran Transisi	6	133.00	139.04	139.92	139.92	139.21
	7	133.00	139.00	139.82	139.82	139.21
Peluncur	8	135.00	138.27	139.45	139.45	138.16
	9	133.35	135.42	138.65	138.65	135.32
	10	128.63	129.59	134.05	134.05	129.97
	11	119.01	119.64	123.73	123.73	119.96
	12	114.04	114.92	118.89	118.89	114.90
	13	106.60	111.84	115.21	113.86	107.37
	14	106.00	111.92	114.49	114.77	
Peredam Energi II	15	106.00	113.97	114.86	114.70	
	16	106.00	114.25	114.88	114.68	
	17	106.60	114.94	114.64	114.64	115.30
	18	111.00	115.27	115.19	115.01	
Escape Channel	19	111.00	114.95	114.90	114.87	
	20	111.00	113.69	113.78	113.49	

Sumber: Hasil Perhitungan (2017).

Tabel 4.68

Perbandingan Elevasi Muka Air Untuk Q_{PMF} Menggunakan Peredam Energi USBR II

Keterangan	No. Sec.	Elevasi Dasar	Elevasi Muka Air			
			Original Design	Seri I	Seri IV	Analitis
Apron atas	IV	140.00	147.07	147.07	147.07	147.18
	III	140.00	146.99	146.99	146.99	147.18
	II	140.00	146.98	146.98	146.98	147.18
	I	140.00	146.92	146.92	146.92	147.18
Pelimpah	0	143.00	146.19	146.19	146.19	146.06
	1	142.47	143.87	143.87	143.87	
Peredam Energi I	2	133.70	137.06	139.35	138.80	134.79
	3	133.00	137.06	139.07	138.57	
	4	133.00	138.82	140.03	139.82	
	5	134.00	140.00	141.26	140.89	140.73
Saluran Transisi	6	133.00	139.79	141.20	140.76	140.25
	7	133.00	139.66	141.13	140.88	140.25
Peluncur	8	135.00	139.12	140.73	140.42	139.01
	9	133.35	136.28	139.04	138.86	135.97
	10	128.63	129.87	133.79	134.00	130.46
	11	119.01	120.23	125.10	124.52	120.32
	12	114.04	115.46	119.77	119.54	115.24
	13	106.60	110.83	114.25	113.54	107.66
Peredam Energi II	14	106.00	111.17	115.06	114.82	
	15	106.00	114.23	114.63	114.99	
	16	106.00	114.60	114.60	114.88	
	17	106.60	114.81	114.82	114.81	117.09
Escape Channel	18	111.00	115.44	115.45	115.33	
	19	111.00	115.35	115.19	114.79	
	20	111.00	114.47	114.42	113.97	

Sumber: Hasil Perhitungan (2017).

Tabel 4.69

Perbandingan Elevasi Muka Air Untuk Q_{PMF} Menggunakan Peredam Energi USBR I

Keterangan	No. Sec.	Elevasi Dasar	Elevasi Muka Air			
			Original Design	Seri II	Seri III	Analitis
Apron atas	IV	140.00	147.07	147.07	147.07	147.18
	III	140.00	146.99	146.99	146.99	147.18
	II	140.00	146.98	146.98	146.98	147.18
	I	140.00	146.92	146.92	146.92	147.18
Pelimpah	0	143.00	146.19	146.19	146.19	146.06
	1	142.47	143.87	143.87	143.87	
Peredam Energi I	2	133.70	137.06	139.35	138.80	134.79
	3	133.00	137.06	139.07	138.57	
	4	133.00	138.82	140.03	139.82	
	5	134.00	140.00	141.26	140.89	140.73
Saluran Transisi	6	133.00	139.79	141.20	140.76	140.25
	7	133.00	139.66	141.13	140.88	140.25
Peluncur	8	135.00	139.12	140.73	140.42	139.01
	9	133.35	136.28	139.04	138.86	135.97
	10	128.63	129.87	133.79	134.00	130.46
	11	119.01	120.23	125.10	124.52	120.32
	12	114.04	115.46	119.77	119.54	115.24
	13	106.60	110.83	114.16	114.34	107.66
Peredam Energi II	14	106.00	111.17	114.68	114.83	
	15	106.00	114.23	114.90	114.81	
	16	106.00	114.60	114.88	114.60	
	17	106.00	114.81	114.70	114.00	117.09
Escape Channel	18	111.00	115.44	115.31	115.38	
	19	111.00	115.35	114.99	115.33	
	20	111.00	114.47	114.31	114.01	

Sumber: Hasil Perhitungan (2017).

Tabel 4.70

Perbandingan Elevasi Muka Air Untuk Q_{PMF} Menggunakan *Baffled Chute* 3 m

Keterangan	No. Sec.	Elevasi Dasar	Elevasi Muka Air			
			Original Design	Seri I	Seri II	Analitis
Apron atas	IV	140.00	147.07	147.07	147.07	147.18
	III	140.00	146.99	146.99	146.99	147.18
	II	140.00	146.98	146.98	146.98	147.18
	I	140.00	146.92	146.92	146.92	147.18
Pelimpah	0	143.00	146.19	146.19	146.19	146.06
	1	142.47	143.87	143.87	143.87	
Peredam Energi I	2	133.70	137.06	139.35	139.35	134.79
	3	133.00	137.06	139.07	139.07	
	4	133.00	138.82	140.03	140.03	
	5	134.00	140.00	141.26	141.26	140.73
Saluran Transisi	6	133.00	139.79	141.20	141.20	140.25
	7	133.00	139.66	141.13	141.13	140.25
Peluncur	8	135.00	139.12	140.73	140.73	139.01
	9	133.35	136.28	139.04	139.04	135.97
	10	128.63	129.87	133.79	133.79	130.46
	11	119.01	120.23	125.10	125.10	120.32
	12	114.04	115.46	119.77	119.77	115.24
	13	106.60	110.83	114.25	114.16	107.66
	14	106.00	111.17	115.06	114.68	
Peredam Energi II	15	106.00	114.23	114.63	114.90	
	16	106.00	114.60	114.60	114.88	
	17	106.60	114.81	114.82	114.70	117.09
	18	111.00	115.44	115.45	115.31	
Escape Channel	19	111.00	115.35	115.19	114.99	
	20	111.00	114.47	114.42	114.31	

Sumber: Hasil Perhitungan (2017).

Tabel 4.71

Perbandingan Elevasi Muka Air Untuk Q_{PMF} Menggunakan *Baffled Chute* 2 m

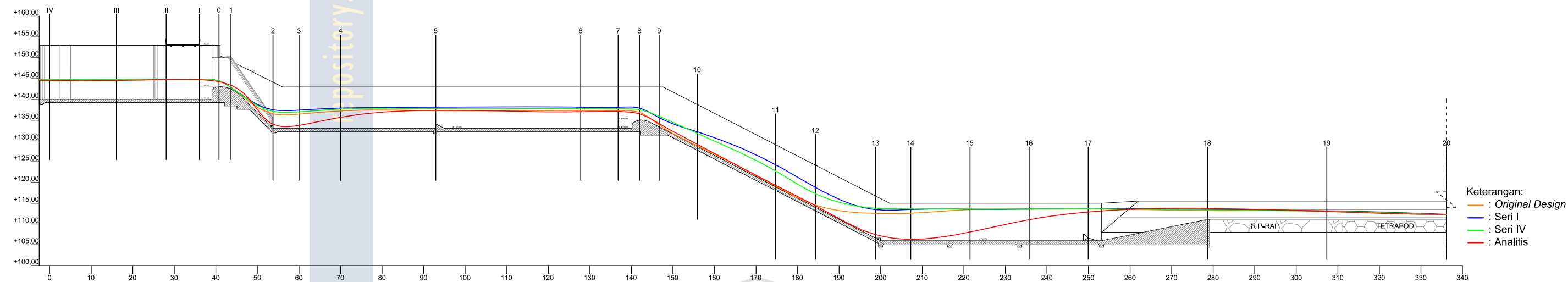
Keterangan	No. Sec.	Elevasi Dasar	Elevasi Muka Air			
			Original Design	Seri III	Seri IV	Analitis
Apron atas	IV	140.00	147.07	147.07	147.07	147.18
	III	140.00	146.99	146.99	146.99	147.18
	II	140.00	146.98	146.98	146.98	147.18
	I	140.00	146.92	146.92	146.92	147.18
Pelimpah	0	143.00	146.19	146.19	146.19	146.06
	1	142.47	143.87	143.87	143.87	
Peredam Energi I	2	133.70	137.06	138.80	138.80	134.79
	3	133.00	137.06	138.57	138.57	
	4	133.00	138.82	139.82	139.82	
	5	134.00	140.00	140.89	140.89	140.73
Saluran Transisi	6	133.00	139.79	140.76	140.76	140.25
	7	133.00	139.66	140.88	140.88	140.25
Peluncur	8	135.00	139.12	140.42	140.42	139.01
	9	133.35	136.28	138.86	138.86	135.97
	10	128.63	129.87	134.00	134.00	130.46
	11	119.01	120.23	124.52	124.52	120.32
	12	114.04	115.46	119.54	119.54	115.24
	13	106.60	110.83	114.34	113.54	107.66
	14	106.00	111.17	114.83	114.82	
Peredam Energi II	15	106.00	114.23	114.81	114.99	
	16	106.00	114.60	114.60	114.88	
	17	106.60	114.81	114.00	114.81	117.09
	18	111.00	115.44	115.38	115.33	
Escape Channel	19	111.00	115.35	115.33	114.79	
	20	111.00	114.47	114.01	113.97	

Sumber: Hasil Perhitungan (2017).

Setiap kombinasi bangunan memperlihatkan bahwa kondisi elevasi muka air sebagian besar mengalami peningkatan dibandingkan dengan *original design* pada saat sebelum memasuki saluran peluncur, pada saluran peluncur, maupun setelah melewati saluran peluncur, hal ini akibat dari pemasangan bangunan *baffled chute*. Ketinggian *baffled chute* sangat mempengaruhi kondisi tersebut, karena pada saat sebelum memasuki saluran peluncur kondisi elevasi muka air terpengaruh akibat hantaman aliran pada bangunan *baffled chute* sehingga mengalami peningkatan elevasi muka air. Pada saluran peluncur peningkatan elevasi muka air diakibatkan oleh loncatan air yang terjadi akibat aliran menghantam bangunan *baffled chute* yang banyak. Sehingga hal ini membuat elevasi muka air meningkat hampir mendekati tinggi dinding penahan samping saluran. Sedangkan pada saat setelah melewati saluran peluncur, kondisi elevasi muka air mengalami peningkatan akibat kondisi aliran yang melambat setelah melewati bangunan *baffled chute* pada saluran peluncur serta dengan adanya bangunan setelah peredam energi akhir membuat aliran lebih banyak menggenang terlebih dahulu sebelum melewati bangunan setelahnya.

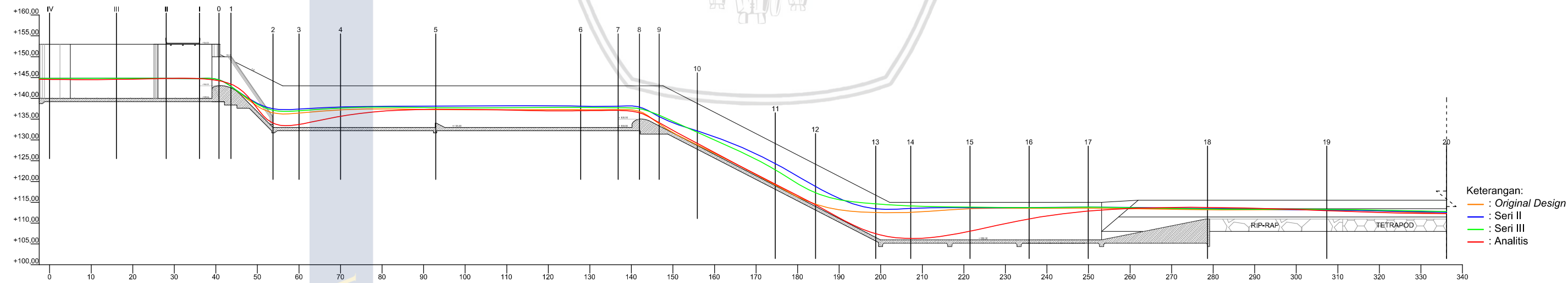
Untuk penggunaan tipe peredam energi, baik peredam energi USBR tipe I maupun tipe II, tidak begitu banyak mempengaruhi perbedaan yang terjadi pada peredam energi akhir karena elevasi muka air di peredam energi akhir lebih banyak terpengaruh bangunan *baffled chute* sebelumnya serta bangunan setelahnya.

Secara analitis terdapat perbedaan pada hasil elevasi muka air yang cukup besar karena perhitungan analitis tidak melihat variabel penggunaan bangunan *baffled chute*, sehingga membuat hasil perhitungan analitis lebih mendekati hasil uji coba *original design*.



Gambar 4.4 Grafik perbandingan elevasi muka air untuk Q_{2th} menggunakan USBR II

SKALA 1:1000



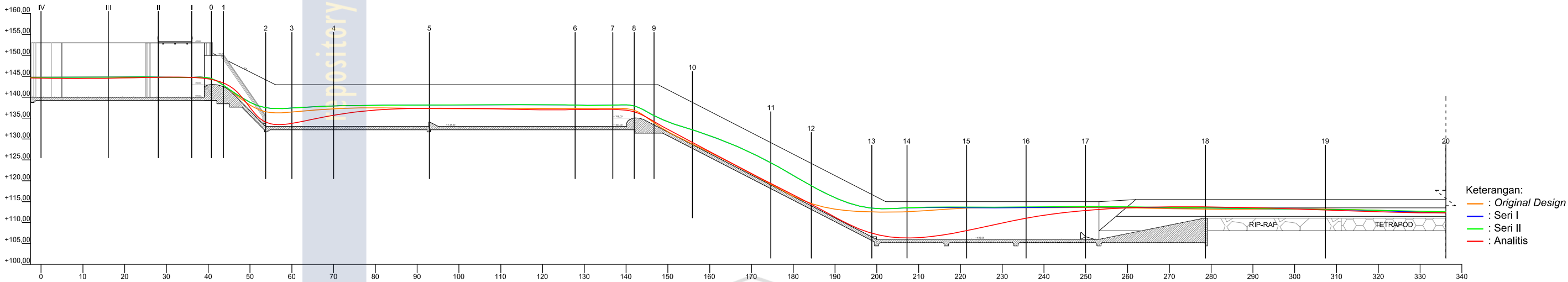
Gambar 4.5 Grafik perbandingan elevasi muka air untuk Q_{2th} menggunakan USBR I

SKALA 1:1000



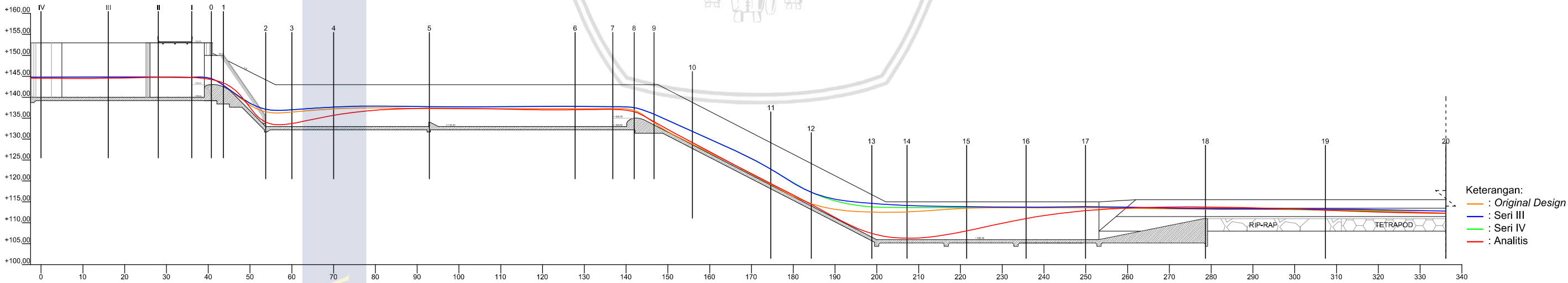


Halaman ini sengaja dikosongkan



Gambar 4.6 Grafik perbandingan elevasi untuk Q_{2th} menggunakan *baffled chute* 3 m

SKALA 1:1000



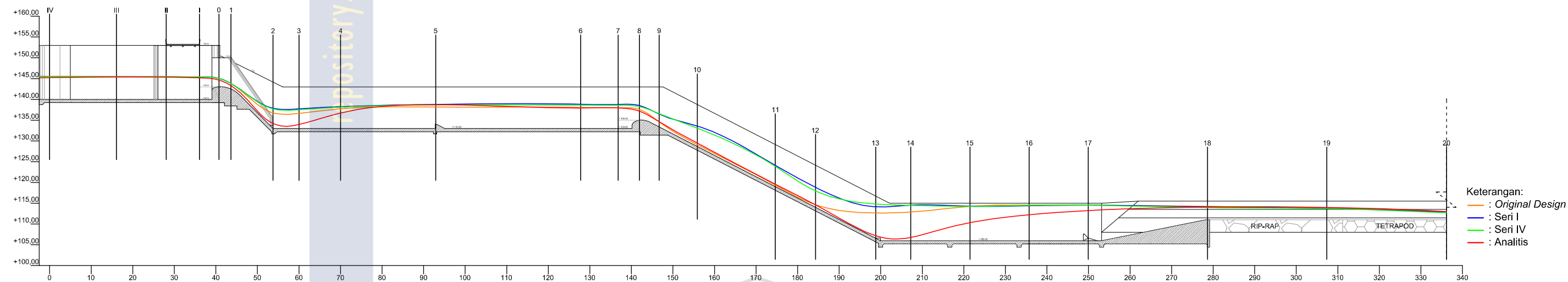
Gambar 4.7 Grafik perbandingan elevasi untuk Q_{2th} menggunakan *baffled chute* 2 m

SKALA 1:1000



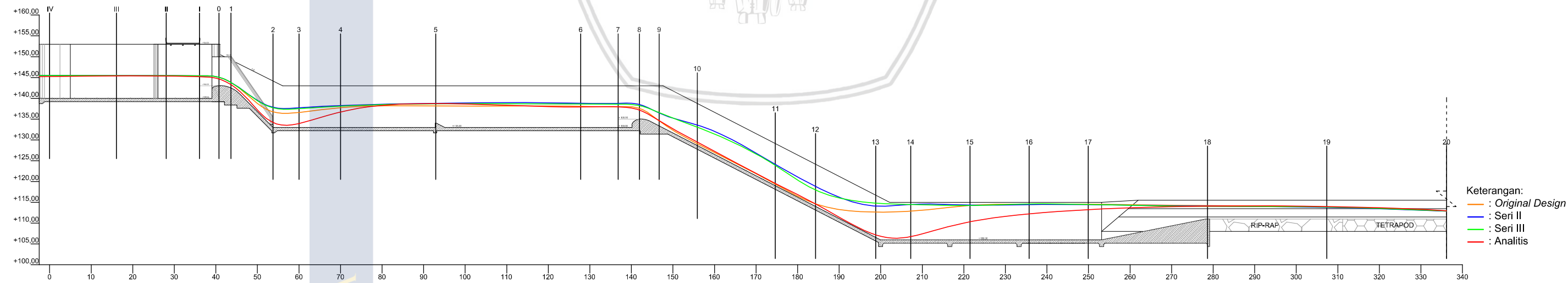


Halaman ini sengaja dikosongkan



Gambar 4.8 Grafik perbandingan elevasi muka air untuk Q_{25th} menggunakan USBR II

SKALA 1:1000



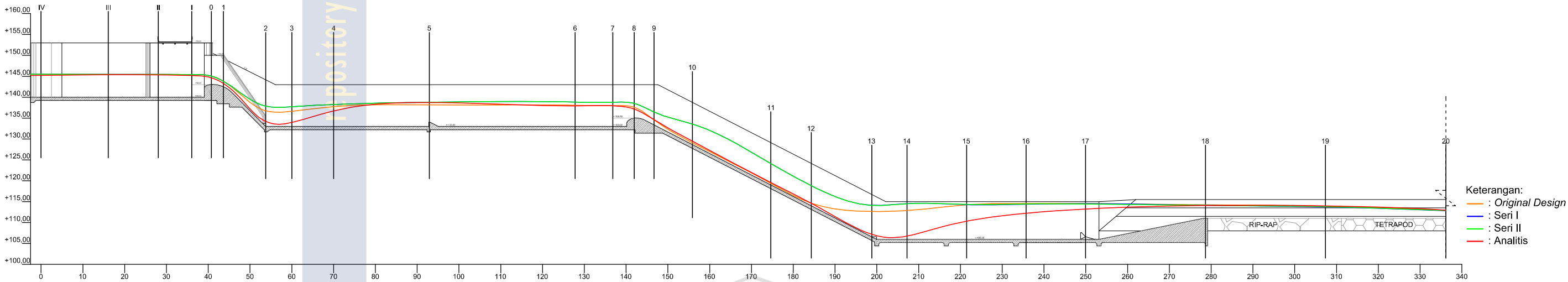
Gambar 4.9 Grafik perbandingan elevasi muka air untuk Q_{25th} menggunakan USBR I

SKALA 1:1000



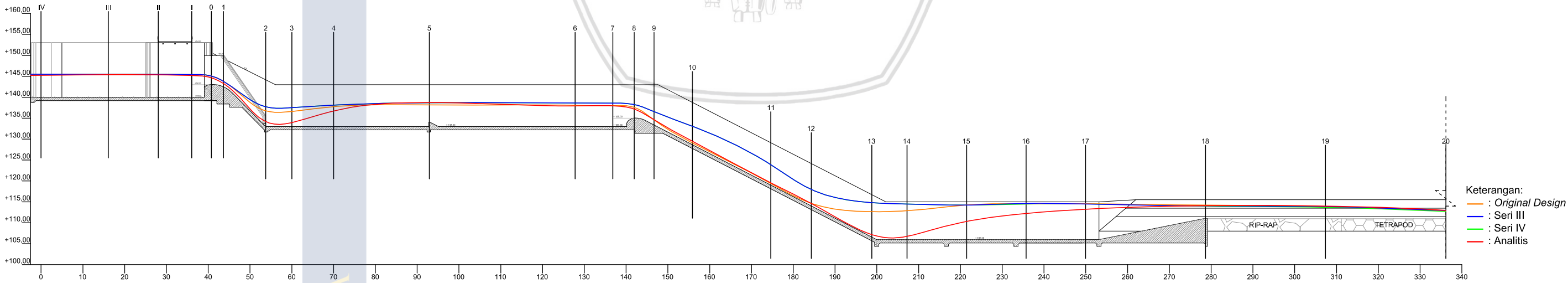


Halaman ini sengaja dikosongkan



Gambar 4.10 Grafik perbandingan elevasi untuk Q_{25th} menggunakan *baffled chute* 3 m

SKALA 1:1000



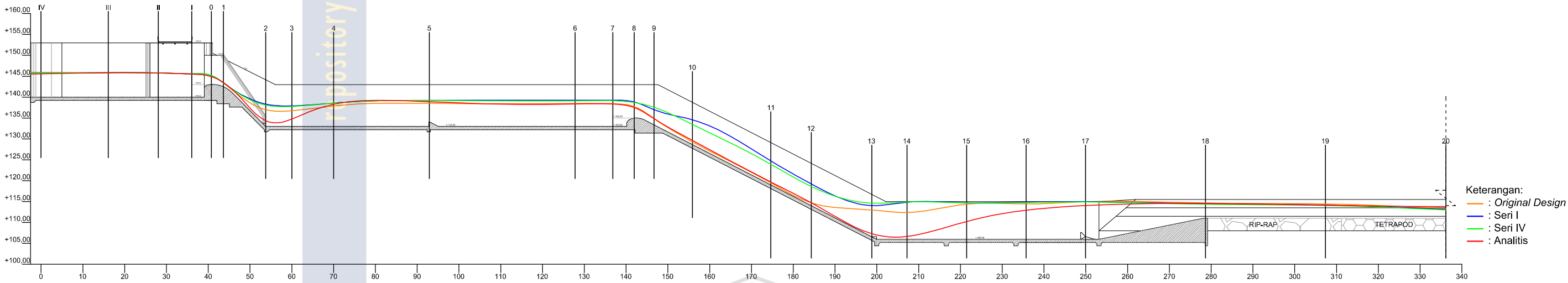
Gambar 4.11 Grafik perbandingan elevasi untuk Q_{25th} menggunakan *baffled chute* 2 m

SKALA 1:1000



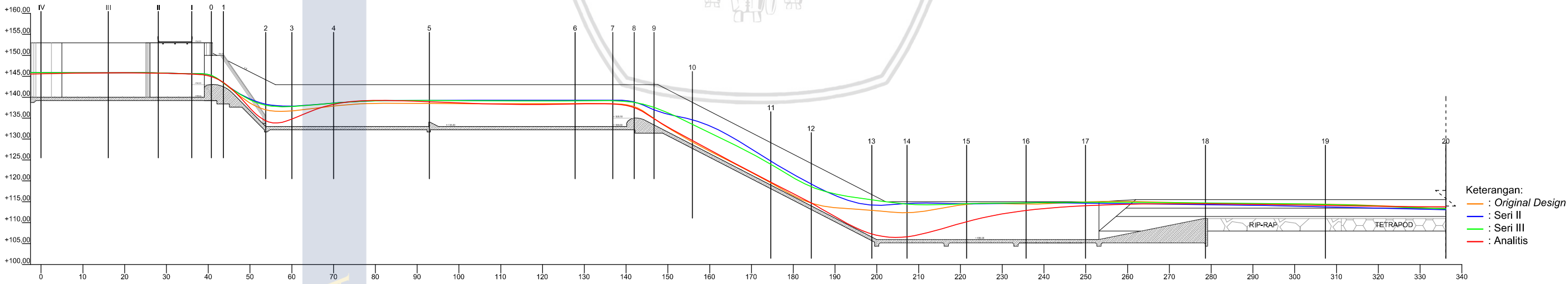


Halaman ini sengaja dikosongkan



Gambar 4.12 Grafik perbandingan elevasi muka air untuk Q_{100th} menggunakan USBR II

SKALA 1:1000



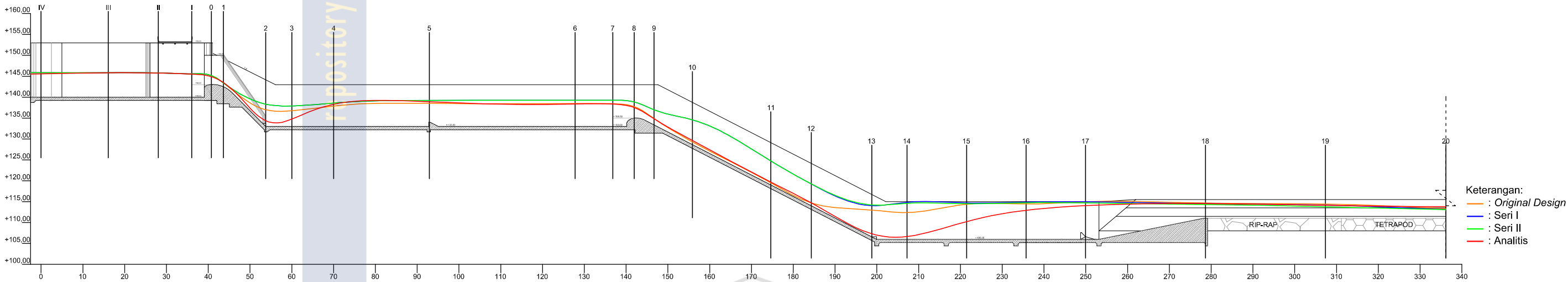
Gambar 4.13 Grafik perbandingan elevasi muka air untuk Q_{100th} menggunakan USBR I

SKALA 1:1000



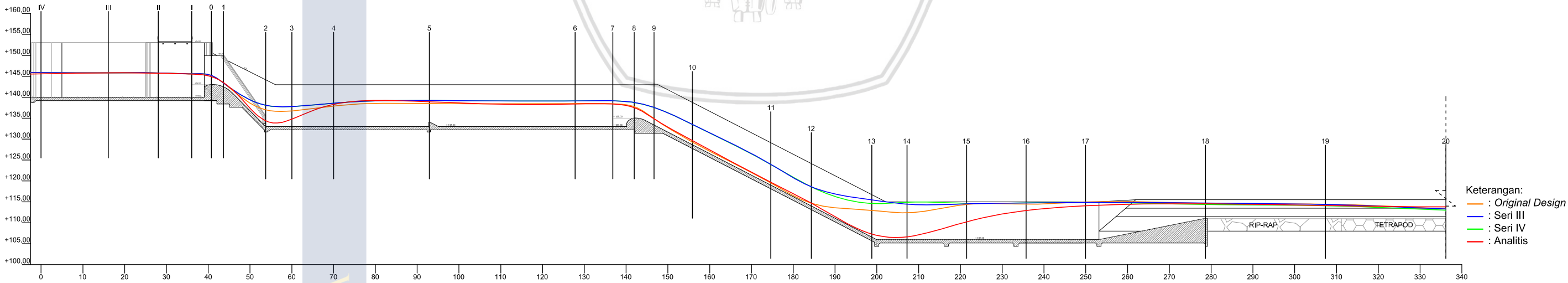


Halaman ini sengaja dikosongkan



Gambar 4.14 Grafik perbandingan elevasi untuk Q_{100th} menggunakan *baffled chute* 3 m

SKALA 1:1000



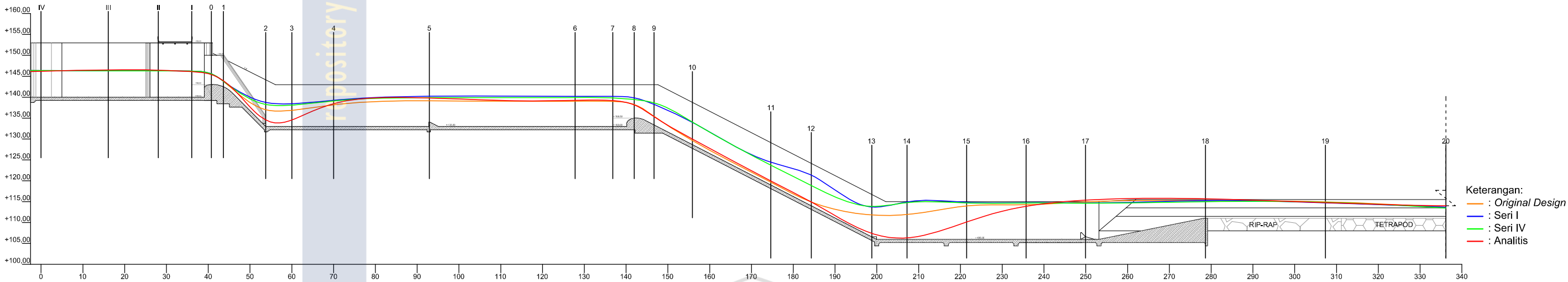
Gambar 4.15 Grafik perbandingan elevasi untuk Q_{100th} menggunakan *baffled chute* 2 m

SKALA 1:1000



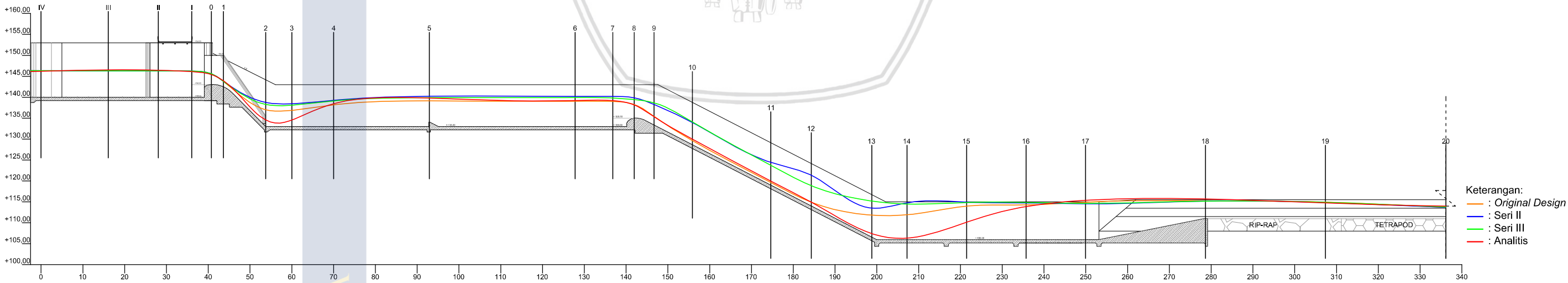


Halaman ini sengaja dikosongkan



Gambar 4.16 Grafik perbandingan elevasi muka air untuk Q_{1000th} menggunakan USBR II

SKALA 1:1000



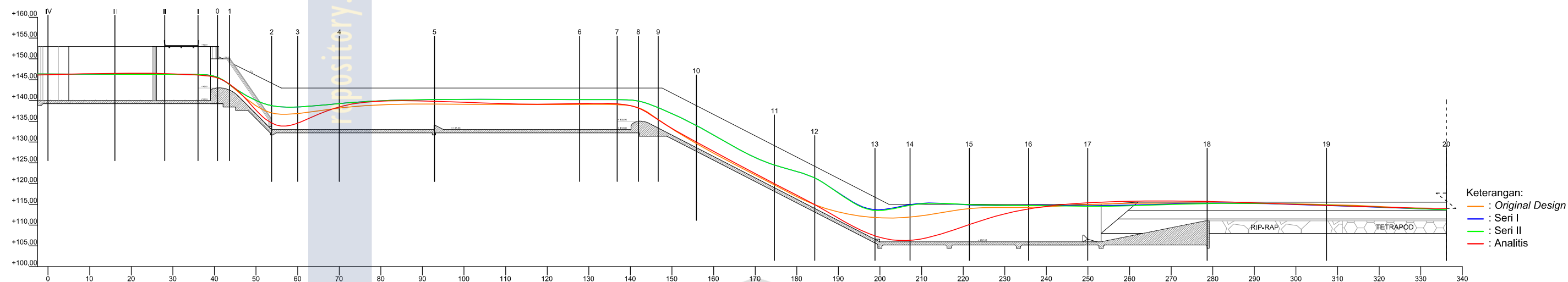
Gambar 4.17 Grafik perbandingan elevasi muka air untuk Q_{1000th} menggunakan USBR I

SKALA 1:1000



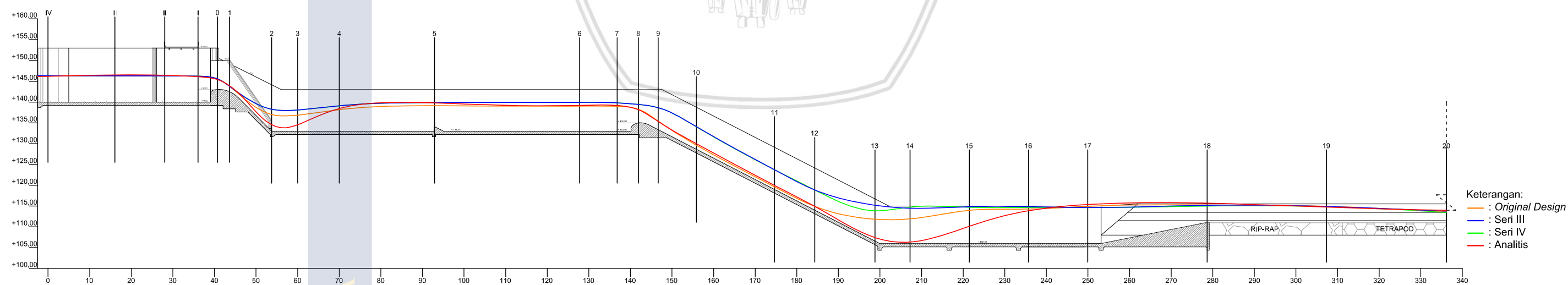


Halaman ini sengaja dikosongkan



Gambar 4.18 Grafik perbandingan elevasi untuk Q_{1000th} menggunakan *baffled chute* 3 m

SKALA 1:1000



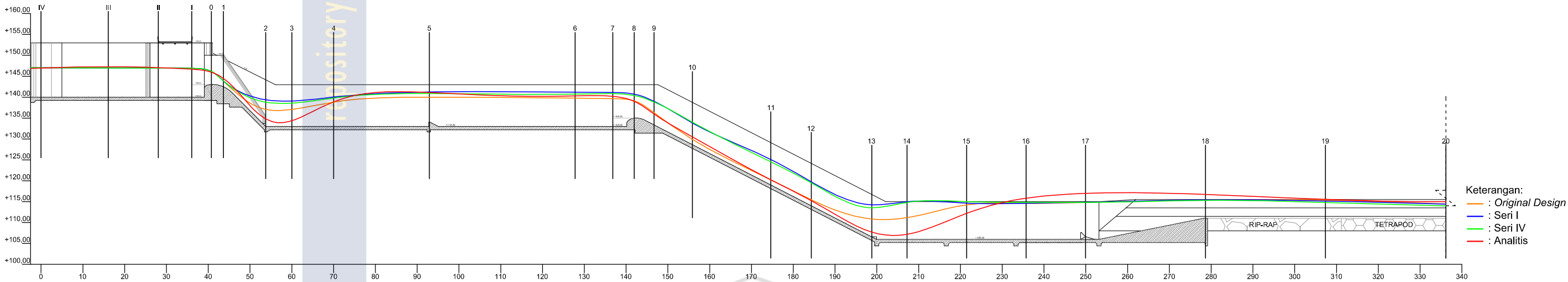
Gambar 4.19 Grafik perbandingan elevasi untuk Q_{1000th} menggunakan *baffled chute* 2 m

SKALA 1:1000



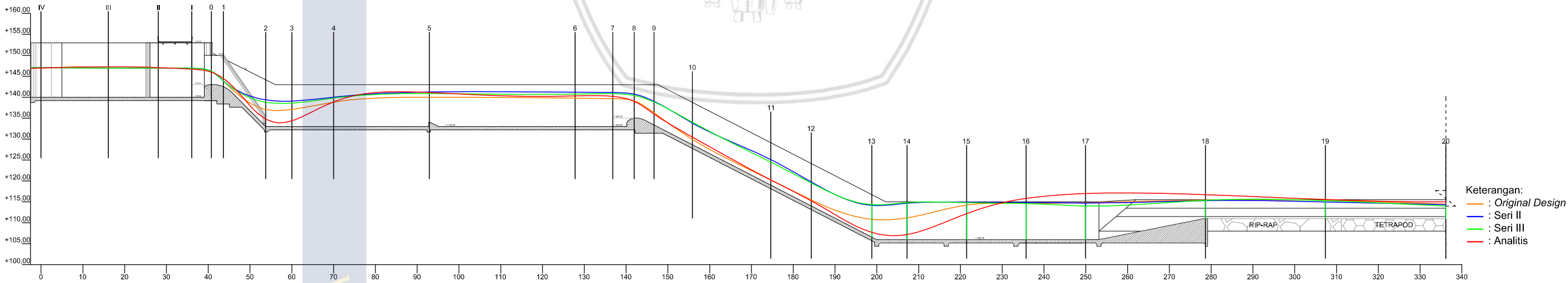


Halaman ini sengaja dikosongkan



Gambar 4.20 Grafik perbandingan elevasi muka air untuk Q_{PMF} menggunakan USBR II

SKALA 1:1000



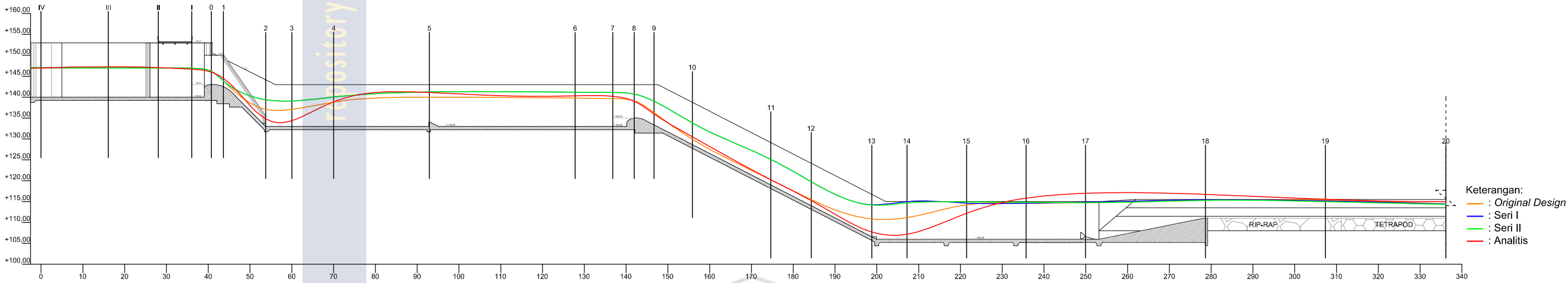
Gambar 4.21 Grafik perbandingan elevasi muka air untuk Q_{PMF} menggunakan USBR I

SKALA 1:1000



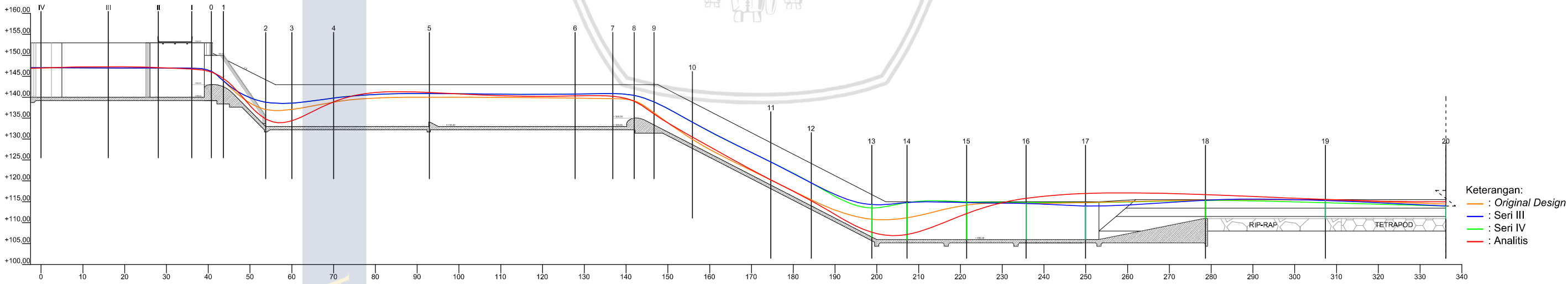


Halaman ini sengaja dikosongkan



Gambar 4.22 Grafik perbandingan elevasi untuk Q_{PMF} menggunakan *baffled chute* 3 m

SKALA 1:1000



Gambar 4.23 Grafik perbandingan elevasi untuk Q_{PMF} menggunakan *baffled chute* 2 m

SKALA 1:1000





Halaman ini sengaja dikosongkan

4.7.2 Perbandingan Perhitungan Kecepatan

Setelah dilakukan perhitungan kecepatan aliran secara analitis, maka perlu dibandingkan dengan hasil pengukuran dengan uji model penelitian yang telah dilakukan untuk mengetahui sejauh mana perbedaannya. Berikut contoh perhitungan terhadap data hasil uji model penelitian:

Data pengukuran kecepatan di peredam energi II pada section 14 saat debit operasional Q_{2th} Seri *Original Design* $h_{rerata} = 1,23$ cm dan $H = 6,60$ m.

Maka kecepatan aliran pada model:

$$\begin{aligned} V_m &= C_p \times \sqrt{2gh} \\ &= 0,98 \times \sqrt{2 \cdot 9,81 \cdot 1,23} \\ &= 48,15 \text{ cm/dt} \end{aligned}$$

Sehingga, kecepatan aliran pada *prototype*:

$$\begin{aligned} V_p &= \frac{(V_m \times n_h^{1/2})}{100} \\ &= \frac{(48,15 \times 65^{1/2})}{100} \\ &= 3,88 \text{ m/dt} \end{aligned}$$

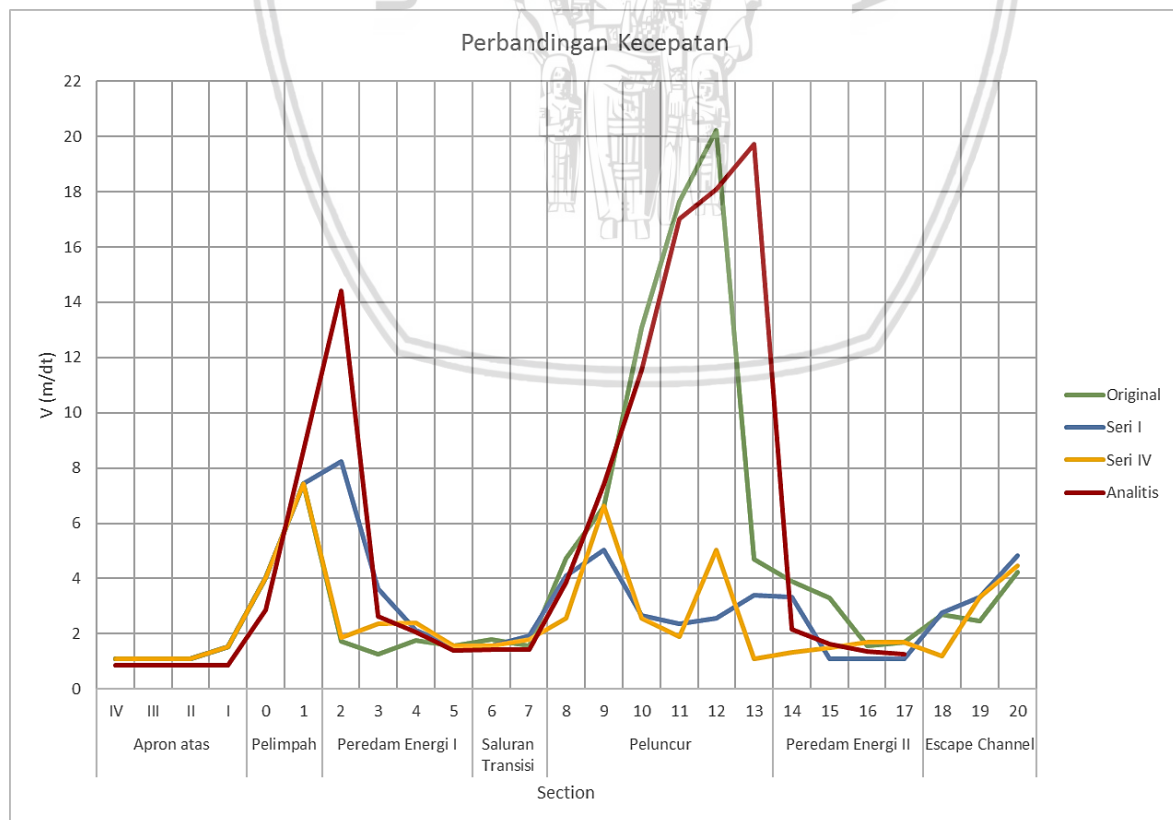
Jadi, diketahui bahwa kecepatan di *prototype* pada section 14 adalah 3,88 m/dt. Selanjutnya perbandingan dapat dilihat pada Tabel 4.72 - 4.91 serta grafik pada Gambar 4.24 – 4.43 berikut ini:

Tabel 4.72

Perbandingan Kecepatan Untuk Q_{2th} Menggunakan Peredam Energi USBR II

Keterangan	No. Sec.	V Prototype (m/dt)			
		Original Design	Seri I	Seri IV	Analitis
Apron atas	IV	1.107	1.107	1.107	0.843
	III	1.107	1.107	1.107	0.843
	II	1.107	1.107	1.107	0.843
	I	1.530	1.530	1.530	0.843
Pelimpah	0	4.040	4.040	4.040	2.854
	1	7.423	7.423	7.423	
Peredam Energi I	2	1.715	8.232	1.868	14.424
	3	1.260	3.614	2.367	
	4	1.746	2.115	2.388	
	5	1.565	1.565	1.565	1.390
Saluran Transisi	6	1.800	1.565	1.565	1.433
	7	1.565	1.917	1.800	1.433
Peluncur	8	4.736	4.087	2.553	3.864
	9	6.608	5.030	6.639	7.386
	10	13.079	2.658	2.553	11.539
	11	17.661	2.353	1.898	17.029
	12	20.226	2.571	5.030	18.073
	13	4.687	3.380	1.107	19.720
	14	3.882	3.317	1.342	
Peredam Energi II	15	3.309	1.107	1.495	
	16	1.565	1.107	1.688	
	17	1.682	1.107	1.688	1.247
	18	2.705	2.777	1.190	
Escape Channel	19	2.466	3.317	3.320	
	20	4.220	4.816	4.471	

Sumber: Hasil Perhitungan (2017).

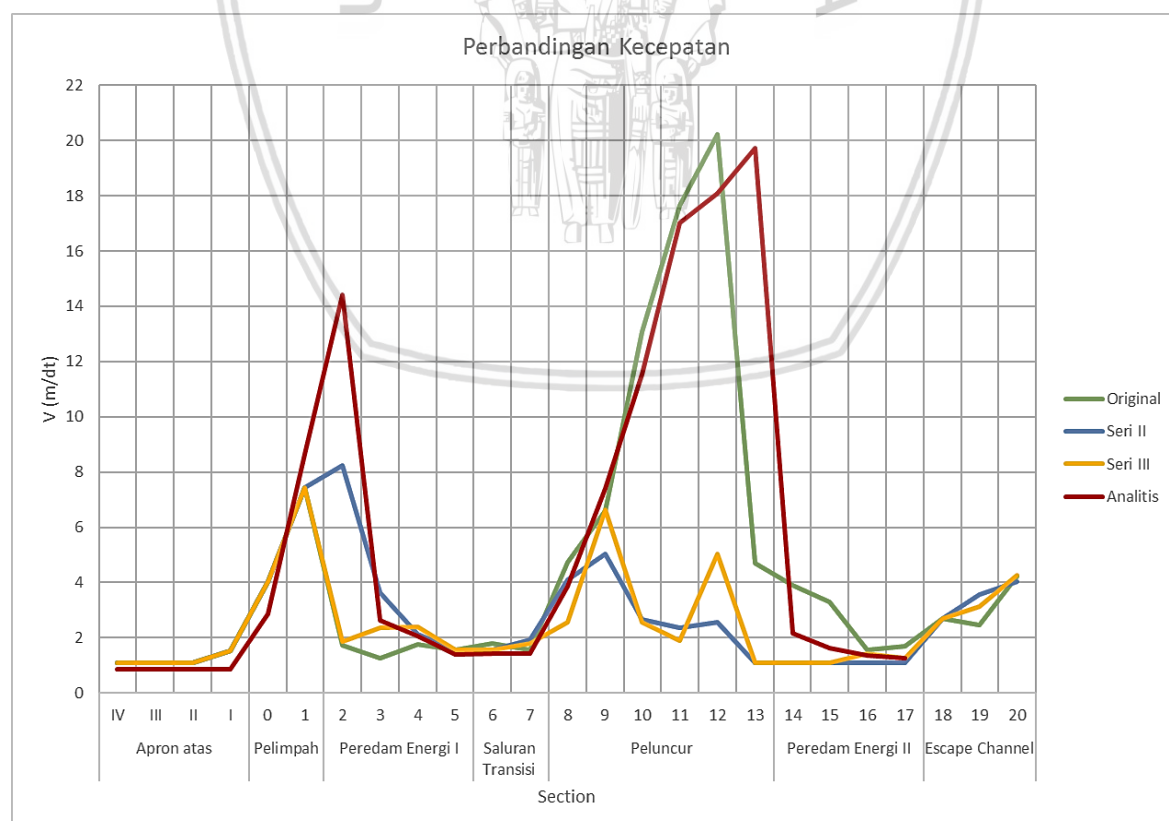
Gambar 4.24 Grafik perbandingan kecepatan Q_{2th} menggunakan peredam energi USBR II

Sumber: Hasil Perhitungan (2017).

Tabel 4.73
Perbandingan Kecepatan Untuk Q_{2th} Menggunakan Peredam Energi USBR I

Keterangan	No. Sec.	V Prototype (m/dt)			
		Original Design	Seri II	Seri III	Analitis
Apron atas	IV	1.107	1.107	1.107	0.843
	III	1.107	1.107	1.107	0.843
	II	1.107	1.107	1.107	0.843
	I	1.530	1.530	1.530	0.843
Pelimpah	0	4.040	4.040	4.040	2.854
	1	7.423	7.423	7.423	
Peredam Energi I	2	1.715	8.232	1.868	14.424
	3	1.260	3.614	2.367	
	4	1.746	2.115	2.388	
	5	1.565	1.565	1.565	1.390
Saluran Transisi	6	1.800	1.565	1.565	1.433
	7	1.565	1.917	1.800	1.433
Peluncur	8	4.736	4.087	2.553	3.864
	9	6.608	5.030	6.639	7.386
	10	13.079	2.658	2.553	11.539
	11	17.661	2.353	1.898	17.029
	12	20.226	2.571	5.030	18.073
	13	4.687	1.107	1.107	19.720
Peredam Energi II	14	3.882	1.107	1.107	
	15	3.309	1.107	1.107	
	16	1.565	1.107	1.412	
	17	1.682	1.107	1.260	1.247
	18	2.705	2.705	2.711	
Escape Channel	19	2.466	3.554	3.130	
	20	4.220	4.040	4.275	

Sumber: Hasil Perhitungan (2017).



Gambar 4.25 Grafik perbandingan kecepatan Q_{2th} menggunakan peredam energi USBR I

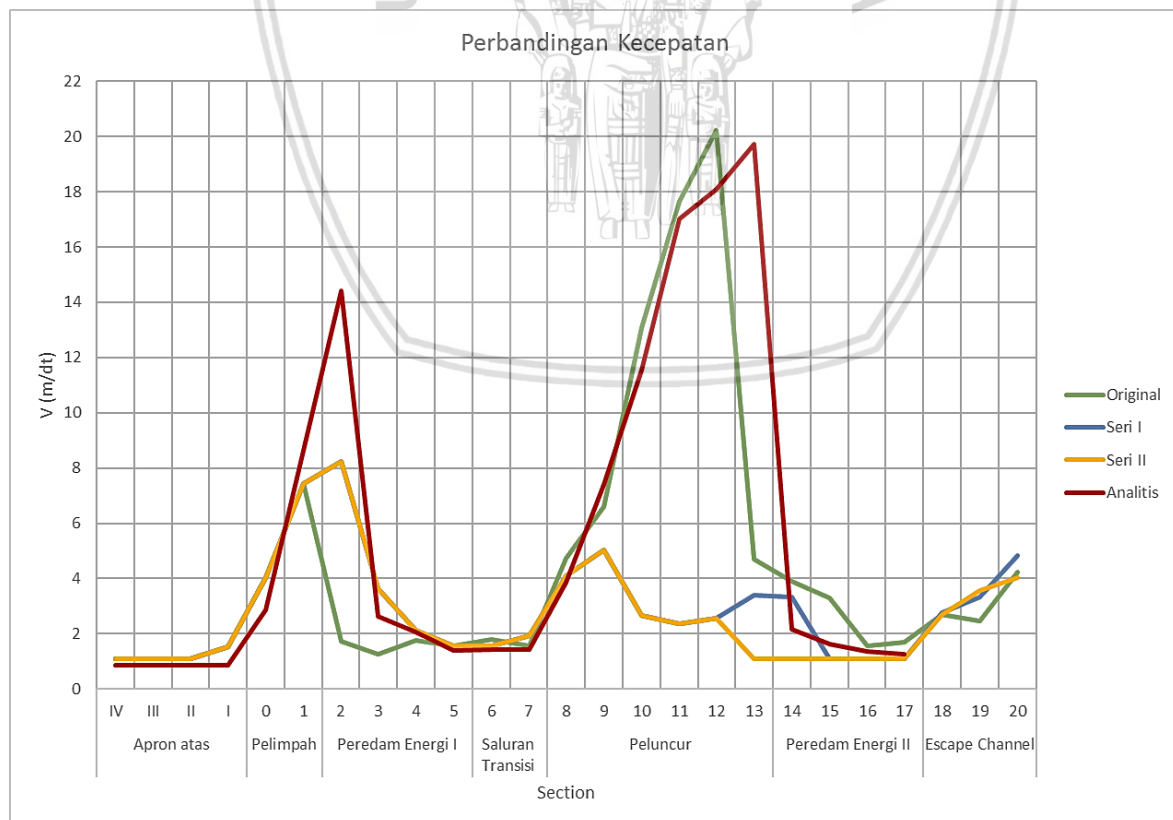
Sumber: Hasil Perhitungan (2017).

Tabel 4.74

Perbandingan Kecepatan Untuk Q_{2th} Menggunakan *Baffled Chute* 3 m

Keterangan	No. Sec.	V Prototype (m/dt)			
		Original Design	Seri I	Seri II	Analitis
Apron atas	IV	1.107	1.107	1.107	0.843
	III	1.107	1.107	1.107	0.843
	II	1.107	1.107	1.107	0.843
	I	1.530	1.530	1.530	0.843
Pelimpah	0	4.040	4.040	4.040	2.854
	1	7.423	7.423	7.423	
Peredam Energi I	2	1.715	8.232	8.232	14.424
	3	1.260	3.614	3.614	
	4	1.746	2.115	2.115	
	5	1.565	1.565	1.565	1.390
Saluran Transisi	6	1.800	1.565	1.565	1.433
	7	1.565	1.917	1.917	1.433
Peluncur	8	4.736	4.087	4.087	3.864
	9	6.608	5.030	5.030	7.386
	10	13.079	2.658	2.658	11.539
	11	17.661	2.353	2.353	17.029
	12	20.226	2.571	2.571	18.073
	13	4.687	3.380	1.107	19.720
	14	3.882	3.317	1.107	
Peredam Energi II	15	3.309	1.107	1.107	
	16	1.565	1.107	1.107	
	17	1.682	1.107	1.107	1.247
	18	2.705	2.777	2.705	
Escape Channel	19	2.466	3.317	3.554	
	20	4.220	4.816	4.040	

Sumber: Hasil Perhitungan (2017).

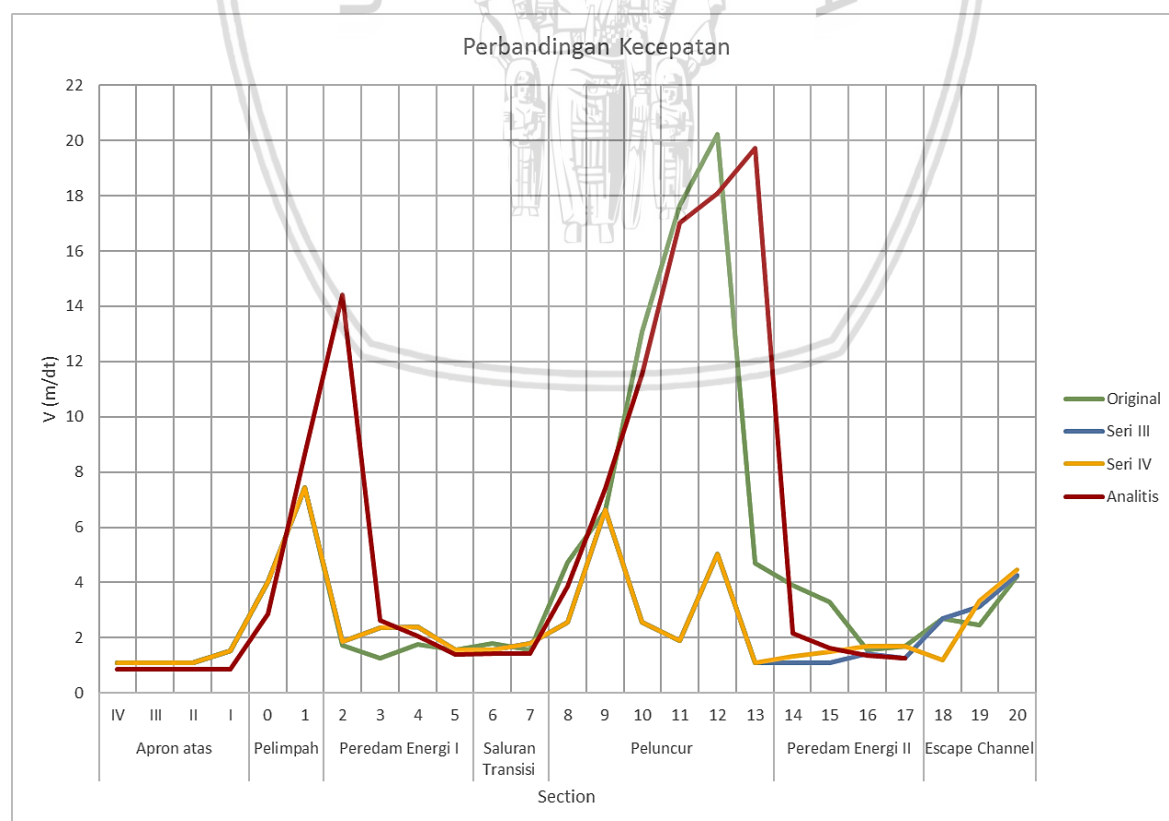
Gambar 4.26 Grafik perbandingan kecepatan Q_{2th} menggunakan *baffled chute* 3 m

Sumber: Hasil Perhitungan (2017).

Tabel 4.75
Perbandingan Kecepatan Untuk Q_{2th} Menggunakan *Baffled Chute* 2 m

Keterangan	No. Sec.	V Prototype (m/dt)			
		Original Design	Seri III	Seri IV	Analitis
Apron atas	IV	1.107	1.107	1.107	0.843
	III	1.107	1.107	1.107	0.843
	II	1.107	1.107	1.107	0.843
	I	1.530	1.530	1.530	0.843
Pelimpah	0	4.040	4.040	4.040	2.854
	1	7.423	7.423	7.423	
Peredam Energi I	2	1.715	1.868	1.868	14.424
	3	1.260	2.367	2.367	
	4	1.746	2.388	2.388	
	5	1.565	1.565	1.565	1.390
Saluran Transisi	6	1.800	1.565	1.565	1.433
	7	1.565	1.800	1.800	1.433
Peluncur	8	4.736	2.553	2.553	3.864
	9	6.608	6.639	6.639	7.386
	10	13.079	2.553	2.553	11.539
	11	17.661	1.898	1.898	17.029
	12	20.226	5.030	5.030	18.073
	13	4.687	1.107	1.107	19.720
	14	3.882	1.107	1.342	
Peredam Energi II	15	3.309	1.107	1.495	
	16	1.565	1.412	1.688	
	17	1.682	1.260	1.688	1.247
	18	2.705	2.711	1.190	
Escape Channel	19	2.466	3.130	3.320	
	20	4.220	4.275	4.471	

Sumber: Hasil Perhitungan (2017).



Gambar 4.27 Grafik perbandingan kecepatan Q_{2th} menggunakan *baffled chute* 2 m

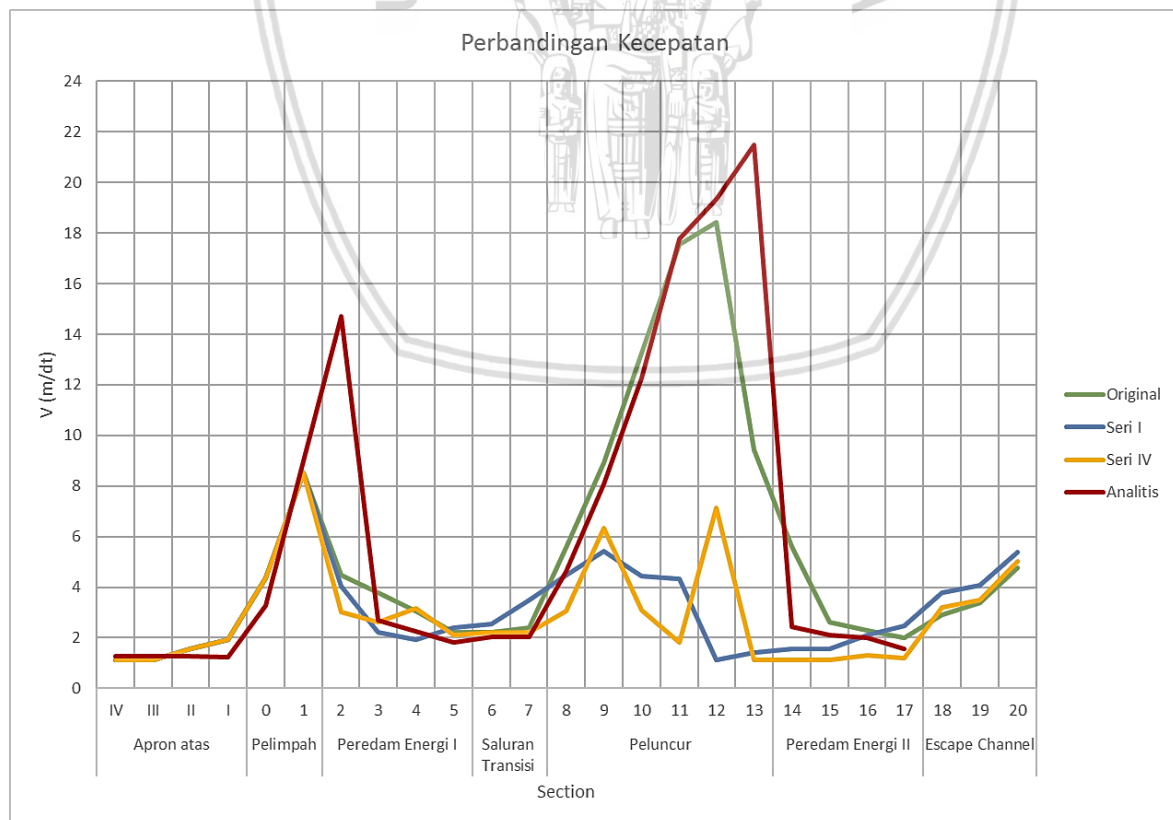
Sumber: Hasil Perhitungan (2017).

Tabel 4.76

Perbandingan Kecepatan Untuk Q_{25th} Menggunakan Peredam Energi USBR II

Keterangan	No. Sec.	V Prototype (m/dt)			
		Original Design	Seri I	Seri IV	Analitis
Apron atas	IV	1.107	1.107	1.107	1.252
	III	1.107	1.107	1.107	1.251
	II	1.565	1.565	1.565	1.251
	I	1.917	1.917	1.917	1.251
Pelimpah	0	4.380	4.380	4.380	3.255
	1	8.520	8.520	8.520	
Peredam Energi I	2	4.466	4.037	3.029	14.718
	3	3.770	2.202	2.626	
	4	3.063	1.917	3.155	
	5	2.213	2.388	2.115	1.812
Saluran Transisi	6	2.213	2.539	2.213	2.020
	7	2.388	3.491	2.213	2.020
Peluncur	8	5.570	4.471	3.063	4.610
	9	8.922	5.419	6.323	8.084
	10	13.250	4.449	3.098	12.263
	11	17.557	4.333	1.800	17.781
	12	18.408	1.107	7.142	19.340
	13	9.412	1.412	1.107	21.490
Peredam Energi II	14	5.605	1.565	1.107	
	15	2.626	1.565	1.107	
	16	2.300	2.103	1.321	
	17	2.016	2.466	1.190	1.564
Escape Channel	18	2.923	3.777	3.194	
	19	3.380	4.087	3.500	
	20	4.769	5.384	5.021	

Sumber: Hasil Perhitungan (2017).

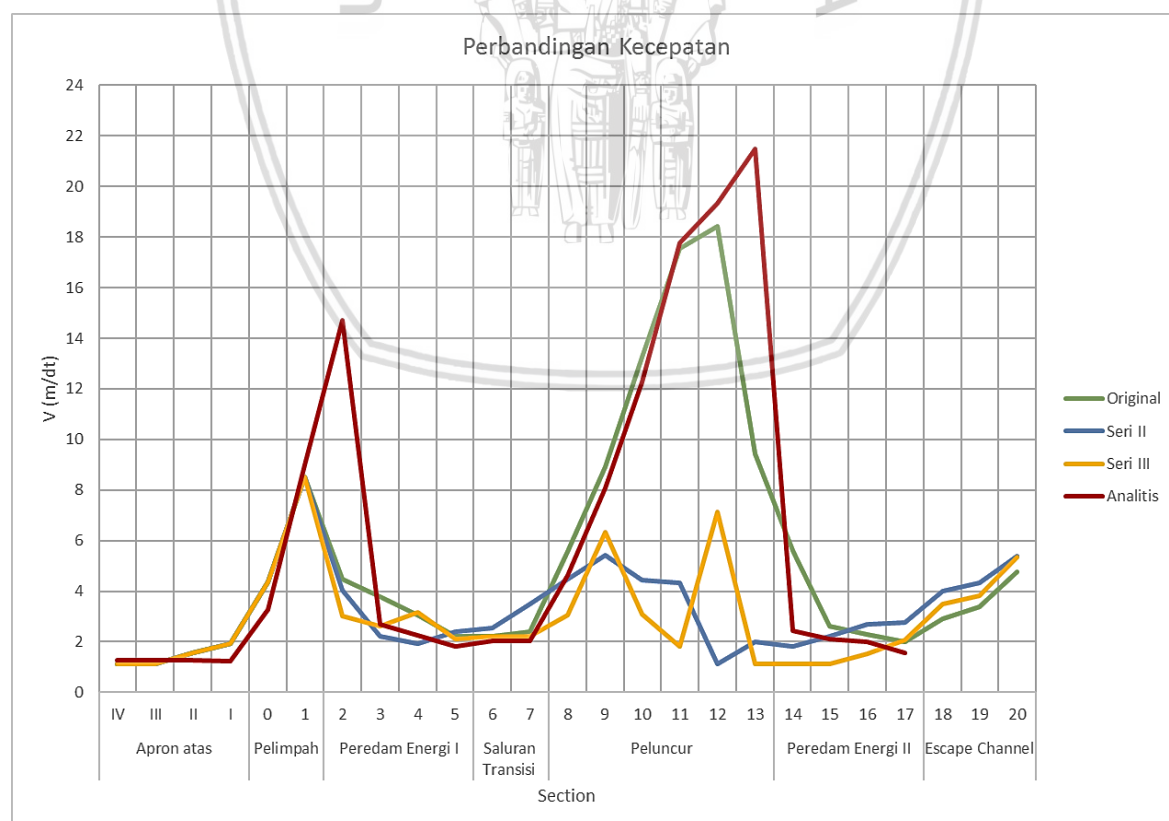
Gambar 4.28 Grafik perbandingan kecepatan Q_{25th} menggunakan peredam energi USBR II

Sumber: Hasil Perhitungan (2017).

Tabel 4.77
Perbandingan Kecepatan Untuk Q_{25th} Menggunakan Peredam Energi USBR I

Keterangan	No. Sec.	V Prototype (m/dt)			
		Original Design	Seri II	Seri III	Analitis
Apron atas	IV	1.107	1.107	1.107	1.252
	III	1.107	1.107	1.107	1.251
	II	1.565	1.565	1.565	1.251
	I	1.917	1.917	1.917	1.251
Pelimpah	0	4.380	4.380	4.380	3.255
	1	8.520	8.520	8.520	
Peredam Energi I	2	4.466	4.037	3.029	14.718
	3	3.770	2.202	2.626	
	4	3.063	1.917	3.155	
	5	2.213	2.388	2.115	1.812
Saluran Transisi	6	2.213	2.539	2.213	2.020
	7	2.388	3.491	2.213	2.020
Peluncur	8	5.570	4.471	3.063	4.610
	9	8.922	5.419	6.323	8.084
	10	13.250	4.449	3.098	12.263
	11	17.557	4.333	1.800	17.781
	12	18.408	1.107	7.142	19.340
	13	9.412	1.997	1.107	21.490
Peredam Energi II	14	5.605	1.800	1.107	
	15	2.626	2.213	1.107	
	16	2.300	2.705	1.530	
	17	2.016	2.777	2.084	1.564
Escape Channel	18	2.923	3.985	3.497	
	19	3.380	4.330	3.834	
	20	4.769	5.371	5.336	

Sumber: Hasil Perhitungan (2017).



Gambar 4.29 Grafik perbandingan kecepatan Q_{25th} menggunakan peredam energi USBR I

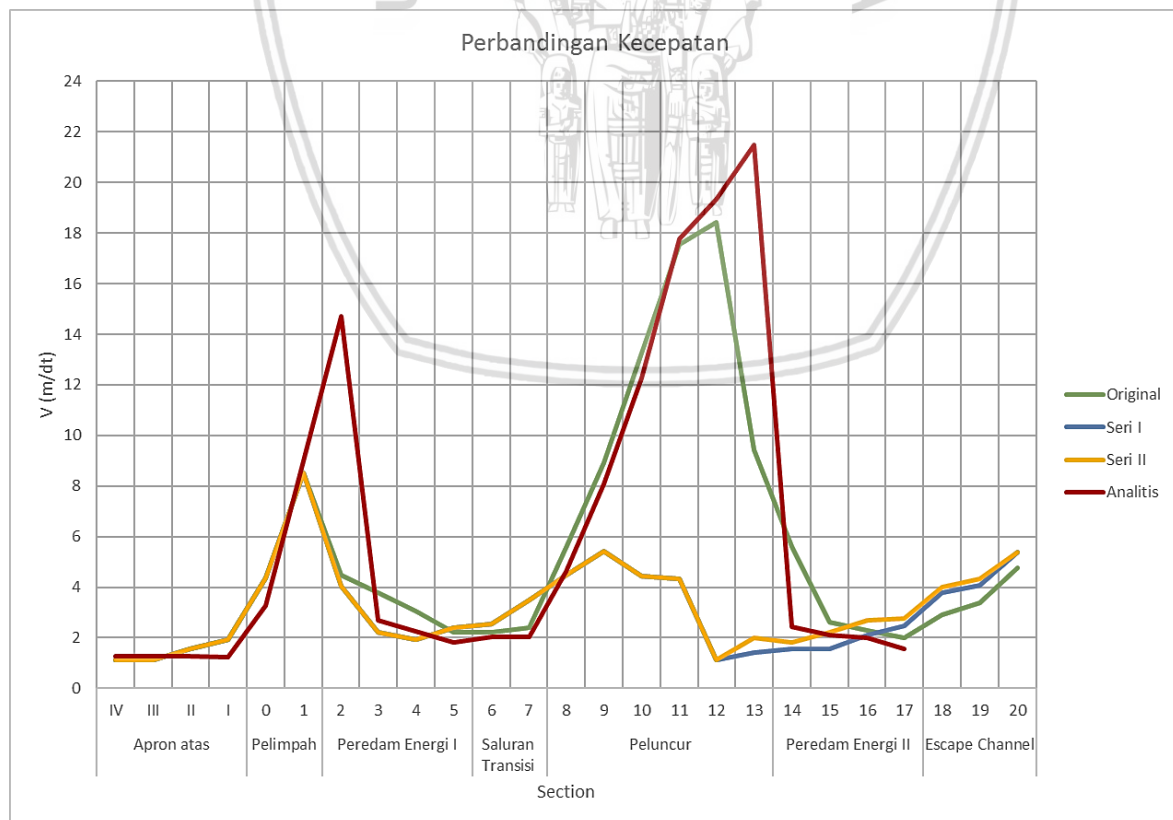
Sumber: Hasil Perhitungan (2017).

Tabel 4.78

Perbandingan Kecepatan Untuk Q_{25th} Menggunakan *Baffled Chute* 3 m

Keterangan	No. Sec.	V Prototype (m/dt)			
		Original Design	Seri I	Seri II	Analitis
Apron atas	IV	1.107	1.107	1.107	1.252
	III	1.107	1.107	1.107	1.251
	II	1.565	1.565	1.565	1.251
	I	1.917	1.917	1.917	1.251
Pelimpah	0	4.380	4.380	4.380	3.255
	1	8.520	8.520	8.520	
Peredam Energi I	2	4.466	4.037	4.037	14.718
	3	3.770	2.202	2.202	
	4	3.063	1.917	1.917	
	5	2.213	2.388	2.388	1.812
Saluran Transisi	6	2.213	2.539	2.539	2.020
	7	2.388	3.491	3.491	2.020
Peluncur	8	5.570	4.471	4.471	4.610
	9	8.922	5.419	5.419	8.084
	10	13.250	4.449	4.449	12.263
	11	17.557	4.333	4.333	17.781
	12	18.408	1.107	1.107	19.340
	13	9.412	1.412	1.997	21.490
Peredam Energi II	14	5.605	1.565	1.800	
	15	2.626	1.565	2.213	
	16	2.300	2.103	2.705	
	17	2.016	2.466	2.777	1.564
Escape Channel	18	2.923	3.777	3.985	
	19	3.380	4.087	4.330	
	20	4.769	5.384	5.371	

Sumber: Hasil Perhitungan (2017).

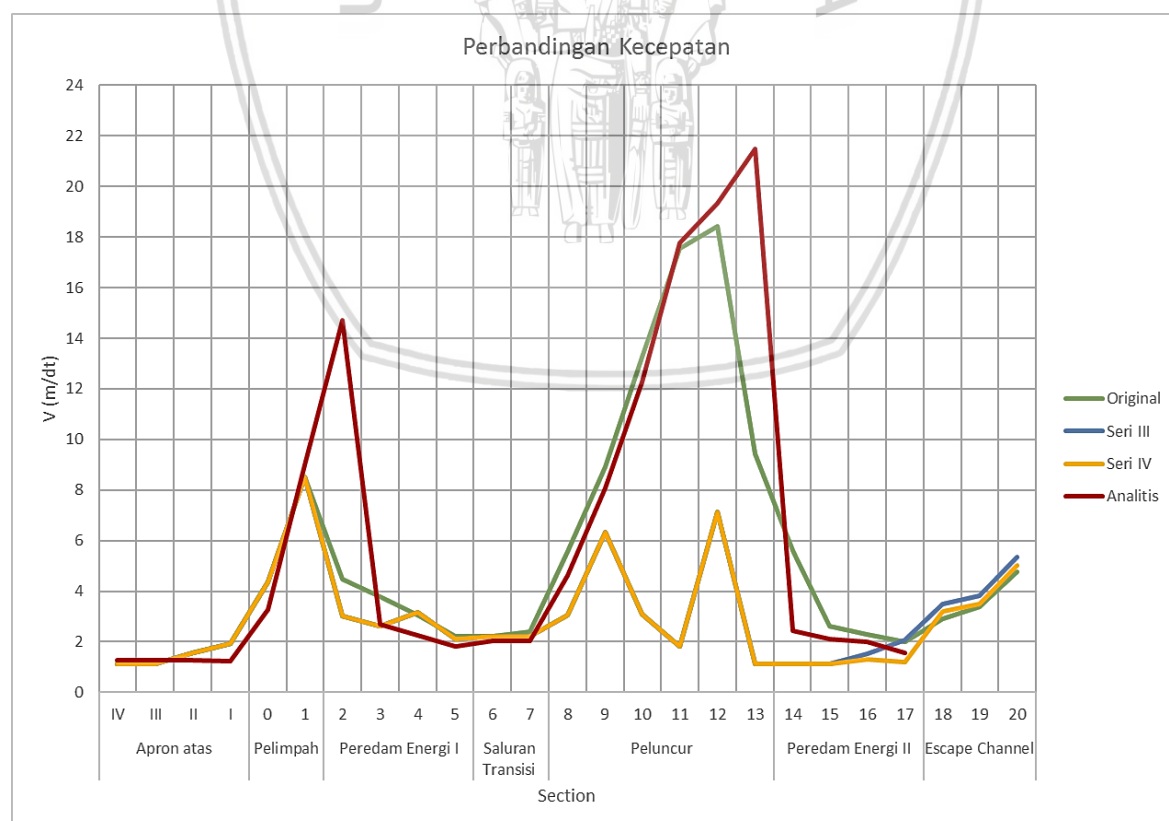
Gambar 4.30 Grafik perbandingan kecepatan Q_{25th} menggunakan *baffled chute* 3 m

Sumber: Hasil Perhitungan (2017).

Tabel 4.79
Perbandingan Kecepatan Untuk Q_{25th} Menggunakan *Baffled Chute* 2 m

Keterangan	No. Sec.	V Prototype (m/dt)			
		Original Design	Seri III	Seri IV	Analitis
Apron atas	IV	1.107	1.107	1.107	1.252
	III	1.107	1.107	1.107	1.251
	II	1.565	1.565	1.565	1.251
	I	1.917	1.917	1.917	1.251
Pelimpah	0	4.380	4.380	4.380	3.255
	1	8.520	8.520	8.520	
Peredam Energi I	2	4.466	3.029	3.029	14.718
	3	3.770	2.626	2.626	
	4	3.063	3.155	3.155	
	5	2.213	2.115	2.115	1.812
Saluran Transisi	6	2.213	2.213	2.213	2.020
	7	2.388	2.213	2.213	2.020
Peluncur	8	5.570	3.063	3.063	4.610
	9	8.922	6.323	6.323	8.084
	10	13.250	3.098	3.098	12.263
	11	17.557	1.800	1.800	17.781
	12	18.408	7.142	7.142	19.340
	13	9.412	1.107	1.107	21.490
Peredam Energi II	14	5.605	1.107	1.107	
	15	2.626	1.107	1.107	
	16	2.300	1.530	1.321	
	17	2.016	2.084	1.190	1.564
Escape Channel	18	2.923	3.497	3.194	
	19	3.380	3.834	3.500	
	20	4.769	5.336	5.021	

Sumber: Hasil Perhitungan (2017).



Gambar 4.31 Grafik perbandingan kecepatan Q_{25th} menggunakan *baffled chute* 2 m

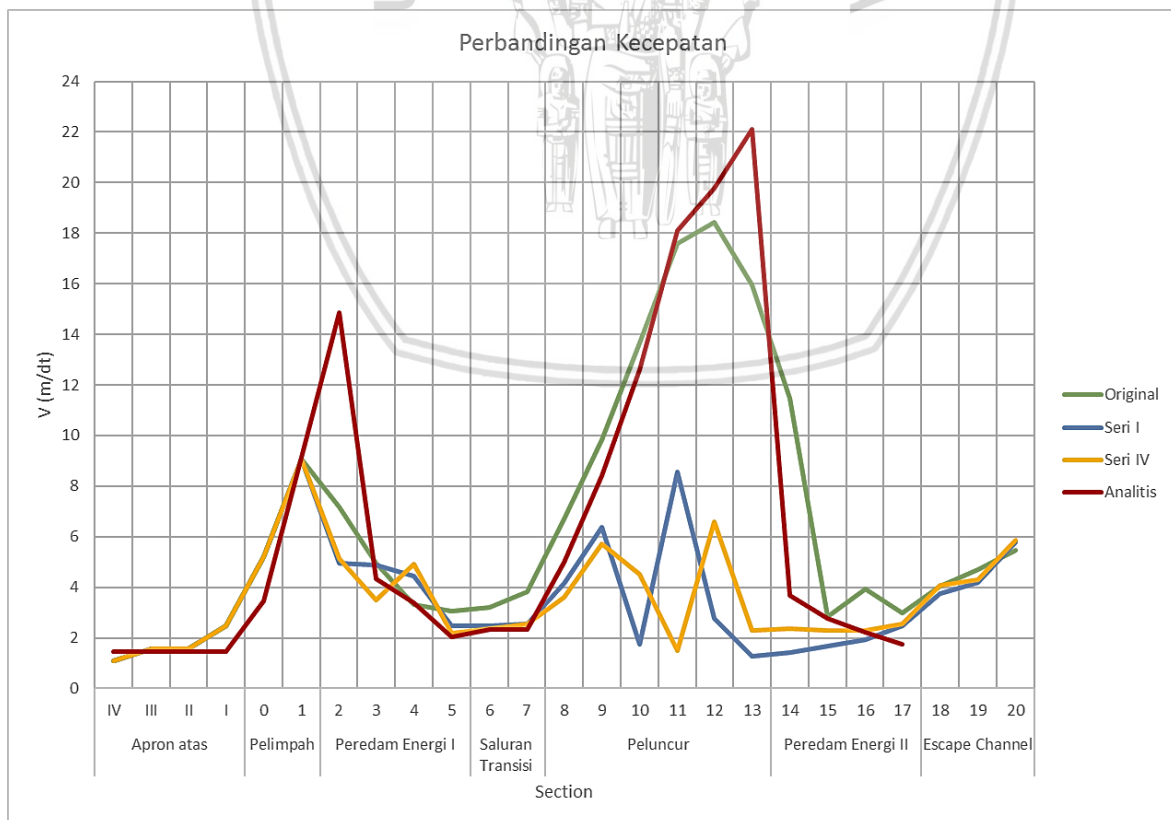
Sumber: Hasil Perhitungan (2017).

Tabel 4.80

Perbandingan Kecepatan Untuk Q_{100th} Menggunakan Peredam Energi USBR II

Keterangan	No. Sec.	V Prototype (m/dt)			
		Original Design	Seri I	Seri IV	Analitis
Apron atas	IV	1.107	1.107	1.107	1.469
	III	1.565	1.565	1.565	1.469
	II	1.565	1.565	1.565	1.469
	I	2.466	2.466	2.466	1.469
Pelimpah	0	5.190	5.190	5.190	3.447
	1	9.059	9.059	9.059	
Peredam Energi I	2	7.166	4.935	5.118	14.868
	3	4.946	4.886	3.477	
	4	3.320	4.425	4.918	
	5	3.063	2.475	2.202	2.030
Saluran Transisi	6	3.194	2.475	2.367	2.321
	7	3.825	2.553	2.553	2.321
Peluncur	8	6.701	4.141	3.614	4.972
	9	9.836	6.356	5.709	8.418
	10	13.644	1.746	4.518	12.585
	11	17.580	8.548	1.476	18.088
	12	18.428	2.783	6.577	19.791
	13	15.961	1.260	2.289	22.100
	14	11.482	1.412	2.367	
Peredam Energi II	15	2.851	1.682	2.300	
	16	3.927	1.917	2.300	
	17	2.975	2.466	2.539	1.732
	18	4.037	3.765	4.087	
Escape Channel	19	4.691	4.189	4.285	
	20	5.446	5.785	5.856	

Sumber: Hasil Perhitungan (2017).

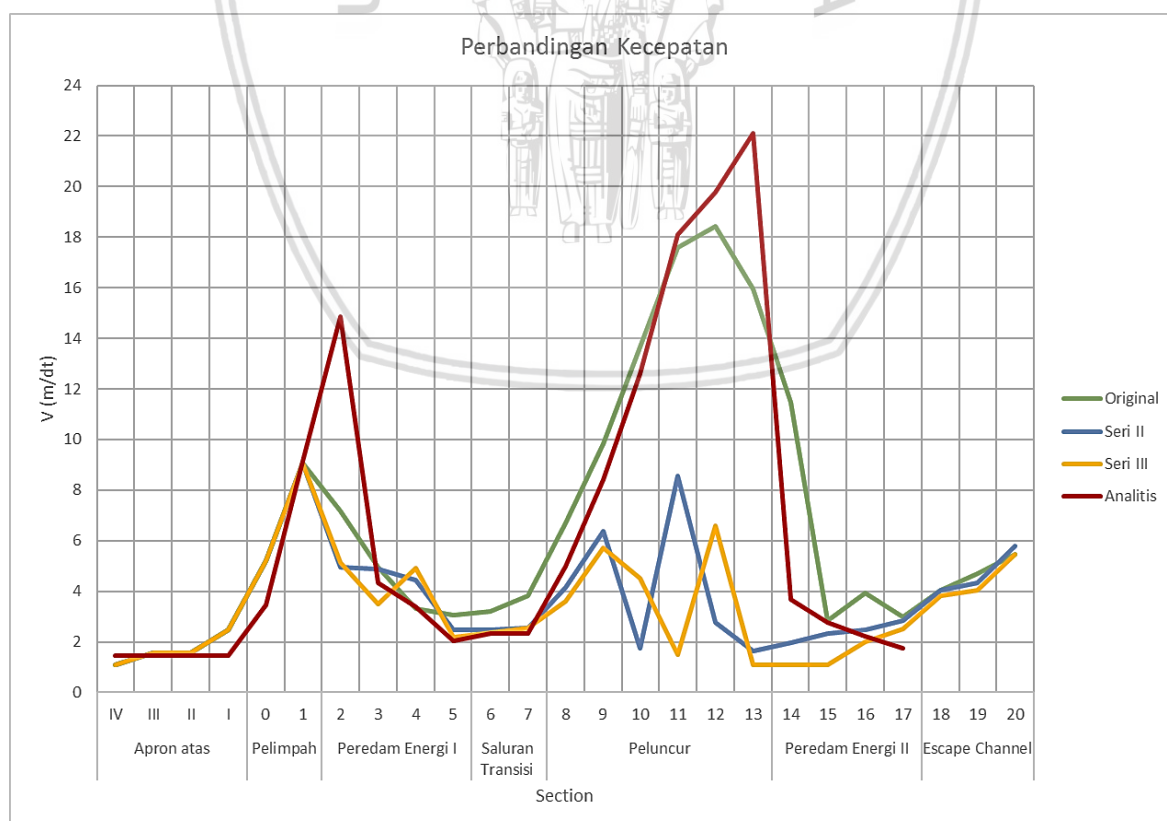
Gambar 4.32 Grafik perbandingan kecepatan Q_{100th} menggunakan peredam energi USBR II

Sumber: Hasil Perhitungan (2017).

Tabel 4.81
Perbandingan Kecepatan Untuk Q_{100th} Menggunakan Peredam Energi USBR I

Keterangan	No. Sec.	V Prototype (m/dt)			
		Original Design	Seri II	Seri III	Analitis
Apron atas	IV	1.107	1.107	1.107	1.469
	III	1.565	1.565	1.565	1.469
	II	1.565	1.565	1.565	1.469
	I	2.466	2.466	2.466	1.469
Pelimpah	0	5.190	5.190	5.190	3.447
	1	9.059	9.059	9.059	
Peredam Energi I	2	7.166	4.935	5.118	14.868
	3	4.946	4.886	3.477	
	4	3.320	4.425	4.918	
	5	3.063	2.475	2.202	2.030
Saluran Transisi	6	3.194	2.475	2.367	2.321
	7	3.825	2.553	2.553	2.321
Peluncur	8	6.701	4.141	3.614	4.972
	9	9.836	6.356	5.709	8.418
	10	13.644	1.746	4.518	12.585
	11	17.580	8.548	1.476	18.088
	12	18.428	2.783	6.577	19.791
	13	15.961	1.627	1.107	22.100
	14	11.482	1.968	1.107	
Peredam Energi II	15	2.851	2.345	1.107	
	16	3.927	2.466	1.986	
	17	2.975	2.851	2.519	1.732
	18	4.037	4.033	3.827	
Escape Channel	19	4.691	4.333	4.040	
	20	5.446	5.786	5.459	

Sumber: Hasil Perhitungan (2017).



Gambar 4.33 Grafik perbandingan kecepatan Q_{100th} menggunakan peredam energi USBR I

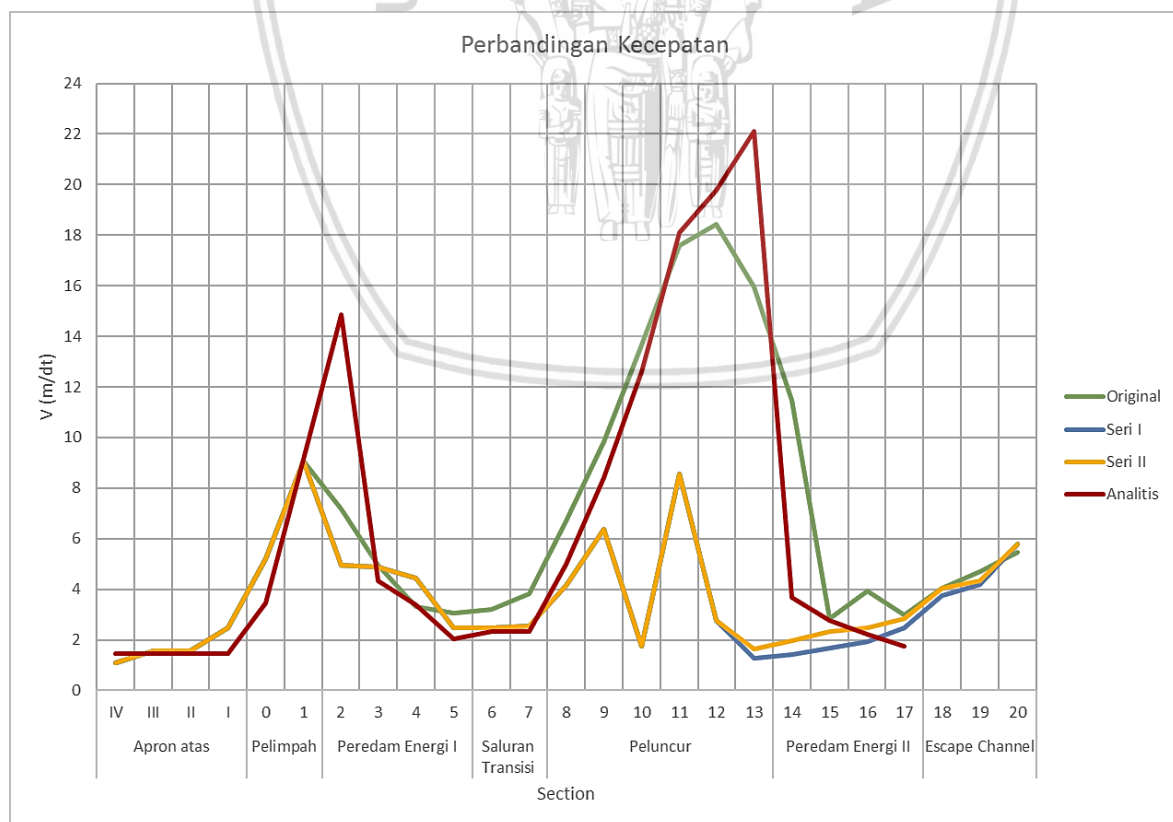
Sumber: Hasil Perhitungan (2017).

Tabel 4.82

Perbandingan Kecepatan Untuk Q_{100th} Menggunakan *Baffled Chute* 3 m

Keterangan	No. Sec.	V Prototype (m/dt)			
		Original Design	Seri I	Seri II	Analitis
Apron atas	IV	1.107	1.107	1.107	1.469
	III	1.565	1.565	1.565	1.469
	II	1.565	1.565	1.565	1.469
	I	2.466	2.466	2.466	1.469
Pelimpah	0	5.190	5.190	5.190	3.447
	1	9.059	9.059	9.059	
Peredam Energi I	2	7.166	4.935	4.935	14.868
	3	4.946	4.886	4.886	
	4	3.320	4.425	4.425	
	5	3.063	2.475	2.475	2.030
Saluran Transisi	6	3.194	2.475	2.475	2.321
	7	3.825	2.553	2.553	2.321
Peluncur	8	6.701	4.141	4.141	4.972
	9	9.836	6.356	6.356	8.418
	10	13.644	1.746	1.746	12.585
	11	17.580	8.548	8.548	18.088
	12	18.428	2.783	2.783	19.791
	13	15.961	1.260	1.627	22.100
	14	11.482	1.412	1.968	
Peredam Energi II	15	2.851	1.682	2.345	
	16	3.927	1.917	2.466	
	17	2.975	2.466	2.851	1.732
	18	4.037	3.765	4.033	
Escape Channel	19	4.691	4.189	4.333	
	20	5.446	5.785	5.786	

Sumber: Hasil Perhitungan (2017).

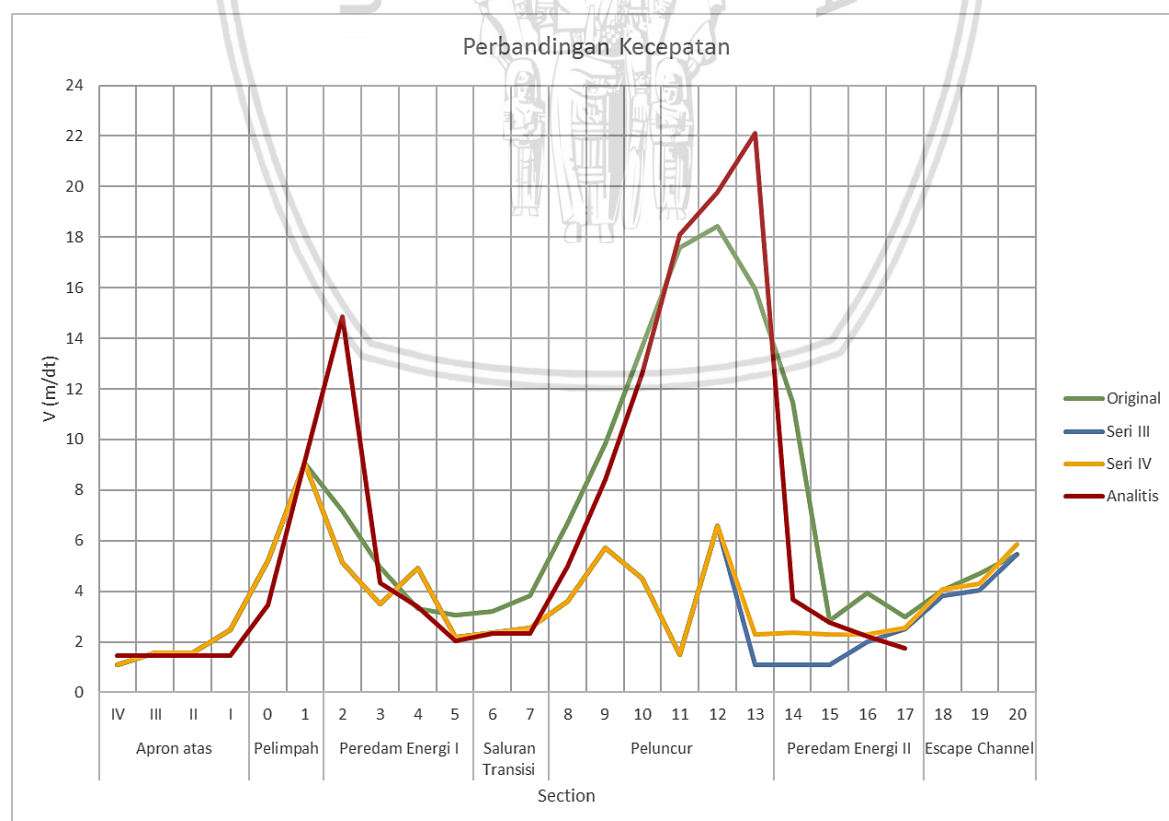
Gambar 4.34 Grafik perbandingan kecepatan Q_{100th} menggunakan *baffled chute* 3 m

Sumber: Hasil Perhitungan (2017).

Tabel 4.83
Perbandingan Kecepatan Untuk Q_{100th} Menggunakan *Baffled Chute* 2 m

Keterangan	No. Sec.	V Prototype (m/dt)			
		Original Design	Seri III	Seri IV	Analitis
Apron atas	IV	1.107	1.107	1.107	1.469
	III	1.565	1.565	1.565	1.469
	II	1.565	1.565	1.565	1.469
	I	2.466	2.466	2.466	1.469
Pelimpah	0	5.190	5.190	5.190	3.447
	1	9.059	9.059	9.059	
Peredam Energi I	2	7.166	5.118	5.118	14.868
	3	4.946	3.477	3.477	
	4	3.320	4.918	4.918	
	5	3.063	2.202	2.202	2.030
Saluran Transisi	6	3.194	2.367	2.367	2.321
	7	3.825	2.553	2.553	2.321
Peluncur	8	6.701	3.614	3.614	4.972
	9	9.836	5.709	5.709	8.418
	10	13.644	4.518	4.518	12.585
	11	17.580	1.476	1.476	18.088
	12	18.428	6.577	6.577	19.791
	13	15.961	1.107	2.289	22.100
Peredam Energi II	14	11.482	1.107	2.367	
	15	2.851	1.107	2.300	
	16	3.927	1.986	2.300	
	17	2.975	2.519	2.539	1.732
Escape Channel	18	4.037	3.827	4.087	
	19	4.691	4.040	4.285	
	20	5.446	5.459	5.856	

Sumber: Hasil Perhitungan (2017).



Gambar 4.35 Grafik perbandingan kecepatan Q_{100th} menggunakan *baffled chute* 2 m

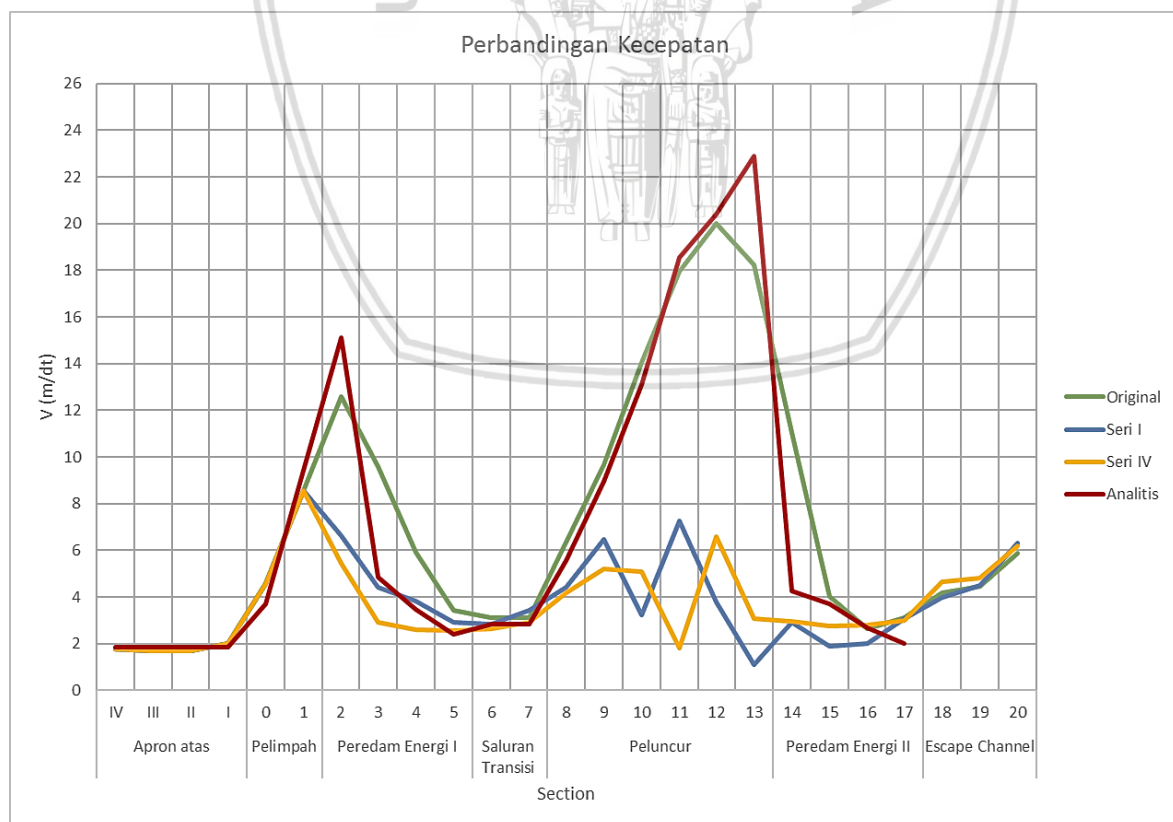
Sumber: Hasil Perhitungan (2017).

Tabel 4.84

Perbandingan Kecepatan Untuk Q_{1000th} Menggunakan Peredam Energi USBR II

Keterangan	No. Sec.	V Prototype (m/dt)			
		Original Design	Seri I	Seri IV	Analitis
Apron atas	IV	1.781	1.781	1.781	1.854
	III	1.682	1.682	1.682	1.854
	II	1.682	1.682	1.682	1.854
	I	2.016	2.016	2.016	1.854
Pelimpah	0	4.562	4.562	4.562	3.721
	1	8.572	8.572	8.572	
Peredam Energi I	2	12.570	6.640	5.456	15.115
	3	9.575	4.409	2.908	
	4	5.922	3.827	2.617	
	5	3.440	2.923	2.553	2.410
Saluran Transisi	6	3.130	2.856	2.632	2.840
	7	3.130	3.440	2.923	2.839
Peluncur	8	6.357	4.423	4.188	5.572
	9	9.669	6.485	5.221	8.970
	10	14.042	3.237	5.106	13.100
	11	17.948	7.271	1.800	18.559
	12	20.013	3.779	6.601	20.416
	13	18.218	1.107	3.059	22.902
	14	11.057	2.912	2.967	
Peredam Energi II	15	4.037	1.898	2.757	
	16	2.632	2.016	2.783	
	17	3.117	3.063	2.995	2.027
	18	4.186	3.984	4.651	
Escape Channel	19	4.472	4.518	4.824	
	20	5.889	6.325	6.190	

Sumber: Hasil Perhitungan (2017).

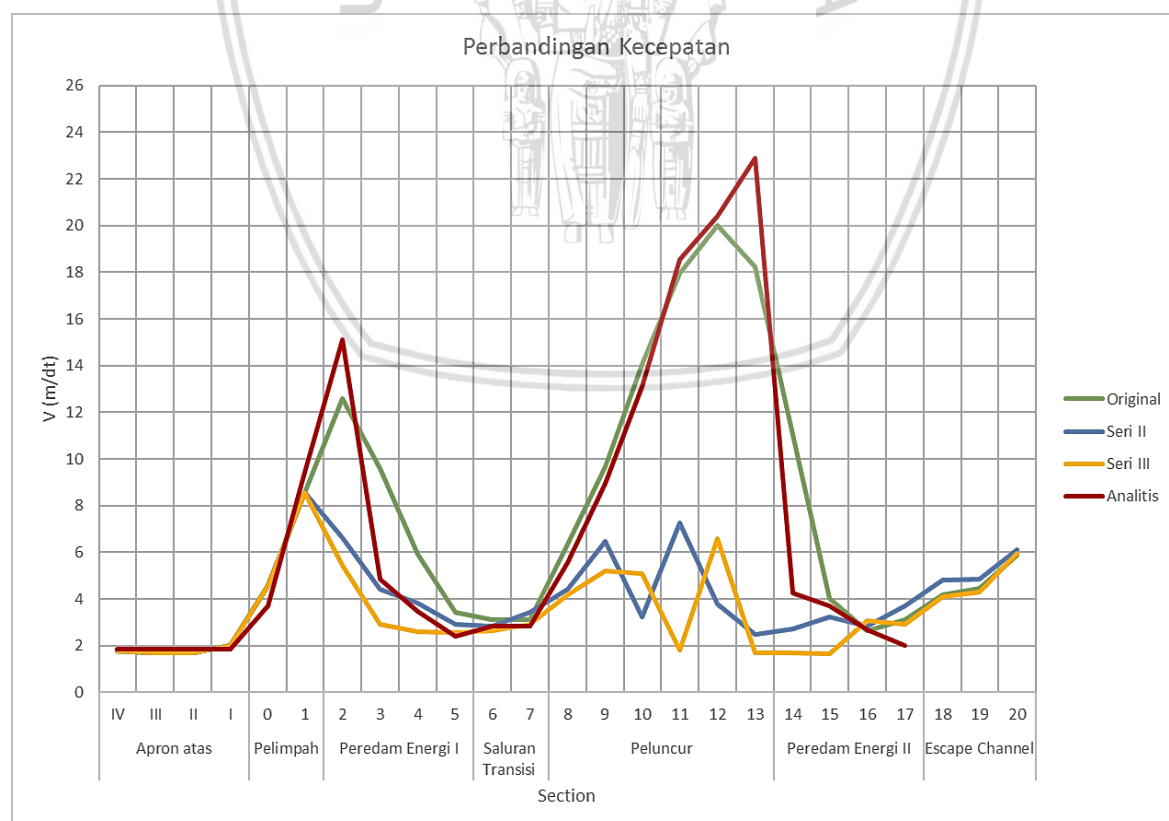
Gambar 4.36 Grafik perbandingan kecepatan Q_{1000th} menggunakan peredam energi USBR II

Sumber: Hasil Perhitungan (2017).

Tabel 4.85
Perbandingan Kecepatan Untuk Q_{1000th} Menggunakan Peredam Energi USBR I

Keterangan	No. Sec.	V Prototype (m/dt)			
		Original Design	Seri II	Seri III	Analitis
Apron atas	IV	1.781	1.781	1.781	1.854
	III	1.682	1.682	1.682	1.854
	II	1.682	1.682	1.682	1.854
	I	2.016	2.016	2.016	1.854
Pelimpah	0	4.562	4.562	4.562	3.721
	1	8.572	8.572	8.572	
Peredam Energi I	2	12.570	6.640	5.456	15.115
	3	9.575	4.409	2.908	
	4	5.922	3.827	2.617	
	5	3.440	2.923	2.553	2.410
Saluran Transisi	6	3.130	2.856	2.632	2.840
	7	3.130	3.440	2.923	2.839
Peluncur	8	6.357	4.423	4.188	5.572
	9	9.669	6.485	5.221	8.970
	10	14.042	3.237	5.106	13.100
	11	17.948	7.271	1.800	18.559
	12	20.013	3.779	6.601	20.416
	13	18.218	2.475	1.682	22.902
Peredam Energi II	14	11.057	2.705	1.715	
	15	4.037	3.253	1.647	
	16	2.632	2.856	3.063	
	17	3.117	3.725	2.923	2.027
Escape Channel	18	4.186	4.824	4.091	
	19	4.472	4.866	4.286	
	20	5.889	6.128	5.958	

Sumber: Hasil Perhitungan (2017).



Gambar 4.37 Grafik perbandingan kecepatan Q_{1000th} menggunakan peredam energi USBR I

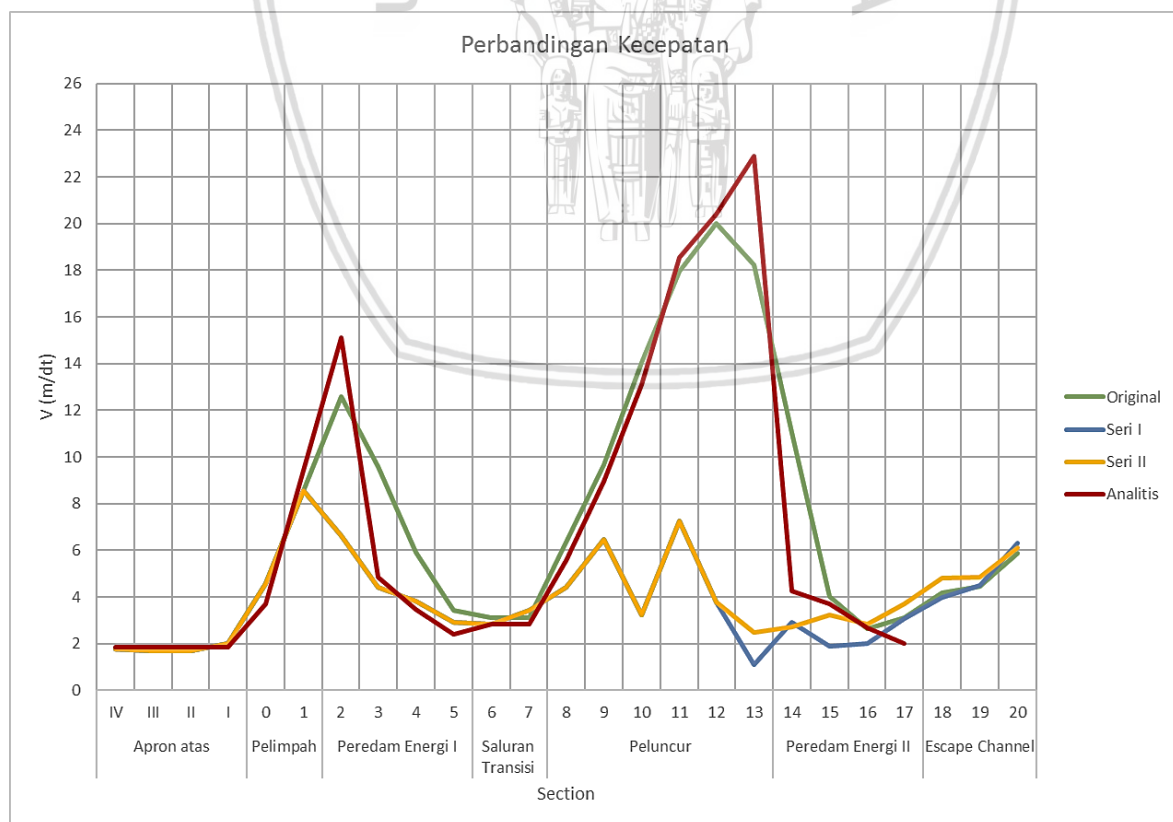
Sumber: Hasil Perhitungan (2017).

Tabel 4.86

Perbandingan Kecepatan Untuk Q_{1000th} Menggunakan *Baffled Chute* 3 m

Keterangan	No. Sec.	V Prototype (m/dt)			
		Original Design	Seri I	Seri II	Analitis
Apron atas	IV	1.781	1.781	1.781	1.854
	III	1.682	1.682	1.682	1.854
	II	1.682	1.682	1.682	1.854
	I	2.016	2.016	2.016	1.854
Pelimpah	0	4.562	4.562	4.562	3.721
	1	8.572	8.572	8.572	
Peredam Energi I	2	12.570	6.640	6.640	15.115
	3	9.575	4.409	4.409	
	4	5.922	3.827	3.827	
	5	3.440	2.923	2.923	2.410
Saluran Transisi	6	3.130	2.856	2.856	2.840
	7	3.130	3.440	3.440	2.839
Peluncur	8	6.357	4.423	4.423	5.572
	9	9.669	6.485	6.485	8.970
	10	14.042	3.237	3.237	13.100
	11	17.948	7.271	7.271	18.559
	12	20.013	3.779	3.779	20.416
	13	18.218	1.107	2.475	22.902
	14	11.057	2.912	2.705	
Peredam Energi II	15	4.037	1.898	3.253	
	16	2.632	2.016	2.856	
	17	3.117	3.063	3.725	2.027
	18	4.186	3.984	4.824	
Escape Channel	19	4.472	4.518	4.866	
	20	5.889	6.325	6.128	

Sumber: Hasil Perhitungan (2017).

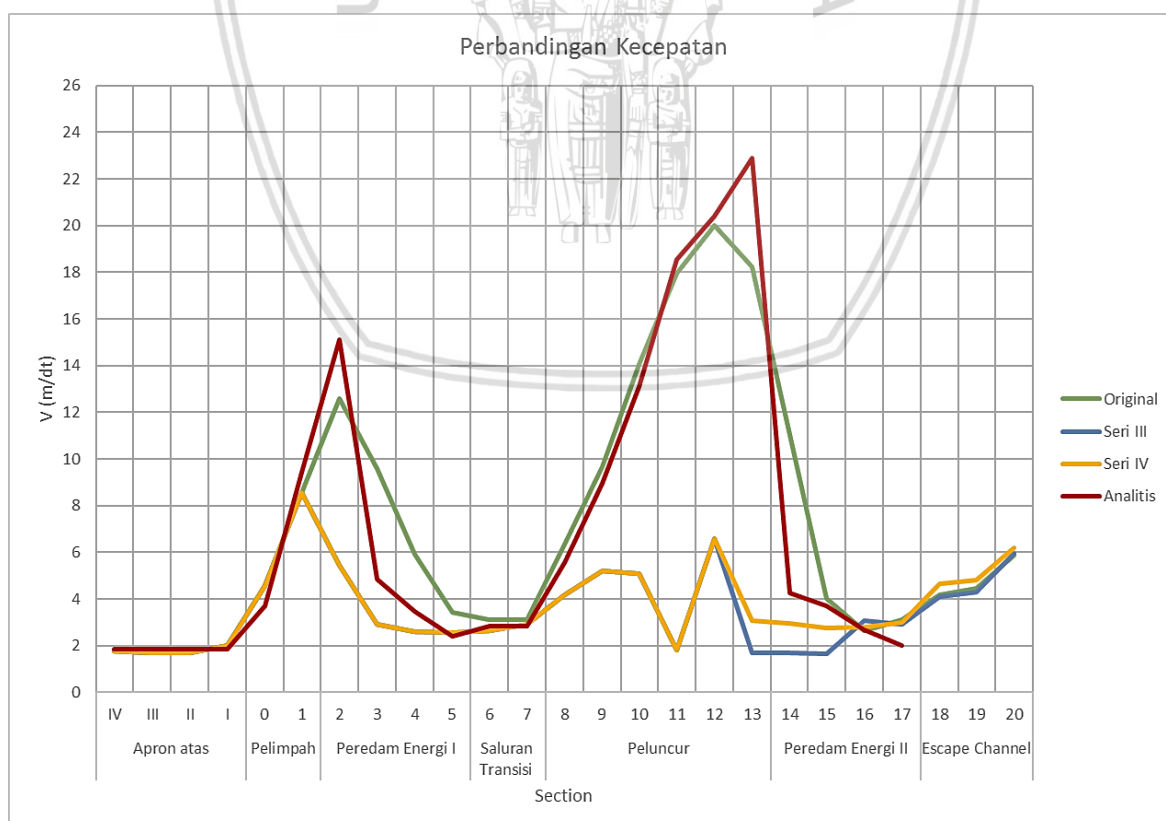
Gambar 4.38 Grafik perbandingan kecepatan Q_{1000th} menggunakan *baffled chute* 3 m

Sumber: Hasil Perhitungan (2017).

Tabel 4.87
Perbandingan Kecepatan Untuk Q_{1000th} Menggunakan *Baffled Chute* 2 m

Keterangan	No. Sec.	V Prototype (m/dt)			
		Original Design	Seri III	Seri IV	Analitis
Apron atas	IV	1.781	1.781	1.781	1.854
	III	1.682	1.682	1.682	1.854
	II	1.682	1.682	1.682	1.854
	I	2.016	2.016	2.016	1.854
Pelimpah	0	4.562	4.562	4.562	3.721
	1	8.572	8.572	8.572	
Peredam Energi I	2	12.570	5.456	5.456	15.115
	3	9.575	2.908	2.908	
	4	5.922	2.617	2.617	
	5	3.440	2.553	2.553	2.410
Saluran Transisi	6	3.130	2.632	2.632	2.840
	7	3.130	2.923	2.923	2.839
Peluncur	8	6.357	4.188	4.188	5.572
	9	9.669	5.221	5.221	8.970
	10	14.042	5.106	5.106	13.100
	11	17.948	1.800	1.800	18.559
	12	20.013	6.601	6.601	20.416
	13	18.218	1.682	3.059	22.902
	14	11.057	1.715	2.967	
Peredam Energi II	15	4.037	1.647	2.757	
	16	2.632	3.063	2.783	
	17	3.117	2.923	2.995	2.027
	18	4.186	4.091	4.651	
Escape Channel	19	4.472	4.286	4.824	
	20	5.889	5.958	6.190	

Sumber: Hasil Perhitungan (2017).



Gambar 4.39 Grafik perbandingan kecepatan Q_{1000th} menggunakan *baffled chute* 2 m

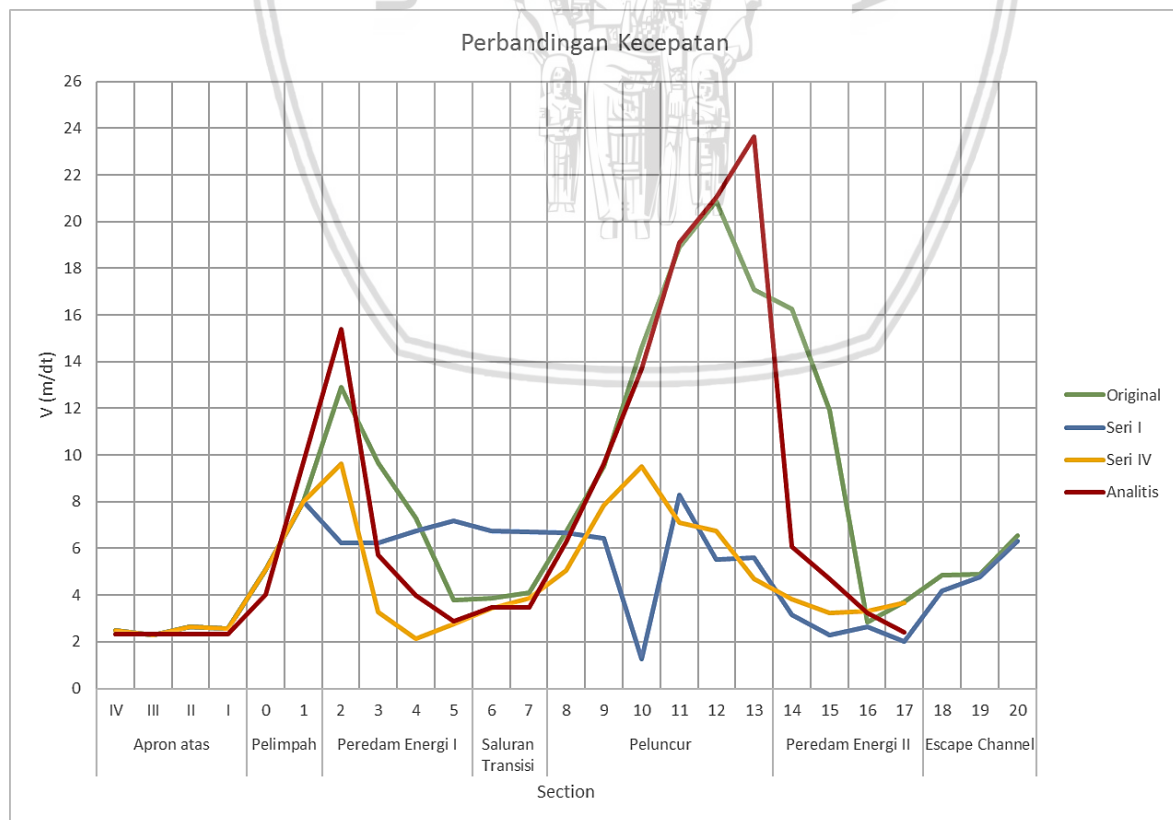
Sumber: Hasil Perhitungan (2017).

Tabel 4.88

Perbandingan Kecepatan Untuk Q_{PMF} Menggunakan Peredam Energi USBR II

Keterangan	No. Sec.	V Prototype (m/dt)			
		Original Design	Seri I	Seri IV	Analitis
Apron atas	IV	2.475	2.475	2.475	2.335
	III	2.280	2.280	2.280	2.334
	II	2.632	2.632	2.632	2.334
	I	2.553	2.553	2.553	2.334
Pelimpah	0	5.109	5.109	5.109	4.035
	1	8.004	8.004	8.004	
Peredam Energi I	2	12.906	6.227	9.647	15.410
	3	9.654	6.226	3.288	
	4	7.282	6.760	2.115	
	5	3.779	7.201	2.783	2.880
Saluran Transisi	6	3.886	6.762	3.433	3.468
	7	4.091	6.701	3.876	3.467
Peluncur	8	6.700	6.671	5.068	6.272
	9	9.520	6.421	7.851	9.617
	10	14.584	1.260	9.517	13.692
	11	18.890	8.276	7.109	19.084
	12	20.881	5.531	6.730	21.037
	13	17.072	5.607	4.692	23.641
Peredam Energi II	14	16.249	3.166	3.827	
	15	11.916	2.280	3.257	
	16	2.844	2.626	3.317	
	17	3.722	2.016	3.668	2.397
Escape Channel	18	4.865	4.188	5.029	
	19	4.905	4.785	5.210	
	20	6.547	6.323	6.999	

Sumber: Hasil Perhitungan (2017).

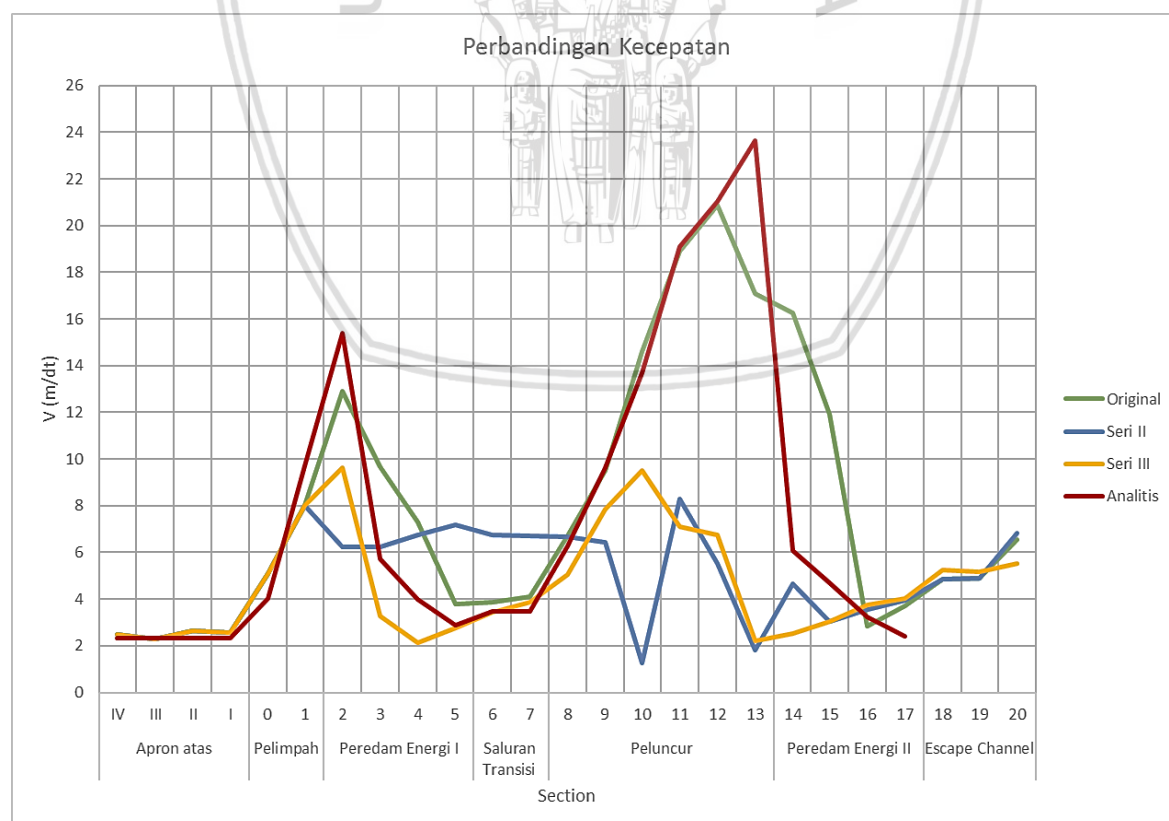
Gambar 4.40 Grafik perbandingan kecepatan Q_{PMF} menggunakan peredam energi USBR II

Sumber: Hasil Perhitungan (2017).

Tabel 4.89
Perbandingan Kecepatan Untuk Q_{PMF} Menggunakan Peredam Energi USBR I

Keterangan	No. Sec.	V Prototype (m/dt)			
		Original Design	Seri II	Seri III	Analitis
Apron atas	IV	2.475	2.475	2.475	2.335
	III	2.280	2.280	2.280	2.334
	II	2.632	2.632	2.632	2.334
	I	2.553	2.553	2.553	2.334
Pelimpah	0	5.109	5.109	5.109	4.035
	1	8.004	8.004	8.004	
Peredam Energi I	2	12.906	6.227	9.647	15.410
	3	9.654	6.226	3.288	
	4	7.282	6.760	2.115	
	5	3.779	7.201	2.783	2.880
Saluran Transisi	6	3.886	6.762	3.433	3.468
	7	4.091	6.701	3.876	3.467
Peluncur	8	6.700	6.671	5.068	6.272
	9	9.520	6.421	7.851	9.617
	10	14.584	1.260	9.517	13.692
	11	18.890	8.276	7.109	19.084
	12	20.881	5.531	6.730	21.037
	13	17.072	1.800	2.202	23.641
Peredam Energi II	14	16.249	4.665	2.519	
	15	11.916	3.031	3.024	
	16	2.844	3.554	3.765	
	17	3.722	3.938	4.040	2.397
Escape Channel	18	4.865	4.865	5.264	
	19	4.905	4.905	5.188	
	20	6.547	6.821	5.513	

Sumber: Hasil Perhitungan (2017).



Gambar 4.41 Grafik perbandingan kecepatan Q_{PMF} menggunakan peredam energi USBR I

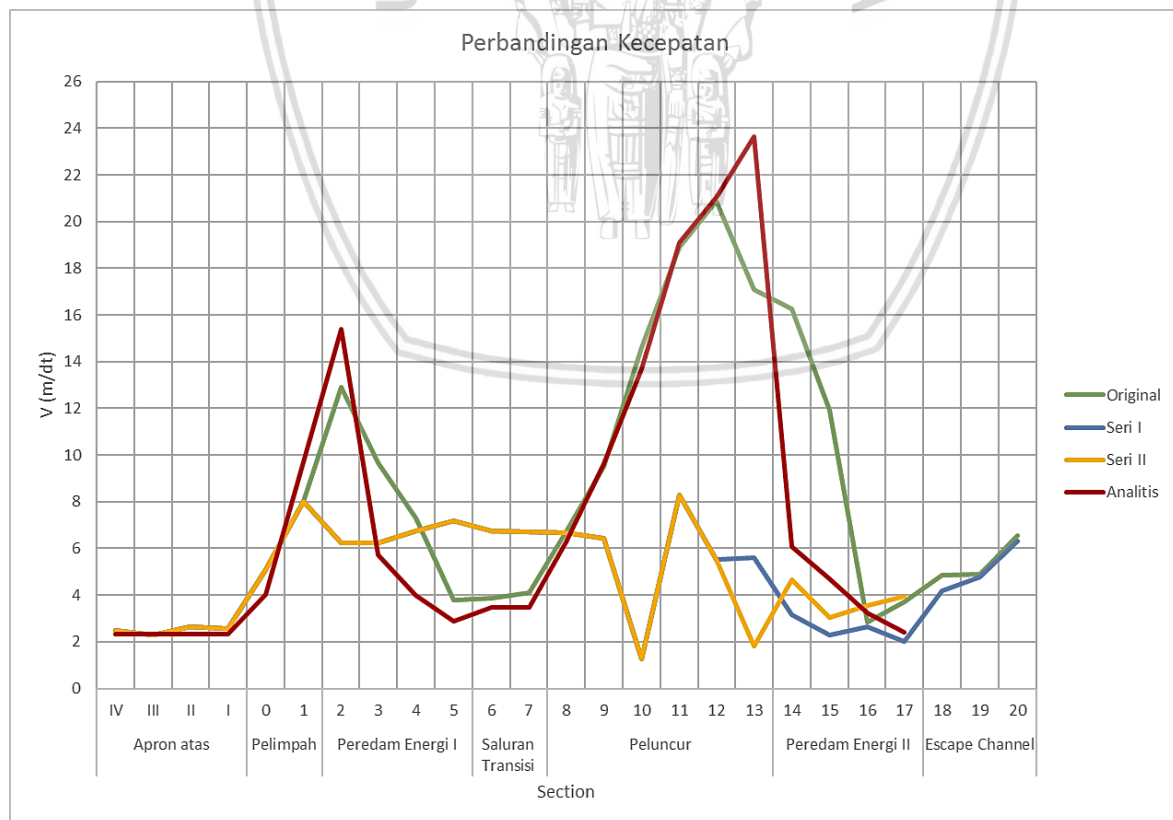
Sumber: Hasil Perhitungan (2017).

Tabel 4.90

Perbandingan Kecepatan Untuk Q_{PMF} Menggunakan *Baffled Chute* 3 m

Keterangan	No. Sec.	V Prototype (m/dt)			
		Original Design	Seri I	Seri II	Analitis
Apron atas	IV	2.475	2.475	2.475	2.335
	III	2.280	2.280	2.280	2.334
	II	2.632	2.632	2.632	2.334
	I	2.553	2.553	2.553	2.334
Pelimpah	0	5.109	5.109	5.109	4.035
	1	8.004	8.004	8.004	
Peredam Energi I	2	12.906	6.227	6.227	15.410
	3	9.654	6.226	6.226	
	4	7.282	6.760	6.760	
	5	3.779	7.201	7.201	2.880
Saluran Transisi	6	3.886	6.762	6.762	3.468
	7	4.091	6.701	6.701	3.467
Peluncur	8	6.700	6.671	6.671	6.272
	9	9.520	6.421	6.421	9.617
	10	14.584	1.260	1.260	13.692
	11	18.890	8.276	8.276	19.084
	12	20.881	5.531	5.531	21.037
	13	17.072	5.607	1.800	23.641
Peredam Energi II	14	16.249	3.166	4.665	
	15	11.916	2.280	3.031	
	16	2.844	2.626	3.554	
	17	3.722	2.016	3.938	2.397
Escape Channel	18	4.865	4.188	4.865	
	19	4.905	4.785	4.905	
	20	6.547	6.323	6.821	

Sumber: Hasil Perhitungan (2017).

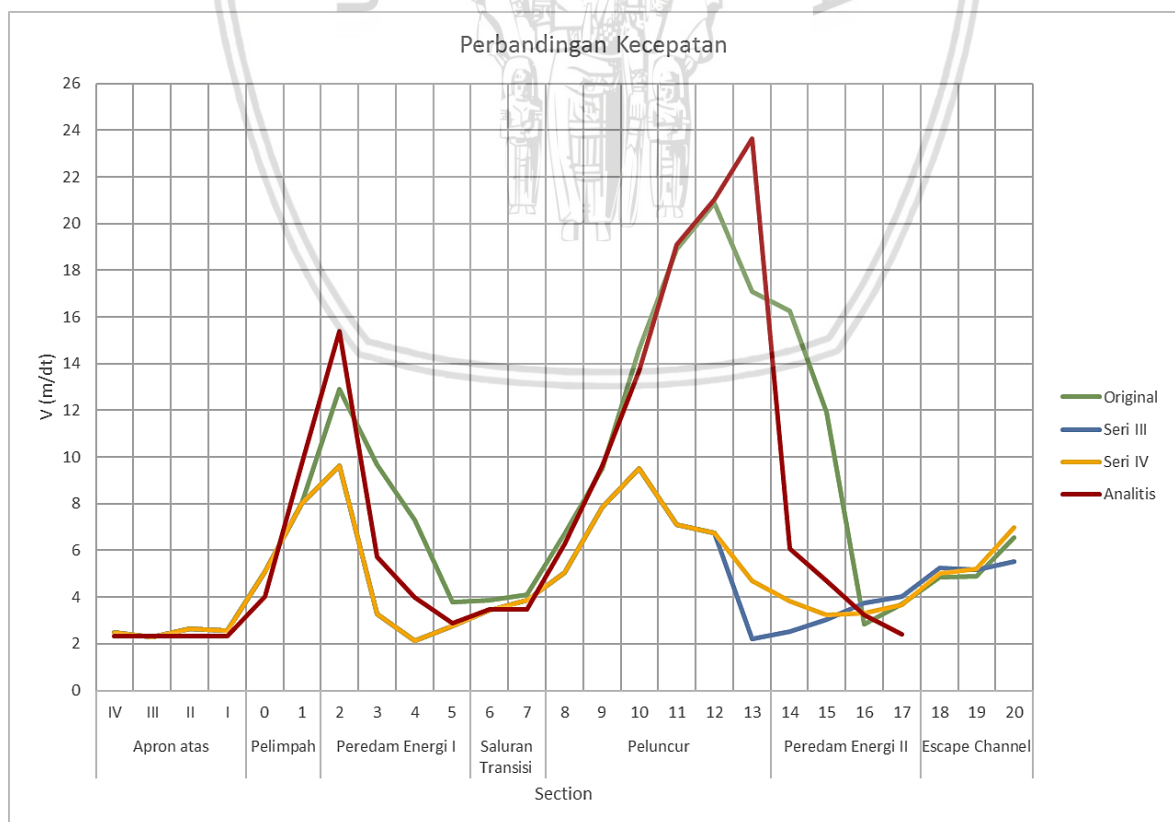
Gambar 4.42 Grafik perbandingan kecepatan Q_{PMF} menggunakan *baffled chute* 3 m

Sumber: Hasil Perhitungan (2017).

Tabel 4.91
Perbandingan Kecepatan Untuk Q_{PMF} Menggunakan *Baffled Chute* 2 m

Keterangan	No. Sec.	V Prototype (m/dt)			
		Original Design	Seri III	Seri IV	Analitis
Apron atas	IV	2.475	2.475	2.475	2.335
	III	2.280	2.280	2.280	2.334
	II	2.632	2.632	2.632	2.334
	I	2.553	2.553	2.553	2.334
Pelimpah	0	5.109	5.109	5.109	4.035
	1	8.004	8.004	8.004	
Peredam Energi I	2	12.906	9.647	9.647	15.410
	3	9.654	3.288	3.288	
	4	7.282	2.115	2.115	
	5	3.779	2.783	2.783	2.880
Saluran Transisi	6	3.886	3.433	3.433	3.468
	7	4.091	3.876	3.876	3.467
Peluncur	8	6.700	5.068	5.068	6.272
	9	9.520	7.851	7.851	9.617
	10	14.584	9.517	9.517	13.692
	11	18.890	7.109	7.109	19.084
	12	20.881	6.730	6.730	21.037
	13	17.072	2.202	4.692	23.641
Peredam Energi II	14	16.249	2.519	3.827	
	15	11.916	3.024	3.257	
	16	2.844	3.765	3.317	
	17	3.722	4.040	3.668	2.397
Escape Channel	18	4.865	5.264	5.029	
	19	4.905	5.188	5.210	
	20	6.547	5.513	6.999	

Sumber: Hasil Perhitungan (2017).



Gambar 4.43 Grafik perbandingan kecepatan Q_{PMF} menggunakan *baffled chute* 2 m

Sumber: Hasil Perhitungan (2017).

Setiap kombinasi bangunan memperlihatkan bahwa kondisi kecepatan aliran sebagian besar mengalami penurunan dibandingkan dengan *original design* pada saat sebelum memasuki saluran peluncur, pada saluran peluncur, maupun setelah melewati saluran peluncur, hal ini akibat dari pemasangan bangunan *baffled chute*. Ketinggian *baffled chute* sangat mempengaruhi kondisi tersebut, karena kondisi kecepatan aliran sebagian besar melambat pada saat sebelum memasuki saluran peluncur akibat aliran tidak langsung melimpah namun menabrak bangunan *baffled chute* terlebih dahulu. Pada saluran peluncur penurunan kondisi kecepatan aliran diakibatkan oleh aliran menghantam bangunan *baffled chute* yang banyak sehingga ketika terjadi loncatan air, aliran akan menghantam kembali bangunan *baffled chute* dibawahnya sehingga membuat kondisi kecepatan aliran tidak meningkat namun mengalami penurunan. Sedangkan pada saat setelah melewati saluran peluncur, kondisi kecepatan aliran mengalami penurunan akibat telah melewati bangunan *baffled chute* pada saluran peluncur serta dengan adanya bangunan setelah peredam energi akhir membuat aliran lebih tenang sebelum melewati bangunan setelahnya.

Untuk penggunaan tipe peredam energi, baik peredam energi USBR tipe I maupun tipe II, tidak begitu banyak mempengaruhi perbedaan yang terjadi pada peredam energi akhir karena kondisi kecepatan aliran di peredam energi akhir lebih banyak terpengaruh akibat bangunan *baffled chute* sebelumnya serta bangunan setelahnya.

Secara analitis terdapat perbedaan pada hasil kondisi kecepatan aliran karena perhitungan analitis tidak melihat variabel penggunaan bangunan *baffled chute*, sehingga membuat hasil perhitungan analitis lebih mendekati hasil uji coba *original design*.

4.7.3 Perhitungan Kesalahan Relatif

Setelah ditinjau secara analitis maka bisa diketahui seberapa besar kesalahan relatif atau ketidaksesuaian antara hasil analitis dengan hasil penelitian. Dengan asumsi bahwa hasil penelitian lebih cenderung mendekati kondisi *prototype* maka kesalahan kemungkinan besar terjadi pada perhitungan analitis, yang mana perhitungannya sebagai berikut:

Pada kondisi debit Q_{2th} , diketahui:

El. TMA (pengukuran) *section 0* = + 144,46

El. TMA (analitis) *section 0* = + 144,16

El. Dasar saluran *section 0* = + 143,00

Penyelesaian:

H air (pengukuran) *section 0* = + 144,46 - +143,00
= 1,46 m

$$\begin{aligned}
 H \text{ air (analitis) section 0} &= +144,16 - +143,00 \\
 &= 1,16 \text{ m}
 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 \text{Maka, } KR &= \frac{\text{Absolut}(H \text{ analitis} - H \text{ pengukuran})}{H \text{ analitis}} \times 100\% \\
 &= \frac{\text{Absolut}(1,16 - 1,46)}{1,16} \times 100\% \\
 &= 26,01\%
 \end{aligned}$$

Perhitungan untuk debit selanjutnya dapat dilihat pada tabel 4.92 – 4.96 berikut ini:

Tabel 4.92

Perhitungan Kesalahan Relatif Tinggi Muka Air Untuk Q_{2th}

Keterangan	No. Sec.	Elevasi Dasar	Elevasi Muka Air		Tinggi Muka Air (m)		KR (%)
			Original Design	Analitis	Original Design	Analitis	
Apron atas	IV	140.00	144.78	144.65	4.78	4.65	2.78
	III	140.00	144.81	144.65	4.81	4.65	3.47
	II	140.00	144.80	144.65	4.80	4.65	3.24
	I	140.00	144.76	144.65	4.76	4.65	2.31
Pelimpah	0	143.00	144.46	144.16	1.46	1.16	26.01
	1	142.47	142.85				
Peredam Energi I	2	133.70	136.50	133.97	2.80	0.27	930.52
	3	133.00	136.44				
	4	133.00	137.24				
	5	134.00	137.28	137.26	3.28	3.26	0.56
Saluran Transisi	6	133.00	137.28	137.10	4.28	4.10	4.32
	7	133.00	137.28	137.10	4.28	4.10	4.31
Peluncur	8	135.00	136.87	136.52	1.87	1.53	22.71
	9	133.35	133.84	134.15	0.48	0.80	39.06
	10	128.63	128.79	129.13	0.16	0.51	68.27
	11	119.01	119.18	119.35	0.17	0.35	50.03
	12	114.04	114.55	114.37	0.51	0.33	57.30
	13	106.60	112.54	106.90	5.94	0.30	1891.41
Peredam Energi II	14	106.00	112.60				
	15	106.00	113.38				
	16	106.00	113.54				
	17	106.60	113.61	111.31	7.01	4.71	48.66
Escape Channel	18	111.00	113.20				
	19	111.00	113.23				
	20	111.00	112.28				

Sumber: Hasil Perhitungan (2017).

Tabel 4.93

Perhitungan Kesalahan Relatif Tinggi Muka Air Untuk Q_{25th}

Keterangan	No. Sec.	Elevasi Dasar	Elevasi Muka Air		Tinggi Muka Air (m)		KR (%)
			Original Design	Analitis	Original Design	Analitis	
Apron atas	IV	140.00	145.49	145.32	5.49	5.32	3.21
	III	140.00	145.45	145.32	5.45	5.32	2.38
	II	140.00	145.45	145.32	5.45	5.32	2.37
	I	140.00	145.41	145.32	5.41	5.32	1.55
Pelimpah	0	143.00	145.06	144.65	2.06	1.65	24.53
	1	142.47	143.82				
Peredam Energi I	2	133.70	136.74	134.15	3.04	0.45	571.50
	3	133.00	136.61				
	4	133.00	137.74				
	5	134.00	138.13	138.25	4.13	4.25	2.94
Saluran Transisi	6	133.00	138.06	137.95	5.06	4.95	2.32
	7	133.00	137.97	137.95	4.97	4.95	0.55
Peluncur	8	135.00	137.58	137.17	2.59	2.17	19.18
	9	133.35	134.55	134.59	1.20	1.24	2.88
	10	128.63	129.07	129.44	0.44	0.81	45.58
	11	119.01	119.38	119.57	0.38	0.56	32.66
	12	114.04	114.64	114.56	0.60	0.52	15.84
	13	106.60	112.65	107.06	6.05	0.46	1200.43
Peredam Energi II	14	106.00	112.86				
	15	106.00	114.27				
	16	106.00	114.60				
	17	106.60	114.57	112.99	7.97	6.39	24.83
Escape Channel	18	111.00	114.21				
	19	111.00	113.92				
	20	111.00	112.91				

Sumber: Hasil Perhitungan (2017).

Tabel 4.94

Perhitungan Kesalahan Relatif Tinggi Muka Air Untuk Q_{100th}

Keterangan	No. Sec.	Elevasi Dasar	Elevasi Muka Air		Tinggi Muka Air (m)		KR (%)
			Original Design	Analitis	Original Design	Analitis	
Apron atas	IV	140.00	145.86	145.68	5.86	5.68	3.08
	III	140.00	145.82	145.69	5.82	5.69	2.30
	II	140.00	145.81	145.69	5.81	5.69	2.09
	I	140.00	145.58	145.69	5.58	5.69	1.90
Pelimpah	0	143.00	145.20	144.92	2.20	1.92	14.38
	1	142.47	143.40				
Peredam Energi I	2	133.70	136.99	134.26	3.29	0.56	485.22
	3	133.00	136.73				
	4	133.00	137.91				
	5	134.00	138.52	138.76	4.52	4.76	5.12
Saluran Transisi	6	133.00	138.47	138.40	5.47	5.40	1.38
	7	133.00	138.45	138.40	5.45	5.40	0.96
Peluncur	8	135.00	137.76	137.52	2.76	2.52	9.38
	9	133.35	134.90	134.84	1.55	1.49	3.93
	10	128.63	129.25	129.62	0.63	1.00	36.97
	11	119.01	119.49	119.70	0.49	0.69	29.74
	12	114.04	114.69	114.67	0.65	0.63	3.08
	13	106.60	113.00	107.17	6.40	0.57	1029.41
Peredam Energi II	14	106.00	112.37				
	15	106.00	114.40				
	16	106.00	114.44				
	17	106.60	114.97	113.84	8.37	7.24	15.75
Escape Channel	18	111.00	114.65				
	19	111.00	114.44				
	20	111.00	113.32				

Sumber: Hasil Perhitungan (2017).

Tabel 4.95

Perhitungan Kesalahan Relatif Tinggi Muka Air Untuk Q_{1000th}

Keterangan	No. Sec.	Elevasi Dasar	Elevasi Muka Air		Tinggi Muka Air (m)		KR (%)
			Original Design	Analitis	Original Design	Analitis	
Apron atas	IV	140.00	146.36	146.34	6.36	6.34	0.31
	III	140.00	146.29	146.34	6.29	6.34	0.73
	II	140.00	146.29	146.34	6.29	6.34	0.75
	I	140.00	146.23	146.34	6.23	6.34	1.78
Pelimpah	0	143.00	145.60	145.42	2.60	2.41	7.67
	1	142.47	143.80				
Peredam Energi I	2	133.70	137.00	134.48	3.30	0.78	324.12
	3	133.00	136.85				
	4	133.00	138.19				
	5	134.00	139.12	139.64	5.12	5.64	9.23
Saluran Transisi	6	133.00	139.04	139.21	6.04	6.21	2.81
	7	133.00	139.00	139.21	6.00	6.21	3.35
Peluncur	8	135.00	138.27	138.16	3.27	3.17	3.19
	9	133.35	135.42	135.32	2.07	1.97	5.14
	10	128.63	129.59	129.97	0.96	1.35	28.43
	11	119.01	119.64	119.96	0.64	0.95	32.81
	12	114.04	114.92	114.90	0.88	0.86	1.89
	13	106.60	111.84	107.37	5.24	0.77	581.05
	14	106.00	111.92				
Peredam Energi II	15	106.00	113.97				
	16	106.00	114.25				
	17	106.60	114.94	115.30	8.34	8.70	4.08
	18	111.00	115.27				
Escape Channel	19	111.00	114.95				
	20	111.00	113.69				

Sumber: Hasil Perhitungan (2017).

Tabel 4.96

Perhitungan Kesalahan Relatif Tinggi Muka Air Untuk Q_{PMF}

Keterangan	No. Sec.	Elevasi Dasar	Elevasi Muka Air		Tinggi Muka Air (m)		KR (%)
			Original Design	Analitis	Original Design	Analitis	
Apron atas	IV	140.00	147.07	147.18	7.07	7.18	1.50
	III	140.00	146.99	147.18	6.99	7.18	2.72
	II	140.00	146.98	147.18	6.98	7.18	2.89
	I	140.00	146.92	147.18	6.92	7.18	3.65
Pelimpah	0	143.00	146.19	146.06	3.18	3.06	4.09
	1	142.47	143.87				
Peredam Energi I	2	133.70	137.06	134.79	3.36	1.09	209.14
	3	133.00	137.06				
	4	133.00	138.82				
	5	134.00	140.00	140.73	6.00	6.73	10.91
Saluran Transisi	6	133.00	139.79	140.25	6.79	7.25	6.33
	7	133.00	139.66	140.25	6.66	7.25	8.14
Peluncur	8	135.00	139.12	139.01	4.13	4.01	2.79
	9	133.35	136.28	135.97	2.93	2.62	12.17
	10	128.63	129.87	130.46	1.25	1.84	32.21
	11	119.01	120.23	120.32	1.22	1.32	7.16
	12	114.04	115.46	115.24	1.42	1.20	18.93
	13	106.60	110.83	107.66	4.23	1.06	297.18
	14	106.00	111.17				
Peredam Energi II	15	106.00	114.23				
	16	106.00	114.60				
	17	106.60	114.81	117.09	8.21	10.49	21.72
	18	111.00	115.44				
Escape Channel	19	111.00	115.35				
	20	111.00	114.47				

Sumber: Hasil Perhitungan (2017).



Halaman ini sengaja dikosongkan

BAB V

KESIMPULAN

5.1 Kesimpulan

Berdasarkan hasil dan pembahasan pada model tes *Baffled Chute* Bendungan Riam Kiwa dengan skala 1:65 yang dilakukan sesuai dengan rumusan masalah pada penelitian ini, maka dapat disimpulkan beberapa hal sebagai berikut:

1. Perencanaan *baffled chute* dilakukan dalam 2 kondisi yakni dengan tinggi 3 meter dan 2 meter.
 - a. Untuk perencanaan *baffled chute* dengan tinggi 3 meter dilakukan dengan pendekatan syarat bangunan, hal ini dilakukan karena pada analisa perhitungan diketahui bahwa nilai q (debit per satuan lebar), berada diluar kurva syarat bangunan yang direkomendasikan. Sehingga dilakukan metode pendekatan dengan melihat tinggi dinding penahan samping yang memiliki syarat $3H$, yang mana dinding penahan diketahui memiliki tinggi 9 meter, sehingga didapat tinggi *baffled chute* sebesar 3 meter.
 - b. Untuk perencanaan *baffled chute* dengan tinggi 2 meter dilakukan dengan menganalisa perhitungan secara analitis dengan rumus syarat minimal yang direkomendasikan, yang mana melihat dari hasil kedalaman kritis (D_c) dan kecepatan kritis (V_c), sehingga didapat tinggi *baffled chute* sebesar 2 meter.
2. Sistem utilitas dan kondisi aliran pada pelimpah sampai peredam energi yang terjadi adalah sebagai berikut:
 - a. Saluran Pelimpah

Bangunan pada saluran pelimpah mampu mengalirkan debit banjir mulai Q_{2th} sampai dengan Q_{PMF} dengan aman dan tidak terjadi kavitasi. Penempatan posisi puncak ambang pelimpah pada El. +143,00 dan puncak bendungan pada El. +153,00 mampu mengalirkan debit sampai dengan Q_{PMF} .
 - b. Saluran Transisi

Bangunan pada saluran transisi mampu mengalirkan debit banjir mulai Q_{2th} sampai dengan Q_{PMF} dengan aman dan tidak terjadi kavitasi. Terjadi kenaikan tinggi muka air pada saluran transisi ketika pengujian menggunakan bangunan *baffled chute*,

yang mana diakibatkan oleh adanya backwater ketika aliran menghantam bagian awal susunan *baffled chute*

c. Saluran Peluncur

Bangunan pada saluran peluncur mampu mengalirkan debit banjir mulai Q_{2th} sampai dengan Q_{PMF} dengan aman dan tidak terjadi kavitasi. Pada saat pengujian menggunakan bangunan *baffled chute*, terjadi loncatan air yang cukup tinggi ketika aliran menghantam bangunan sehingga membuat tinggi muka air pada saluran ini lebih tinggi dari seharusnya. Namun kondisi tersebut masih bisa ditampung oleh dinding penahan samping yang telah ada.

d. Peredam Energi

Bangunan pada peredam energi mampu mengalirkan debit banjir mulai Q_{2th} sampai dengan Q_{PMF} dengan aman dan tidak terjadi kavitasi. Pada saat pengujian menggunakan *baffled chute* pada saluran peluncur, dilakukan kombinasi dengan peredam energi USBR II dan USBR I. Pada kedua kombinasi ini terlihat bahwa kecenderungan kondisi tinggi muka air mempengaruhi kecepatan alirannya, yang mana kemungkinan ini terjadi salah satunya karena pengaruh adanya bangunan *negative step* 1:5 setelah bangunan peredam energi.

e. Saluran Pengarah Hilir

Bangunan pada saluran pengarah hilir mampu mengalirkan debit banjir mulai Q_{2th} sampai dengan Q_{PMF} dengan aman dan tidak terjadi kavitasi. Pada saat pengujian menggunakan *baffled chute* yang dikombinasikan dengan USBR II dan USBR I, pada *section* yang terukur terlihat bahwa kondisi tinggi muka air semakin turun namun mengakibatkan kondisi kecepatan aliran menjadi semakin cepat. Namun karena pengujian tidak memasukan seluruh bagian dari saluran pengarah hilir maka hasil yang didapat tidak bisa dijadikan tolak ukur secara keseluruhan dan hanya bisa dianggap sebagai perkiraan tentang kondisi aliran yang akan terjadi.

3. Melihat hasil uji model tes yang telah dilakukan maka diketahui bahwa besar kecepatan yang terjadi pada bangunan peredam energi dan saluran pengarah hilir telah menurun dibandingkan dengan *original design*. Disimpulkan bahwa bangunan *baffled chute* telah meredam aliran lebih efektif sehingga memungkinkan lebih sedikit terjadinya penggerusan lokal yang terjadi pada bangunan hilir pelimpah. Namun dengan berkurangnya kecepatan aliran yang terjadi membuat kondisi tinggi muka air sedikit lebih tinggi dari sebelumnya. Akan tetapi hal ini masih bisa ditoleransi, karena kondisi aliran masih bisa ditampung dengan tinggi dinding penahan samping yang

telah ada. Dilihat juga bahwa uji model tes seri IV merupakan seri yang menunjukkan hasil lebih baik dari seri-seri yang lainnya. Hal ini dikarenakan terlihat bahwa pada seri IV, kondisi aliran ditinjau dari tinggi muka air dan loncatan air yang terjadi di saluran peluncur ketika bangunan *baffled chute* digunakan masih bisa ditahan oleh dinding penahan samping dan ketika ditinjau dari kecepatan diketahui bahwa besar kecepatan aliran yang terjadi sebagian besar masih lebih rendah dari uji model seri-seri yang lainnya sehingga dengan kecepatan yang rendah maka kemungkinan penggerusan yang terjadi pada hilir sistem pelimpah lebih sedikit terjadi dan sistem pelimpah menjadi lebih efektif.

5.2 Saran

Berdasarkan perhitungan analitik dan uji model yang dilakukan, maka disarankan pendekatan hidrolika sebaiknya mengacu pada uji model karena teori yang ada belum tentu bisa sesuai dengan kondisi di lapangan.

Sehubungan dengan hasil uji model fisik di lapangan, disarankan pada bangunan dinding penahan samping bisa sedikit ditambah ketinggiannya sekitar 1 sampai 2 meter ketika di saluran peluncur dan peredam energi, jika memang ingin menggunakan desain bangunan *baffled chute*. Namun jika tidak maka disarankan untuk memperlebar atau memperpanjang peredam energi yang sudah ada sehingga kondisi aliran bisa lebih tenang dan penggerusan pada bagian hilir bangunan bisa lebih sedikit terjadi.

Sedangkan saran yang dapat diberikan untuk laboratorium perlu dilakukan kalibrasi secara berkala sehingga bisa mendapatkan data yang lebih akurat.



Halaman ini sengaja dikosongkan

DAFTAR PUSTAKA

- Chow, Ven Te. (1992). *Open Channel Hydraulic*. Terjemahan E. V. Nensi Rosalina. Jakarta: Erlangga.
- De Vries, M. (1987). *Scalling Model Hydraulic*. Netherland: IHE Published.
- Departemen Pekerjaan Umum. (1999). *Panduan Perencanaan Bendungan Urugan Volume IV (Desain Bangunan Pelengkap)*. Jakarta: Departemen Pekerjaan Umum.
- Laboratorium Hidraulika Terapan. (2016). *Laporan Akhir Model Tes Bendungan Riam Kiwa*. Penelitian. Malang: Laboratorium Hidraulika Terapan Universitas Brawijaya.
- Novak. (1984). *Hydraulic Engineering 2*. England: Elsevier Applied Science Publisher LTD.
- Peterka, A. J. (1978). *Hydraulic Design of Stilling Basins and Energy Dissipators*. United States Department of The Interior: Bureau of Reclamation.
- Priyantoro, Dwi. (1987). *Teknik Pengangkutan Sedimen*. Malang: Himpunan Mahasiswa Pengairan Fakultas Teknik Universitas Brawijaya.
- Raju, K.G. Ranga. (1986). *Flow through Open Channel*. Terjemahan Yan Piter Pangaribuan. Jakarta: Erlangga.
- Sosrodarsono, Suyono dan Tekeda, Kensaku. (2002). *Bendungan Type Urugan*. Jakarta: Erlangga.
- Subramanya, K. (1986). *Flow in Open Channels*. New Delhi: Tata McGraw-Hill Publishing Company Limited.
- Triatmojo, Bambang. (1996). *Hidrolika II*. Yogyakarta: Beta Offset.
- United States Department of The Interior: Bureau of Reclamation. (1973). *Design of Small Dams*. Oxford & IBH Publishing CO. New Delhi Bombay Calcutta.
- Yuwono, Nur. (1994). *Perencanaan Model Hidraulik (Hydraulic Modelling)*. Yogyakarta: Laboratorium Hidraulik dan Hidrologi Universitas Gajah Mada.



Halaman ini sengaja dikosongkan.