



TESIS – RC 142501

**STUDI EFEKTIVITAS POLA PEMASANGAN BAFFLED
BLOCK PADA PEREDAM ENERGI DALAM MEREDUKSI
ENERGI ALIRAN**

DESYTA ULFIANA
3116205003

DOSEN PEMBIMBING
Prof. Dr. Ir. Nadjadji Anwar, M.Sc.
Dr. Ir. WASIS WARDOYO, M.Sc.

**PROGRAM MAGISTER
BIDANG KEAHLIAN MANAJEMEN DAN REKAYASA SUMBER AIR
DEPARTEMEN TEKNIK SIPIL
FAKULTAS TEKNIK SIPIL, LINGKUNGAN DAN KEBUMIHAN
INSTITUT TEKNOLOGI SEPULUH NOPEMBER
SURABAYA
2018**



TESIS - RC 142501

STUDI EFEKTIVITAS POLA PEMASANGAN BAFFLED BLOCK PADA PEREDAM ENERGI DALAM MEREDUKSI ENERGI ALIRAN

DESYTA ULFIANA
NRP. 3116205003

DOSEN PEMBIMBING
Prof. Dr. Ir. Nadjadji Anwar, M.Sc.
Dr.Ir. Wasis Wardoyo, M.Sc.

PROGRAM MAGISTER
BIDANG KEAHLIAN MANAJEMEN DAN REKAYASA SUMBER AIR
DEPARTEMEN TEKNIK SIPIL
FAKULTAS TEKNIK SIPIL, LINGKUNGAN DAN KEBUMIHAN
INSTITUT TEKNOLOGI SEPULUH NOPEMBER
SURABAYA
2018



TESIS - RC 142501

STUDY THE EFFECTIVENESS OF BAFFLED BLOCK INSTALLATION PATTERN IN ENERGY DISSIPATOR FOR REDUCE FLOW ENERGY

DESYTA ULFIANA
NRP. 3116205003

SUPERVISOR
Prof. Dr. Ir. Nadjadji Anwar, M.Sc.
Dr.Ir. Wasis Wardoyo, M.Sc.

MAGISTER PROGRAM
WATER RESOURCES ENGINEERING AND MANAGEMENT
DEPARTMENT OF CIVIL ENGINEERING
FACULTY OF CIVIL, ENVIROMENTAL AND GEO ENGINEERING
INSTITUT TEKNOLOGI SEPULUH NOPEMBER
SURABAYA
2018

Tesis disusun untuk memenuhi salah satu syarat memperoleh gelar
Magister Teknik (MT)
Di
Institut Teknologi Sepuluh Nopember

Oleh
Desyta Ulfiana
NRP. 3116205003


Tanggal Ujian : 04 Januari 2018
Periode Wisuda : Maret 2018

Disetujui oleh :

1. Prof. Dr.Ir. Nadijadi Anwar, M.Sc
NIP. 19540113 198010 1 001


(Pembimbing)

2. Dr. Ir. Wasis Wardoyo, M.Sc.
NIP. 19610927 198701 1 001


(Pembimbing)

3. Dr. Techn. Umboro Lasmino, ST, M.Sc
NIP. 19721202 199802 1 001




(Penguji)

4. Dr. Ir. Edijatno, CES, DEA
NIP. 19520311 198003 1 003


(Penguji)



Dekan Fakultas Teknik Sipil, Lingkungan dan Kebumihan,


IDAA Warmadewanthi ST., MT., PhD.
NIP. 19750212 199903 2001

Halaman ini sengaja dikosongkan

STUDI EFEKTIVITAS POLA PEMASANGAN *BAFFLED BLOCK* PADA PEREDAM ENERGI DALAM MEREDUKSI ENERGI ALIRAN

Nama Mahasiswa : Desyta Ulfiana
Nrp : 3116 205 003
Pembimbing : Prof. Dr. Ir. Nadjadji Anwar M.Sc
Co-Supervisor : Dr. Ir. Wasis Wardoyo, M.Sc

ABSTRAK

Peredam energi berfungsi untuk menstabilkan aliran air sehingga tidak terjadi gerusan yang membahayakan geometri sungai hilir yaitu pada bagian dasar dan tebing sungai. Fenomena perubahan kondisi pengaliran dari super kritis menjadi sub kritis yang menyebabkan terjadinya loncatan hidraulik (*hydraulic jump*) digunakan oleh peredam energi untuk mereduksi energi aliran. Tipe peredam energi yang paling sering digunakan adalah kolam olak yang dilengkapi dengan *baffled block*. *Baffled block* berfungsi untuk menimbulkan locatan hidraulik dan mereduksi kecepatan aliran.

Keefektifan fungsi kolam olak dengan *baffled block* ini dalam menstabilkan air masih kurang. Hal ini dibuktikan dengan masih banyak terjadi peristiwa gerusan pada tebing dan dasar sungai hilir bendung atau bendungan. Berdasarkan fungsi *baffled block* yang signifikan tersebut, maka dilakukan penelitian tentang pola pemasangan *baffled block* di kolam olak.

Pada penelitian ini, dimodelkan 4 variasi pola pemasangan *baffled block* dengan lima variasi debit. Variasi dilakukan dengan mengubah jarak longitudinal dan lateral *baffled block*. Penelitian dilakukan dengan melakukan analisa parameter hidraulik aliran, yaitu kecepatan aliran, bilangan Froude dan kehilangan energi relatif aliran pada hilir peredam energi. Berdasarkan hasil analisa, model 1 memiliki kecepatan rata-rata aliran 1,85% lebih kecil dari model seri 0 atau model asli USBR tipe III. Sedangkan model 2 dan 3 masing-masing memiliki kecepatan rata-rata aliran 1,20% dan 3,01% lebih besar dari model 0. Berdasarkan analisa juga didapatkan, model 1 memiliki bilangan Froude dengan nilai 0,52% lebih kecil dari model seri 0. Sedangkan model 2 dan 3 masing-masing memiliki bilangan Froude dengan nilai 0,34% dan 1,36% lebih besar dari model 0. Berdasarkan hasil analisa kehilangan energi relatif aliran didapatkan model seri 1 memiliki nilai kehilangan energi relatif dengan nilai 0,52% lebih besar dari model seri 0. Sedangkan model 2 dan 3 masing-masing memiliki nilai kehilangan energi relatif dengan nilai 0,41% dan 0,99% lebih kecil dari model 0. Berdasarkan hasil pengamatan juga didapatkan empat model seri kolam olak pada penelitian ini tidak bekerja secara efektif dalam meredam energi aliran pada TW depth kurang dari 0,8 D_2 . Berdasarkan hasil tersebut, maka pola pemasangan *baffled block* dengan jarak antar *baffled block* disesuaikan sehingga letaknya berada diantara *chute block* (model 1) memiliki

kemampuan menstabilkan aliran lebih baik dibandingkan model kolam olak USBR tipe III.

Kata Kunci : *baffled block*, peredam energi, kolam olak, loncatan hidraulik

STUDY THE EFFECTIVENESS OF BAFFLED BLOCK INSTALLATION PATTERN IN ENERGY DISSIPATOR FOR REDUCE FLOW ENERGY

Student's Name : Desyta Ulfiana
Registration Number : 3116 205 003
Supervisor : Prof. Dr. Ir. Nadjadji Anwar M.Sc
Co-Supervisor : Dr. Ir. Wasis Wardoyo, M.Sc

ABSTRACT

Energy dissipator serves to stabilize the flow of water so that no scouring happens. Scouring can endanger the geometry of downstream river that is at the riverbed and river bank. The changing of stream conditions from supercritical conditions to subcritical conditions causes a hydraulic jump that is used by energy dissipator to reduce the flow energy. Type of energy dissipator which is frequently used is stilling basin that equipped with baffled blocks. Baffled blocks serve to generate hydraulic jump and reduce the flow velocity.

The effectiveness of this stilling basin in stabilizing the flow water is lacking. This is proved by many incident which scouring still occur on downstream riverbed and riverbank of the weir, even it has this stilling basin. Based on the problem above, then the research about the installation of baffled block pattern has been done.

In this research, four variations of baffled block installation pattern has been modeled with five variations of discharge. Variation has done by changing the longitudinal and lateral distance of baffled block. The study was conducted by analyzing the hydraulic flow parameters, that is flow velocity, Froude number and relative energy loss on the downstream of energy dissipator. Based on the analysis results, model 1 has an average flow velocity of 1,85% smaller than the model series 0 or the original model of USBR type III. While model 2 and 3 have average flow velocity of 1,20% and 3,01% greater than model 0. Based on the analysis also obtained, model 1 has Froude number with value 0,52% is smaller than the model series 0. While, models 2 and 3 each have Froude number with values of 0.34% and 1,36% greater than model 0. Based on the results of the relative energy loss analysis, model 1 has a relative loss energy value of 0,52% larger than model series 0. Models 2 and 3 each have relative loss energy values of 0,41% and 0,99% smaller than model 0. Based on the observations also obtained that all four stilling basin model in this research does not work effectively in reducing the flow energy at TW depth less than $0.8 D_2$. Based on these results, the pattern of baffled block installation with the distance between baffled blocks was adjusted so that is located between chute block (model 1) has the ability to stabilize the flow more effective than the model USBR type III.

Keywords : baffled block, energy dissipator, installation pattern, hydraulic jump

Halaman ini sengaja dikosongkan

KATA PENGANTAR

Puji syukur penulis panjatkan kehadirat Allah SWT karena rahmat dan kesempatan yang telah dilimpahkan, penulis dapat menyelesaikan tesis yang berjudul “Studi Efektivitas Pola Pemasangan *Baffled Block* pada Peredam Energi dalam Mereduksi Energi Aliran”. Tesis ini disusun untuk memenuhi persyaratan dalam menyelesaikan Program Pascasarjana Teknik Sipil di Institut Teknologi Sepuluh Nopember Surabaya. Tesis ini tidak dapat tersusun dengan baik tanpa bimbingan, bantuan dan dukungan dari banyak pihak yang diberikan kepada penulis. Oleh karena itu, dalam kesempatan ini penulis bermaksud mengucapkan terima kasih kepada pihak-pihak yang mendukung dan membantu penulis menyelesaikan tesis ini, yaitu:

1. Orang tua, kakak, adik, kakek, dan keponakan penulis yang selalu memberikan dukungan, motivasi serta doa yang tidak pernah putus kepada penulis
2. Bapak Prof. Dr. Ir. Nadjadji Anwar, M.Sc selaku dosen pembimbing dan dosen wali yang telah memberikan arahan dan serta bimbingannya dalam proses penyusunan tesis ini
3. Bapak Dr. Ir. Wasis Wardoyo, M.Sc selaku dosen pembimbing yang telah memberikan arahan dan serta bimbingannya dalam proses penyusunan tesis ini serta memberikan motivasi kepada penulis
4. Bapak Dr. techn. Umboro Lasminto, ST., M.Sc selaku dosen penguji yang telah memberikan saran yang bermanfaat bagi penulis dalam menyempurnakan tesis ini
5. Bapak Dr. Ir. Edijatno, CES., DEA selaku dosen penguji dalam ujian tesis yang telah memberikan saran-saran yang untuk penyempurnaan tesis ini dan memberikan info-info yang sangat bermanfaat bagi penulis
6. Kepada seluruh dosen pengajar, Koordinator Pascasarjana Jurusan Teknik Sipil, Ketua Jurusan Teknik Sipil serta karyawan Pascasarjana Teknik

Sipil yang telah membantu penulis dalam segala urusan administrasi selama menempuh kuliah di ITS

7. Teman-teman MRSA angkatan 2016 tercinta dan terkompak: Mbak Jasmine, Mas Hendra dan Mbak Nurul, atas semua cerita, dukungan, motivasi, kenangan, dan doa selama 1,5 tahun bersama. Semoga kita semua sukses di jalan masing-masing
8. Sahabat-sahabat penulis: Randra, Puput, Ayin, Satya dan Bochil yang selalu menemani dan memberikan dukungan dan doa kepada penulis disaat penulis mengalami masa sulit ketika mengerjakan tesis ini
9. Seluruh pihak yang membantu penulis dalam menyelesaikan tesis ini

Dalam penyusunan tesis ini, penulis menyadari bahwa tesis ini masih jauh dari kesempurnaan, maka kritik dan saran sangat penulis harapkan untuk perbaikan dimasa datang. Penulis berharap agar tesis ini dapat berguna bagi agama dan negara. Amin.

Surabaya, Januari 2018

Desyta Ulfiana

NRP. 3116205003

DAFTAR ISI

HALAMAN JUDUL	
LEMBAR PENGESAHAN	i
ABSTRAK	iii
ABSTRACT	v
KATA PENGANTAR	vii
DAFTAR ISI	ix
DAFTAR TABEL	xiii
DAFTAR GAMBAR	xv
BAB 1 PENDAHULUAN	1
1.1. Latar Belakang	1
1.2. Rumusan Masalah	3
1.3. Tujuan Penelitian	4
1.4. Manfaat Penelitian	4
1.5. Batasan Masalah.....	5
BAB 2 TINJAUAN PUSTAKA	7
2.1. State of the Art	7
2.2. Peredam Energi	8
2.3. Kolam Olak USBR Tipe III	9
2.3.1. Panjang kolam olak	9
2.3.2. Dimensi <i>chute block</i> , <i>baffled block</i> dan <i>endsill</i>	11
2.4. <i>Baffled Block</i>	12
2.5. Saluran Peluncur	13
2.6. <i>Tail Water Depth (TW Depth)</i>	15
2.7. Energi Spesifik	17
2.8. Loncatan Hidraulik.....	17
2.9. Kehilangan Energi dan Efektivitas Peredam Energi	19
2.10. Bilangan Froude	20
2.11. Pipa Pitot	21

2.12.	Alat Ukur Thompson	23
BAB 3	METODOLOGI.....	25
3.1.	Fasilitas Penelitian	25
3.2.	Rancangan Penelitian.....	27
3.2.1.	Survei pendahuluan dan studi literatur	29
3.2.2.	Analisa desain peredam energi	29
3.2.2.1.	Analisa variasi debit	29
3.2.2.2.	Perhitungan dimensi chute block, baffled block, endsill dan panjang kolam olak	29
3.2.3.	Perancangan pemodelan	30
3.2.4.	<i>Running</i> model.....	32
3.2.5.	Kalibrasi.....	32
3.2.6 .	Analisa dan pembahasan.....	33
3.2.7.	Kesimpulan dan saran.....	33
BAB 4	HASIL DAN PEMBAHASAN.....	35
4.1.	Analisa Desain Peredam Energi	35
4.1.1.	Analisa Variasi Debit.....	35
4.1.2.	Perhitungan dimensi <i>chute block, baffled block, endsill</i> , dan panjang kolam olak.....	37
4.2.	Perancangan pemodelan	45
4.3.	Perhitungan Tail Water Depth (TW Depth)	49
4.4.	Pengukuran dan Pengamatan	51
4.5.	Kalibrasi Data	52
4.6.	Analisa Data Hasil Pengukuran	55
4.6.1.	Penentuan Titik Pengamatan yang Akan Dianalisa.....	55
4.6.2.	Analisa Data Hasil Pengukuran Hulu Kolam Olak	59
4.6.3.	Analisa Data Hasil Pengukuran Hilir Kolam Olak.....	59
4.7.	Analisa Parameter Hidraulik Kolam Olak	81
4.7.1.	Analisa kecepatan aliran dengan berbagai variasi debit	81
4.7.2.	Analisa bilangan Froude hilir dengan berbagai variasi debit	84

4.7.3.	Analisa kehilangan energi relatif aliran dengan berbagai variasi debit.....	87
4.7.4.	Analisa loncatan hidraulik dengan variasi debit	92
4.8.	Analisa Efektivitas Baffled Block untuk Tiap Variasi Model	96
4.9.	Kendala Penelitian	99
BAB 5	KESIMPULAN.....	103
5.1.	Kesimpulan Penelitian	103
5.2.	Saran Penelitian.....	105
	DAFTAR PUSTAKA	107
	LAMPIRAN.....	109
	LAMPIRAN A (Hasil Pengukuran Kecepatan dan Tinggi Muka Air)	
	LAMPIRAN B (Foto Hasil Pengamatan Penelitian)	
	LAMPIRAN C (Tabel Perbandingan Parameter Hidraulik)	
	LEMBAR ASISTENSI	
	BIOGRAFI PENULIS	

(Halaman ini sengaja dikosongkan)

DAFTAR TABEL

2.1.	Klasifikasi Jenis Loncatan Hidraulik	18
4.1.	Variasi Debit Model	36
4.2.	Perhitungan Parameter Hidrolika di Saluran Peluncur untuk Debit Q_3	38
4.3.	Perhitungan D_1 untuk debit Q_1	49
4.4.	Perhitungan D_1 untuk debit Q_2	49
4.5.	Perhitungan D_1 untuk debit Q_4	50
4.6.	Perhitungan D_1 untuk debit Q_5	50
4.7.	Perhitungan <i>Tail Water Depth</i>	50
4.8.	Perhitungan Kalibrasi Alat Ukur Pitot	53
4.9.	Hasil Perhitungan Parameter Hidraulik Hulu Kolam Olak	59
4.10.	Hasil Perhitungan Parameter Hidraulik Hilir Kolam Olak Model Seri 0 untuk $TW\ depth = 1,0\ D_2$	60
4.11.	Hasil Perhitungan Parameter Hidraulik Hilir Kolam Olak Model Seri 0 untuk $TW\ depth = 0,9\ D_2$	61
4.12.	Hasil Perhitungan Parameter Hidraulik Hilir Kolam Olak Model Seri 0 untuk $TW\ depth = 0,8\ D_2$	61
4.13.	Hasil Perhitungan Parameter Hidraulik Hilir Kolam Olak Model Seri 1 untuk $TW\ depth = 1,0\ D_2$	65
4.14.	Hasil Perhitungan Parameter Hidraulik Hilir Kolam Olak Model Seri 1 untuk $TW\ depth = 0,9\ D_2$	66
4.15.	Hasil Perhitungan Parameter Hidraulik Hilir Kolam Olak Model Seri 1 untuk $TW\ depth = 0,8\ D_2$	66
4.16.	Hasil Perhitungan Parameter Hidraulik Hilir Kolam Olak Model Seri 2 untuk $TW\ depth = 1,0\ D_2$	71
4.17.	Hasil Perhitungan Parameter Hidraulik Hilir Kolam Olak Model Seri 2 untuk $TW\ depth = 0,9\ D_2$	71
4.18.	Hasil Perhitungan Parameter Hidraulik Hilir Kolam Olak Model	

	Seri 2 untuk TW <i>depth</i> = 0,8 D ₂	72
4.19.	Hasil Perhitungan Parameter Hidraulik Hilir Kolam Olak Model Seri 3 untuk TW <i>depth</i> = 1,0 D ₂	76
4.20.	Hasil Perhitungan Parameter Hidraulik Hilir Kolam Olak Model Seri 3 untuk TW <i>depth</i> = 0,9 D ₂	76
4.21.	Hasil Perhitungan Parameter Hidraulik Hilir Kolam Olak Model Seri 3 untuk TW <i>depth</i> = 0,8 D ₂	77
4.22.	Perhitungan Kehilangan Energi Relatif untuk TW <i>depth</i> = 1,0 D ₂ ..	88
4.23.	Perhitungan Kehilangan Energi Relatif untuk TW <i>depth</i> = 0,9 D ₂ ..	89
4.24.	Perhitungan Kehilangan Energi Relatif untuk TW <i>depth</i> = 0,8 D ₂ ..	91

DAFTAR GAMBAR

1.1.	Kolam olak dengan Balok-Balok Peredam.....	1
1.2.	Kerusakan Kolam Olak di Bendung Kaligending.....	2
2.1.	Kolam Olak USBR Tipe III	10
2.2.	Grafik Panjang Kolam Olak Tipe USBR.....	10
2.3.	Grafik Tinggi <i>Baffled Block</i> dan <i>Endsill</i>	12
2.4.	Bentuk-bentuk <i>Baffled Block</i>	13
2.5.	Skema Tinggi Energi Aliran pada Saluran Peluncur	14
2.6.	<i>Tail Water Depth Minimum</i>	16
2.7.	Lengkung Energi Spesifik.....	17
2.8.	Loncatan Hidraulik.....	18
2.9.	Jenis Loncatan Berdasarkan Angka Froude	19
2.10.	Kehilangan Energi pada Loncatan Hidraulik.....	20
2.11.	Pipa Pitot	21
2.12.	Ilustrasi Pengukuran Menggunakan Tabung Pitot pada Saluran Peluncur.....	23
2.13	Alat Ukur Thompson	23
3.1.	<i>Flume</i> Model Penelitian	25
3.2.	Alat Ukur Thompson.....	26
3.3.	Alat Pengukur Kecepatan berupa Tabung Pitot	26
3.4.	Mistar Ukur	27
3.5.	Sekat Pintu Air	27
3.6.	Bagan Alir Penelitian	28
3.7.	Model Seri 0	30
3.8.	Model Seri 1	31
3.9.	Model Seri 2	31
3.10.	Model Seri 3	32
4.1.	Flume Penelitian.....	35
4.2.	Sketsa Perhitungan Angka Froude	37

4.3.	Penentuan Panjang Kolam Olak USBR Tipe III.....	39
4.4.	Dimensi Chute Block.....	40
4.5.	Penentuan Tinggi <i>Baffled Block</i>	41
4.6.	Dimensi <i>Baffled Block</i>	42
4.7.	Dimensi <i>Baffled Block</i> Modifikasi.....	43
4.8.	Penentuan Tinggi <i>Endsill</i>	44
4.9.	Dimensi <i>Endsill</i>	44
4.10.	Kolam Olak Model Seri 0 (a) Layout (b) Foto Pemasangan.....	45
4.11.	Kolam Olak Model Seri 1 (a) Layout (b) Foto Pemasangan.....	46
4.12.	Kolam Olak Model Seri 2 (a) Layout (b) Foto Pemasangan.....	47
4.13.	Kolam Olak Model Seri 3 (a) Layout (b) Foto Pemasangan.....	48
4.14.	Foto titik pengamatan dan pengukuran penelitian (a) bagian hulu saluran peluncur; (b) bagian saluran peluncur; (c) hilir kolam olak	51
4.15.	Profil Memanjang Titik-titik Pengukuran pada Flume.....	52
4.16.	Pengukuran menggunakan tabung pitot.....	52
4.17.	Sketsa titik pengukuran tabung pitot.....	53
4.18.	Grafik Kecepatan Aliran pada Hilir Kolam Olak pada TW <i>depth</i> = 1,0 D ₂	56
4.19.	Grafik Kecepatan Aliran pada Hilir Kolam Olak pada TW <i>depth</i> = 0,9 D ₂	56
4.20.	Grafik Kecepatan Aliran pada Hilir Kolam Olak pada TW <i>depth</i> = 0,8 D ₂	57
4.21.	Profil Muka Air di Hilir Kolam Olak Model 0.....	57
4.22.	Profil Muka Air di Hilir Kolam Olak Model 1.....	58
4.23.	Profil Muka Air di Hilir Kolam Olak Model 2.....	58
4.24.	Profil Muka Air di Hilir Kolam Olak Model 3.....	58
4.25.	Kondisi Loncatan Air pada Kolam Olak Model Seri 0 untuk TW <i>depth</i> = 0,7 D ₂ pada (a) Debit Q ₁ ; (b) Debit Q ₂ ; (c) Debit Q ₃ ; (d) Debit Q ₄ ; (e) Debit Q ₅	62
4.26.	Grafik Kecepatan Rata-Rata Hilir Kolam Model Seri 0.....	63

4.27.	Grafik Angka Froude Hilir Kolam Model Seri 0	64
4.28.	Grafik Energi Spesifik Hilir Kolam Model Seri 0.....	65
4.29.	Kondisi Loncatan Air pada Kolam Olak Model Seri 1 untuk TW <i>depth</i> = 0,7 D_2 pada (a) Debit Q_1 ; (b) Debit Q_2	67
4.30.	Grafik Kecepatan Rata-Rata Hilir Kolam Model Seri 1	68
4.31.	Grafik Angka Froude Hilir Kolam Model Seri 1	69
4.32.	Grafik Energi Spesifik Hilir Kolam Model Seri 1.....	70
4.33.	Kondisi Loncatan Air pada Kolam Olak Model Seri 2 untuk TW <i>depth</i> = 0,7 D_2 pada (a) Debit Q_1 ; (b) Debit Q_2	72
4.34.	Grafik Kecepatan Rata-Rata Hilir Kolam Model Seri 2	74
4.35.	Grafik Angka Froude Hilir Kolam Model Seri 2	74
4.36.	Grafik Energi Spesifik Hilir Kolam Model Seri 2.....	75
4.37.	Kondisi Loncatan Air pada Kolam Olak Model Seri 3 untuk TW <i>depth</i> = 0,7 D_2 pada (a) Debit Q_1 ; (b) Debit Q_2	77
4.38.	Grafik Kecepatan Rata-Rata Hilir Kolam Model Seri 3	79
4.39.	Grafik Angka Froude Hilir Kolam Model Seri 3	80
4.40.	Grafik Energi Spesifik Hilir Kolam Model Seri 3.....	80
4.41.	Grafik Kecepatan Rata-rata Hilir Kolam Olak dengan TW <i>depth</i> = 1,0 D_2	82
4.42.	Grafik Kecepatan Rata-rata Hilir Kolam Olak dengan TW <i>depth</i> = 0,9 D_2	83
4.43.	Grafik Kecepatan Rata-rata Hilir Kolam Olak dengan TW <i>depth</i> = 0,8 D_2	84
4.44.	Grafik Angka Froude Hilir Kolam Olak dengan TW <i>depth</i> = 1,0 D_2	85
4.45.	Grafik Angka Froude Hilir Kolam Olak dengan TW <i>depth</i> = 0,9 D_2	86
4.46.	Grafik Angka Froude Hilir Kolam Olak dengan TW <i>depth</i> = 0,8 D_2	87
4.47.	Grafik Kehilangan Energi Relatif dengan TW <i>depth</i> = 1,0 D_2	89
4.48.	Grafik Kehilangan Energi Relatif dengan TW <i>depth</i> = 0,9 D_2	90

4.49.	Grafik Kehilangan Energi Relatif dengan TW depth = $0,8 D_2$	91
4.50.	Kondisi Loncatan Air pada Kolam Olak untuk TW depth = $1,0 D_2$ pada (a) Model Seri 0 (b) Model Seri 1; (c) Model Seri 2; (d) Model Seri 3	93
4.51.	Kondisi Loncatan Air pada Kolam Olak untuk TW depth = $0,9 D_2$ pada (a) Model Seri 0 (b) Model Seri 1; (c) Model Seri 2; (d) Model Seri 3	94
4.52.	Kondisi Loncatan Air pada Kolam Olak untuk TW depth = $0,8 D_2$ pada (a) Model Seri 0 (b) Model Seri 1; (c) Model Seri 2; (d) Model Seri 3	95
4.53.	Kondisi Loncatan Air pada Kolam Olak untuk TW depth = $0,7 D_2$ pada (a) Model Seri 0 (b) Model Seri 1; (c) Model Seri 2; (d) Model Seri 3	96
4.54.	Kondisi Hulu Saluran pada Percobaan Pertama	100
4.55.	Kondisi Aliran pada Percobaan Kedua	101

BAB 1

PENDAHULUAN

1.1 Latar Belakang

Permasalahan utama yang sering terjadi pada hilir bendung atau pelimpah bendungan adalah adanya gerusan yang membahayakan geometri sungai yaitu pada bagian dasar dan tebing sungai. Gerusan ini terjadi akibat besarnya energi aliran yang disebabkan oleh kecepatan aliran air dari pelimpah. Kecepatan aliran yang besar ini menyebabkan kondisi pengaliran menjadi superkritis. Untuk itu diperlukan pemasangan bangunan peredam energi yang terletak di hilir saluran peluncur. Peredam energi ini berfungsi untuk menstabilkan aliran sehingga tidak terjadi gerusan.

Perubahan kondisi pengaliran dari super kritis menjadi sub kritis menyebabkan terjadinya loncatan hidraulik (*hydraulic jump*). Pada kondisi ini terjadi perubahan kedalaman air dari kedalaman rendah ke kedalaman tinggi. Perubahan ini yang menyebabkan energi aliran tereduksi. Fenomena loncatan hidraulik ini digunakan oleh bangunan peredam energi untuk mereduksi energi aliran air dari pelimpah (Anggrahini, 1997).



Gambar 1.1 Kolam olak dengan Balok-Balok Peredam (<https://www.ilmutekniksipil.com/bangunan-air/pengertian-bendungan>)

Tipe peredam energi yang paling sering digunakan adalah kolam olak yang dilengkapi dengan balok-balok peredam seperti terlihat pada Gambar 1.1. Balok peredam yang mempunyai fungsi untuk menimbulkan loncatan hidraulik adalah *baffled block*. *Baffled block* juga berpengaruh dalam mereduksi momentum aliran yang akan menurunkan kecepatan aliran. Perubahan tinggi muka air akibat loncatan hidraulik dan penurunan kecepatan aliran ini yang menyebabkan reduksi energi aliran.

Keefektifan fungsi kolam olak dengan *baffled block* ini dalam menstabilkan aliran air masih kurang. Hal ini dibuktikan dengan masih banyak terjadi peristiwa gerusan pada tebing dan dasar sungai hilir meskipun bendung atau pelimpah bendungan tersebut sudah dilengkapi kolam olak. Kerusakan pada kolam olak pun juga banyak terjadi salah satunya kerusakan kolam olak di Bendung Kaligending seperti terlihat pada Gambar 1.2.



Gambar 1.2 Kerusakan Kolam Olak di Bendung Kaligending
(<https://myfreakysunday.wordpress.com/2014/11/02/river-explorer/>)

Berdasarkan permasalahan pada hilir bendung dan pelimpah bendungan dan kurang efektifnya kolam olak dengan *baffled block* tersebut maka dilakukan penelitian tentang pola pemasangan *baffled block* di kolam olak. Pada penelitian ini dilakukan studi terhadap empat model seri pola pemasangan *baffled block* dengan lima variasi debit. Model seri 0 merupakan model asli kolam olak USBR tipe III.

Kolam olak tipe ini memiliki *baffled block* sehingga dapat dijadikan patokan dasar pola pemasangan *baffled block*. Untuk model seri 1, 2, dan 3 variasi dilakukan dengan mengubah jarak longitudinal dan lateral *baffled block*.

Parameter yang sering digunakan sebagai pengamatan kondisi pengaliran adalah bilangan Froude. Aliran dikatakan subkritis apabila nilai bilangan Froudenya kurang dari satu dan superkritis apabila nilainya lebih dari satu. Efektifitas tiap variasi pola pemasangan *baffled block* dalam mereduksi energi aliran dapat dilihat dengan membandingkan parameter hidraulik aliran (kecepatan aliran dan bilangan Froude) dan besar energi di hilir dan hulu peredam energi. Penelitian ini bertujuan untuk mendapatkan pola pemasangan *baffled block* yang paling efektif dalam menstabilkan aliran air.

1.2 Rumusan Masalah

Posisi pemasangan *baffled block* sangat berpengaruh dalam mereduksi momentum aliran yang akan menurunkan kecepatan setelah terjadi loncatan air sebagaimana telah diuraikan pada subbab 1.1. Untuk mendapatkan pola pemasangan *baffled block* yang paling optimum dalam menstabilkan aliran air, maka perlu diselesaikan beberapa permasalahan sebagai berikut:

1. Bagaimana merencanakan tiap-tiap model variasi pola pemasangan *baffled block* untuk mendapatkan kolam olak yang paling efektif dalam menstabilkan aliran?
2. Bagaimana hubungan kecepatan aliran hilir peredam energi (v_2) dengan berbagai variasi debit (Q) untuk masing-masing model seri variasi pola pemasangan *baffled block*?
3. Bagaimana hubungan bilangan Froude di hilir peredam energi (Fr_2) dengan berbagai variasi debit (Q) untuk masing-masing model seri variasi pola pemasangan *baffled block*?
4. Berapa besar kehilangan energi relatif aliran ($\Delta E/E_1$) pada berbagai variasi debit (Q) untuk masing-masing model seri variasi pola pemasangan *baffled block*?
5. Bagaimana bentuk loncatan hidraulik yang terjadi untuk masing-masing model seri variasi pola pemasangan *baffled block*?

6. Berapa besar *TW depth* minimum untuk masing-masing model seri variasi pola pemasangan *baffled block* agar kolam olak masih dapat bekerja secara efektif?
7. Model seri pola pemasangan *baffled block* mana yang paling efektif dalam menstabilkan aliran?

1.3 Tujuan Penelitian

Tujuan yang ingin didapatkan dalam penelitian ini adalah:

1. Mendapatkan cara untuk memodelkan tiap-tiap model variasi pola pemasangan *baffled block* untuk mendapatkan kolam olak yang paling efektif dalam menstabilkan aliran
2. Mendapatkan hubungan kecepatan aliran di hilir peredam energi (v_2) dengan berbagai variasi debit (Q) untuk masing-masing model seri variasi pola pemasangan *baffled block*.
3. Mendapatkan hubungan bilangan Froude di hilir peredam energi (Fr_2) dengan berbagai variasi debit (Q) untuk masing-masing model seri variasi pola pemasangan *baffled block*.
4. Mendapatkan besar kehilangan energi aliran relatif ($\Delta E/E_1$) pada berbagai variasi debit (Q) untuk masing-masing variasi pola pemasangan *baffled block*.
5. Mengetahui bentuk loncatan hidraulik yang terjadi untuk masing-masing model seri variasi pola pemasangan *baffled block*.
6. Mengetahui besar *TW depth* minimum untuk masing-masing model seri variasi pola pemasangan *baffled block* agar kolam olak masih dapat bekerja secara efektif.
7. Mendapatkan model seri pola pemasangan *baffled block* yang paling efektif dalam menstabilkan aliran.

1.4 Manfaat Penelitian

Melalui penelitian ini diharapkan dapat memberikan manfaat sebagai berikut:

1. Mendapatkan pola pemasangan *baffled block* yang paling efektif dalam menstabilkan aliran air pada bangunan peredam energi.
2. Sebagai solusi permasalahan gerusan yang masih sering terjadi pada hilir bendung atau bendungan.

1.5 Batasan Masalah

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

1. Model yang digunakan adalah model eksperimental pada kondisi aliran saluran terbuka dan tanpa skala.
2. Kekasaran saluran dan model tidak diperhitungkan.
3. Air yang digunakan adalah air bersih (*clear water*).
4. Dimensi model saluran menyesuaikan dimensi *flume* yang tersedia di Laboratorium Hidrolika dan Pantai Jurusan Teknik Sipil Institut Teknologi Sepuluh Nopember.
5. Analisa parameter hidraulik pada model peredam energi ini dilakukan dengan variasi debit sesuai kapasitas pompa di Laboratorium Hidrolika dan Pantai Jurusan Teknik Sipil Institut Teknologi Sepuluh Nopember.
6. Kavitasi tidak diperhitungkan.
7. Gerusan di hilir kolam olak tidak dihitung.

(Halaman ini sengaja dikosongkan)

BAB 2

TINJAUAN PUSTAKA

2.1. State of the Art

Beberapa penelitian pernah dilakukan berkaitan dengan pengaruh *baffled block* pada peredaman energi di beberapa tipe kolam olak.

Adipura (2013) melakukan penelitian pengaruh variasi kemiringan tubuh hilir bendung dan penempatan *baffled block* pada kolam olak tipe solid roller bucket terhadap loncatan hidrolis dan peredaman energi. Adipura (2013) menyimpulkan bahwa efisiensi kehilangan energi bertambah seiring berkurangnya variasi debit. Selain itu pemasangan *baffled block* yang diletakkan pada awal radius lengkungan adalah yang paling efektif dalam mereduksi energi aliran. Hasil penelitian Adipura (2013) ini dapat digunakan sebagai dasar pemikiran dalam melakukan variasi pola pemasangan *baffled block* pada penelitian ini.

Pudyono (2013) melakukan penelitian pola gerusan akibat aliran superkritis di hilir pintu air menggunakan *endsill* dan *baffled block* dengan simulasi model integrasi numerik. Pada penelitian disimpulkan bahwa pemasangan *baffled block* memiliki pengaruh yang lebih signifikan dalam mengurangi gerusan (gerusan berkurang 20%-30%) dibandingkan pemasangan *endsill* (gerusan berkurang 10%-15%). Hasil penelitian Pudyono (2013) ini dapat digunakan sebagai penguat dasar teori penelitian bahwa pemasangan *baffled block* memiliki pengaruh yang lebih signifikan dalam mereduksi energi aliran.

Rageh (1999) melakukan penelitian terhadap pengaruh pemasangan *baffled block* pada loncatan hidraulik radial. Pada penelitian disimpulkan bahwa pemasangan *baffled block* memiliki pengaruh yang lebih signifikan dalam meningkatkan kehilangan energi dibandingkan peredam energi tanpa *baffled block*. Hasil penelitian Rageh (1999) ini dapat digunakan sebagai penguat dasar teori penelitian bahwa pemasangan *baffled block* memiliki pengaruh yang lebih signifikan dalam meningkatkan kehilangan energi dan efektivitas peredam energi.

2.2. Peredam Energi

Kondisi pengaliran yang terjadi pada saluran peluncur adalah aliran super kritis yang memiliki kecepatan tinggi. Kondisi ini yang menyebabkan sungai di hilir bendung atau bendungan mengalami gerusan. Untuk menghindari agar tidak terjadi gerusan yang membahayakan geometri sungai pada bagian dasar dan tebing sungai, maka sebelum aliran air di alirkan ke sungai harus diperlambat dan diubah pada kondisi pengaliran subkritis.

Dasar perencanaan peredam energi adalah rumus-rumus hidraulika yang berasal dari prinsip hukum kekekalan energi dengan fenomena gaya-gaya yang bekerja pada saluran untuk keadaan aliran yang mengalami perubahan dari aliran superkritis menjadi aliran subkritis.

Bangunan peredam energi merupakan bangunan pelengkap dari bendung atau pelimpah bendungan/spillway yang memiliki fungsi untuk meredam energi air yang timbul akibat pembendungan agar aliran air tidak menimbulkan penggerusan yang membahayakan bendungan dan bangunan pelengkapanya. Peredam energi ini pada umumnya dibangun di bagian hilir bendungan dan juga direncanakan dengan memperhitungkan kemungkinan terjadinya degradasi dasar sungai.

Selain penggerusan setempat dan degradasi sungai, peredam energi harus didesain dengan memperhitungkan tinggi terjunan, benturan dan abrasi sedimen serta benda padat lainnya, rembesan dan debit rencana sesuai dengan kriteria keamanan serta resiko akibat penggerusan, pelimpahan dan kekuatan struktur.

Prinsip dalam merencanakan peredam energi dapat dilakukan dengan beberapa cara, antara lain:

- Membentuk loncatan air (*hydraulic jump*) pada kolam olak
- Menimbulkan gesekan air dengan lantai dan dinding stuktur kolam olak.
- Menambah kekasaran pada lantai dan dinding kolam olak
- Menimbulkan benturan air ke bidang, air atau udara.

Secara garis besar, terdapat empat macam bentuk peredam energi, antara lain:

- Kolam olak tipe Vlughter
- Kolam olak tipe Schoklitsch
- Kolam olak tipe Bucket

- Kolam olak tipe USBR

Dalam memilih dan menentukan tipe peredam energi, perlu dipertimbangkan beberapa faktor, antara lain:

- Jenis material dasar sungai/angkutan sedimen yang terbawa aliran sungai.
- Keadaan tanah dasar misalnya jenis batuan, lapisan, diameter butir.
- Tinggi bendungan.
- Kemungkinan degradasi dasar sungai yang terjadi di hilir bendung/bendungan

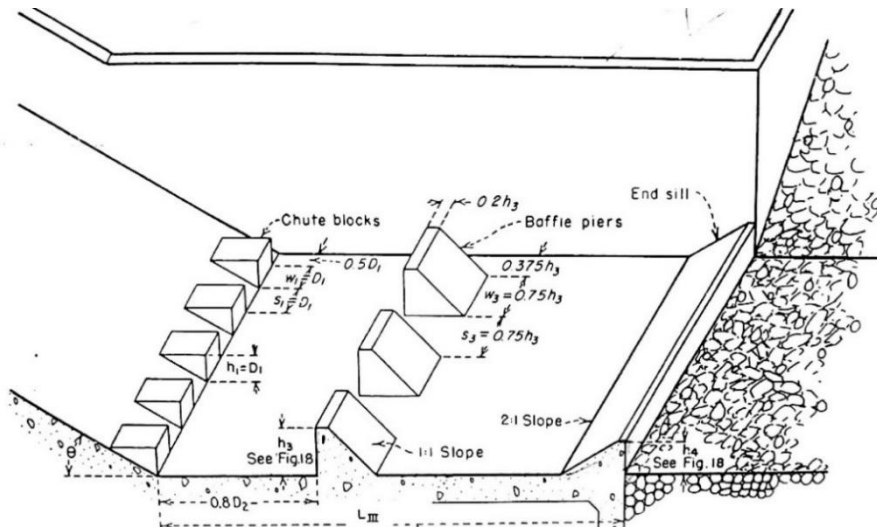
2.3. Kolam Olak USBR Tipe III

Peredam energi tipe USBR dikembangkan oleh *United States Bureau of Reclamation* (USBR). Kolam olak tipe USBR mempunyai tembok tepi vertikal, dengan lantai yang biasanya panjang dan pada beberapa tipe dilengkapi balok-balok dan ambang hilir biasa atau ambang hilir bergigi. Dalam perencanaan peredam energi USBR, didasarkan pada bilangan Froude di hulu peredam energi.

Kolam olak USBR tipe III memiliki prinsip kerja yaitu terjadi peredaman energi dalam aliran akibat gesekan-gesekan antar molekul air dan dilengkapi balok-balok peredam di awal, tengah dan akhir peredam energi. Kolam olak tipe ini cocok untuk mengalirkan air dengan tekanan hidrostatis yang rendah dan debit kecil ($q < 18,6 \text{ m}^3/\text{det}/\text{m}$; $v < 18 \text{ m}/\text{det}$ dan bilangan Froude $> 4,5$) (Peterka, 1978). Untuk mengurangi panjang kolam olakan, dipasang balok-balok penghalang di tepi hulu dasar (*chute block*) dan balok penghalang aliran (*baffled block*) pada dasar kolam olakan seperti ditunjukkan gambar 2.1. Kolam olakan ini biasanya digunakan untuk bangunan pelimpah pada bendungan urugan yang rendah.

2.3.1. Panjang kolam olak

Untuk menghitung panjang kolam olak USBR tipe III ini digunakan grafik hubungan antara bilangan Froude (Fr) dan panjang kolam (L) dibagi dengan tinggi muka air hilir loncatan (D_2) seperti terlihat pada gambar 2.2. Tinggi muka air di hulu loncatan hidraulik (D_1) didapatkan dari hasil perhitungan pada subbab 2.5. Tinggi muka air di hilir loncatan hidraulik di hitung menggunakan rumus pada persamaan 2-1.



Gambar 2.1. Kolam Olak USBR Tipe III (Peterka, 1978)

$$D_2 = \frac{D_1}{2} \left(\sqrt{1 + 8Fr_1^2} - 1 \right) \quad (2-1)$$

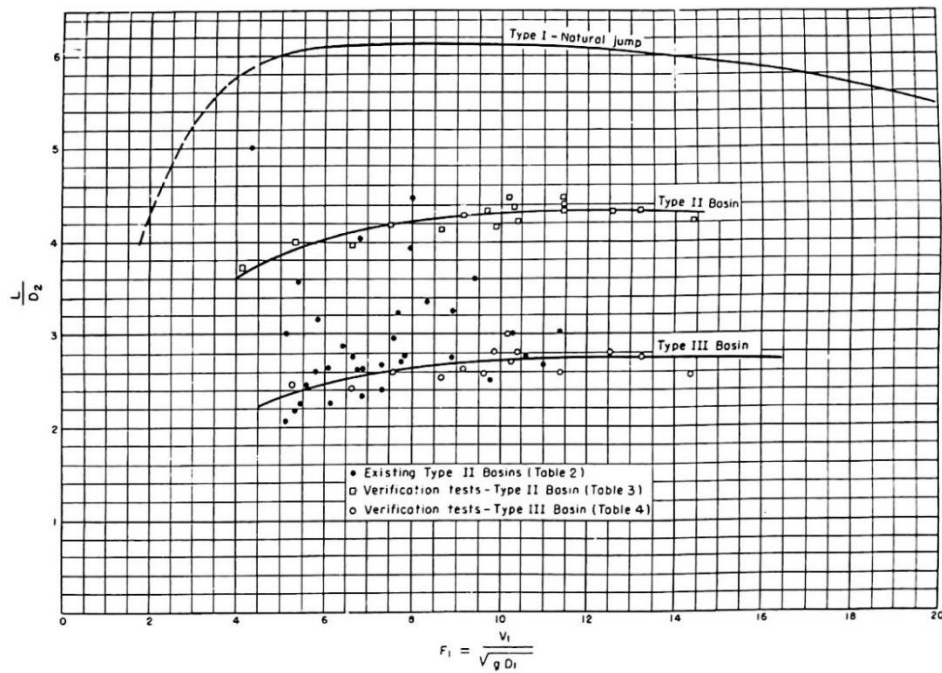
(Cabelka, 1981)

Dimana:

D_2 = tinggi muka air di hilir loncatan hidraulik (m)

D_1 = tinggi muka air di hulu loncatan hidraulik (m)

Fr_1 = bilangan Froude di hulu loncatan hidraulik



Gambar 2.2. Grafik Panjang Kolam Olak Tipe USBR (Peterka, 1978)

2.3.2. Dimensi *chute block*, *baffled block* dan *endsill*

Dimensi *chute block* didapatkan dari tinggi muka air di hulu loncatan hidraulik (lihat gambar 2.1). Tinggi muka air di hulu loncatan hidraulik (D_1) didapatkan dari hasil perhitungan pada subbab 2.5. Rumus perhitungan dimensi *chute block* yaitu:

$$s_1 = D_1 \quad (2-2)$$

$$h_1 = D_1 \quad (2-3)$$

$$w_1 = D_1 \quad (2-4)$$

(Peterka, 1978)

Dimana:

D_1 = tinggi muka air di hulu loncatan hidraulik (m)

s_1 = jarak pemasangan antar *chute block* (m)

h_1 = tinggi *chute block* (m)

w_1 = lebar *chute block* (m)

Terdapat dua perhitungan dimensi *baffled block* yaitu dimensi *baffled block* asli USBR tipe III dan dimensi *baffled block* modifikasi

Untuk mendapatkan dimensi *baffled block* asli USBR tipe III, diperlukan perhitungan nilai tinggi muka air sebelum loncatan air (D_1) dan angka Froude sebelum loncatan air (Fr_1). Nilai Fr_1 ini kemudian diplotkan pada grafik hubungan antara angka Froude di hulu peredam energi dengan perbandingan tinggi *baffled block* (h_3) dan tinggi muka air sebelum loncatan air seperti terlihat pada Gambar 2.3. Berdasarkan grafik tersebut didapatkan nilai h_3/D_1 , sehingga h_3 dapat dihitung. Setelah didapatkan nilai h_3 , maka jarak pemasangan antar *baffled block* (s_3) dan lebar *baffled block* (w_3) dapat dihitung dengan rumus sebagai berikut:

$$s_3 = 0,75 \cdot h_3$$

$$w_3 = 0,75 \cdot h_3$$

Tebal ujung atas *baffled block* yaitu $0,2 h_3$.

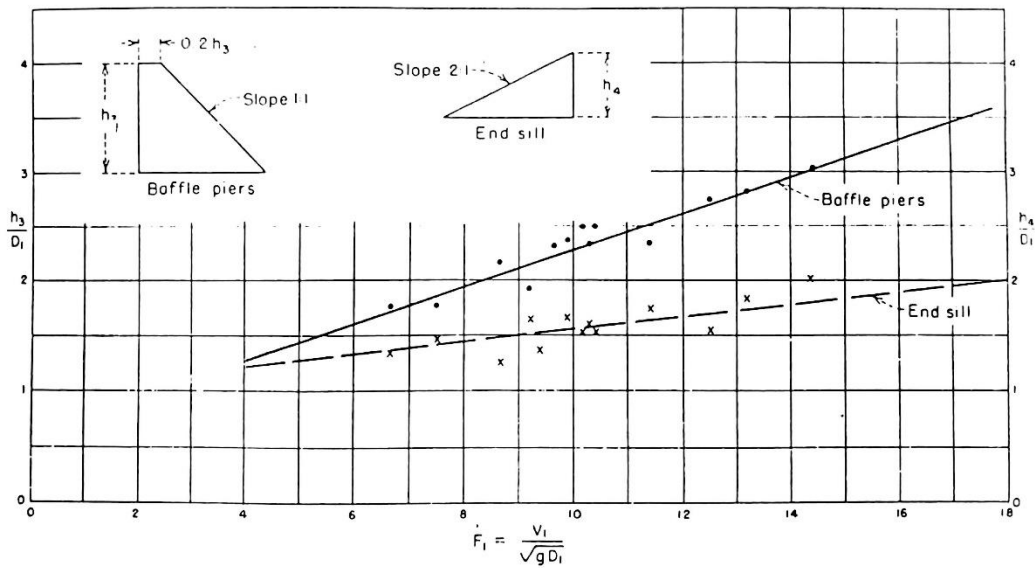
(Peterka, 1978)

Dimana:

s_3 = jarak pemasangan antar *baffled block* (m)

w_3 = lebar *baffled block* (m)

h_3 = tinggi baffled block (m)



Gambar 2.3. Grafik Tinggi Baffled Block dan Endsill (Peterka, 1978)

Modifikasi dimensi baffled block ini disesuaikan dengan model penelitian yang dibuat, dimana letak baffled block disesuaikan sehingga terletak diantar chute block. Rumus perhitungan dimensi *baffled block* modifikasi yaitu:

$$s_3 = D_1 \quad (2-5)$$

$$w_3 = D_1 \quad (2-6)$$

h_3 didapatkan dari grafik hubungan h_3/D_1 dengan bilangan Froude seperti terlihat pada gambar 2.3. (Peterka, 1978)

Dimana:

s_3 = jarak pemasangan antar *baffled block* (m)

h_3 = tinggi *baffled block* (m)

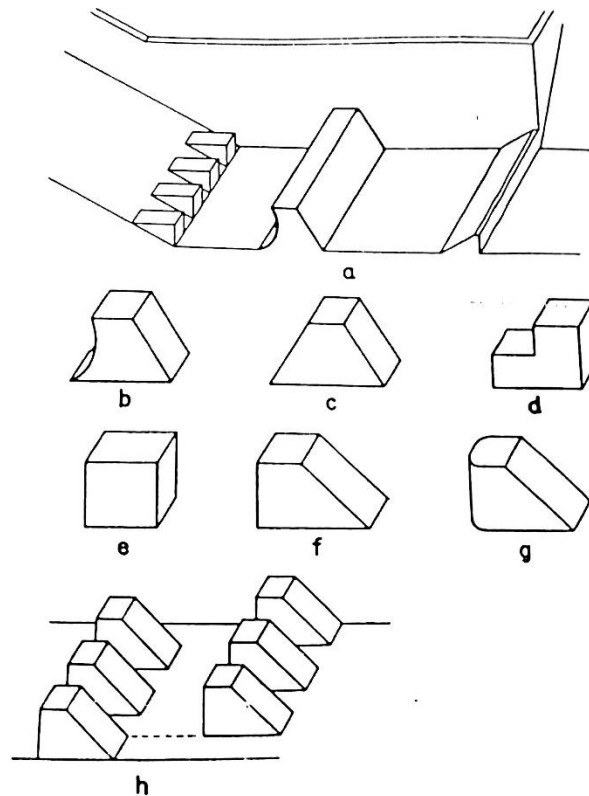
w_3 = lebar *baffled block* (m)

Tinggi *endsill* (h_4) dihitung menggunakan grafik seperti terlihat pada gambar 2.3 dengan kemiringan *endsill* adalah 2:1. (Peterka, 1978)

2.4. Baffled Block

Cara paling efektif untuk mereduksi panjang kolam olak adalah pemasangan balok-balok peredam energi pada kolam olak. Salah satu balok

peredam yang memiliki fungsi cukup signifikan dalam mereduksi energi aliran adalah *baffled block*. *Baffled block* menyebabkan terjadinya loncatan hidraulik dan mereduksi momentum sehingga mereduksi kecepatan aliran.



Gambar 2.4. Bentuk-bentuk *Baffled block* (Peterka, 1978)

Peterka (1978) telah melakukan beberapa penelitian terhadap bentuk *baffled block* seperti terlihat pada gambar 2.4. Dari hasil penelitian, didapatkan bahwa blok tipe f adalah blok yang paling baik dari segi konstruksi. Tipe blok inilah yang sekarang digunakan sebagai dasar perencanaan kolam olak USBR tipe III dan digunakan pada penelitian ini.

2.5. Saluran Peluncur

Fenomena aliran pada saluran peluncur adalah aliran berubah lambat laun. Pada suatu aliran prismatis yang memiliki kemiringan besar rumus pengaliran hidraulika secara teori dapat dihitung dengan pendekatan rumus kekekalan energi

antara dua pias, yaitu dengan pendekatan Hukum Bernoulli yang secara skematik dapat dijelaskan pada Gambar 2.8.

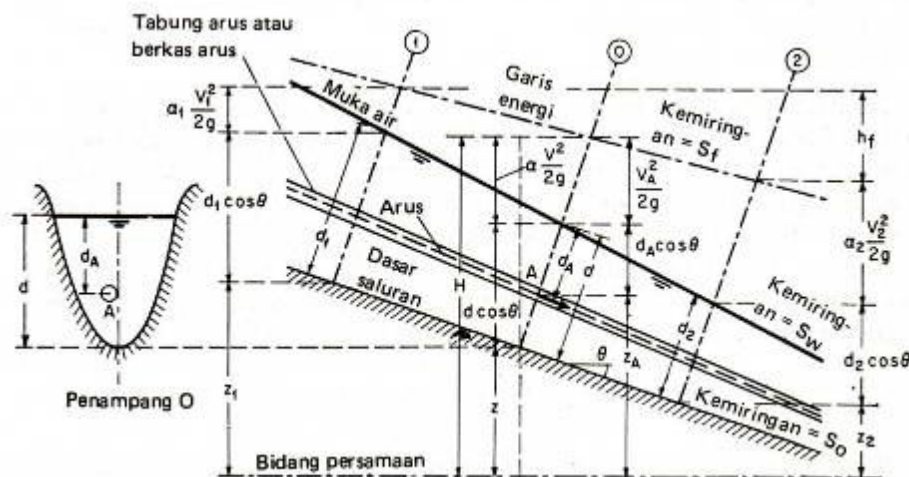
Berdasarkan hukum ketetapan energi, jumlah tinggi energi pada penampang hulu sama dengan tinggi energi pada penampang hilir ditambah dengan tinggi kehilangan energi antara dua penampang tersebut. Maka berdasarkan gambar 2.5 dapat dirumuskan:

$$z_1 + d_1 \cos \theta + \frac{v_1^2}{2g} = z_2 + d_2 \cos \theta + \frac{v_2^2}{2g} + h_f \quad (2-7)$$

(Anggrahini, 1997)

Dimana:

- z_1 = tinggi dasar saluran penampang 1 dari datum
- z_2 = tinggi dasar saluran penampang 2 dari datum
- d_1 = kedalaman air saluran penampang 1
- d_2 = kedalaman air saluran penampang 2
- θ = sudut kemiringan dasar saluran
- $\frac{v_1^2}{2g}$ = tinggi kecepatan dari arus yang melalui penampang 1
- $\frac{v_2^2}{2g}$ = tinggi kecepatan dari arus yang melalui penampang 2
- h_f = tinggi kehilangan energi antara penampang 1 dan 2



Gambar 2.5. Skema Tinggi Energi Aliran pada Saluran Peluncur (Sumber: Anggrahini, 1997)

Pada penelitian ini, rumus tersebut digunakan untuk menghitung kedalaman air sebelum loncatan (D_1). Dimana penampang 1 merupakan hulu saluran peluncur dimana kondisi dianggap kritis ($Fr = 1$), sehingga d_1 merupakan y_c (tinggi muka air kritis). Tinggi muka air kritis di hulu saluran peluncur dapat dihitung menggunakan rumus sebagai berikut:

$$y_c = \sqrt[3]{\frac{q^2}{g}} \quad (2-8)$$

(Anggrahini, 1997)

Dimana:

y_c = tinggi muka air kritis (m)

q = debit per satuan lebar saluran ($m^3/dt/m$)

g = percepatan gravitasi (m/dt^2)

Sedangkan penampang 2 merupakan hilir saluran peluncur atau titik sebelum loncatan air sehingga d_2 merupakan tinggi air sebelum loncatan (D_1)

2.6. Tail Water Depth (TW Depth)

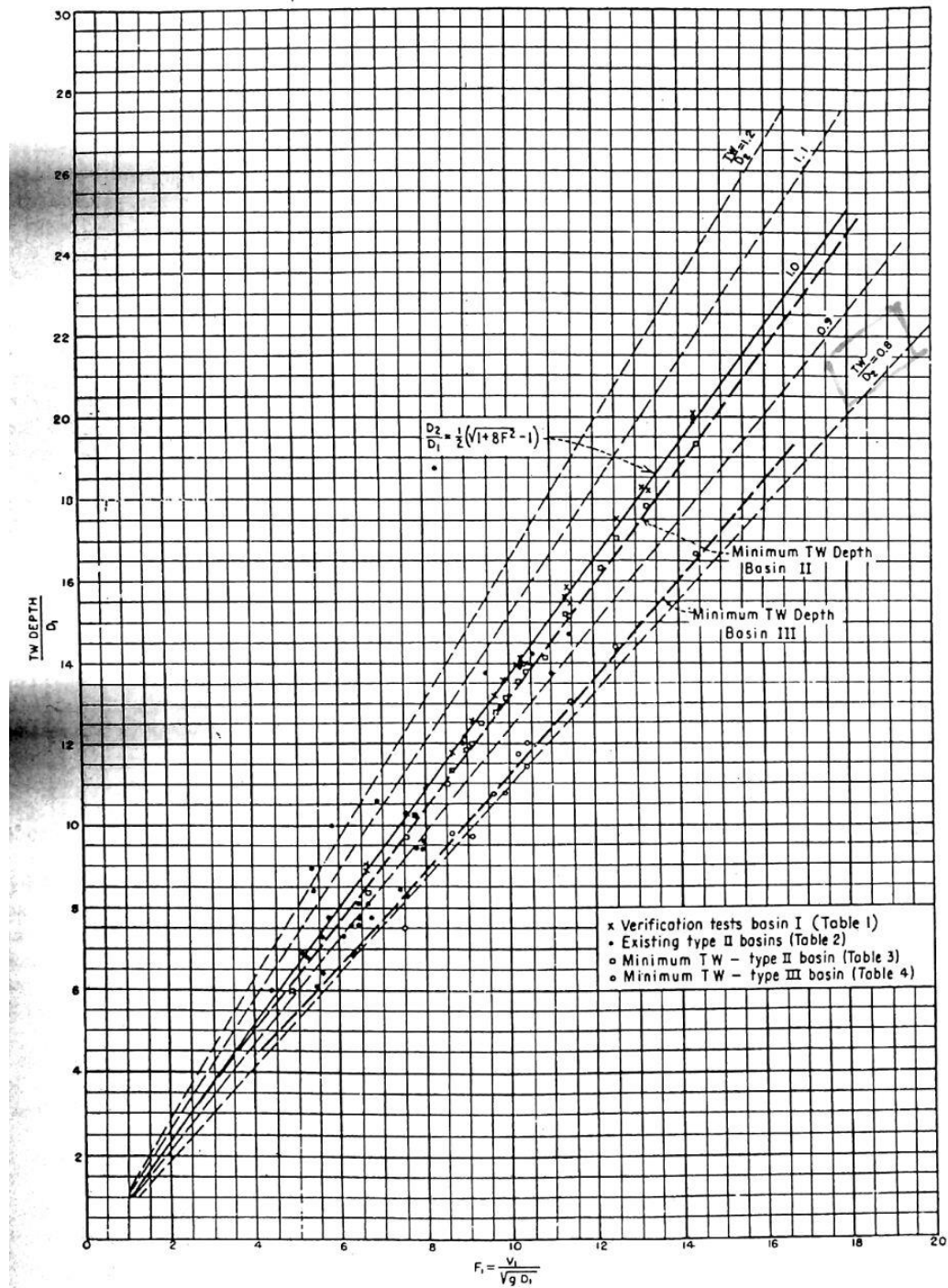
Tail water depth (TW depth) adalah merupakan tinggi muka air hilir. Dalam hal penelitian ini, TW depth merupakan tinggi muka air di hilir kolam olak.

Berdasarkan hasil penelitian *United States Bureau of Reclamation (USBR)*, sebagian besar tipe kolam olak didesain dengan menentukan tail water depth yang sesuai. USBR telah melakukan penelitian untuk kolam olak USBR Tipe III bahwa besar TW depth yang diperlukan agar kolam olak bekerja efektif adalah sebesar $D_2 = \frac{D_1}{2} \left(\sqrt{1 + 8Fr_1^2} - 1 \right)$. Angka keamanan *setting TW depth* agar kolam olak masih bekerja secara optimal adalah 15%-18% tergantung besar angka Froude. (Peterka, 1978)

Berdasarkan penelitian USBR, dikatakan bahwa belum ada perbaikan untuk nilai TW depth yang disyaratkan. Bahkan dengan memperpanjang panjang kolam olak, yang mana sering dilakukan di lapangan, tidak membuat syarat tinggi TW depth berkurang. Penambahan baffled block dan endsill hanya sedikit membantu mengurangi tinggi muka air yang disyaratkan. Oleh karena segala faktor yang menyangkut TW depth harus lebih diperhatikan.

Grafik TW depth minimum berdasarkan hasil penelitian USBR dapat dilihat pada Gambar 2.6. Gambar 2.6 menunjukkan bahwa untuk kolam olak USBR tipe III, rata-rata

TW depth minimum untuk variasi angka Froude adalah mendekati nilai $0,8 D_2$. Oleh karena itu, pada penelitian ini akan dilakukan running model untuk setting TW depth sama dengan $1,0 D_2$, $0,9 D_2$, $0,8 D_2$ dan $0,7 D_2$ untuk mengetahui keefektifan pola pemasangan *baffled block* terhadap kedalaman air di hilir.



Gambar 2.6 Tail Water Depth Minimum (Sumber: Peterka, 1978)

2.7. Energi spesifik

Energi spesifik pada suatu penampang saluran merupakan energi aliran tiap satuan berat pada setiap penampang saluran yang diukur dari dasar saluran. Energi spesifik dapat dirumuskan:

$$E = d \cos \theta + \frac{\alpha v^2}{2g} \quad (2-8)$$

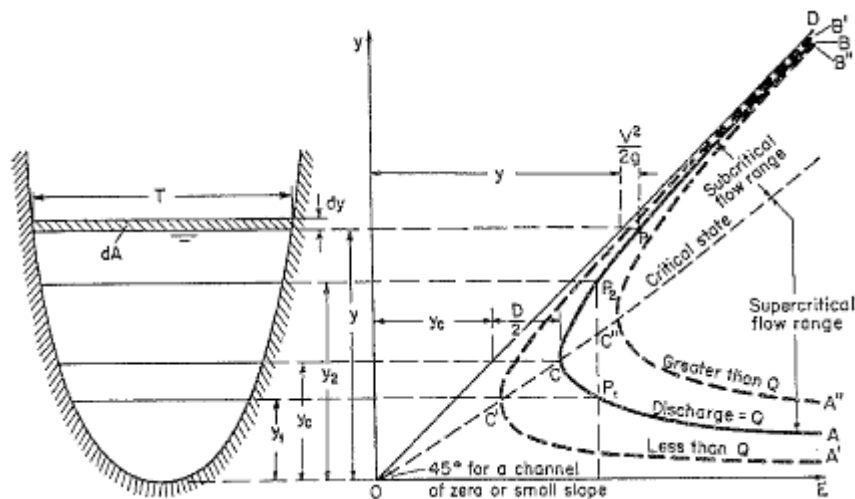
Pada saluran dengan kemiringan kecil dan pembagian kecepatan yang seragam ($\alpha=1$), maka debit aliran dapat dirumuskan

$$Q = v A \quad (2-9)$$

Maka persamaan (2-8) menjadi:

$$E = h + \frac{Q^2}{2gA^2} \quad (2-10)$$

Dari persamaan (2-10) dapat dilihat bahwa pada suatu penampang aliran yang memiliki debit tertentu (Q), energi spesifik (E) pada penampang saluran merupakan fungsi dari kedalaman air (h). Apabila kedalaman aliran digambarkan terhadap energi spesifik suatu penampang saluran dengan debit tertentu didapatkan suatu lengkung seperti terlihat pada gambar 2.7 (Anggrahini, 1997)



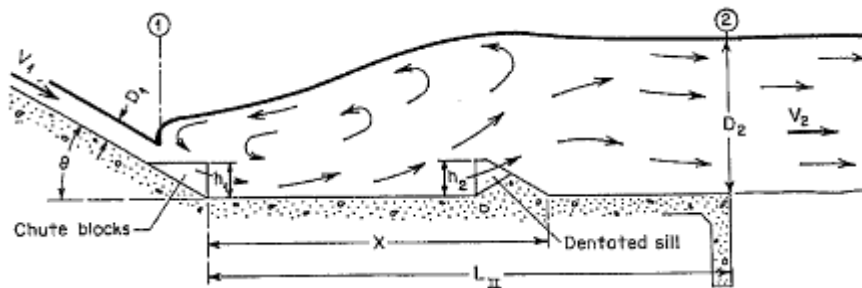
Gambar 2.7. Lengkung Energi Spesifik (Sumber: Ven Te Chow, 1978)

2.8. Loncatan hidraulik

Loncatan hidraulik merupakan kondisi yang terjadi sebagai suatu transisi kondisi pengaliran superkritis ($Fr > 1$) di hulu loncatan menjadi aliran subkritis

($Fr < 1$) di hilir loncatan. Pada kondisi ini terjadi perubahan kedalaman air dari kedalaman rendah ke kedalaman tinggi seperti terlihat pada Gambar 2.8. Perubahan ini yang menyebabkan energi aliran tereduksi. (Anggrahini, 1997)

Loncatan hidraulik dapat digunakan sebagai pereduksi energi aliran superkritis. Fenomena ini bermanfaat untuk menghindari erosi akibat aliran air dari pelimpah atau saluran peluncur karena dapat dengan cepat mereduksi kecepatan aliran sehingga tidak menyebabkan gerusan. Fenomena loncatan hidraulik inilah yang dipergunakan di bangunan peredam energi seperti kolam olak. (Ven Te Chow, 1988)



Gambar 2.8. Loncatan Hidraulik (Sumber: Ven Te Chow, 1988)

United States Bureau of Reclamation (USBR) telah melakukan penelitian tentang jenis-jenis loncatan berdasarkan angka Froude seperti diuraikan pada tabel 2.1 berikut.

Tabel 2.1 Klasifikasi Jenis Loncatan Hidraulik

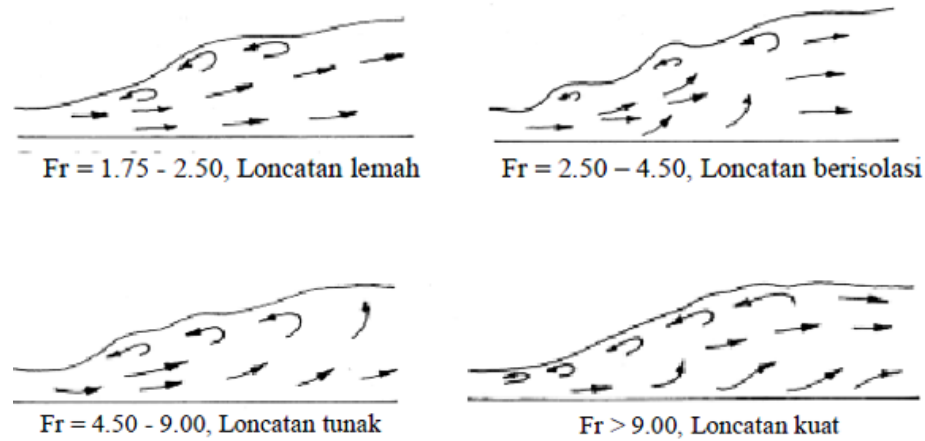
Fr	Definisi	Keterangan
1,00 - 1,70	Loncatan berombak	Terjadi sedikit gangguan permukaan air
1,70 - 2,50	Loncatan lemah	Muncul serangkaian gulungan ombak kecil
2,50 - 4,50	Loncatan bergetar	Gelombang permukaan aliran berlangsung dalam jarak yang besar di luar ujung loncatan dan dapat menyebabkan erosi tanggul
4,50 - 9,00	Loncatan tetap	Loncatan yang terjadi tetap dan menghasilkan peredaman yang baik. Permukaan air di hilir loncatan agak halus

Tabel 2.1 Klasifikasi Jenis Loncatan Hidraulik (Lanjutan)

Fr	Definisi	Keterangan
> 9,00	Loncatan kuat	Loncatan yang terjadi kuat dan memiliki peredaman yang baik. Permukaan air di hilir loncatan umumnya agak kasar

Sumber: K.G. Ranga Raju, 1986

Jenis-jenis loncatan berdasarkan angka Froude dapat ditunjukkan seperti pada Gambar 2.9.



Gambar 2.9. Jenis Loncatan Berdasarkan Angka Froude (sumber: K.G. Ranga Raju, 1986)

2.9. Kehilangan Energi dan Efektivitas Peredam Energi

Kehilangan energi pada loncatan adalah sama dengan perbedaan energi spesifik sebelum dan sesudah terjadinya loncatan seperti ditunjukkan pada gambar 2.10. Besarnya kehilangan energi adalah:

$$\Delta E = E_1 - E_2 \quad (2-11)$$

(Cabelka, 1981)

Dimana:

ΔE = kehilangan energi (m)

E_1 = energi spesifik sebelum loncatan (m)

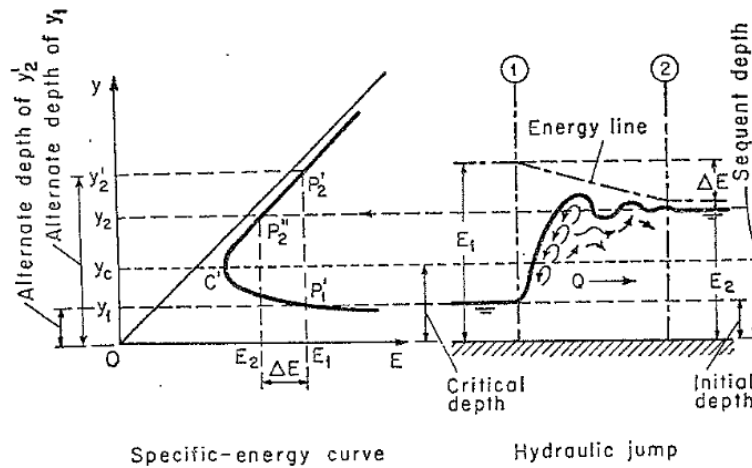
E_2 = energi spesifik setelah loncatan (m)

D_2 = tinggi muka air setelah loncatan hidraulik (m)

D_1 = tinggi muka air sebelum loncatan hidraulik (m)

Kehilangan relatif adalah besarnya rasio atau perbandingan antara kehilangan energi dengan energi spesifik sebelum loncatan ($\Delta E/E_1$).

Efektifitas peredaman adalah rasio antara energi spesifik setelah loncatan dengan sebelum loncatan di definisikan sebagai efisiensi loncatan (E_2/E_1)



Gambar 2.10. Kehilangan Energi pada Loncatan Hidraulik (Sumber: Ven Te Chow, 1988)

2.10. Bilangan Froude

Untuk merencanakan peredam energi, diperlukan parameter tidak berdimensi yaitu bilangan Froude. Bilangan Froude merupakan parameter perbandingan antara gaya kelembaman dan gaya gravitasi. Rumus untuk menghitung bilangan Froude ini adalah:

$$F_R = \frac{v_1}{\sqrt{g \cdot D_1}} \quad (2-12)$$

(Anggrahini, 1997)

Dimana:

Fr = bilangan Froude

v_1 = kecepatan aliran sebelum loncatan hidraulik (m/dt)

D_1 = kedalaman air setelah loncatan air (m)

g = percepatan gravitasi (m^2/dt)

Bilangan Froude digunakan sebagai parameter untuk membedakan kondisi pengaliran berdasarkan besar perbandingan antara gaya kelembaman dan gaya gravitasi. Berdasarkan besar bilangan Froude, maka aliran dibedakan menjadi:

a. Aliran subkritis

Aliran dikatakan subkritis apabila besar $Fr < 1$. Pada kondisi ini gaya gravitasi menjadi dominan

b. Aliran kritis

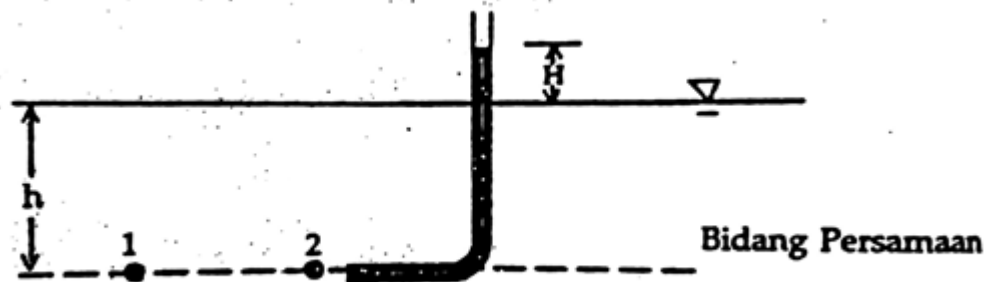
Aliran dikatakan kritis apabila besar $Fr = 1$. Pada kondisi ini gaya gravitasi dan gaya kelembaman seimbang

c. Aliran superkritis

Aliran dikatakan superkritis apabila besar $Fr > 1$. Pada kondisi ini gaya kelembaman menjadi dominan (Anggrahini, 1997)

2.11. Pipa Pitot

Pipa pitot merupakan alat pengukur kecepatan yang sering digunakan di laboratorium. Pipa pitot ini digunakan untuk mengukur kecepatan aliran di saluran terbuka. Prinsip kerja alat ini yaitu pipa bengkok yang memiliki diameter kecil diletakkan di dalam aliran saluran terbuka seperti terlihat pada gambar 2.11. Posisi tersebut memungkinkan air masuk ke dalam pipa dan naik setinggi H di atas permukaan air.



Gambar 2.11 Pipa Pitot (Sumber: Anggrahini, 1997)

Titik 2 merupakan suatu titik stagnansi, dimana kecepatan aliran dititik ini menjadi nol. Kecepatan di titik 1 dapat dihitung menggunakan persamaan Bernoulli sebagai berikut:

$$\frac{u_1^2}{2g} + \frac{p_1}{\rho g} + z_1 = \frac{u_2^2}{2g} + \frac{p_2}{\rho g} + z_2 \quad (2-13)$$

$z_1 = z_2 = 0$ (Pada bidang persamaan)

$p_1 = \rho gh$, $p_2 = \rho g(h + H)$, dan $u_2 = 0$

Maka kecepatan di titik 1 yaitu:

$$\frac{u_1^2}{2g} = \frac{p_2}{\rho g} - \frac{p_1}{\rho g} = \frac{\rho g(h + H - h)}{\rho g} = H$$

$$u_1^2 = 2gH$$

$$u_1 = \sqrt{2gH} \quad (2-14)$$

(Anggrahini, 1997)

Dimana:

u_1 = kecepatan aliran di titik 1 (m/dt)

u_2 = kecepatan aliran di titik 2 (m/dt)

ρ = massa jenis air (kg/m³)

g = percepatan gravitasi (m/dt²)

h = kedalaman air (m)

H = tinggi air dalam pitot di atas permukaan aliran (m)

Perhitungan tinggi energi kecepatan aliran menggunakan tabung pitot pada saluran peluncur diilustrasikan seperti pada gambar 2.12.

Berdasarkan ilustrasi tersebut maka tinggi energi kecepatan aliran dapat dihitung dengan rumus:

$$H = (L2 - L1) \cdot \cos 45 - \frac{0,5D}{\cos 45} \quad (2-1)$$

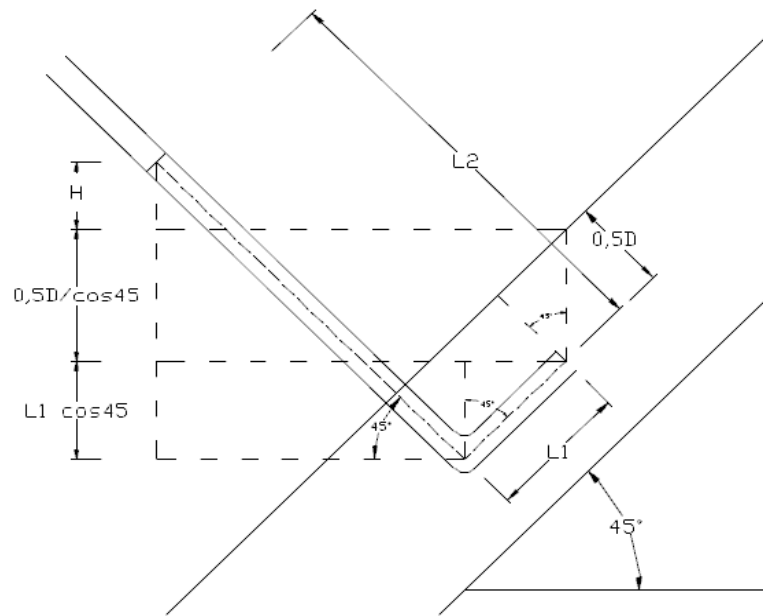
Dimana:

D = ketinggian air (m)

$L1$ = panjang sisi pendek tabung pitot (m)

$L2$ = Ketinggian air pada sisi panjang tabung pitot (m)

H = tinggi air dalam pitot di atas permukaan aliran (m)



Gambar 2.12 Ilustrasi Pengukuran Menggunakan Tabung Pitot pada Saluran Peluncur (Sumber: Pribadi)

2.12. Alat Ukur Thompson

Alat ukur Thompson merupakan alat ukur debit dan termasuk alat ukur ambang tipis seperti terlihat pada gambar 2.13.



Gambar 2.13 Alat Ukur Thompson (Sumber: Pribadi)

Perhitungan debit yang mengalir pada alat ukur Thompson menggunakan rumus sebagai berikut:

$$Q = \frac{8}{15} \cdot Cd \cdot \tan \frac{\theta}{2} \cdot \sqrt{2g} \cdot H^{5/2} \quad (2-15)$$

Dimana:

Q = debit aliran (m³/dt)

Cd = koefisien debit Thompson
 θ = sudut ambang
g = percepatan gravitasi (m/dt²)
H = tinggi aliran diatas ambang (m)

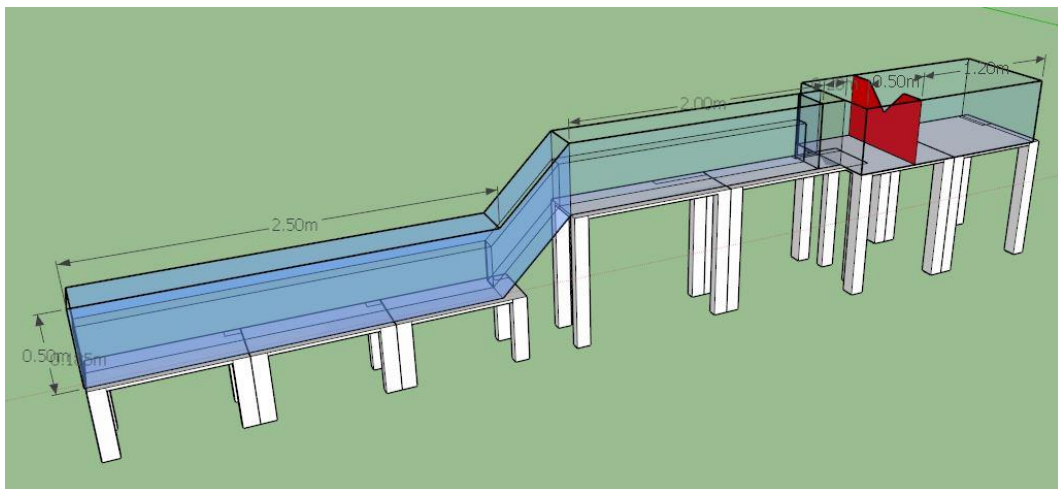
BAB 3

METODOLOGI

3.1. Fasilitas Penelitian

Penelitian ini merupakan uji eksperimental untuk mendapatkan pola pemasangan *baffled block* yang paling efektif dalam menstabilkan aliran air pada peredam energi. Penelitian ini dilaksanakan di Laboratorium Hidrolika dan Pantai Jurusan Teknik Sipil Fakultas Teknik Sipil dan Perencanaan Institut Teknologi Sepuluh Nopember. Untuk mendukung pelaksanaan uji eksperimental ini digunakan alat dan fasilitas pendukung yang tersedia di laboratorium sebagai berikut:

1. Pompa air dengan kapasitas maksimum 6,2 lt/dt
2. *Flume* yang sudah dimodifikasi dari bahan acrylic dengan model saluran peluncur yang memiliki kemiringan 1:1 dan lebar saluran 18,5 cm seperti terlihat pada gambar 3.1. *Flume* sudah dilengkapi dengan bak penampung air dengan alat pengukur debit Thompson seperti terlihat pada gambar 3.2, sehingga debit yang mengalir ke model adalah konstan.
3. Alat pengukur kecepatan berupa tabung pitot seperti ditunjukkan pada gambar 3.3
4. Alat pengukur tinggi muka air berupa mistar ukur seperti pada gambar 3.4



Gambar 3.1 *Flume* Model Penelitian

5. *Chute block*, *end sill* dan *baffled block* dari bahan akrilik dipasang pada kolam olak
6. Sekat terbuat dari akrilik sebagai pintu air pengatur muka air hilir seperti terlihat pada gambar 3.5



Gambar 3.2 Alat Ukur Thompson (Dokumentasi Pribadi)



Gambar 3.3 Alat Pengukur Kecepatan berupa Tabung Pitot (Dokumentasi Pribadi)



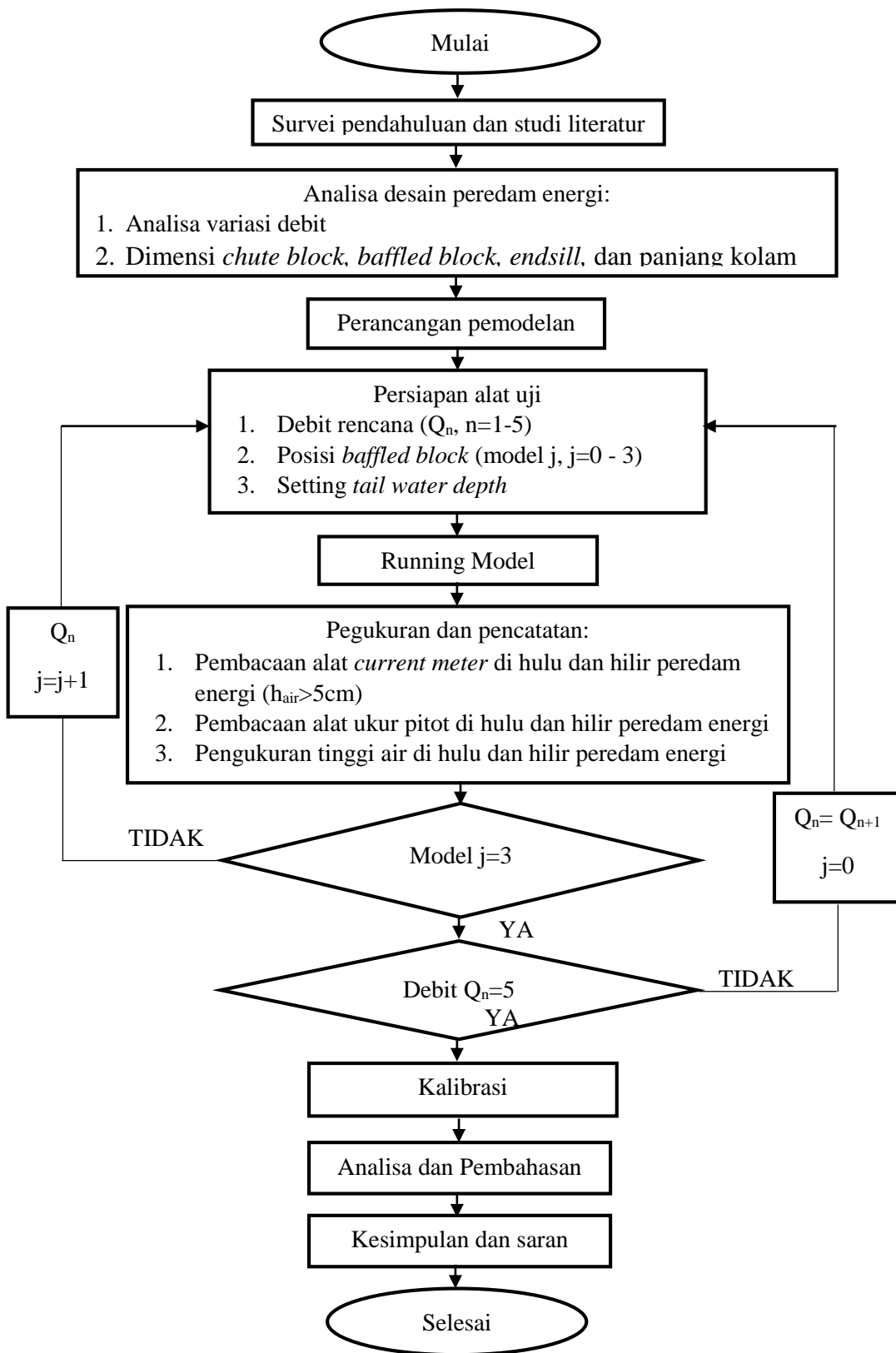
Gambar 3.4 Mistar ukur (Dokumentasi Pribadi)



Gambar 3.5 Sekat Pintu Air (Dokumentasi Pribadi)

3.2. Rancangan Penelitian

Pada penelitian ini, metode yang digunakan secara sistematis dapat dilihat pada bagan alir penelitian seperti terlihat pada gambar 3.6. Adapun langkah-langkah penelitian yang dilakukan adalah sebagai berikut:



Gambar 3.6 Bagan Alir Penelitian

3.2.1. Survei pendahuluan dan studi literatur

Studi literatur dilakukan untuk mendapatkan referensi metode dan tahapan-tahapan yang sesuai dengan permasalahan pada penelitian. Referensi tersebut berupa langkah-langkah penyelesaian yang pernah dilakukan terkait dengan penelitian. Studi literatur ini dapat dilakukan dengan mencari bahan dari berbagai buku, jurnal dan sumber referensi lain yang sesuai dan dapat mendukung penelitian.

Survei pendahuluan dilaksanakan untuk mengetahui dan mengidentifikasi fasilitas pendukung penelitian yang tersedia di laboratorium.

3.2.2. Analisa desain peredam energi

3.2.2.1. Analisa variasi debit

Berdasarkan hasil survei pompa air dan alat ukur debit Thompson yang tersedia di laboratorium, didapatkan lima variasi debit yang akan digunakan untuk penelitian. Pemilihan variasi debit ini didasarkan pada kapasitas pompa yang tersedia di laboratorium dan perencanaan kolam olak USBR-III, dimana debit per satuan lebar maksimum yang diperbolehkan adalah $5,663 \text{ m}^3/\text{dt}/\text{m}$.

Untuk memudahkan *setting* alat pengujian, maka pemilihan lima variasi debit yang digunakan untuk penelitian ini didasarkan pada tinggi muka air diatas ambang Thompson (H_{thompson}) yaitu tinggi muka air 11,5 cm, 11 cm, 10,5 cm, 10 cm, dan 9,5 cm.

3.2.2.2. Perhitungan dimensi *chute block*, *baffled block*, *endsill*, dan panjang kolam olak

Pada analisa desain peredam energi ini digunakan perencanaan kolam olak USBR tipe III sebagai dasar perhitungan dimensi *chute block*, *baffled block*, *endsill* dan panjang kolam olak. Pada tahap ini dilakukan modifikasi dimensi baffled block seperti yang telah dijelaskan pada subbab 2.3.2. Untuk menghitung dimensi kolam olak ini dibutuhkan bilangan Froude di hulu peredam energi. Untuk itu harus dilakukan perhitungan awal bilangan Froude yang dapat dihasilkan untuk setiap variasi debit. Dari hasil perhitungan awal tersebut kemudian akan dipilih

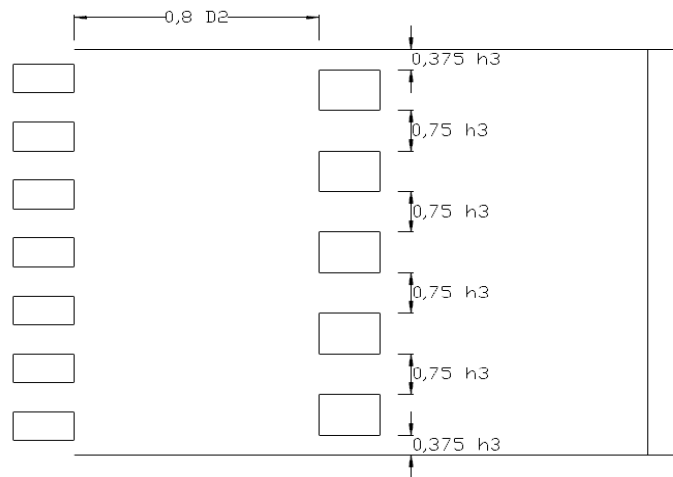
bilangan Froude tengah untuk kemudian digunakan sebagai dasar perhitungan dimensi kolam olak.

3.2.3. Perancangan pemodelan

Pada tahap ini dilakukan perencanaan model variasi pola pemasangan *baffled block*. Pada penelitian ini akan digunakan empat pola pemasangan yaitu:

a. Model seri 0

Model seri 0 merupakan model yang dibuat berdasarkan pola pemasangan *baffled block* asli kolam olak USBR tipe III. Model seri 0 ini dapat dilihat pada gambar 3.7.

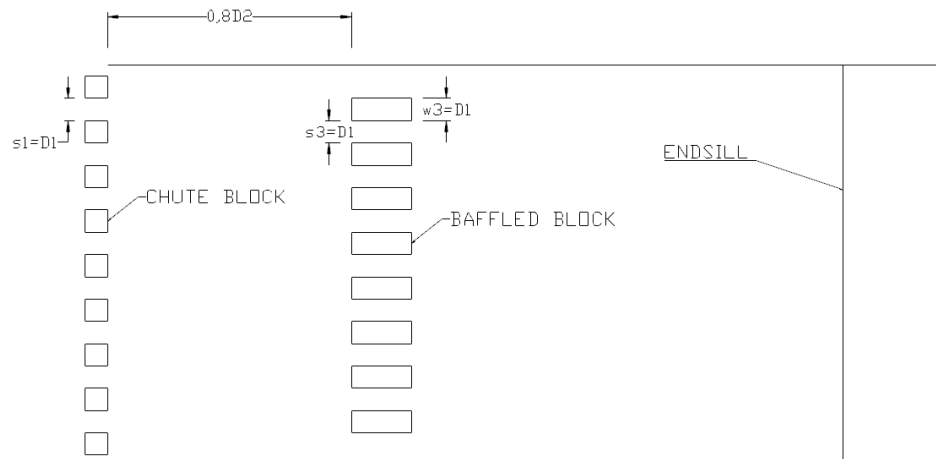


Gambar 3.7. Model Seri 0

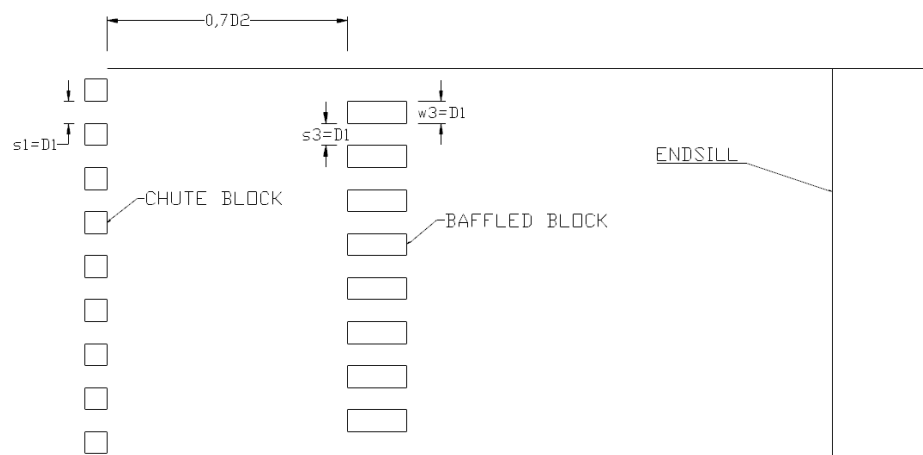
b. Model seri 1, 2, dan 3

Model seri 1, 2, dan 3 ini merupakan alternatif pola pemasangan *baffled block*. Model-model ini akan dibuat berdasarkan berbagai dasar pemikiran. Salah satunya berdasarkan penelitian Adipura (2013) yang melakukan perubahan jarak longitudinal *baffled block* didapatkan adanya perubahan efektifitas reduksi energi aliran. Hipotesa awal berdasarkan teori tersebut maka jarak longitudinal *baffled block* akan dimodifikasi. Kemudian akan dibuat model seri berdasarkan dasar pemikiran efisiensi letak lateral *baffled block*. Hipotesa awal dimana *baffled block* akan bekerja lebih efisien apabila jarak antar *baffled block* disesuaikan sehingga letaknya berada

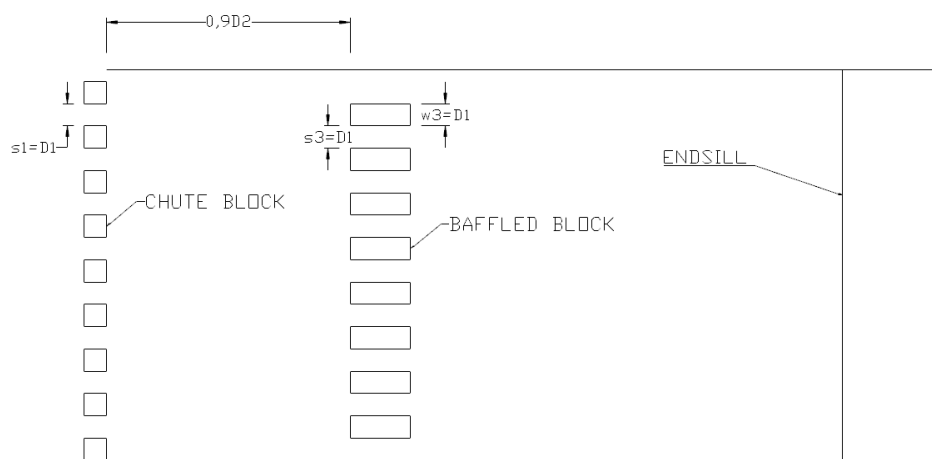
diantara *chute block*. Dengan menyesuaikan letak tersebut aliran air yang energinya belum teredam oleh *chute block* akan diredam oleh *baffled block*. Berdasarkan teori-teori awal tersebut maka dibuat tiga desain awal modifikasi pola pemasangan *baffled blok* seperti terlihat pada gambar 3.8, 3.9, dan 3.10.



Gambar 3.8. Model Seri 1



Gambar 3.9. Model Seri 2



Gambar 3.10. Model Seri 3

3.2.4. *Running model*

Running model penelitian ini akan dilakukan dengan lima variasi debit untuk masing-masing model pola pemasangan *baffled block*. Untuk tiap variasi debit dilakukan tiga variasi *setting tail water depth*. Kolam olak kemudian dipasang sesuai dengan dimensi dan jarak pemasangan yang telah dihitung sebelumnya.

Pengambilan data dilakukan dengan melakukan pengukuran tinggi muka air dan kecepatan aliran di empat belas (14) lokasi. Lokasi yang akan diamati dan diukur adalah bagian hulu peredam energi dan bagian hilir peredam energi. Setiap lokasi akan dilakukan 3 titik pengukuran yaitu sisi kiri, kanan dan as. Lokasi pengukuran yang akan dipakai sebagai dasar perhitungan dipilih berdasarkan lokasi yang tidak terpengaruh loncatan air. Selain itu akan dilakukan *record* fenomena aliran selama *running model* yaitu berupa foto dan video.

Pengukuran tinggi muka air dilakukan menggunakan mistar ukur yang ditempel di bagian luar flume. Sedangkan pengukuran kecepatan dilakukan dengan tabung pitot.

3.2.5. Kalibrasi

Kalibrasi merupakan tahapan mencocokkan parameter model dan perhitungan teoritis sehingga didapatkan model yang sesuai. Pada penelitian ini alat ukur debit Thompson yang tersedia di Laboratorium Hidrolika dan Teknik Sipil sudah dilakukan kalibrasi.

3.2.6. Analisa dan pembahasan

Analisa dan pembahasan dilakukan terhadap data hasil pengukuran parameter perilaku hidrolika untuk masing-masing model dengan variasi debit. Parameter perilaku hidrolika yang akan dianalisa adalah kecepatan aliran dan bilangan Froude. Kemudian dihitung besarnya kehilangan energi dan efektivitas peredaman energi untuk setiap model dan variasi debit. Semua hasil perhitungan dan analisa akan dibandingkan sehingga didapatkan pola pemasangan *baffled block* yang paling efektif dalam menstabilkan aliran air.

3.2.7. Kesimpulan dan saran

Pada tahapan ini akan diberikan kesimpulan yang didapat dari penelitian dan juga saran untuk mengembangkan penelitian ini.

(Halaman ini sengaja dikosongkan)

BAB 4

HASIL DAN PEMBAHASAN

4.1. Analisa Desain Peredam Energi

Penelitian dilakukan di Laboratorium Hidrolika dan Pantai Institut Teknologi Sepuluh Nopember Surabaya, dalam flume seperti terlihat pada gambar 4.1. Flume terbuat dari bahan akrilik dengan lebar saluran 18,5 cm. Flume ini dilengkapi dengan saluran peluncur yang memiliki kemiringan lereng 1: 1 dengan ketinggian 50 cm untuk menghasilkan aliran superkritis. Terdapat pintu air/sekat yang terletak di hilir flume untuk mengatur tinggi muka air hilir (*tail water depth*). Pompa yang sudah tersedia di laboratorium digunakan untuk mengalirkan air ke flume. Flume juga dilengkapi alat ukur debit Thompson yang telah dikalibrasi sebelumnya yang terletak di hulu flume untuk memastikan debit yang mengalir dalam flume konstan.



Gambar 4.1 Flume Penelitian (sumber: Dokumentasi Pribadi)

4.1.1 Analisa variasi debit

Debit yang digunakan pada penelitian ini ditentukan berdasarkan hasil survei pompa air yang tersedia di laboratorium. Pompa yang dapat digunakan untuk mengaliri flume adalah pompa kecil dengan kapasitas maksimum 6,2 l/dt.

Sedangkan untuk mengukur besar debit digunakan alat ukur Thompson yang sudah tersedia dan terkalibrasi pada flume.

Berdasarkan hasil survei, ditentukan lima variasi debit yang digunakan untuk penelitian. Pemilihan variasi debit ini didasarkan pada kapasitas pompa yang tersedia di laboratorium dan perencanaan kolam olak USBR-III, dimana debit per satuan lebar maksimum yang diperbolehkan adalah 5,663 m³/dt/m.

Untuk memudahkan setting alat pengujian, maka pemilihan lima variasi debit yang digunakan untuk penelitian ini didasarkan pada tinggi muka air diatas ambang Thompson ($H_{thompson}$) yaitu tinggi muka air 11,5 cm, 11 cm, 10,5 cm, 10 cm, dan 9,5 cm. Kemudian dihitung besar debit per satuan lebarnya dengan lebar flume 18,5 cm. Debit yang mengalir di saluran dapat dihitung menggunakan rumus 2-15 sebagai berikut:

$$Q = \frac{8}{15} \cdot Cd \cdot \tan \frac{\theta}{2} \cdot \sqrt{2g} \cdot H^{5/2}$$

Hasil perhitungan debit untuk lima variasi tinggi muka air diatas ambang dapat dilihat pada tabel 4.1

.Tabel 4.1 Variasi Debit Model

Qn	H _{thompson}	Debit		Debit per satuan lebar
	(cm)	(m ³ /det)	(l/det)	(m ³ /det/m)
Q ₁	9,5	0,0038	3,8	0,0206
Q ₂	10,0	0,0043	4,3	0,0235
Q ₃	10,5	0,0049	4,9	0,0265
Q ₄	11,0	0,0055	5,5	0,0298
Q ₅	11,5	0,0062	6,2	0,0333

Sumber: Perhitungan

Berdasarkan hasil perhitungan debit pada tabel 4.1, besar debit per satuan lebar maksimum yang dihasilkan adalah 0,0333 m³/det/m masih memenuhi persyaratan debit per satuan lebar maksimum yang diperbolehkan kolam olak USBR tipe III yaitu 5,663 m³/dt/m.

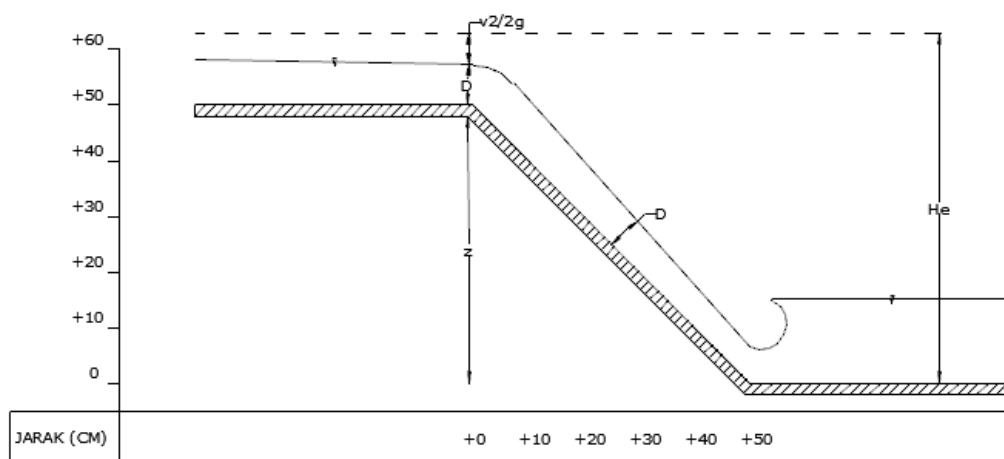
4.1.2 Perhitungan dimensi *chute block*, *baffled block*, *endsill*, dan panjang kolam olak

Pada analisa desain peredam energi ini digunakan perencanaan kolam olak USBR tipe III sebagai dasar perhitungan dimensi *chute block*, *baffled block*, *endsill* dan panjang kolam olak. Pada tahap ini juga dilakukan modifikasi dimensi *baffled block* seperti yang telah dijelaskan pada subbab 2.3.2.

Untuk menghitung dimensi kolam olak ini dibutuhkan bilangan Froude di hulu peredam energi. Untuk itu dilakukan perhitungan awal bilangan Froude yang dapat dihasilkan.

a. Perhitungan angka Froude Hulu Peredam Energi

Angka Froude pada saluran peluncur dihitung menggunakan persamaan Bernoulli. Dimana tinggi energi pada hulu saluran peluncur dan hilir saluran peluncur adalah tetap seperti terlihat pada gambar 4.2. Saluran peluncur pada penelitian ini memiliki kemiringan 1:1 dengan ketinggian 50 cm. Debit yang digunakan untuk perencanaan dimensi kolam olak ini adalah debit Q_3 yaitu 4,9 l/det. Debit tengah ini dipilih agar bisa melihat efektivitas kolam olak untuk debit lebih besar dan lebih kecil dari debit perencanaan. Perhitungan angka Froude pada saluran peluncur dapat dilihat pada tabel 4.2.



Gambar 4.2 Sketsa Perhitungan Angka Froude (Sumber: Pribadi)

Tabel 4.2 Perhitungan Parameter Hidrolika di Saluran Peluncur untuk Debit Q_3

No.	dx	D (cm)	A (cm ²)	v (cm/det)	Fr	v ² /2g (cm)	z (cm)	H _e (cm)
1	2	3	4	5	6	7	8	9
1	0,0	4,15	76,82	63,83	1,00	2,08	50,0	56,229
2	10,0	1,54	28,45	172,36	4,44	15,14	40,0	56,229
3	20,0	1,19	21,97	223,19	6,54	25,39	30,0	56,229
4	30,0	1,00	18,57	263,99	8,41	35,52	20,0	56,229
5	40,0	0,89	16,39	299,12	10,15	45,60	10,0	56,229
6	50,0	0,80	14,84	330,47	11,78	55,66	0,0	56,229

Sumber: Perhitungan

Keterangan:

(2) : jarak horizontal dari hulu saluran peluncur

(3) : tinggi muka air

(4) : (3) x 18,5

(5) : (4,9 x 1000) / (4)

(6) : (5) / (981 x (3))^{0,5}

(7) : (5)² / (2 x 981)

(8) : jarak dari datum

(9) : (3) x cos 45 + (7) + (8)

Berdasarkan hasil perhitungan pada tabel 4.2, didapatkan angka Froude di hilir saluran peluncur atau di hulu peredam energi (Fr_1) adalah 11,78, kecepatan aliran (v_1) adalah 3,30 m/det, dan tinggi muka air sebelum loncatan (D_1) adalah 0,8 cm. Nilai angka Froude dan kecepatan aliran tersebut masih memenuhi persyaratan untuk kolam olak USBR tipe III yaitu bilangan Froude lebih besar dari 4,5 dan kecepatan aliran maksimum 18 m/det. Maka, Fr_1 dan D_1 untuk debit Q_3 tersebut dapat digunakan sebagai dasar perencanaan dimensi kolam olak.

b. Perhitungan panjang kolam olak

Untuk mendapatkan panjang kolam olak USBR tipe III, terlebih dahulu dihitung tinggi air setelah loncatan air (D_2) menggunakan rumus 2-1 sebagai berikut:

$$D_2 = \frac{D_1}{2} \left(\sqrt{1 + 8Fr_1^2} - 1 \right)$$

$$D_2 = \frac{0,8}{2} \left(\sqrt{1 + 8 \cdot (11,78)^2} - 1 \right)$$

$$D_2 = 12,97 \text{ cm}$$

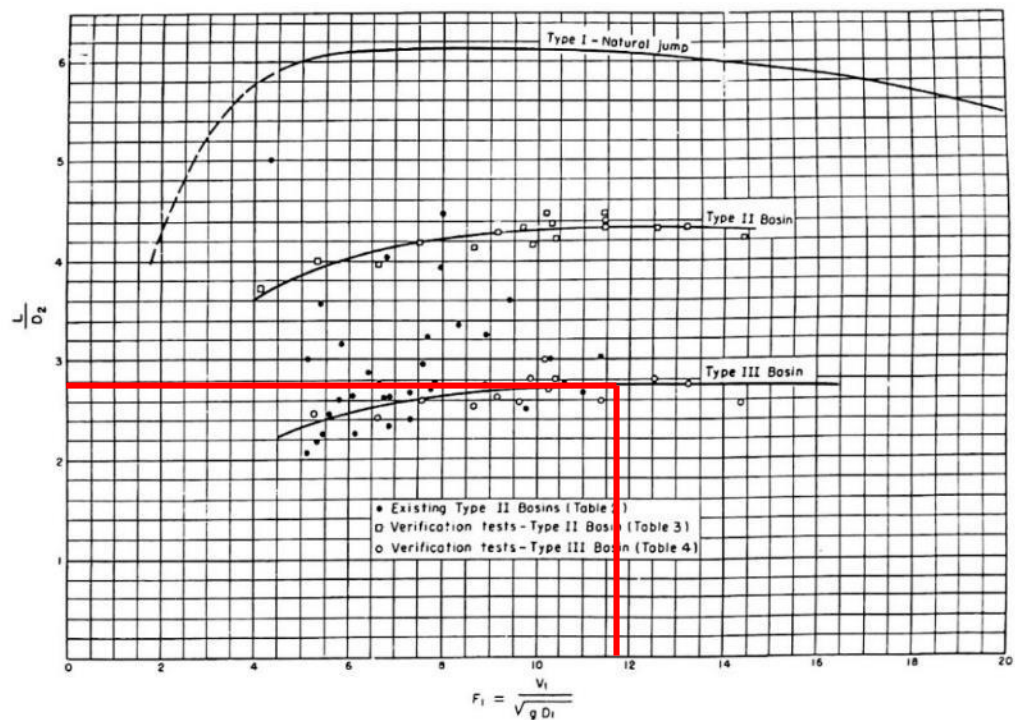
Dimana:

D_2 = tinggi muka air di hilir loncatan hidraulik (cm)

D_1 = tinggi muka air di hulu loncatan hidraulik (cm)

Fr_1 = bilangan Froude di hulu loncatan hidraulik

Didapatkan nilai tinggi muka air setelah loncatan air (D_2) sebesar 12,97 cm. Nilai ini kemudian digunakan pada grafik hubungan antara bilangan Froude (Fr) dan panjang kolam (L) dibagi dengan tinggi muka air hilir loncatan (D_2) seperti terlihat pada gambar 4.3.



Gambar 4.3 Penentuan Panjang Kolam Olak USBR Tipe III (sumber: Peterka, 1978)

Dari grafik tersebut didapatkan nilai L/D_2 adalah 2,78. Maka didapatkan panjang kolam olak USBR tipe III yang digunakan pada penelitian ini adalah 36,05 cm.

c. Perhitungan dimensi *chute block*

Dimensi *chute block* didapatkan dengan menghitung tinggi muka air sebelum loncatan air (D_1). Tinggi air sebelum loncatan telah dihitung pada subbab 4.1.2 poin a yaitu sebesar 0,8 cm. Maka berdasarkan rumus pada subbab 2.3.2 didapatkan dimensi *chute block* sebagai berikut:

- jarak pemasangan antar *chute block* (s_1)

$$s_1 = D_1$$

$$s_1 = 0,8 \text{ cm}$$

- tinggi *chute block* (h_1)

$$h_1 = D_1$$

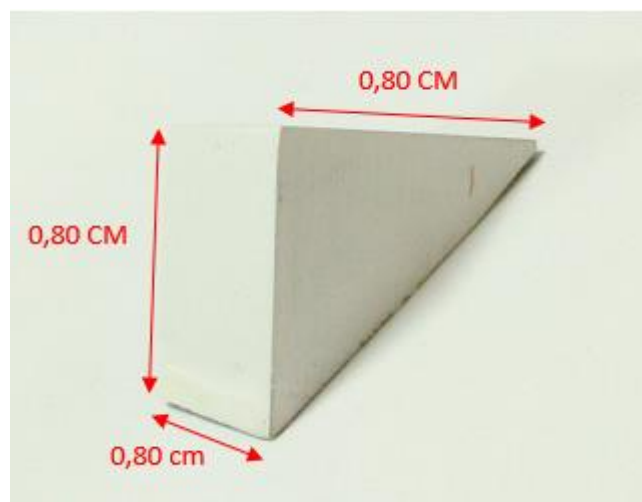
$$h_1 = 0,8 \text{ cm}$$

- lebar *chute block* (w_1)

$$w_1 = D_1$$

$$w_1 = 0,8 \text{ cm}$$

Berdasarkan hasil perhitungan tersebut, dimensi *chute block* untuk penelitian ini dapat dilihat pada gambar 4.4



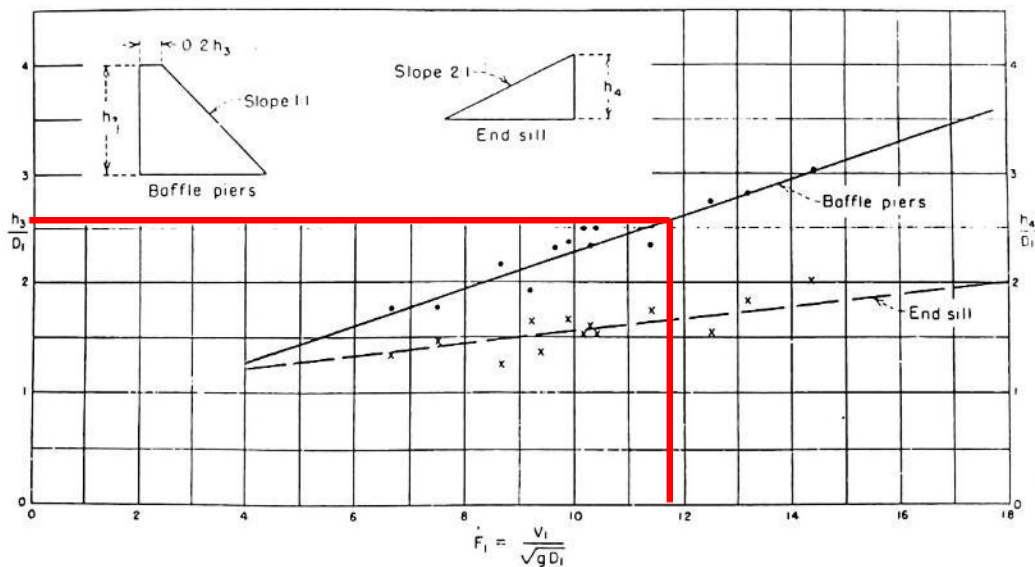
Gambar 4.4 Dimensi *Chute block* (sumber: Dokumentasi Pribadi)

d. Perhitungan dimensi *baffled block*

Dilakukan dua perhitungan dimensi *baffled block* yaitu dimensi *baffled block* asli USBR tipe III dan dimensi *baffled block* modifikasi

1. Dimensi *baffled block* USBR tipe III

Untuk mendapatkan dimensi *baffled block*, diperlukan perhitungan nilai tinggi muka air sebelum loncatan air (D_1) dan angka Froude sebelum loncatan air (Fr_1) yang telah dihitung pada subbab 4.1.2 poin a. Tinggi air sebelum loncatan (D_1) yaitu sebesar 0,8 cm dan Fr_1 sebesar 11,78. Nilai Fr_1 ini kemudian diplotkan pada grafik hubungan antara angka Froude di hulu peredam energi dengan perbandingan tinggi *baffled block* (h_3) dan tinggi muka air sebelum loncatan air seperti terlihat pada Gambar 4.5



Gambar 4.5 Penentuan Tinggi *Baffled block* (sumber: Peterka, 1978)

Berdasarkan grafik tersebut didapatkan nilai h_3/D_1 untuk Fr_1 sebesar 11,78 adalah 2,55. Maka didapatkan dimensi *baffled block* sebagai berikut:

- tinggi *baffled block* (h_3)

$$h_3 = 2,55 \times D_1$$

$$h_3 = 2,55 \times 0,8$$

$$h_3 = 2,05 \text{ cm}$$

Maka tinggi *baffled block* untuk model asli USBR tipe III adalah **2,05 cm**

- jarak pemasangan antar *baffled block* (s_3)

$$s_3 = 0,75 \times h_3$$

$$s_3 = 0,75 \times 2,05$$

$$s_3 = 1,53 \text{ cm}$$

Maka jarak pemasangan *baffled block* untuk model asli USBR tipe III adalah 1,53 cm

- lebar *baffled block* (w_3)

$$w_3 = 0,75 \times h_3$$

$$w_3 = 0,75 \times 2,05$$

$$w_3 = 1,53 \text{ cm}$$

Maka lebar *baffled block* untuk model asli USBR tipe III adalah 1,53 cm

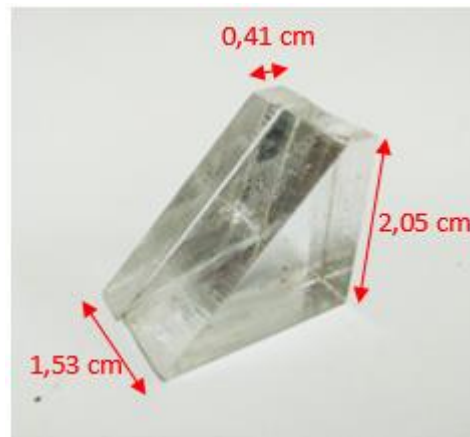
- tebal ujung atas *baffled block* ($0,2 h_3$)

$$0,2 h_3 = 0,2 \times 2,05$$

$$0,2 h_3 = 0,41 \text{ cm}$$

Maka tebal ujung atas *baffled block* untuk model asli USBR tipe III adalah 0,41 cm

Berdasarkan hasil perhitungan tersebut, dimensi *baffled block* untuk penelitian ini dapat dilihat pada gambar 4.6



Gambar 4.6 Dimensi *Baffled block* (sumber: Dokumentasi Pribadi)

2. Dimensi *baffled block* modifikasi

Modifikasi dimensi *baffled block* ini disesuaikan dengan model penelitian yang dibuat, dimana letak *baffled block* disesuaikan sehingga terletak diantar *chute block*. Agar *baffled block* dapat terletak persis diantar *chute*

block, maka lebar *baffled block* harus disesuaikan dengan lebar dan jarak antar pemasangan *chute block*. Berdasarkan teori tersebut maka dimensi *baffled block* yang telah dimodifikasi adalah sebagai berikut:

- jarak pemasangan antar *baffled block* modifikasi (s_3')

$$s_3' = D_1$$

$$s_3' = 0,8 \text{ cm}$$

Maka jarak pemasangan *baffled block* untuk model modifikasi USBR tipe III adalah 0,8 cm

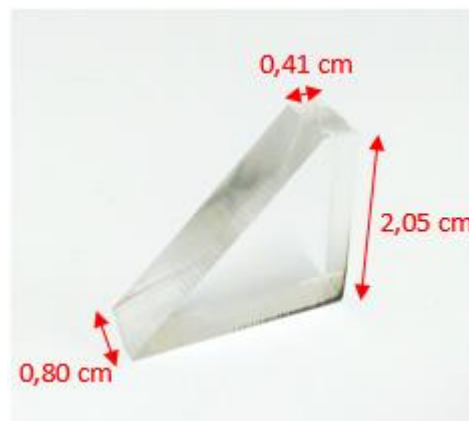
- lebar *baffled block* modifikasi (w_3')

$$w_3' = D_1$$

$$w_3' = 0,8 \text{ cm}$$

Maka lebar *baffled block* untuk model modifikasi USBR tipe III adalah 0,8 cm

Sedangkan tinggi dan tebal ujung atas *baffled block* tidak mengalami modifikasi yaitu $h_3 = 2,05 \text{ cm}$ dan $0,2h_3 = 0,41 \text{ cm}$. Berdasarkan hasil perhitungan tersebut, dimensi *baffled block* modifikasi untuk penelitian ini dapat dilihat pada gambar 4.7

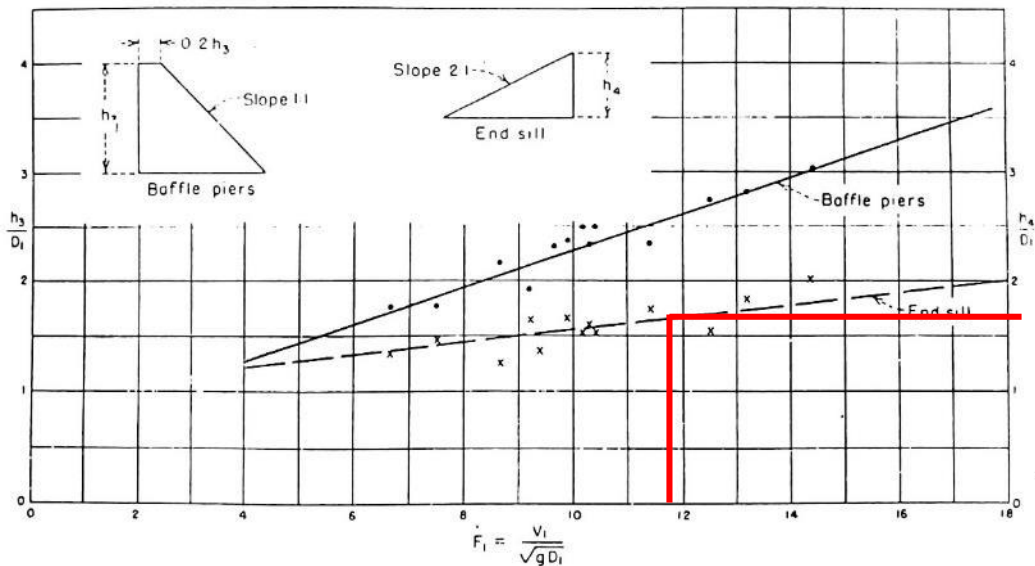


Gambar 4.7 Dimensi *Baffled block* Modifikasi (sumber: Dokumentasi Pribadi)

- e. Perhitungan dimensi *endsill*

Untuk mendapatkan dimensi *endsill*, diperlukan perhitungan nilai tinggi muka air sebelum loncatan air (D_1) dan angka Froude sebelum loncatan air (Fr_1) yang telah dihitung pada subbab 4.1.2 poin a. Tinggi air sebelum loncatan (D_1) yaitu sebesar 0,8 cm dan Fr_1 sebesar 11,78. Nilai Fr_1 ini kemudian diplotkan pada

grafik hubungan antara angka Froude di hulu peredam energi dengan perbandingan tinggi *endsill* (h_4) dan tinggi muka air sebelum loncatan air seperti terlihat pada Gambar 4.8



Gambar 4.8 Penentuan Tinggi *Endsill* (sumber: Peterka, 1978)

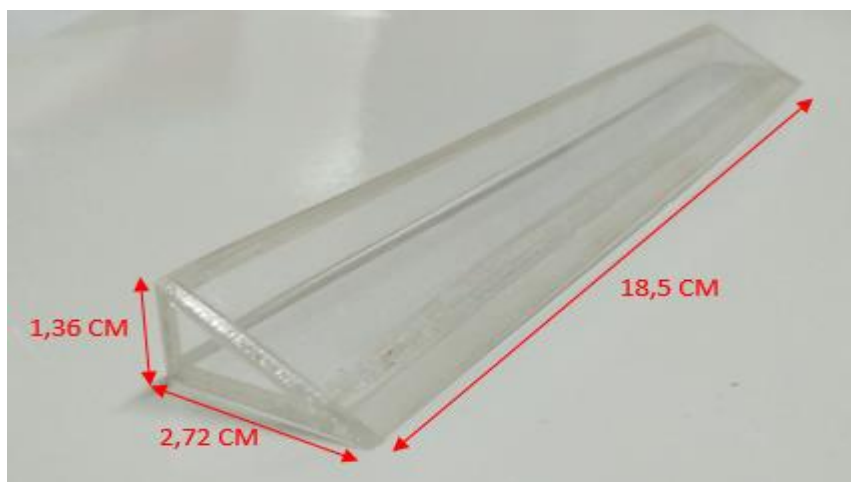
Berdasarkan grafik tersebut didapatkan nilai h_4/D_1 untuk Fr_1 sebesar 11,78 adalah 1,70. Maka didapatkan dimensi *endsill* sebagai berikut:

$$h_4 = 1,70 \times D_1$$

$$h_4 = 1,70 \times 0,8$$

$$h_4 = 1,36 \text{ cm}$$

Berdasarkan hasil perhitungan tersebut, dimensi *endsill* untuk penelitian ini dapat dilihat pada gambar 4.9.



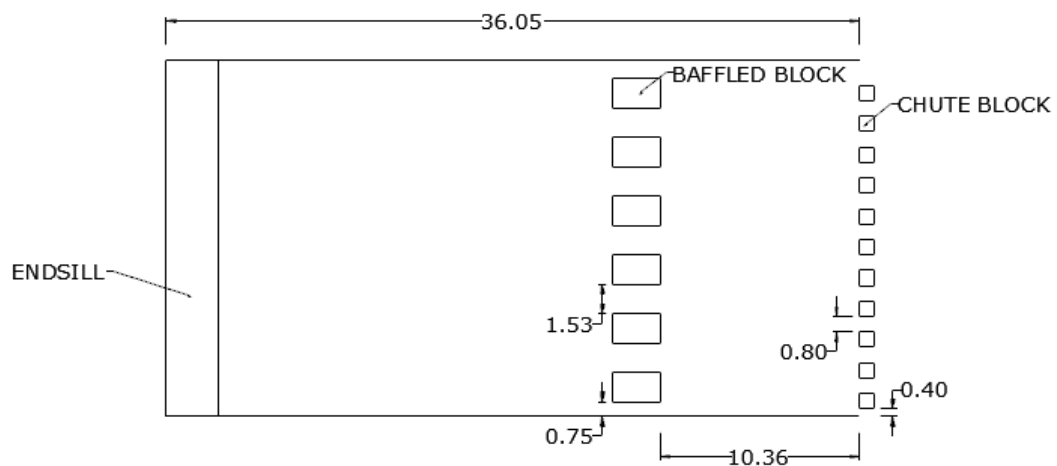
Gambar 4.9 Dimensi *Endsill* (sumber: Dokumentasi Pribadi)

4.2. Perancangan pemodelan

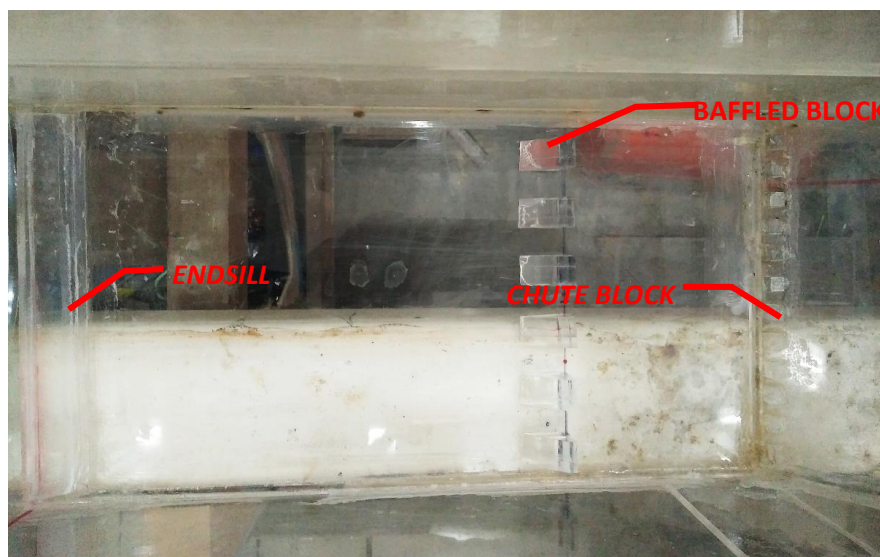
Pada tahap ini dilakukan perancangan model variasi pola pemasangan *baffled block*. Pada penelitian ini digunakan empat pola pemasangan yaitu:

a. Model seri 0

Model seri 0 merupakan model yang dibuat berdasarkan pola pemasangan *baffled block* asli kolam olak USBR tipe III. Dimensi kolam olak untuk model seri 0 telah dihitung pada subbab 4.1.2. Pemasangan model seri 0 ini dapat dilihat pada gambar 4.10.



(a)

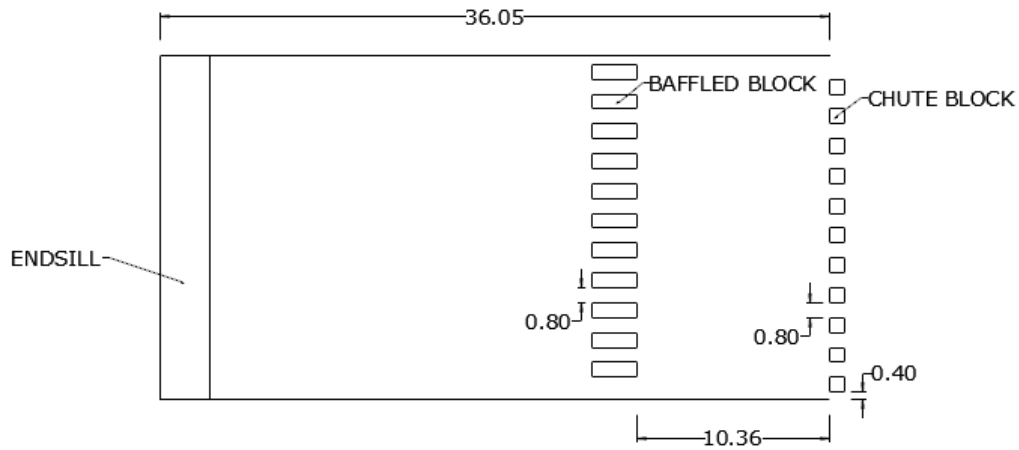


(b)

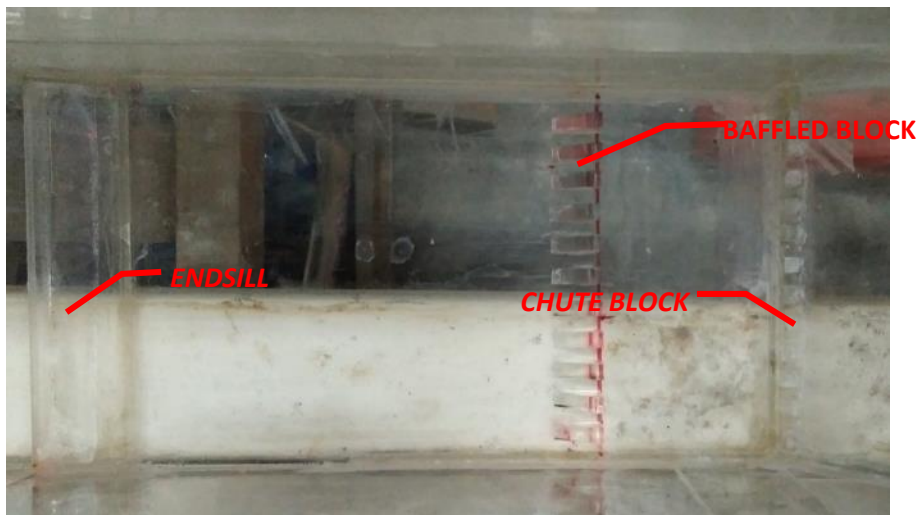
Gambar 4.10 Kolam Olak Model Seri 0 (a) Layout (b) Foto Pemasangan (sumber: Dokumentasi Pribadi)

b. Model seri 1

Model seri 1 merupakan alternative pola pemasangan *baffled block*, Model seri 1 ini dibuat berdasarkan hipotesa awal dimana *baffled block* akan bekerja lebih efisien apabila jarak antar *baffled block* disesuaikan sehingga letaknya berada diantara *chute block*. Letak *baffled block* yang seperti demikian memastikan aliran air yang belum teredam energinya oleh *chute block* akan diredam oleh *baffled block*. Dimensi kolam olak untuk model seri 1 telah dihitung pada subbab 4.1.2. Pemasangan model seri 1 ini dapat dilihat pada gambar 4.11.



(a)

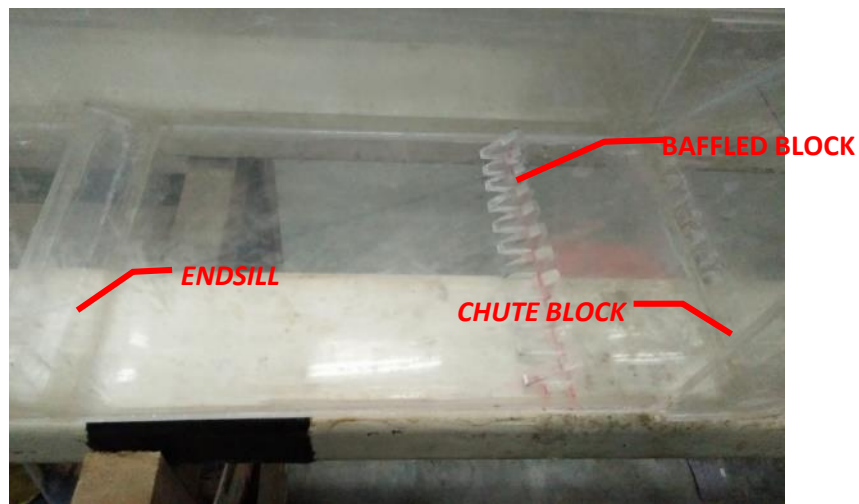
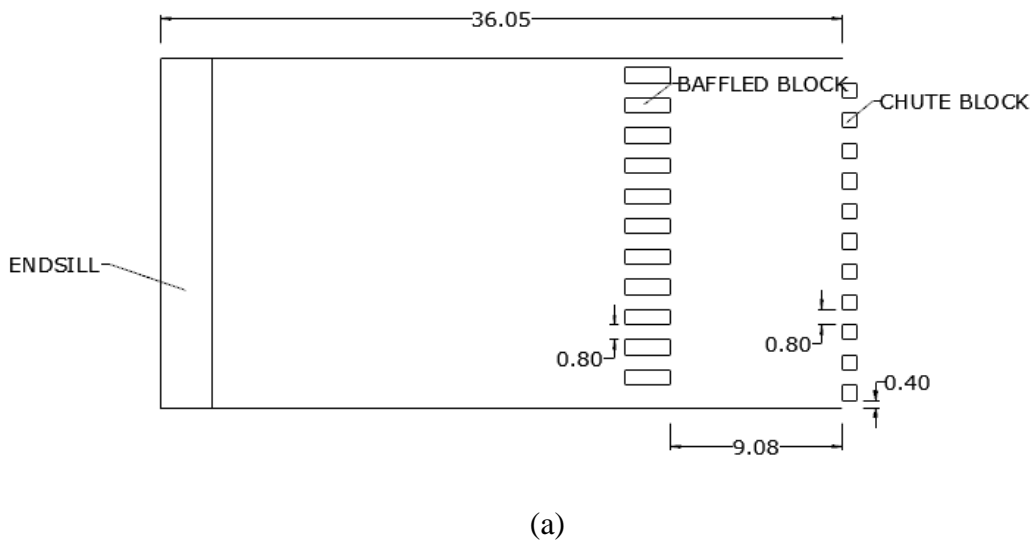


(b)

Gambar 4.11 Kolam Olak Model Seri 1 (a) Layout (b) Foto Pemasangan (sumber: Dokumentasi Pribadi)

c. Model seri 2

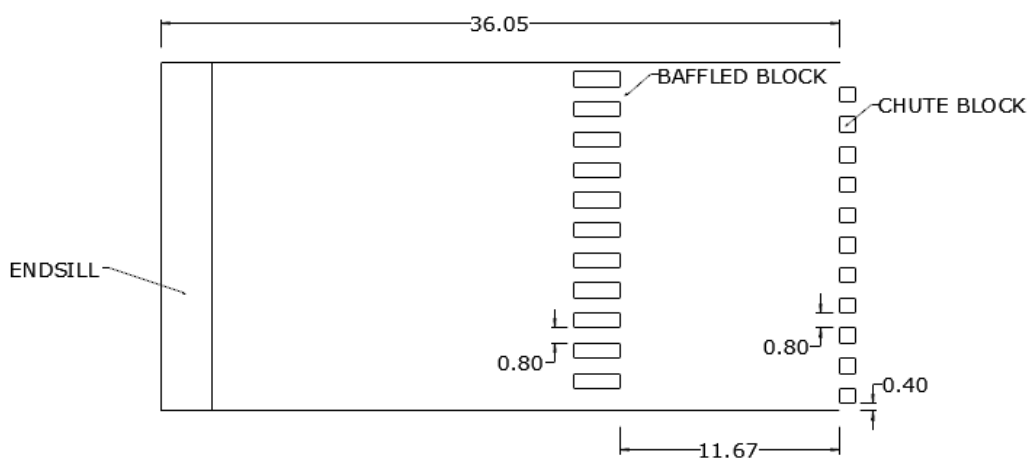
Model seri 2 merupakan alternative pola pemasangan *baffled block*. Model seri 2 ini merupakan modifikasi dari model seri 1 dimana berdasarkan hasil penelitian Adipura (2013) yang melakukan perubahan jarak longitudinal *baffled block* didapatkan adanya perubahan efektifitas reduksi energi aliran. Hipotesa awal berdasarkan hasil penelitian tersebut maka jarak longitudinal *baffled block* akan dimodifikasi menjadi $0,7 D_2$. Dimensi kolam olak untuk model seri 2 telah dihitung pada subbab 4.1.2. Pemasangan model seri 2 ini dapat dilihat pada gambar 4.12



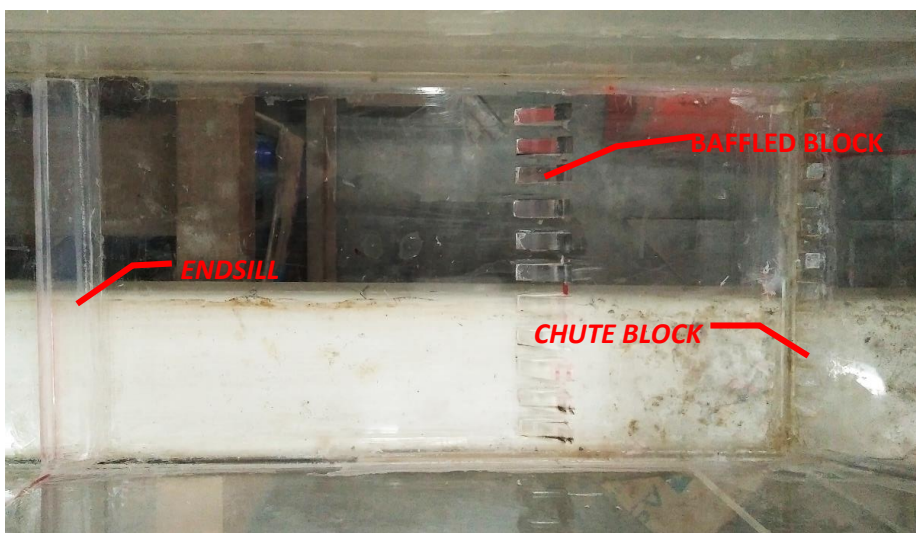
Gambar 4.12 Kolam Olak Model Seri 2 (a) Layout (b) Foto Pemasangan (sumber: Dokumentasi Pribadi)

d. Model seri 3

Model seri 3 merupakan alternative pola pemasangan *baffled block*. Model seri 3 ini sama seperti model seri 2 yaitu merupakan modifikasi dari model seri 1 berdasarkan hasil penelitian Adipura (2013) Hipotesa awal berdasarkan hasil penelitian tersebut maka jarak longitudinal *baffled block* akan dimodifikasi menjadi $0,9 D_2$. Dimensi kolam olak untuk model seri 3 telah dihitung pada subbab 4.1.2. Pemasangan model seri 3 ini dapat dilihat pada gambar 4.13



(a)



(b)

Gambar 4.13 Kolam Olak Model Seri 3 (a) Layout (b) Foto Pemasangan (sumber: Dokumentasi Pribadi)

4.3. Perhitungan Tail Water depth (TW depth)

Pada perencanaan USBR tipe III besar nilai TW depth sama dengan tinggi muka air setelah loncatan air (D_2). Nilai D_2 dapat dihitung menggunakan rumus 2-1 sebagai berikut:

$$D_2 = \frac{D_1}{2} \left(\sqrt{1 + 8Fr_1^2} - 1 \right)$$

Untuk itu diperlukan perhitungan tinggi muka air sebelum loncatan (D_1) untuk semua debit yang akan digunakan pada penelitian. Perhitungan D_1 dilakukan dengan cara yang sama seperti pada tabel 4.2. Berdasarkan tabel 4.2 didapatkan tinggi muka air sebelum loncatan air (D_1) untuk Q3 adalah sebesar 0,8 cm. Perhitungan D_1 untuk debit Q1, Q2, Q4, dan Q5 dapat dilihat pada tabel 4.3 sampai dengan tabel 4.6.

Tabel 4.3 Perhitungan D_1 untuk debit Q1

No.	dx	A (cm ²)	v (cm/det)	Fr	v ² /2g (cm)	z (cm)	He (cm)	D (cm)
1	0,0	65,02	58,72	1,00	1,76	50,0	55,272	3,51
2	10,0	22,71	168,11	4,84	14,40	40,0	55,272	1,23
3	20,0	17,38	219,73	7,24	24,61	30,0	55,272	0,94
4	30,0	14,63	260,97	9,37	34,71	20,0	55,272	0,79
5	40,0	12,88	296,41	11,34	44,78	10,0	55,272	0,70
6	50,0	11,64	327,98	13,20	54,83	0,0	55,272	0,63

Sumber: Perhitungan

Tabel 4.4 Perhitungan D_1 untuk Debit Q2

No.	dx	A (cm ²)	v (cm/det)	Fr	v ² /2g (cm)	z (cm)	He (cm)	D (cm)
1	0,0	70,82	61,28	1,00	1,91	50,0	55,742	3,83
2	10,0	25,50	170,22	4,63	14,77	40,0	55,742	1,38
3	20,0	19,60	221,44	6,87	24,99	30,0	55,742	1,06
4	30,0	16,54	262,46	8,86	35,11	20,0	55,742	0,89
5	40,0	14,58	297,75	10,71	45,19	10,0	55,742	0,79
6	50,0	13,18	329,21	12,45	55,24	0,0	55,742	0,71

Sumber: Perhitungan

Tabel 4.5 Perhitungan D₁ untuk Debit Q₄

No.	dx	A (cm ²)	v (cm/det)	Fr	v ² /2g (cm)	z (cm)	He (cm)	D (cm)
1	0,0	83,02	66,35	1,00	2,24	50,0	56,731	4,49
2	10,0	31,56	174,53	4,27	15,52	40,0	56,731	1,71
3	20,0	24,48	224,97	6,24	25,79	30,0	56,731	1,32
4	30,0	20,74	265,54	8,01	35,94	20,0	56,731	1,12
5	40,0	18,33	300,52	9,64	46,03	10,0	56,731	0,99
6	50,0	16,60	331,76	11,18	56,10	0,0	56,731	0,90

Sumber: Perhitungan

Tabel 4.6 Perhitungan D₁ untuk Debit Q₅

No.	dx	A (cm ²)	v (cm/det)	Fr	v ² /2g (cm)	z (cm)	He (cm)	D (cm)
1	0,0	89,40	68,85	1,00	2,42	50,0	57,249	4,83
2	10,0	34,83	176,72	4,11	15,92	40,0	57,249	1,88
3	20,0	27,14	226,77	5,98	26,21	30,0	57,249	1,47
4	30,0	23,04	267,12	7,64	36,37	20,0	57,249	1,25
5	40,0	20,39	301,95	9,18	46,47	10,0	57,249	1,10
6	50,0	18,48	333,07	10,64	56,54	0,0	57,249	1,00

Sumber: Perhitungan

Berdasarkan tabel tersebut didapatkan tinggi muka air untuk masing-masing debit. Kemudian dapat dihitung tinggi muka air setelah loncatan air (D₂) menggunakan rumus 2-1. Hasil perhitungan D₂ untuk masing-masing debit dapat dilihat pada tabel 4. Nilai TW *depth* yang akan divariasikan untuk mengetahui efektivitas *baffled block* adalah 1 D₂; 0,9 D₂; 0,8 D₂ dan 0,7 D₂. Nilai variasi TW *depth* untuk masing-masing debit juga dapat dilihat pada tabel 4.7.

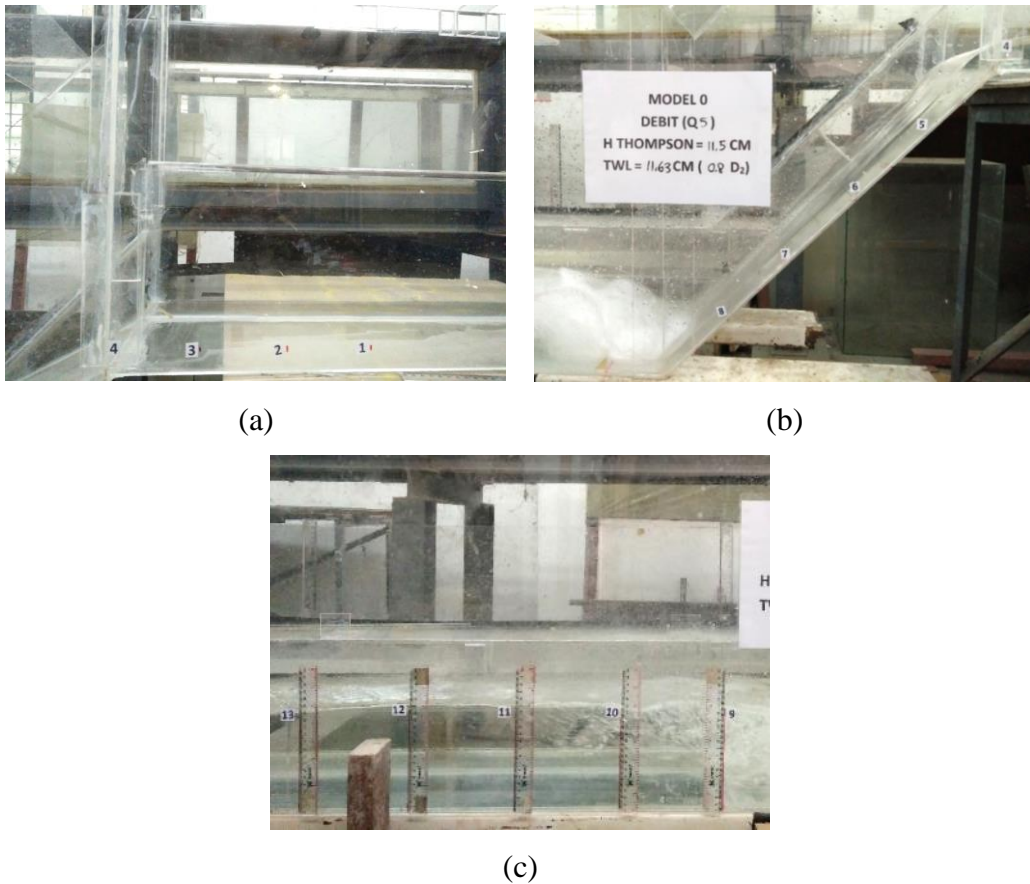
Tabel 4.7 Perhitungan Tail Water Depth

No.	Q _n	D ₁ (cm)	D ₂ (cm)	Tail Water Depth (cm)			
				1,0 D ₂	0,9 D ₂	0,8 D ₂	0,7 D ₂
1	Q ₅	1,00	14,54	14,54	13,09	11,63	10,18
2	Q ₄	0,90	13,75	13,75	12,37	11,00	9,62
3	Q ₃	0,80	12,97	12,97	11,67	10,37	9,08
4	Q ₂	0,71	12,20	12,20	10,98	9,76	8,54
5	Q ₁	0,63	11,44	11,44	10,29	9,15	8,01

Sumber: Perhitungan

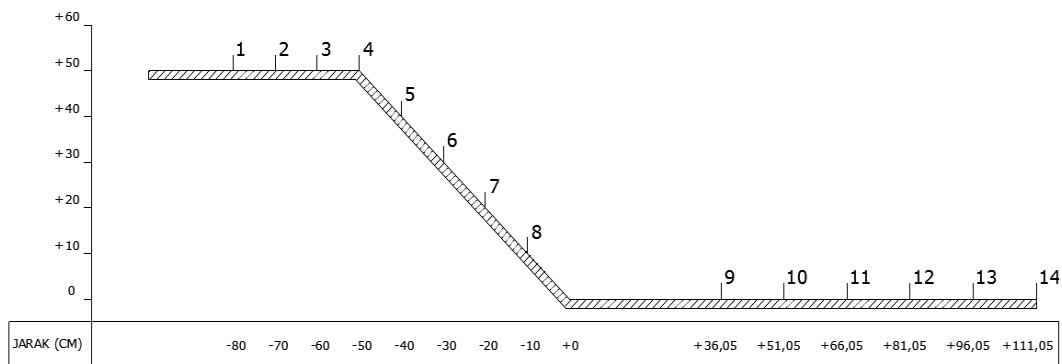
4.4. Pengukuran dan Pengamatan

Pada penelitian ini dilakukan pengukuran tinggi muka air dan kecepatan air menggunakan mistar ukur dan tabung pitot. Pengamatan dilakukan dengan mencatat kondisi aliran dan juga pengambilan dokumentasi berupa foto dan video terutama pada kolam olak. Untuk memudahkan analisa, maka titik-titik pengamatan ditetapkan dan diberi label seperti terlihat pada gambar 4.14



Gambar 4.14 Foto titik pengamatan dan pengukuran penelitian (a) bagian hulu saluran peluncur; (b) bagian saluran peluncur; (c) hilir kolam olak (sumber: Dokumentasi Pribadi)

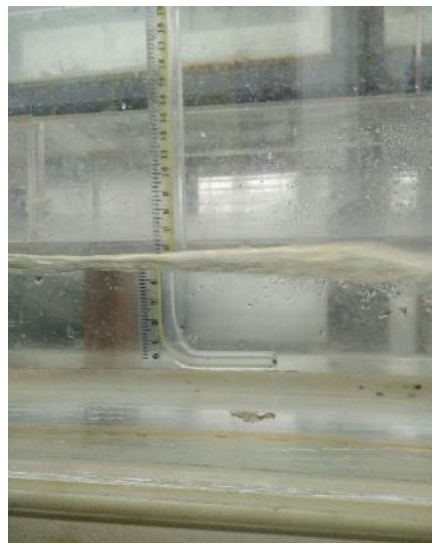
Pengamatan dilakukan pada beberapa titik, terutama pada bagian hulu dan hilir peredam energi. Titik pengamatan dibagi menjadi 14 titik dengan jarak titik seperti terlihat pada gambar 4.15



**Gambar 4.15 Profil Memanjang Titik-titik Pengukuran pada Flume
(Sumber: Pribadi)**

4.5. Kalibrasi data

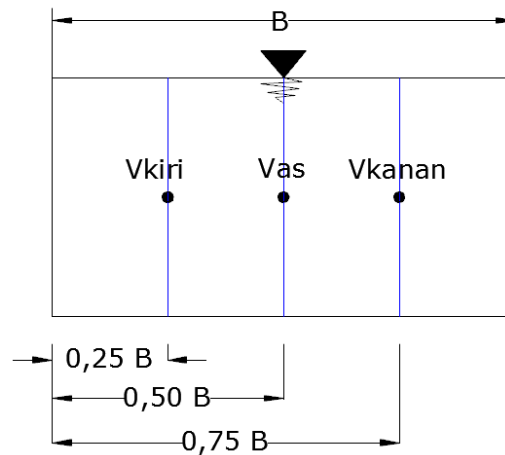
Pada penelitian ini, tabung pitot digunakan untuk mengukur kecepatan aliran. Pengukuran menggunakan tabung pitot pada penelitian ini dapat dilihat pada Gambar 4.16



Gambar 4.16 Pengukuran menggunakan tabung pitot (sumber: Dokumentasi Pribadi)

Prosedur pengukuran menggunakan tabung pitot ini yaitu dilakukan dengan membagi penampang melintang aliran menjadi 3 pias dan masing-masing titik diukur seperti terlihat pada gambar 4.17, dimana titik kanan berjarak 0,25 kali lebar

saluran, titik tengah berjarak 0,5 kali lebar saluran dan titik kiri berjarak 0,75 kali lebar saluran. Ketiga titik diukur dari 0,5 kali kedalaman air.



Gambar 4.17 Sketsa titik pengukuran tabung pitot (sumber:

Setelah itu dihitung rata-rata untuk tinggi tekanan dan dengan menggunakan rumus pada subbab 2.10 sehingga didapatkan kecepatan untuk masing-masing pias (V_{pitot}).

Berdasarkan Tabel 4.8 didapatkan kesalahan relatif untuk pengamatan pada tabung pitot sebesar 19,36%. Sehingga dilakukan perhitungan untuk mendapatkan koefisien kalibrasi dengan cara berikut:

$$K = 1 - \text{kesalahan relatif rerata}$$

$$K = 1 - 0,1936 = 0,8064$$

$$V_{\text{aktual pitot}} = K \cdot V_{\text{pitot}}$$

Sehingga hasil kecepatan secara aktual didapatkan dengan mengalikan koefisien kalibrasi sebesar 0,8064.

Tabel 4.8. Perhitungan Kalibrasi Alat Ukur Pitot

Titik	D	Q	A	v teori	h pitot	v pitot	KR	v akt	KR1
	cm	cm	cm ²	(cm/dt)	cm	(cm/dt)		(cm/dt)	
1	4.60	3817.98	85.10	44.86	1.73	58.32	0.30	47.02	0.05
2	4.40	3817.98	81.40	46.90	1.97	62.12	0.32	50.09	0.07
3	4.00	3817.98	74.00	51.59	2.47	69.57	0.35	56.10	0.09
4	3.00	3817.98	55.50	68.79	3.13	78.41	0.14	63.22	0.08

Tabel 4.8. Perhitungan Kalibrasi Alat Ukur Pitot (Lanjutan)

Titik	D	Q	A	v teori	h pitot	v pitot	KR	v akt	KR1
	cm	cm	cm ²	(cm/dt)	cm	(cm/dt)		(cm/dt)	
5	1.50	3817.98	27.75	137.58	11.84	152.44	0.11	122.92	0.11
6	1.20	3817.98	22.20	171.98	23.84	216.28	0.26	174.40	0.01
7	1.00	3817.98	18.50	206.38	26.10	226.31	0.10	182.49	0.12
8	0.80	3817.98	14.80	257.97	40.51	281.91	0.09	227.32	0.12
1	5.00	4340.35	92.50	46.92	2.10	64.19	0.37	51.76	0.10
2	4.80	4340.35	88.80	48.88	2.47	69.57	0.42	56.10	0.15
3	4.50	4340.35	83.25	52.14	2.65	72.11	0.38	58.14	0.12
4	3.30	4340.35	61.05	71.09	3.42	81.87	0.15	66.02	0.07
5	1.60	4340.35	29.60	146.63	11.77	151.98	0.04	122.55	0.16
6	1.40	4340.35	25.90	167.58	24.17	217.77	0.30	175.60	0.05
7	1.00	4340.35	18.50	234.61	32.82	253.76	0.08	204.62	0.13
8	0.90	4340.35	16.65	260.68	40.55	282.07	0.08	227.45	0.13
1	5.40	4903.40	99.90	49.08	2.33	67.66	0.38	54.56	0.11
2	5.00	4903.40	92.50	53.01	2.63	71.88	0.36	57.96	0.09
3	4.60	4903.40	85.10	57.62	3.20	79.24	0.38	63.89	0.11
4	3.50	4903.40	64.75	75.73	4.15	90.23	0.19	72.76	0.04
5	1.70	4903.40	31.45	155.91	12.83	158.68	0.02	127.96	0.18
6	1.40	4903.40	25.90	189.32	26.76	229.15	0.21	184.78	0.02
7	1.20	4903.40	22.20	220.87	32.56	252.76	0.14	203.81	0.08
8	1.00	4903.40	18.50	265.05	41.07	283.87	0.07	228.90	0.14
1	5.50	5508.15	101.75	54.13	2.38	68.38	0.26	55.14	0.02
2	5.20	5508.15	96.20	57.26	2.57	70.96	0.24	57.22	0.00
3	4.70	5508.15	86.95	63.35	3.02	76.93	0.21	62.04	0.02
4	3.60	5508.15	66.60	82.71	3.80	86.35	0.04	69.63	0.16
5	2.00	5508.15	37.00	148.87	12.20	154.70	0.04	124.74	0.16
6	1.60	5508.15	29.60	186.09	25.33	222.91	0.20	179.75	0.03
7	1.20	5508.15	22.20	248.12	33.98	258.19	0.04	208.19	0.16
8	1.10	5508.15	20.35	270.67	41.94	286.87	0.06	231.32	0.15
1	6.10	6155.58	112.85	54.55	2.82	74.34	0.36	59.94	0.10
2	5.80	6155.58	107.30	57.37	2.77	73.68	0.28	59.41	0.04
3	5.10	6155.58	94.35	65.24	3.45	82.27	0.26	66.34	0.02
4	4.00	6155.58	74.00	83.18	4.27	91.49	0.10	73.78	0.11
5	2.20	6155.58	40.70	151.24	13.38	162.00	0.07	130.63	0.14
6	1.70	6155.58	31.45	195.73	27.59	232.66	0.19	187.61	0.04
7	1.40	6155.58	25.90	237.67	35.25	262.98	0.11	212.06	0.11
8	1.20	6155.58	22.20	277.28	41.99	287.03	0.04	231.45	0.17
Rata-rata							19.36%		9.32%

Sumber: Perhitungan

Untuk kecepatan aktual pitot dilakukan pengecekan kembali kesalahan relatif yang terjadi dan didapatkan nilai 9,32 %. Nilai tersebut sudah di bawah batas nilai toleransi kesalahan yang diizinkan yaitu 10%. Dengan demikian, pengukuran menggunakan tabung pitot dengan mengalikan hasil pengukuran dengan koefisien kalibrasi sudah bisa memenuhi keandalan dan ketelitian pengukuran yang baik yaitu di atas 90%.

4.6. Analisa Data Hasil Pengukuran

Penelitian kemudian dilakukan dengan menggunakan flume yang sudah dimodifikasi. Penelitian dilakukan dengan mengukur kecepatan menggunakan tabung pitot yang sudah dikalibrasi pada subbab 4.5 dan mistar ukur untuk mengukur kedalaman air untuk setiap titik seperti yang telah dijelaskan pada subbab 4.4. Pengukuran dilakukan pada hulu dan hilir peredam energi untuk masing-masing model seri dan kondisi *TW depth*.

4.6.1 Penentuan titik pengamatan yang akan dianalisa

Pada penelitian ini untuk menentukan titik pengamatan yang akan dianalisa, maka dipilih titik pengamatan yang mempunyai kondisi aliran paling stabil dan yang paling dekat dengan kolam olak. Untuk itu dilakukan analisa kondisi kecepatan aliran dan tinggi muka air pada hilir kolam olak.

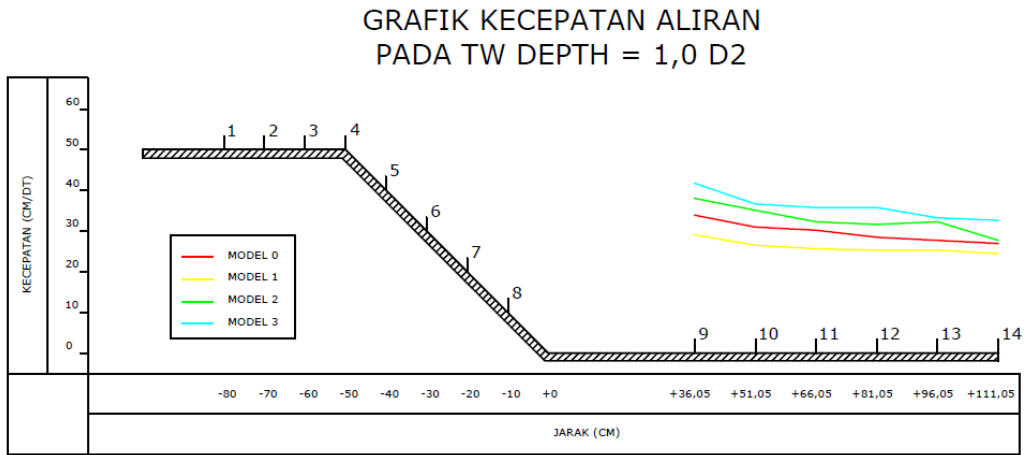
a. Kecepatan aliran

Grafik kecepatan aliran untuk masing-masing variasi *TW depth* dapat dilihat pada gambar 4.18 s.d. 4.20.

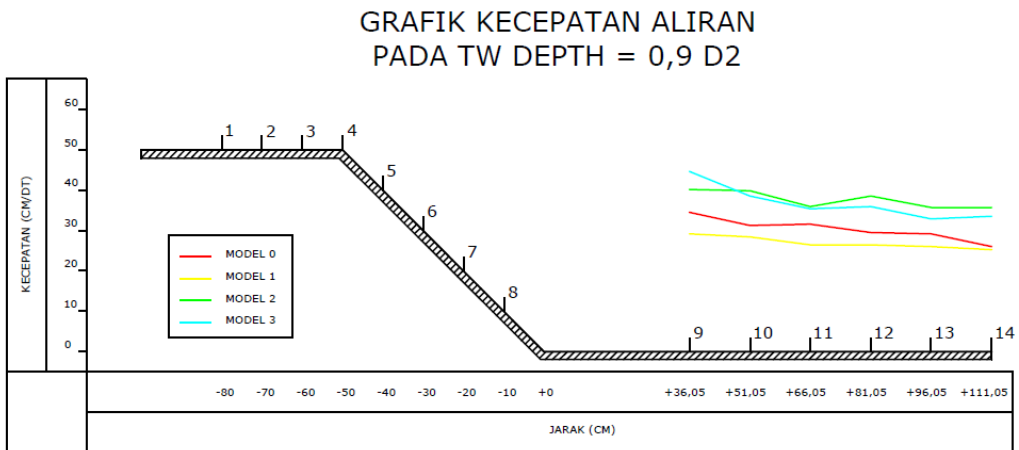
Berdasarkan grafik tersebut dapat dilihat untuk *TW depth* = 1,0 D_2 , kondisi hilir sudah stabil sehingga analisa dapat dilakukan pada titik 9. Pada model 0 dan model 1, untuk *TW depth* = 0,9 D_2 kondisi hilir sudah cukup stabil sehingga dapat dilakukan analisa pada titik pengamatan 9. Namun, untuk model 2 dan 3 dapat dilihat bahwa kondisi hilir aliran masih belum cukup stabil. Namun hasil perhitungan kecepatan tidak menunjukkan perbedaan yang cukup signifikan sehingga, titik pengamatan 9 masih akurat untuk menjadi titik analisa.

Sedangkan pada *TW depth* = 0,8 D_2 , pada semua model kolam olak dapat dilihat bahwa kondisi hilir aliran masih belum cukup stabil. Namun hasil perhitungan

kecepatan tidak menunjukkan perbedaan yang cukup signifikan, sehingga titik pengamatan 9 masih akurat untuk menjadi titik analisa.

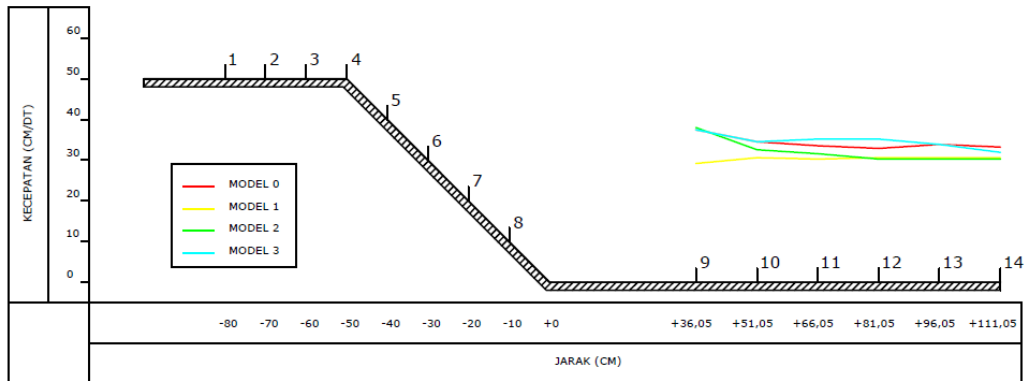


Gambar 4.18 Grafik Kecepatan Aliran Pada Hilir Kolam Olak pada TW depth = 1,0 D₂



Gambar 4.19 Grafik Kecepatan Aliran Pada Hilir Kolam Olak pada TW depth = 0,9 D₂

GRAFIK KECEPATAN ALIRAN
PADA TW DEPTH = 0,8 D₂

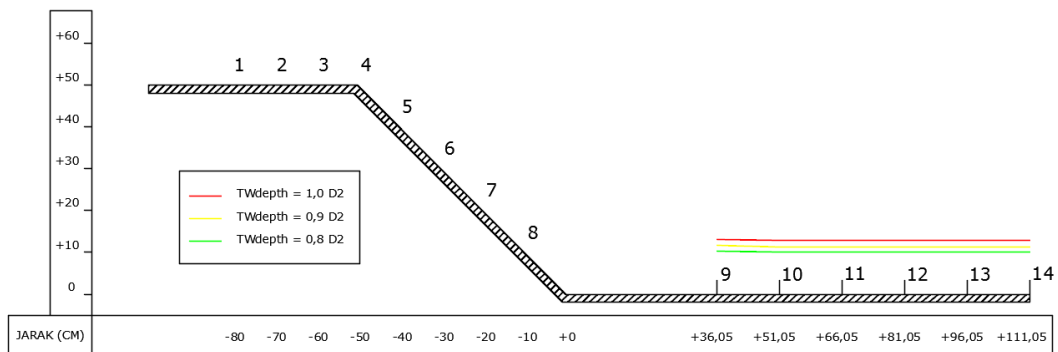


Gambar 4.20 Grafik Kecepatan Aliran Pada Hilir Kolam Olak pada TW *depth* = 0,8 D₂

b. Tinggi muka air

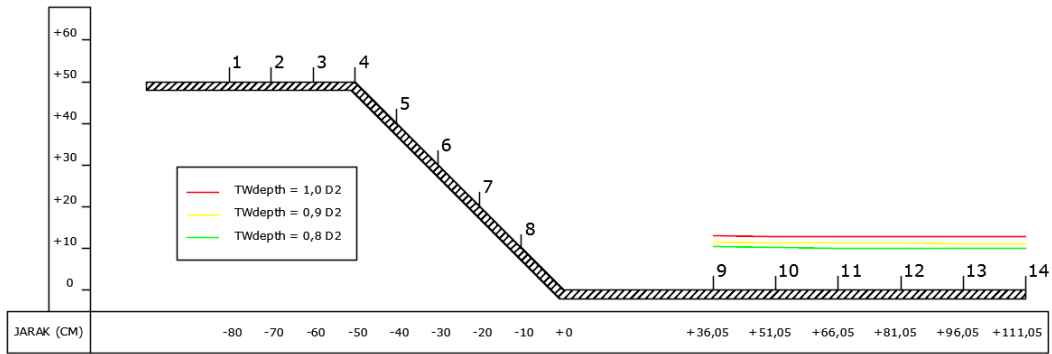
Profil tinggi muka air hilir kolam olak untuk masing-masing model dapat dilihat pada Gambar 4.21 s.d. 4.24. Berdasarkan gambar tersebut, dapat dilihat bahwa untuk semua model kolam olak dan variasi TW *depth*, kondisi hilir sudah cukup stabil. Tidak ada perbedaan yang cukup signifikan dari hasil pengukuran, sehingga titik pengamatan y₉ masih cukup akurat untuk dijadikan patokan analisa parameter hidraulik.

PROFIL MUKA AIR PADA
MODEL 0



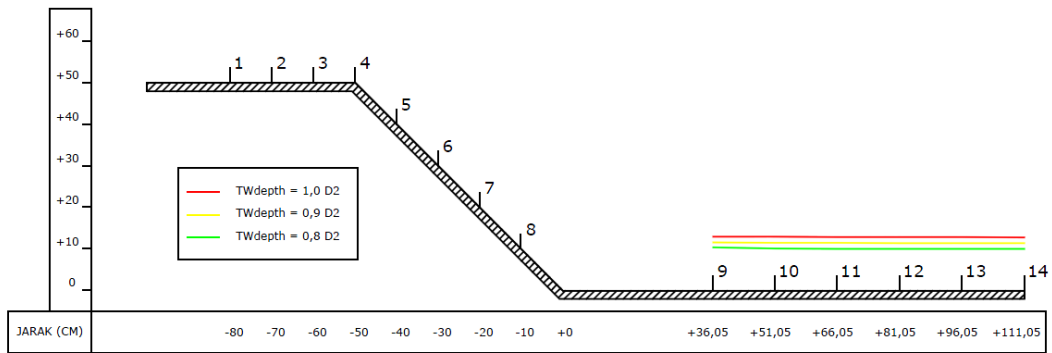
Gambar 4.21 Profil Muka Air di Hilir Kolam Olak Model 0

PROFIL MUKA AIR PADA
MODEL 1



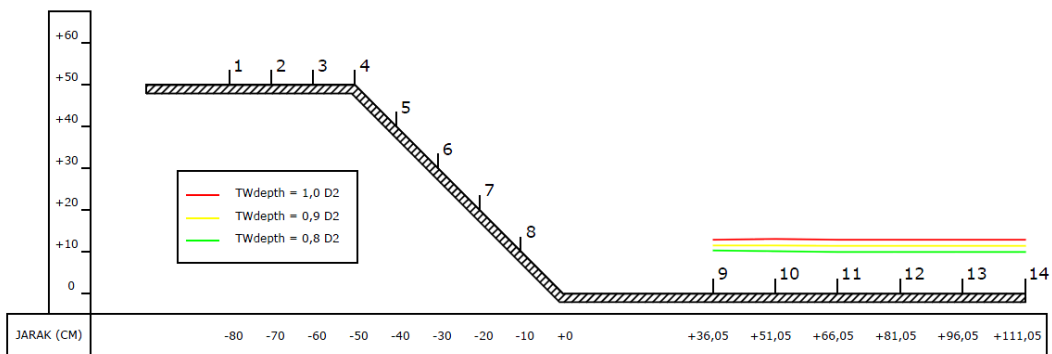
Gambar 4.22 Profil Muka Air di Hilir Kolam Olak Model 1

PROFIL MUKA AIR PADA
MODEL 2



Gambar 4.23 Profil Muka Air di Hilir Kolam Olak Model 2

PROFIL MUKA AIR PADA
MODEL 3



Gambar 4.24 Profil Muka Air di Hilir Kolam Olak Model 3

4.6.2 Profil Muka Air di Hilir Kolam Olak Model 3 Analisa Data Hasil Pengukuran Hulu Kolam Olak

Pengukuran kecepatan dan tinggi muka air pada hulu peredam energi dilakukan pada 8 titik yaitu titik 1 s.d. 8 seperti terlihat pada gambar 4.15 untuk tiap variasi debit. Nilai kecepatan yang didapat dari pengukuran kemudian dikalibrasikan dengan nilai $K= 0,8064$. Hasil pengukuran dan perhitungan hulu peredam energi ini dapat dilihat pada lampiran A tabel A.1 s.d. A.5

Berdasarkan hasil perhitungan kecepatan dan tinggi muka air tersebut, maka dapat dihitung angka Froude dan energi spesifik di hulu peredam energi untuk tiap variasi debit. Titik 8 dipilih sebagai patokan nilai kondisi hulu peredam energi.

Angka Froude dihitung menggunakan rumus 2-12 sedangkan energi spesifik dihitung menggunakan rumus 2-8. Hasil perhitungan kecepatan yang sudah terkalibrasi (v_1), angka Froude (Fr_1) dan energi spesifik (E_1) hulu peredam energi dapat dilihat pada tabel 4.9.

Tabel 4.9 Hasil Perhitungan Parameter Hidraulik Hulu Kolam Olak

No	Q	D ₁	v ₁	Fr ₁	E ₁
	cm/dt ³	cm	cm/dt		cm
1	2	3	4	5	6
1	3817,98	0,80	227,32	8,11	26,90
2	4340,35	0,90	227,45	7,65	27,00
3	4903,40	1,00	228,90	7,31	27,41
4	5508,15	1,10	231,32	7,04	28,05
5	6155,58	1,20	231,45	6,75	28,15

Sumber: Perhitungan

Keterangan:

- (2) : debit aliran
- (3) : tinggi muka air titik 8
- (4) : kecepatan aliran yang sudah terkalibrasi titik 8
- (5) : $(4) / (981*(1))^{0,5}$
- (6) : $(3) + ((4) \times \cos 45) ^2 / (2 \times 981)$

4.6.3 Analisa Data Hasil Pengukuran Hilir Kolam Olak

Pengukuran hilir kolam olak dilakukan untuk tiap variasi debit dan variasi *tail water level* (TW depth). Pengukuran kecepatan dan tinggi muka air pada hilir

kolam olak ini dilakukan pada 6 titik yaitu titik 9 s.d. 14 seperti terlihat pada gambar 4.15. Nilai kecepatan yang didapat dari pengukuran kemudian dikalibrasikan dengan nilai $K = 0,8064$. Hasil pengukuran dan perhitungan hilir kolam olak ini dapat dilihat pada lampiran A.

Berdasarkan hasil perhitungan kecepatan dan tinggi muka air tersebut, maka dapat dihitung angka Froude dan energi spesifik di hilir kolam olak untuk tiap variasi debit dan $TW\ depth$. Titik 9 dipilih sebagai patokan nilai kondisi hilir peredam energi.

Angka Froude dihitung menggunakan rumus 2-12 sedangkan energi spesifik dihitung menggunakan rumus 2-8. Perhitungan parameter hidraulik hilir untuk masing-masing model seri kolam olak ini dibedakan berdasarkan setting $TW\ depth$ hilir kolam olak yaitu 1,0 D_2 , 0,9 D_2 , 0,8 D_2 dan 0,7 D_2

1. Model 0

Hasil pengukuran dan perhitungan kecepatan aliran dan tinggi muka air hilir kolam olak model seri 0 ini dapat dilihat pada lampiran A tabel A.6 s.d. A.20.

a. $TW\ depth = 1,0 D_2$

Hasil perhitungan kecepatan yang sudah terkalibrasi (v_2), angka Froude (Fr_2) dan energi spesifik (E_2) hilir kolam olak model seri 0 untuk $setting\ TW\ depth = 1,0 D_2$ dapat dilihat pada tabel 4.10 berikut.

Tabel 4.10 Hasil Perhitungan Parameter Hidraulik Hilir Kolam Olak Model Seri 0 untuk $TW\ depth = 1,0 D_2$

No	Q	D_2	v_2	Fr_2	E_2
	cm/det ³	cm	cm/det		cm
1	3817,98	11,40	29,16	0,28	11,83
2	4340,35	12,20	32,61	0,30	12,74
3	4903,40	13,00	33,88	0,30	13,59
4	5508,15	13,80	35,12	0,30	14,43
5	6155,58	14,50	39,93	0,33	15,31

Sumber: Perhitungan

Keterangan:

- (2) : debit aliran
- (3) : tinggi muka air titik 9
- (4) : kecepatan aliran yang sudah terkalibrasi titik 9

$$(5) : (4) / (981*(1))^{0,5}$$

$$(6) : (3) + (4)^2 / (2 \times 981)$$

b. TW depth = 0,9 D₂

Hasil perhitungan kecepatan yang sudah terkalibrasi (v_2), angka Froude (Fr_2) dan energi spesifik (E_2) hilir kolam olak model seri 0 untuk setting *TW DEPTH* = 0,9 D_2 dapat dilihat pada tabel 4.11 berikut. Perhitungan parameter hidraulik untuk *TW depth* = 0,9 D_2 ini sama seperti pada tabel 4.10.

Tabel 4.11 Hasil Perhitungan Parameter Hidraulik Hilir Kolam Olak Model Seri 0 untuk TW depth = 0,9 D₂

No	Q	D ₂	v ₂	Fr ₂	E ₂
	cm/det ³	cm	cm/det		cm
1	3817,98	11,40	29,16	0,28	11,83
2	4340,35	12,20	32,61	0,30	12,74
3	4903,40	13,00	33,88	0,30	13,59
4	5508,15	13,80	35,12	0,30	14,43
5	6155,58	14,50	39,93	0,33	15,31

Sumber: Perhitungan

c. TW depth = 0,8 D₂

Hasil perhitungan kecepatan yang sudah terkalibrasi (v_2), angka Froude (Fr_2) dan energi spesifik (E_2) hilir kolam olak model seri 0 untuk setting *TW depth* = 0,8 D_2 dapat dilihat pada tabel 4.12 berikut. Perhitungan parameter hidraulik untuk *TW depth* = 0,8 D_2 ini sama seperti pada tabel 4.10.

Tabel 4.12 Hasil Perhitungan Parameter Hidraulik Hilir Kolam Olak Model Seri 0 untuk TW depth = 0,8 D₂

No	Q	D ₂	v ₂	Fr ₂	E ₂
	cm/det ³	cm	cm/det		cm
1	3817,98	9,20	39,13	0,41	9,98
2	4340,35	9,80	33,25	0,34	10,36
3	4903,40	10,40	37,46	0,37	11,12
4	5508,15	11,00	37,46	0,36	11,72
5	6155,58	11,60	43,26	0,41	12,55

Sumber: Perhitungan

d. TW depth = 0,7 D2

Pada kolam olak model seri 0 ini untuk setting TW depth = 0,7 D2, loncatan air keluar dari kolam olak seperti terlihat pada gambar 4.25.



(a)



(b)



(c)



(d)



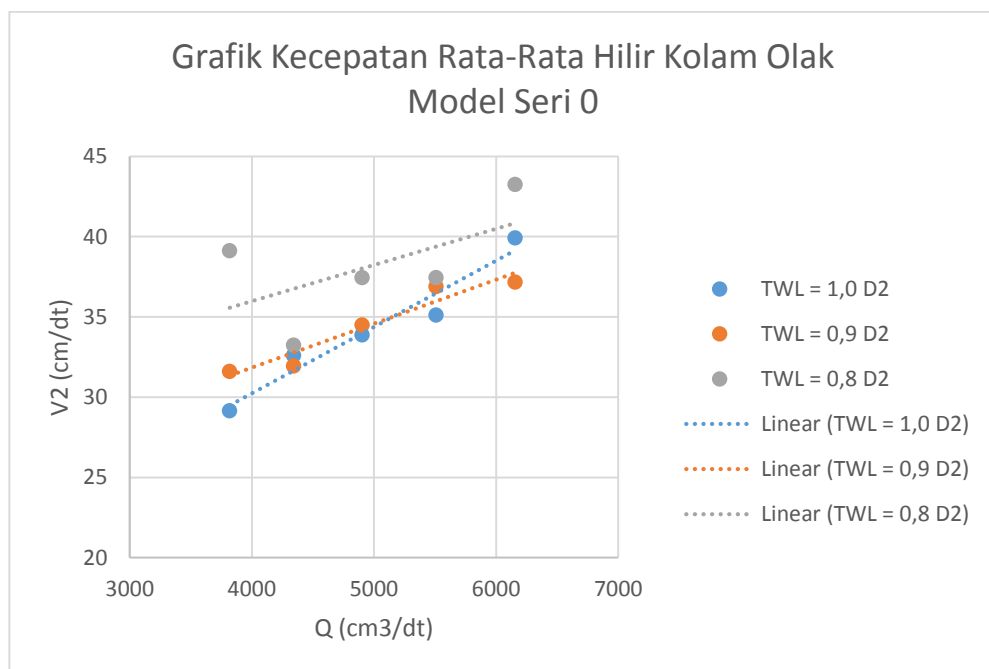
(e)

Gambar 4.25 Kondisi Loncatan Air pada Kolam Olak Model Seri 0 untuk TW depth = 0,7 D2 pada (a) Debit Q₁; (b) Debit Q₂; (c) Debit Q₃; (d) Debit Q₄; (e) Debit Q₅ (sumber: Dokumentasi Pribadi)

Kondisi yang terlihat pada gambar 4.25 ini menyebabkan tidak dapat dilakukan pengukuran pada semua variasi debit. Hal ini disebabkan karena loncatan air tidak teredam sempurna sehingga loncatan air keluar dari kolam olak. Hal ini mengakibatkan kondisi aliran di hilir kolam olak masih bergejolak dan dalam kondisi superkritis. Kondisi ini sesuai dengan dasar perencanaan kolam olak USBR tipe III, dimana minimum TW_{depth} agar kolam olak bekerja efektif dalam meredam energi adalah $0,8 D_2$.

Foto hasil pengamatan untuk tiap variasi debit dan TW_{depth} dapat dilihat pada lampiran B. Hasil analisa parameter hidraulik hilir kolam olak model seri 0 ini untuk tiap variasi debit dan setting TW_{depth} dapat diuraikan sebagai berikut:

- Perbandingan kecepatan rata-rata untuk tiap variasi TW_{depth} seperti terlihat pada gambar 4.26 berikut.

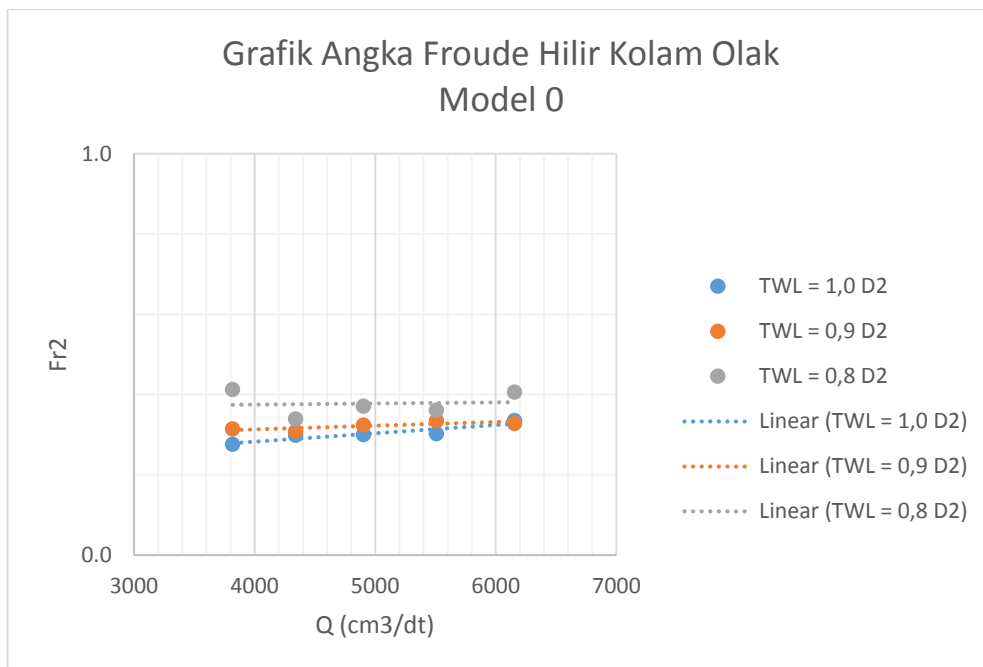


Gambar 4.26 Grafik Kecepatan Rata-Rata Hilir Kolam Model Seri 0
(sumber: Perhitungan)

Berdasarkan grafik kecepatan dan hasil pengamatan loncatan air untuk model seri 0 saat TW_{depth} di-setting kurang dari $1,0 D_2$, kecepatan aliran air di hilir menjadi kurang stabil dibandingkan saat $TW_{depth} = 1,0 D_2$. Terutama saat

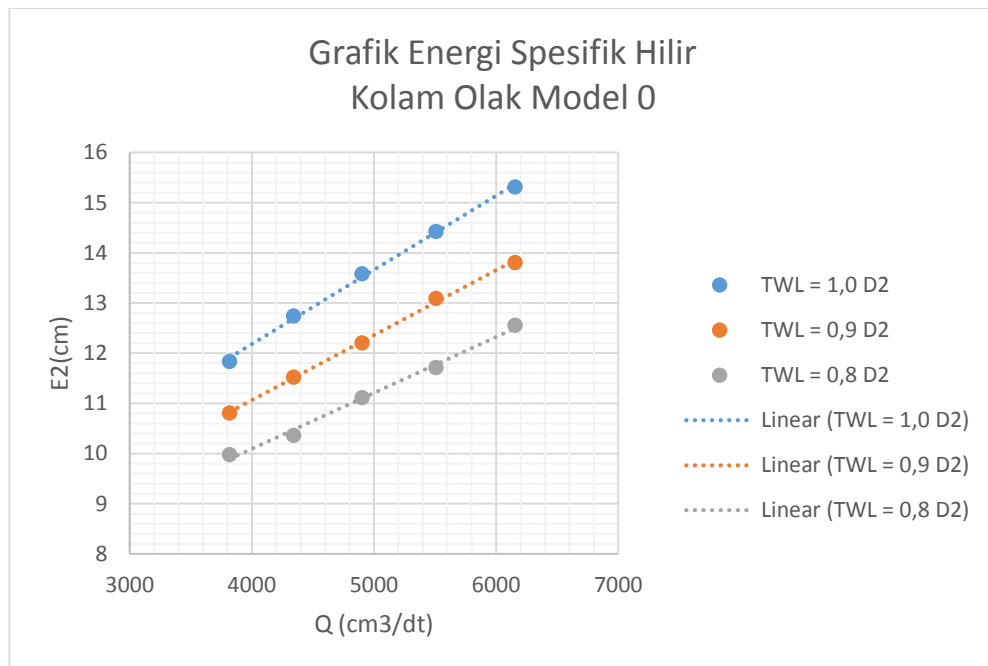
setting $TW\ depth = 0,8\ D2$, kondisi kecepatan aliran hilir sangat fluktuatif. Grafik tersebut juga menunjukkan bahwa semakin rendah $TW\ depth$ dari perencanaan rata-rata kecepatan aliran yang dihasilkan semakin besar.

- Perbandingan angka Froude di hilir kolam olak model seri 0 ini dapat dilihat pada gambar 4.27. Berdasarkan grafik tersebut dan hasil pengamatan aliran air hilir untuk model seri 0, aliran sudah mencapai kondisi subkritis ($Fr < 1$). Namun besar angka Froude untuk kondisi $TW\ depth = 0,8\ D$ juga fluktuatif. Grafik tersebut juga menunjukkan semakin rendah $TW\ depth$ dari perencanaan, semakin besar angka Froude yang dihasilkan atau bisa dikatakan aliran cenderung semakin menuju aliran superkritis.



Gambar 4.27 Grafik Angka Froude Hilir Kolam Model Seri 0 (sumber: Perhitungan)

- Perbandingan tinggi energi spesifik di hilir kolam olak model seri 0 ini dapat dilihat pada gambar 4.28. Grafik tersebut menunjukkan semakin rendah $TW\ depth$ dari perencanaan semakin kecil energi spesifik yang dihasilkan. Hal ini disebabkan, meskipun kecepatan aliran lebih tinggi namun tinggi muka air aliran semakin rendah.



Gambar 4.28 Grafik Energi Spesifik Hilir Kolam Model Seri 0 (sumber: Perhitungan)

2. Model 1

Hasil pengukuran dan perhitungan kecepatan aliran dan tinggi muka air hilir kolam olak model seri 1 ini dapat dilihat pada lampiran A tabel A.21 s.d. A.35

a. TW *depth* = 1,0 D₂

Hasil perhitungan kecepatan yang sudah terkalibrasi (v_2), angka Froude (Fr_2) dan energi spesifik (E_2) hilir kolam olak model seri 1 untuk setting TW *depth* = 1,0 D₂ dapat dilihat pada tabel 4.13 berikut. Perhitungan parameter hidraulik untuk TW *depth* = 1,0 D₂ ini sama seperti pada tabel 4.10

Tabel 4.13 Hasil Perhitungan Parameter Hidraulik Hilir Kolam Olak Model Seri 1 untuk TW *depth* = 1,0 D₂

No	Q	D ₂	v ₂	Fr ₂	E ₂
	cm/det ³	cm	cm/det		cm
1	3817,98	11,40	27,67	0,26	11,79
2	4340,35	12,20	28,42	0,26	12,61
3	4903,40	13,00	29,16	0,26	13,43
4	5508,15	13,80	31,27	0,27	14,30
5	6155,58	14,50	32,93	0,28	15,05

Sumber: Perhitungan

b. TW depth = 0,9 D₂

Hasil perhitungan kecepatan yang sudah terkalibrasi (v_2), angka Froude (Fr_2) dan energi spesifik (E_2) hilir kolam olak model seri 1 untuk setting TW depth = 0,9 D₂ dapat dilihat pada tabel 4.14 berikut. Perhitungan parameter hidraulik untuk TW depth = 0,9 D₂ ini sama seperti pada tabel 4.10.

Tabel 4.14 Hasil Perhitungan Parameter Hidraulik Hilir Kolam Olak Model Seri 1 untuk TW depth = 0,9 D₂

No	Q	D ₂	v ₂	Fr ₂	E ₂
	cm/det ³	cm	cm/det		cm
1	3817,98	10,30	26,49	0,26	10,66
2	4340,35	11,00	26,89	0,26	11,37
3	4903,40	11,60	29,16	0,27	12,03
4	5508,15	12,40	30,59	0,28	12,88
5	6155,58	13,10	32,28	0,28	13,63

Sumber: Perhitungan

c. TW depth = 0,8 D

Hasil perhitungan kecepatan yang sudah terkalibrasi (v_2), angka Froude (Fr_2) dan energi spesifik (E_2) hilir kolam olak model seri 1 untuk setting TW depth = 0,8 D₂ dapat dilihat pada tabel 4.15 berikut. Perhitungan parameter hidraulik untuk TW depth = 0,8 D₂ ini sama seperti pada tabel 4.10.

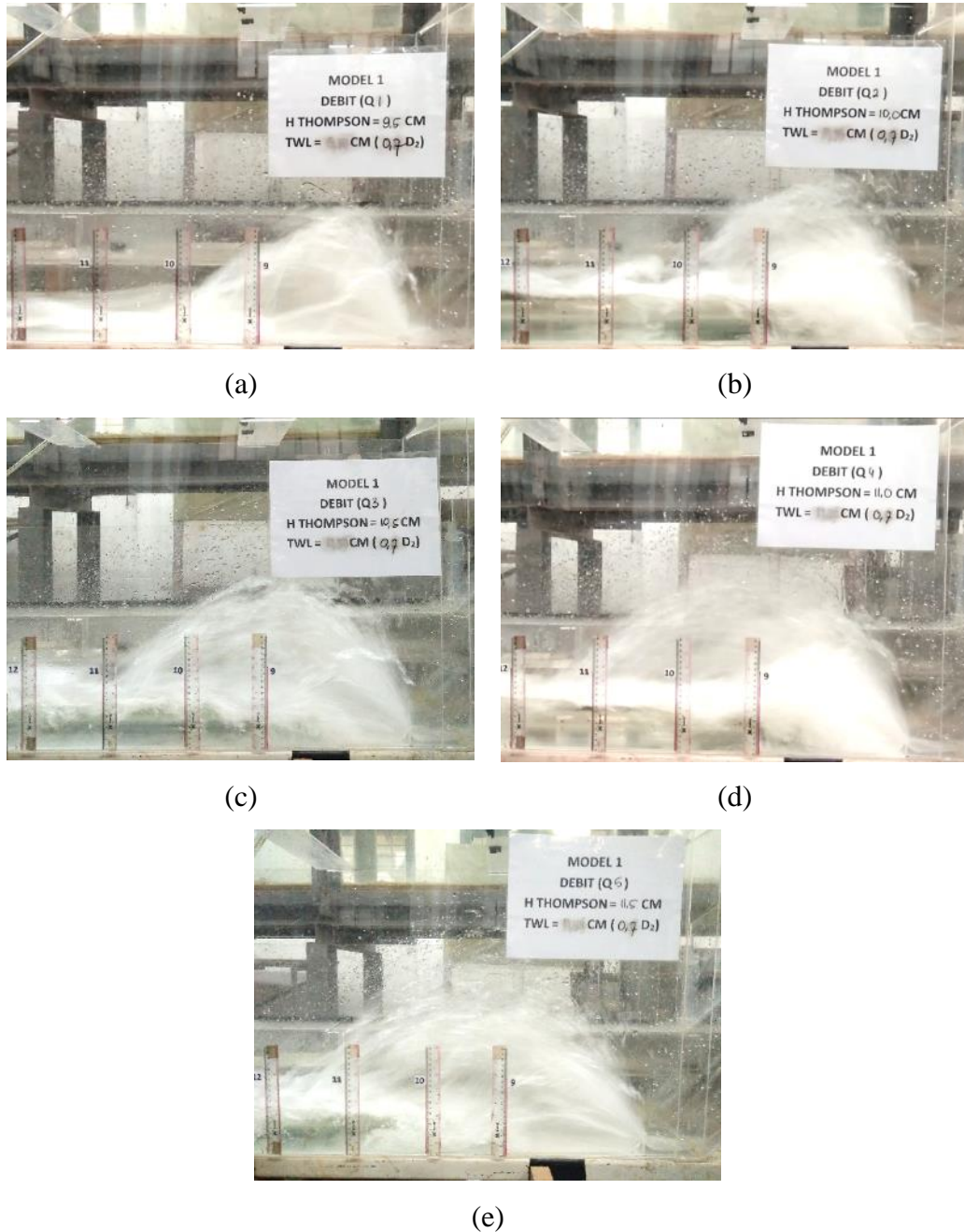
Tabel 4.15 Hasil Perhitungan Parameter Hidraulik Hilir Kolam Olak Model Seri 1 untuk TW depth = 0,8 D₂

No	Q	D ₂	v ₂	Fr ₂	E ₂
	cm/det ³	cm	cm/det		cm
1	3817,98	9,20	35,12	0,37	9,83
2	4340,35	9,80	30,59	0,31	10,28
3	4903,40	10,40	29,16	0,29	10,83
4	5508,15	11,00	33,25	0,32	11,56
5	6155,58	11,60	40,72	0,38	12,45

Sumber: Perhitungan

d. TW depth = 0,7 D2

Pada kolam olak model seri 1 ini, untuk setting TW depth = 0,7 D2, kondisi loncatan air tidak teredam sempurna sehingga loncatan air keluar dari kolam olak seperti terlihat pada gambar 4.29.

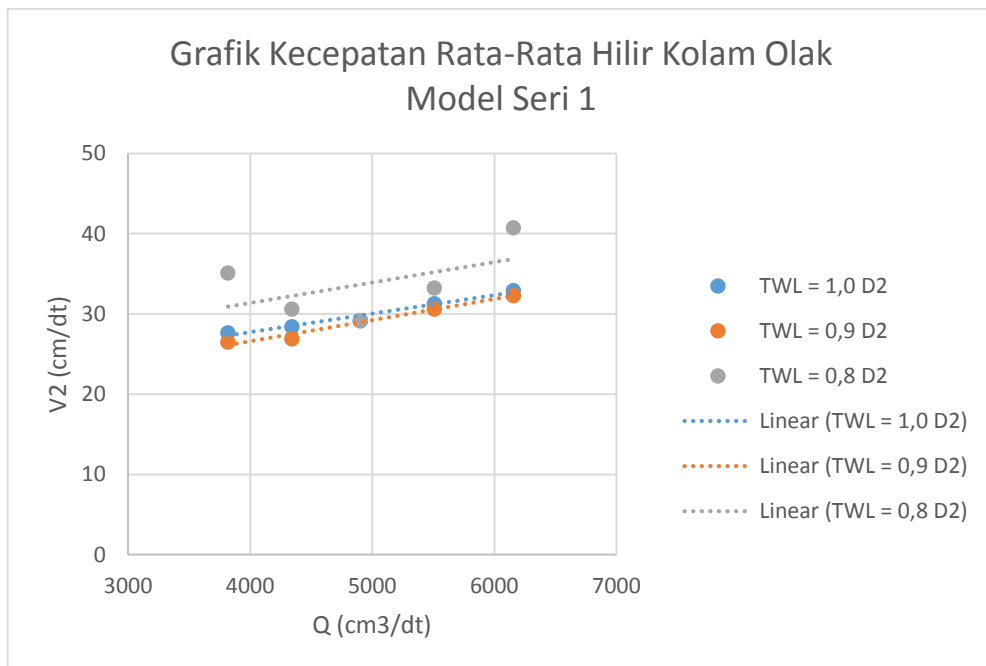


Gambar 4.29 Kondisi Loncatan Air pada Kolam Olak Model Seri 1 untuk TW depth = 0,7 D2 pada (a) Debit Q1; (b) Debit Q2 (sumber: Dokumentasi Pribadi)

Kondisi ini menyebabkan tidak dapat dilakukan pengukuran pada semua variasi debit. Hal ini mengakibatkan kondisi aliran di hilir kolam olak masih bergejolak dan dalam kondisi superkritis. Kondisi yang terlihat pada gambar 4.29 ini menunjukkan bahwa model seri 1 ini memiliki kemampuan yang relatif sama dengan model seri 0, dimana kolam olak akan bekerja efektif dengan minimum $TW\ depth = 0,8 D_2$.

Foto hasil pengamatan untuk tiap variasi debit dan $TW\ depth$ dapat dilihat pada lampiran B. Hasil analisa parameter hidraulik hilir kolam olak model seri 1 ini untuk tiap variasi debit dan setting $TW\ depth$ dapat diuraikan sebagai berikut:

- Perbandingan kecepatan rata-rata untuk tiap variasi $TW\ depth$ seperti terlihat pada gambar 4.30 berikut.

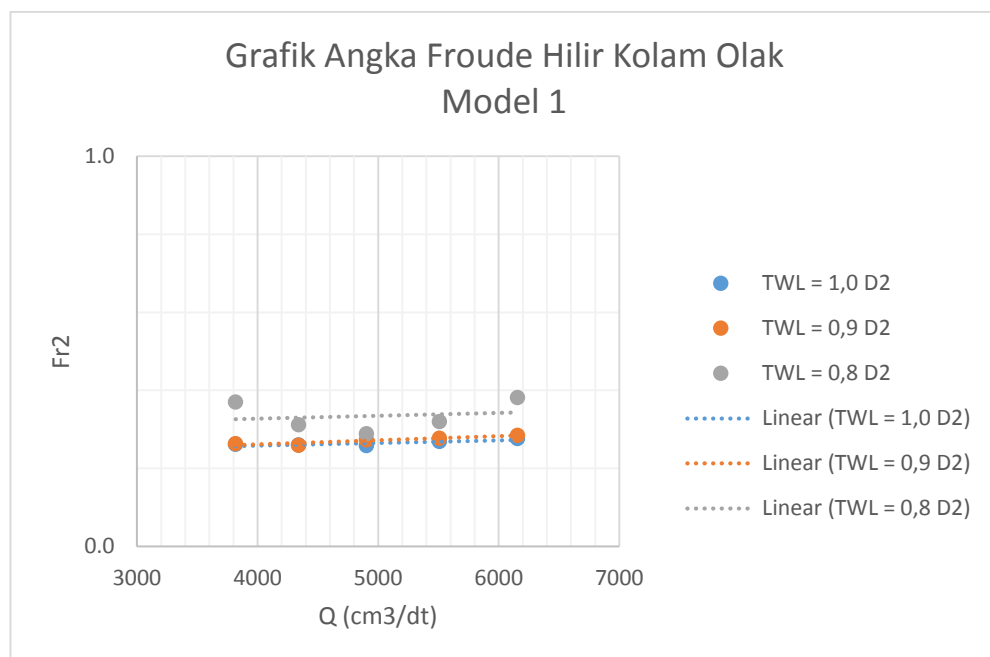


Gambar 4.30 Grafik Kecepatan Rata-Rata Hilir Kolam Model Seri 1
(sumber: Perhitungan)

Berdasarkan grafik kecepatan dan hasil pengamatan loncatan air untuk model seri 1 saat $TW\ depth = 0,8 D_2$, kecepatan aliran air di hilir menjadi kurang stabil dibandingkan saat $TW\ depth = 1,0 D_2$ dan $TW\ depth = 0,9 D_2$. Hal ini

disebabkan tinggi *TW depth* kurang dapat meredam aliran dengan sempurna. Kondisi aliran model seri 1 ini pada saat *TW depth* $0,9 D_2$ ini lebih stabil dibandingkan model seri 0 untuk setting *TW depth* yang sama. Pada model seri 1 ini, untuk *TW depth* = $0,9 D_2$, kemampuan model ini untuk menurunkan kecepatan relatif sama dengan setting *TW depth* = $1,0 D_2$.

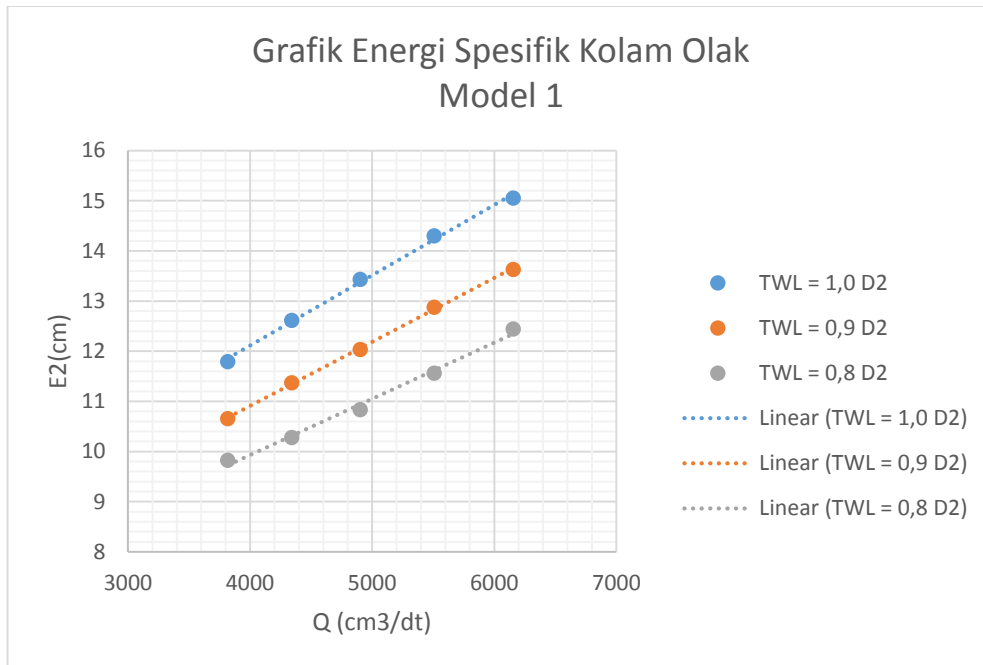
- Perbandingan angka Froude di hilir kolam olak model seri 1 ini dapat dilihat pada gambar 4.31.



Gambar 4.31 Grafik Angka Froude Hilir Kolam Model Seri 1 (sumber: Perhitungan)

Berdasarkan grafik tersebut dan hasil pengamatan aliran air hilir untuk model seri 1, aliran sudah mencapai kondisi subkritis. Untuk *TW depth* = $0,8 D_2$, besar angka Froude yang terjadi kurang stabil. Sedangkan untuk *TW depth* = $0,9 D_2$ dan *TW depth* = $1,0 D_2$, angka Froude yang dihasilkan relatif sama, atau dapat dikatakan kondisi aliran cenderung sama. Hal ini menunjukkan untuk kolam olak model seri 1 ini memiliki kemampuan yang lebih stabil dalam meredam aliran meskipun setting *TW depth* kurang dari perencanaan.

- Perbandingan tinggi energi spesifik di hilir kolam olak model seri 1 ini dapat dilihat pada gambar 4.32.



Gambar 4.32 Grafik Energi Spesifik Hilir Kolam Model Seri 1 (sumber: Perhitungan)

Grafik tersebut menunjukkan semakin rendah *TW depth* dari perencanaan semakin kecil energi spesifik yang dihasilkan. Hal ini disebabkan, meskipun kecepatan aliran lebih tinggi namun tinggi muka air aliran semakin rendah.

3. Model 2

Hasil pengukuran dan perhitungan kecepatan aliran dan tinggi muka air hilir kolam olak model seri 2 ini dapat dilihat pada lampiran A tabel A.36 s.d. A.50

a. *TW depth* = 1 D₂

Hasil perhitungan kecepatan yang sudah terkalibrasi (v_2), angka Froude (Fr_2) dan energi spesifik (E_2) hilir kolam olak model seri 2 untuk setting *TW depth* = 1,0 D₂ dapat dilihat pada tabel 4.16 berikut. Perhitungan parameter hidraulik untuk *TW depth* = 1,0 D₂ ini sama seperti pada tabel 4.10

Tabel 4.16 Hasil Perhitungan Parameter Hidraulik Hilir Kolam Olak Model Seri 2 untuk TW $depth = 1,0 D_2$

No	Q	D ₂	v ₂	Fr ₂	E ₂
	cm/det ³	cm	cm/det		cm
1	3817,98	11,40	25,26	0,24	11,73
2	4340,35	12,20	37,46	0,34	12,92
3	4903,40	13,00	38,02	0,34	13,74
4	5508,15	13,80	41,24	0,35	14,67
5	6155,58	14,50	42,51	0,36	15,42

Sumber: Perhitungan

b. TW $depth = 0,9 D_2$

Hasil perhitungan kecepatan yang sudah terkalibrasi (v_2), angka Froude (Fr_2) dan energi spesifik (E_2) hilir kolam olak model seri 2 untuk setting TW $depth = 0,9 D_2$ dapat dilihat pada tabel 4.17 berikut. Perhitungan parameter hidraulik untuk TW $depth = 0,9 D_2$ ini sama seperti pada tabel 4.10

Tabel 4.17 Hasil Perhitungan Parameter Hidraulik Hilir Kolam Olak Model Seri 2 untuk TW $depth = 0,9 D_2$

No	Q	D ₂	v ₂	Fr ₂	E ₂
	cm/det ³	cm	cm/det		cm
1	3817,98	10,30	30,24	0,30	10,77
2	4340,35	11,00	39,13	0,38	11,78
3	4903,40	11,60	40,20	0,38	12,42
4	5508,15	12,40	40,72	0,37	13,25
5	6155,58	13,10	43,01	0,38	14,04

Sumber: Perhitungan

c. TW $depth = 0,8 D_2$

Hasil perhitungan kecepatan yang sudah terkalibrasi (v_2), angka Froude (Fr_2) dan energi spesifik (E_2) hilir kolam olak model seri 2 untuk TW $depth = 0,8 D_2$ dapat dilihat pada tabel 4.18 berikut. Perhitungan parameter hidraulik untuk TW $depth = 0,8 D_2$ ini sama seperti pada tabel 4.10

Tabel 4.18 Hasil Perhitungan Parameter Hidraulik Hilir Kolam Olak Model Seri 2 untuk $TW\ depth = 0,8 D_2$

No	Q	D ₂	v ₂	Fr ₂	E ₂
	cm/det ³	cm	cm/det		cm
1	3817,98	9,20	33,25	0,35	9,76
2	4340,35	9,80	32,61	0,33	10,34
3	4903,40	10,40	38,02	0,38	11,14
4	5508,15	11,00	36,31	0,35	11,67
5	6155,58	11,70	46,34	0,43	12,79

Sumber: Perhitungan

d. $TW\ depth = 0,7 D_2$

Pada kolam olak model seri 2 ini, untuk setting $TW\ depth = 0,7 D_2$ pada semua variasi debit tidak dapat dilakukan pengukuran. Hal ini disebabkan karena loncatan air tidak teredam sempurna sehingga loncatan air keluar dari kolam olak seperti terlihat pada gambar 4.33. Hal ini mengakibatkan kondisi aliran di hilir kolam olak masih bergejolak dan dalam kondisi superkritis.

Kondisi yang terlihat pada gambar 4.33 ini menunjukkan bahwa model seri 1 ini memiliki kemampuan yang relatif sama dengan model seri 0, dimana kolam olak akan bekerja efektif dengan minimum $TW\ depth = 0,8 D_2$.



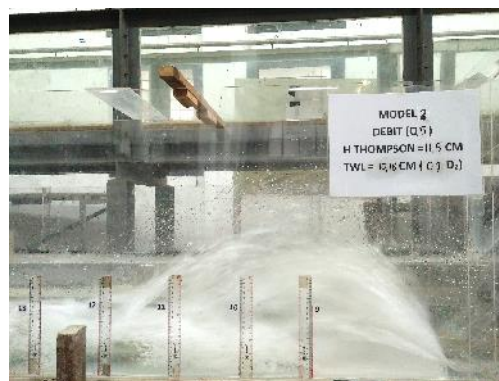
Gambar 4.33 Kondisi Loncatan Air pada Kolam Olak Model Seri 2 untuk $TW\ depth = 0,7 D_2$ pada (a) Debit Q₁; (b) Debit Q₂



(c)



(d)



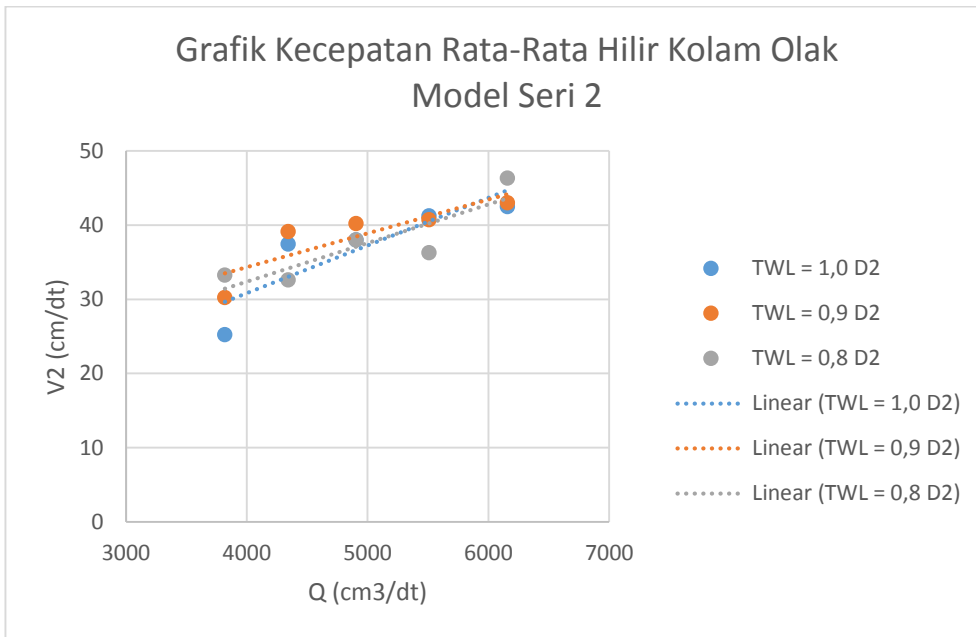
(e)

Gambar 4.26 (Lanjutan) Kondisi Loncatan Air pada Kolam Olak Model Seri 2 untuk $TW_{depth} = 0,7 D_2$ pada (c) Debit Q_3 ; (d) Debit Q_4 ; (e) Debit Q_5 (sumber: Dokumentasi Pribadi)

Foto hasil pengamatan untuk tiap variasi debit dan TW_{depth} dapat dilihat pada lampiran B. Hasil analisa parameter hidraulik hilir kolam olak model seri 2 ini untuk tiap variasi debit dan setting TW_{depth} dapat diuraikan sebagai berikut:

- Perbandingan kecepatan rata-rata untuk tiap variasi TW_{depth} seperti terlihat pada gambar 4.34 berikut. Berdasarkan grafik kecepatan dan hasil pengamatan loncatan air untuk model seri 2, kecepatan aliran pada semua setting TW_{depth} tidak stabil. Hal ini disebabkan loncatan air pada model seri 2 ini lebih tinggi apabila dibandingkan dengan model 0 dan 1. Hal ini disebabkan jarak antara *baffled block* dan *chute block* yang lebih pendek, menyebabkan momentum aliran lebih besar sehingga terjadi loncatan air yang lebih tinggi. Oleh karena

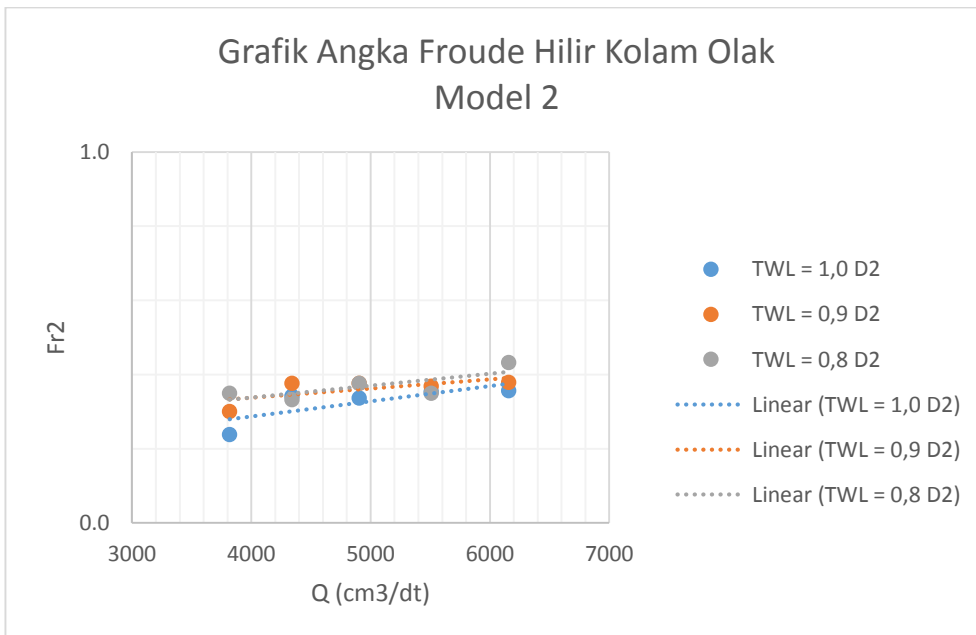
itu tinggi TW *depth* perencanaan USBR tipe III masih kurang mampu meredam energi aliran dengan sempurna.



Gambar 4.34 Grafik Kecepatan Rata-Rata Hilir Kolam Model Seri 2

(sumber: Perhitungan)

➤ Perbandingan angka Froude di hilir kolam olak model seri 2 ini dapat dilihat pada gambar 4.35.

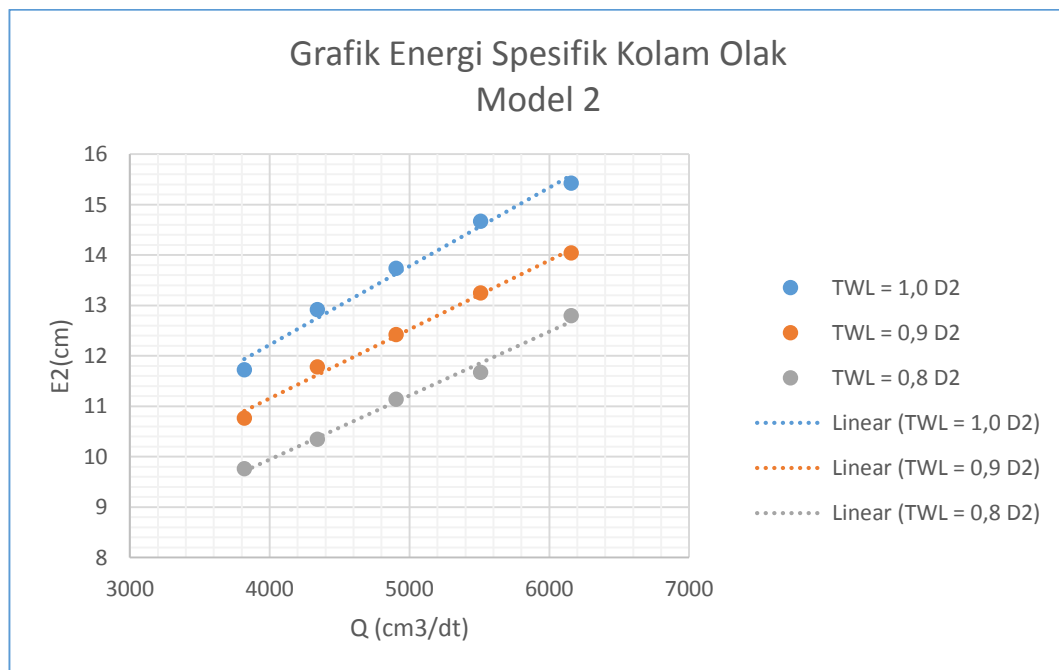


Gambar 4.35 Grafik Angka Froude Hilir Kolam Model Seri 2 (sumber:

Perhitungan)

Berdasarkan grafik tersebut dan hasil pengamatan aliran air hilir untuk model seri 2, besar angka Froude yang terjadi kurang stabil untuk semua setting *TW depth*. Besar angka Froude yang dihasilkan juga relatif sama. Hal ini menunjukkan bahwa model seri 2 ini tidak bekerja efektif pada setting *TW depth* sesuai perencanaan USBR tipe III.

- Perbandingan tinggi energi spesifik di hilir kolam olak model seri 2 ini dapat dilihat pada gambar 4.36. Grafik tersebut menunjukkan semakin rendah *TW depth* dari perencanaan semakin kecil energi spesifik yang dihasilkan. Hal ini disebabkan, meskipun kecepatan aliran lebih tinggi namun tinggi muka air aliran semakin rendah.



Gambar 4.36 Grafik Energi Spesifik Hilir Kolam Model Seri 2 (sumber: Perhitungan)

4. Model 3

Hasil pengukuran dan perhitungan kecepatan aliran dan tinggi muka air hilir kolam olak model seri 3 ini dapat dilihat pada lampiran A tabel A.51 s.d. A.65

a. TW depth = 1 D₂

Hasil perhitungan kecepatan yang sudah terkalibrasi (v_2), angka Froude (Fr_2) dan energi spesifik (E_2) hilir kolam olak model seri 3 untuk setting TW depth = 1,0 D₂ dapat dilihat pada tabel 4.19 berikut. Perhitungan parameter hidraulik untuk TW depth = 1,0 D₂ ini sama seperti pada tabel 4.10

Tabel 4.19 Hasil Perhitungan Parameter Hidraulik Hilir Kolam Olak Model Seri 3 untuk TW depth = 1,0 D₂

No	Q	D ₂	v ₂	Fr ₂	E ₂
	cm/det ³	cm	cm/det		cm
1	3817,98	11,40	33,88	0,32	11,99
2	4340,35	12,20	37,46	0,34	12,92
3	4903,40	13,00	41,76	0,37	13,89
4	5508,15	13,80	42,76	0,37	14,73
5	6155,58	14,50	49,45	0,41	15,75

Sumber: Perhitungan

b. TW depth = 0,9 D₂

Hasil perhitungan kecepatan yang sudah terkalibrasi (v_2), angka Froude (Fr_2) dan energi spesifik (E_2) hilir kolam olak model seri 3 untuk setting TW depth = 0,9 D₂ dapat dilihat pada tabel 4.20 berikut. Perhitungan parameter hidraulik untuk TW depth = 0,9 D₂ ini sama seperti pada tabel 4.10

Tabel 4.20 Hasil Perhitungan Parameter Hidraulik Hilir Kolam Olak Model Seri 3 untuk TW depth = 0,9 D₂

No	Q	D ₂	v ₂	Fr ₂	E ₂
	cm/det ³	cm	cm/det		cm
1	3817,98	10,30	36,01	0,36	10,96
2	4340,35	11,00	36,89	0,36	11,69
3	4903,40	11,60	44,71	0,42	12,62
4	5508,15	12,40	45,18	0,41	13,44
5	6155,58	13,10	49,02	0,43	14,32

Sumber: Perhitungan

c. TW depth = 0,8 D₂

Hasil perhitungan kecepatan yang sudah terkalibrasi (v_2), angka Froude (Fr_2) dan energi spesifik (E_2) hilir kolam olak model seri 3 untuk setting TW depth = 0,8 D₂ dapat dilihat pada tabel 4.21 berikut. Perhitungan parameter hidraulik untuk TW depth = 0,8 D₂ ini sama seperti pada tabel 4.10

Tabel 4.21 Hasil Perhitungan Parameter Hidraulik Hilir Kolam Olak Model Seri 3 untuk TW depth = 0,8 D₂

No	Q	D ₂	v ₂	Fr ₂	E ₂
	cm/det ³	cm	cm/det		cm
1	3817,98	9,20	36,89	0,39	9,89
2	4340,35	9,80	37,46	0,38	10,52
3	4903,40	10,40	37,46	0,37	11,12
4	5508,15	11,00	37,46	0,36	11,72
5	6155,58	11,60	51,35	0,48	12,94

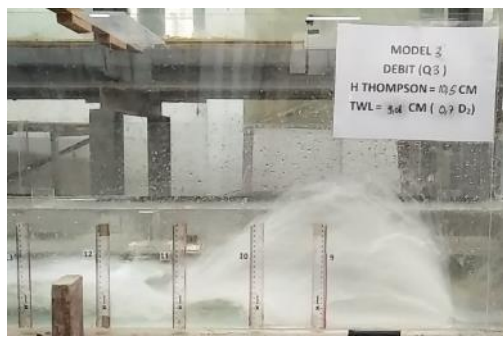
Sumber: Perhitungan

d. TW depth = 0,7 D₂

Pada kolam olak model seri 3 ini, untuk setting TW depth = 0,7 D₂ pada semua variasi debit tidak dapat dilakukan pengukuran. Hal ini disebabkan karena loncatan air tidak teredam sempurna sehingga loncatan air keluar dari kolam olak seperti terlihat pada gambar 4.37.



Gambar 4.37 Kondisi Loncatan Air pada Kolam Olak Model Seri 3 untuk TW depth = 0,7 D₂ pada (a) Debit Q₁; (b) Debit Q₂



(c)



(d)



(e)

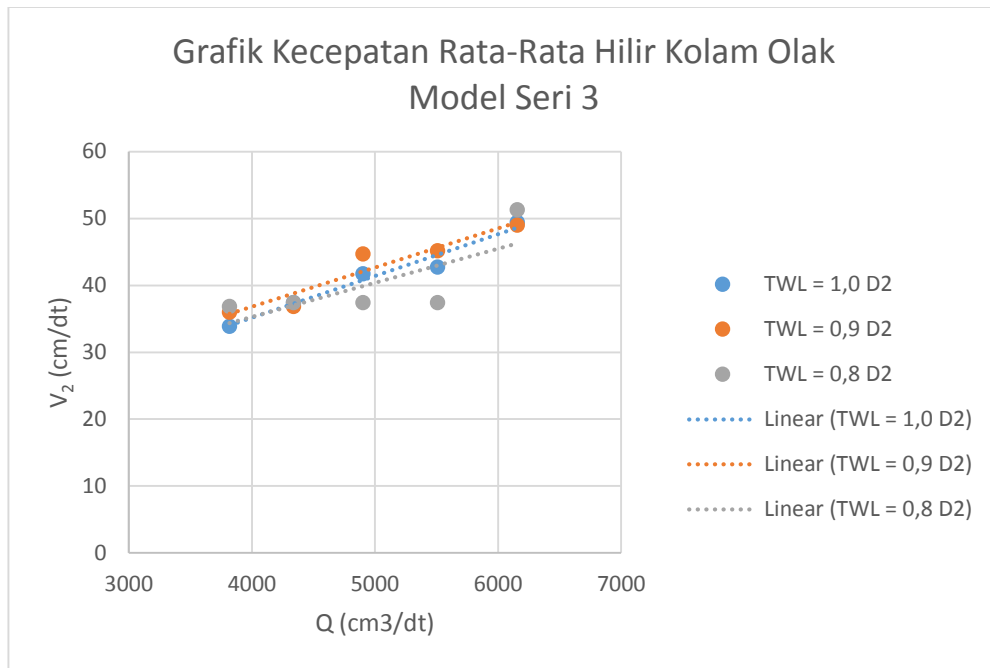
Gambar 4.30 (lanjutan) Kondisi Loncatan Air pada Kolam Olak Model Seri 3 untuk $TW_{depth} = 0,7 D_2$ pada (c) Debit Q_3 ; (d) Debit Q_4 ; (e) Debit Q_5 (sumber: Dokumentasi Pribadi)

Hal ini mengakibatkan kondisi aliran di hilir kolam olak masih bergejolak dan dalam kondisi superkritis. Kondisi yang terlihat pada gambar 4.37 ini menunjukkan bahwa model seri 3 ini memiliki kemampuan yang relatif sama dengan model seri 0, dimana kolam olak akan bekerja efektif dengan minimum $TW_{depth} = 0,8 D_2$.

Foto hasil pengamatan untuk tiap variasi debit dan TW_{depth} dapat dilihat pada lampiran B. Hasil analisa parameter hidraulik hilir kolam olak model seri 2 ini untuk tiap variasi debit dan setting TW_{depth} dapat diuraikan sebagai berikut:

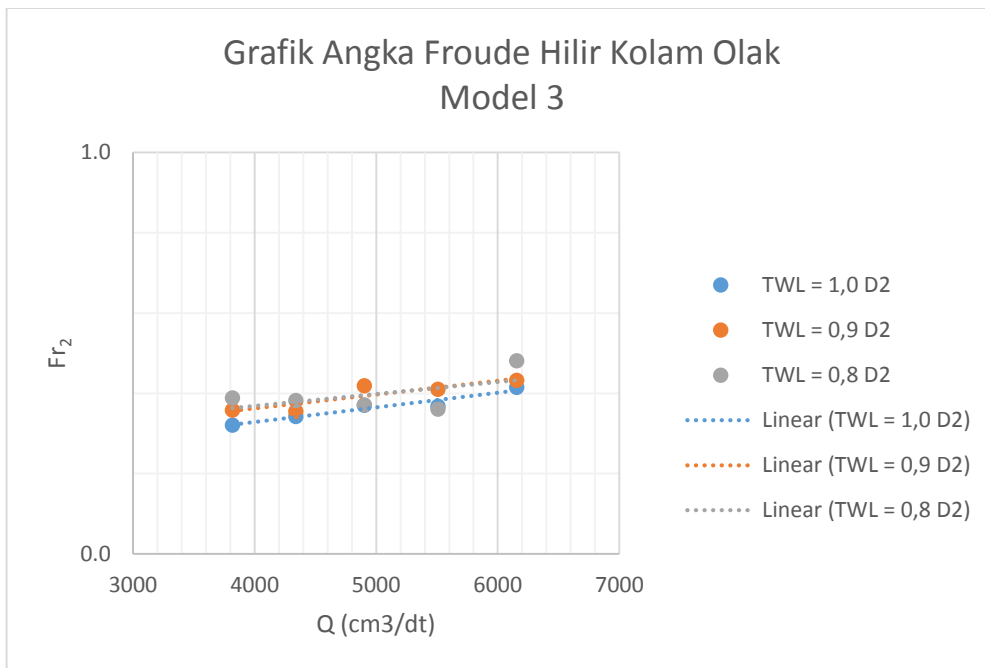
- Perbandingan kecepatan rata-rata untuk tiap variasi TW_{depth} seperti terlihat pada gambar 4.38 berikut. Berdasarkan grafik kecepatan dan hasil pengamatan loncatan air untuk model seri 3, kecepatan aliran pada semua setting TW_{depth} tidak stabil. Hal ini disebabkan jarak antara *baffled block* dan *chute block* yang lebih panjang, panjang loncatan hidraulik yang terjadi masih mencapai ujung

hilir kolam olak. Hal ini menyebabkan pada saat dilakukan pengukuran pada titik 9, air masih mengalami gelombang yang cukup besar. Oleh karena itu panjang kolam olak perencanaan USBR tipe III masih kurang mampu mengakomodir panjang loncatan air yang terjadi.



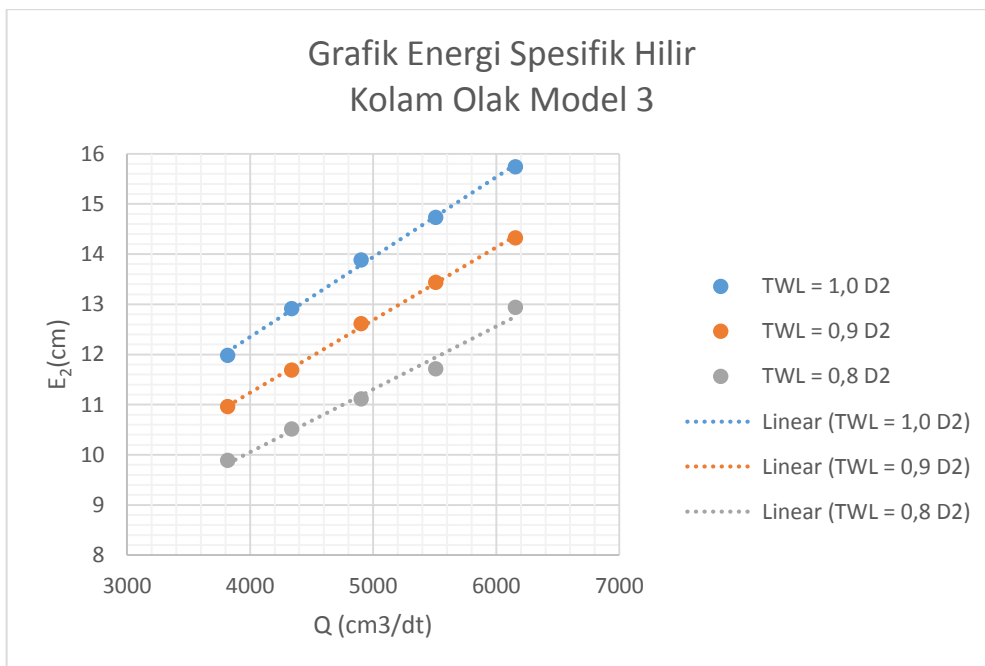
Gambar 4.38 Grafik Kecepatan Rata-Rata Hilir Kolam Model Seri 2
(sumber: Perhitungan)

- Perbandingan angka Froude di hilir kolam olak model seri 3 ini dapat dilihat pada gambar 4.39. Berdasarkan grafik tersebut dan hasil pengamatan aliran air hilir untuk model seri 3, aliran sudah mencapai kondisi subkritis. Untuk TW *depth* = 0,8 D₂, besar angka Froude yang terjadi kurang stabil. Grafik tersebut juga menunjukkan semakin rendah TW *depth* dari perencanaan semakin besar angka Froudenya atau bisa dikatakan aliran cenderung menuju aliran superkritis.



Gambar 4.39 Grafik Angka Froude Hilir Kolam Model Seri 3 (sumber: Perhitungan)

➤ Perbandingan tinggi energi spesifik di hilir kolam olak model seri 3 ini dapat dilihat pada gambar 4.40.



Gambar 4.40 Grafik Energi Spesifik Hilir Kolam Model Seri 3 (sumber: Perhitungan)

Grafik tersebut menunjukkan semakin rendah TW *depth* dari perencanaan semakin kecil energi spesifik yang dihasilkan. Hal ini disebabkan, meskipun kecepatan aliran lebih tinggi namun tinggi muka air aliran semakin rendah.

4.7. Analisa Parameter Hidraulik Kolam Olak

Berdasarkan hasil pengukuran dan perhitungan parameter hidraulik untuk masing-masing model seri kolam olak dengan variasi debit dan TW *depth* yang telah diuraikan pada subbab 4.6.3, maka dapat dianalisa dan dibandingkan hasil perhitungan parameter hidraulik. Analisa parameter hidraulik yang akan dibandingkan pada penelitian ini meliputi kecepatan aliran, angka Froude dan kehilangan energi relatif dan loncatan hidraulik. Analisa parameter hidraulik ini dibedakan berdasarkan setting TW *depth* hilir kolam olak yaitu 1,0 D₂, 0,9 D₂, 0,8 D₂ dan 0,7 D₂ agar mempermudah perbandingan antar model seri kolam olak. Tabel perbandingan parameter hidraulik kolam olak model 0, 1, 2, dan 3 ini dapat dilihat pada Lampiran C.

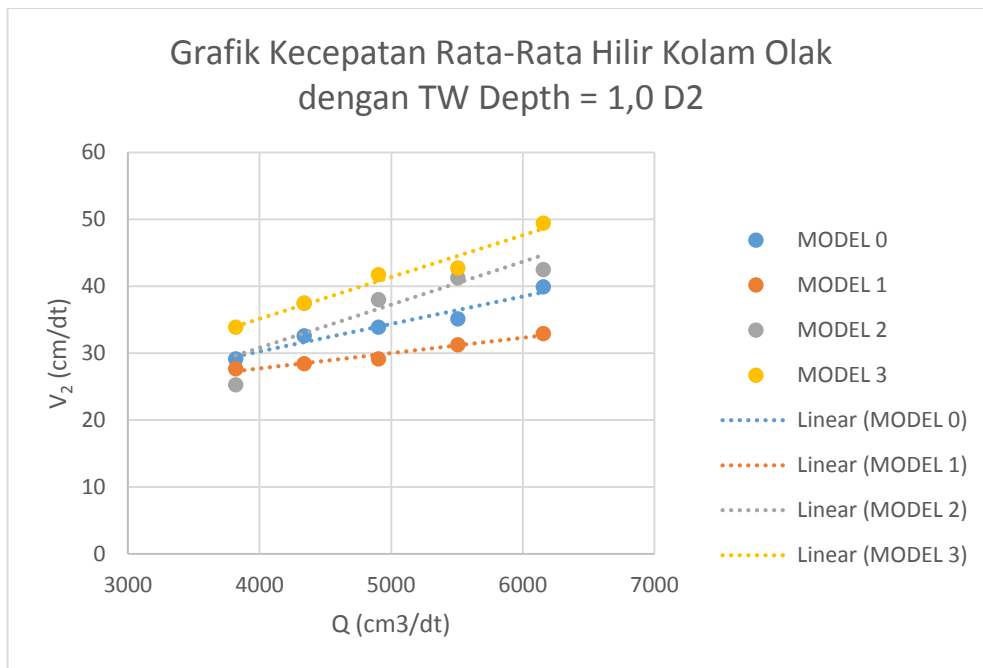
4.7.1 Analisa kecepatan aliran dengan berbagai variasi debit

Kecepatan aliran di hilir kolam olak ini merupakan parameter yang paling mempengaruhi besar gerusan yang terjadi di hilir kolam olak.

a. TW *depth* = 1,0 D₂

Kondisi TW *depth* = 1,0 D₂ ini merupakan kondisi dimana tinggi muka air hilir kolam olak merupakan tinggi muka air sesuai persyaratan USBR tipe III. Dimana tinggi muka air hilir ini merupakan kondisi paling efektif dalam peredaman energi. Kecepatan rata-rata aliran hilir kolam olak pada kondisi TW *depth* = 1,0 D₂ dapat dilihat pada Gambar 4.41.

Berdasarkan grafik tersebut dapat dilihat bahwa pada kondisi TW *depth* = 1,0 D₂, model seri 1 memiliki kecepatan rata-rata paling kecil dibandingkan ketiga model lainnya. Rata-rata model 1 memiliki kecepatan 4,25 cm/dt lebih kecil dari model seri 0 atau model asli USBR tipe III. Sedangkan model 2 memiliki kecepatan 2,76 cm/dt lebih besar dari model 0. Sementara model 3 memiliki kecepatan 6,92 cm/dt lebih besar dari model 0.



Gambar 4.41 Grafik Kecepatan Rata-rata Hilir Kolam Olak dengan TW $depth = 1,0 D_2$ (sumber: Perhitungan)

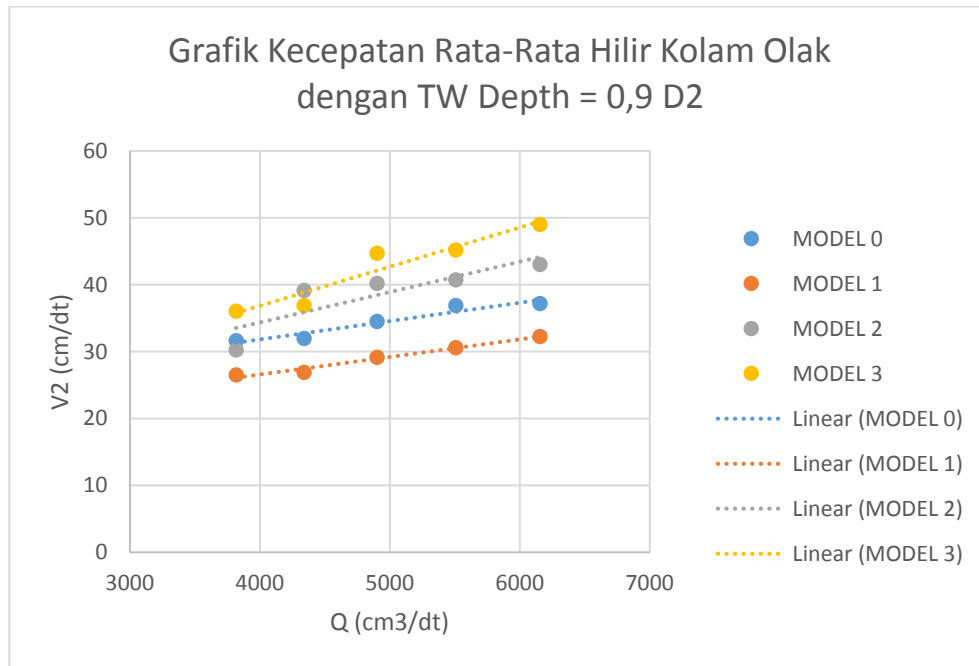
Berdasarkan hasil tersebut, dapat dikatakan bahwa model 1 memiliki kemampuan untuk menurunkan kecepatan aliran lebih baik daripada model asli USBR tipe III untuk TW $depth = 1,0 D_2$.

b. TW $depth = 0,9 D_2$

Kondisi TW $depth = 0,9 D_2$ ini merupakan kondisi dimana tinggi muka air hilir kolam olak merupakan 0,1 kali lebih rendah daripada tinggi muka air sesuai persyaratan USBR tipe III. Kondisi TW $depth = 0,9 D_2$ ini masih termasuk kondisi aman yang disyaratkan oleh USBR tipe III. Kecepatan rata-rata aliran hilir kolam olak pada kondisi TW $depth = 0,9 D_2$ dapat dilihat pada Gambar 4.42.

Berdasarkan grafik tersebut dapat dilihat bahwa pada kondisi TW $depth = 0,9 D_2$, model seri 1 juga memiliki kecepatan rata-rata paling kecil dibandingkan ketiga model lainnya. Rata-rata model 1 memiliki kecepatan 5,35 cm/dt lebih kecil dari model seri 0 atau model asli USBR tipe III. Sedangkan model 2 memiliki kecepatan 4,23 cm/dt lebih besar

dari model 0. Semenara model 3 memiliki kecepatan 7,94 cm/dt lebih besar dari model 0.



Gambar 4.42 Grafik Kecepatan Rata-rata Hilir Kolam Olak dengan TW *depth* = 0,9 D₂ (sumber: Perhitungan)

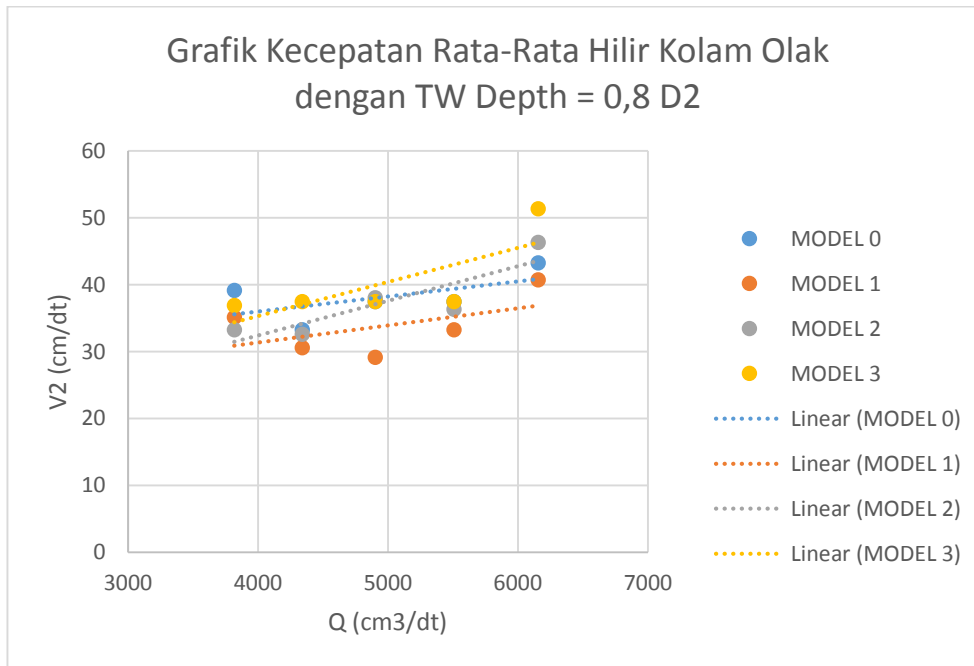
Berdasarkan hasil tersebut, dapat dikatakan bahwa model 1 memiliki kemampuan untuk menurunkan kecepatan aliran lebih baik daripada model asli USBR tipe III untuk TW *depth* = 0,9 D₂.

c. TW *depth* = 0,8 D₂

Kondisi TW *depth* = 0,8 D₂ ini merupakan kondisi dimana tinggi muka air hilir kolam olak merupakan 0,2 kali lebih rendah daripada tinggi muka air sesuai persyaratan USBR tipe III. Kondisi TW *depth* = 0,8 D₂ ini merupakan kondisi tinggi muka air hilir minimum yang disyaratkan oleh USBR tipe III. Kecepatan rata-rata aliran hilir kolam olak pada kondisi TW *depth* = 0,8 D₂ dapat dilihat pada Gambar 4.43.

Berdasarkan grafik tersebut dapat dilihat bahwa pada kondisi TW *depth* = 0,8 D₂, model seri 1 memiliki kecepatan rata-rata paling kecil dibandingkan ketiga model lainnya. Untuk TW *depth* = 0,8 D₂ ini, besar kecepatan untuk semua model sangat fluktuatif. Hal ini dikarenakan,

pada kondisi TW *depth* minimum ini, aliran air tidak stabil untuk semua variasi debit.



Gambar 4.43 Grafik Kecepatan Rata-rata Hilir Kolam Olak dengan TW *depth* = 0,8 D2 (sumber: Perhitungan)

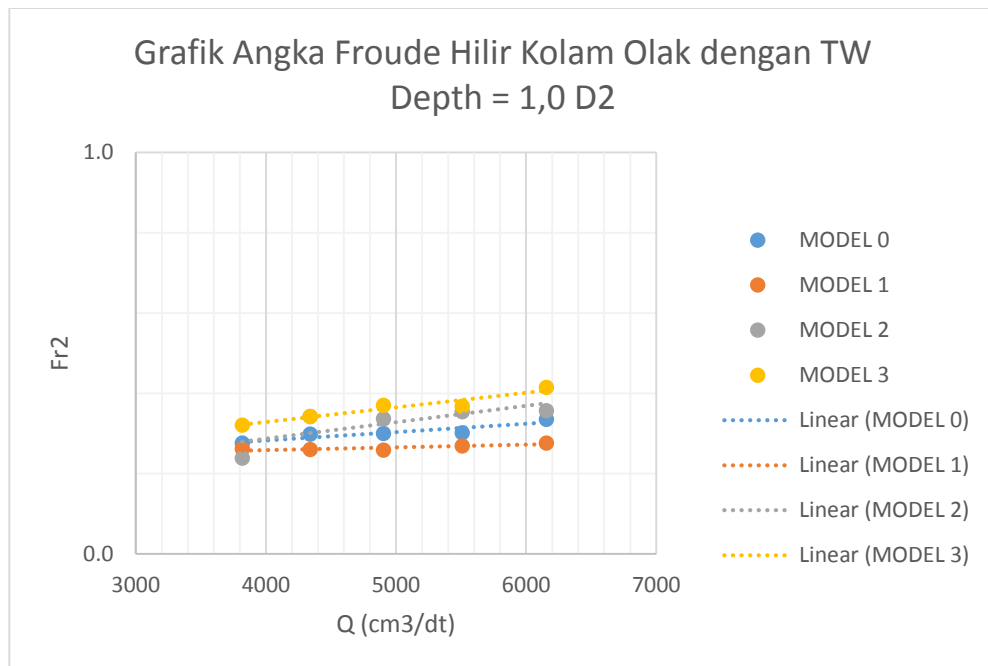
Berdasarkan grafik tersebut, dapat dikatakan bahwa model 1 memiliki kemampuan untuk menurunkan kecepatan aliran lebih baik daripada model asli USBR tipe III untuk TW *depth* = 1,0 D2.

4.7.2 Analisa bilangan Froude hilir dengan berbagai variasi debit

Bilangan Froude di hilir kolam olak ini merupakan parameter yang digunakan untuk mengetahui kondisi aliran (subkritis, kritis atau superkritis) pada hilir kolam.

- a. TW *depth* = 1,0 D2

Bilangan Froude hilir kolam olak pada kondisi TW *depth* = 1,0 D2 dapat dilihat pada Gambar 4.44.



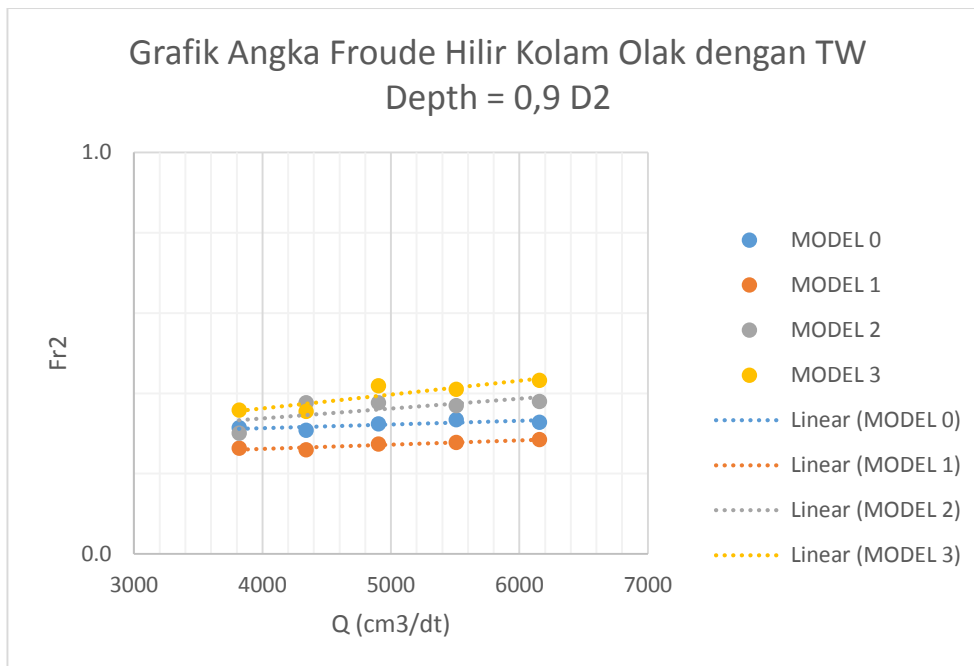
Gambar 4.44 Grafik Angka Froude Hilir Kolam Olak dengan TW *depth* = 1,0 D₂ (sumber: Perhitungan)

Berdasarkan grafik tersebut dapat dilihat bahwa pada kondisi TW *depth* = 1,0 D₂, kondisi aliran untuk semua model seri kolam olak sudah dalam kondisi subkritis. Berdasarkan grafik tersebut juga dapat dilihat bahwa model seri 1 memiliki bilangan Froude paling kecil dibandingkan ketiga model lainnya. Rata-rata model 1 memiliki bilangan Froude dengan nilai 0,04 lebih kecil dari model seri 0 atau model asli USBR tipe III. Sedangkan model 2 memiliki bilangan Froude dengan nilai 0,02 lebih besar dari model 0. Sementara model 3 memiliki bilangan Froude dengan nilai 0,06 lebih besar dari model 0.

Berdasarkan grafik tersebut, dapat dikatakan bahwa model 1 memiliki kemampuan untuk menurunkan bilangan Froude lebih baik daripada model asli USBR tipe III untuk TW *depth* = 1,0 D₂.

b. TW *depth* = 0,9 D₂

Kecepatan rata-rata aliran hilir kolam olak pada kondisi TW *depth* = 0,9 D₂ dapat dilihat pada Gambar 4.45.



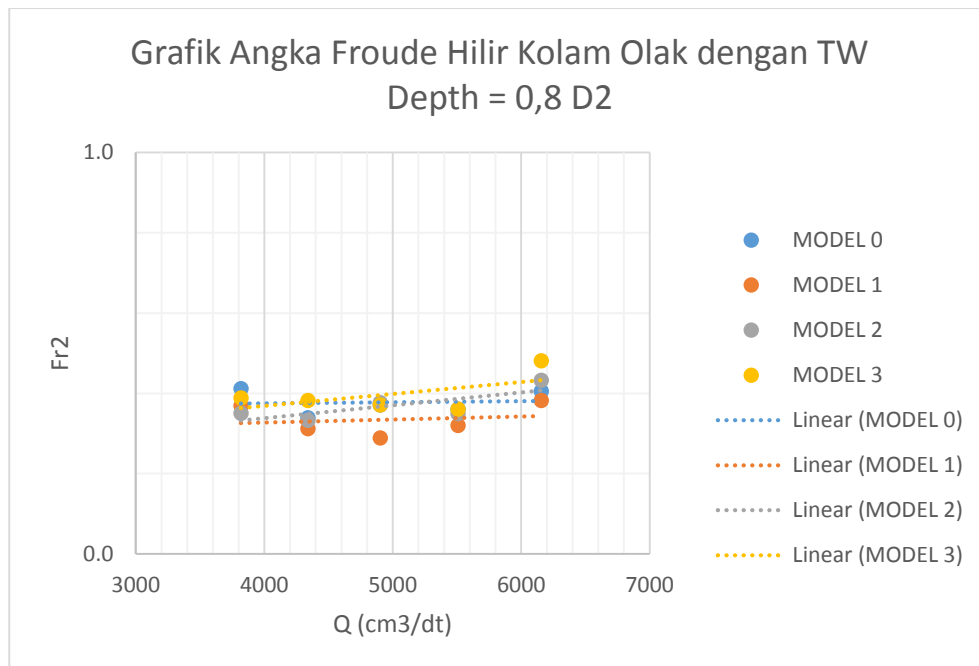
Gambar 4.45 Grafik Angka Froude Hilir Kolam Olak dengan TW *depth* = 0,9 D2 (sumber: Perhitungan)

Berdasarkan grafik tersebut dapat dilihat bahwa pada kondisi TW *depth* = 0,9 D2, kondisi aliran untuk semua model seri kolam olak sudah dalam kondisi subkritis. Berdasarkan grafik tersebut juga dapat dilihat bahwa model seri 1 memiliki bilangan Froude paling kecil dibandingkan ketiga model lainnya. Rata-rata model 1 memiliki bilangan Froude dengan nilai 0,05 lebih kecil dari model seri 0 atau model asli USBR tipe III. Sedangkan model 2 memiliki bilangan Froude dengan nilai 0,04 lebih besar dari model 0. Sememangnya model 3 memiliki bilangan Froude dengan nilai 0,07 lebih besar dari model 0.

Berdasarkan grafik tersebut, dapat dikatakan bahwa model 1 memiliki kemampuan untuk menurunkan bilangan Froude lebih baik daripada model asli USBR tipe III untuk TW *depth* = 0,9 D2.

c. TW *depth* = 0,8 D2

Kecepatan rata-rata aliran hilir kolam olak pada kondisi TW *depth* = 0,9 D₂ dapat dilihat pada Gambar 4.46.



Gambar 4.46 Grafik Angka Froude Hilir Kolam Olak dengan TW *depth* = 0,8 D2 (sumber: Perhitungan)

Berdasarkan grafik tersebut dapat dilihat bahwa pada kondisi TW *depth* = 0,8 D2, kondisi aliran untuk semua model seri kolam olak sudah dalam kondisi subkritis. Berdasarkan grafik tersebut juga dapat dilihat bahwa model seri 1 memiliki bilangan Froude paling kecil dibandingkan ketiga model lainnya. Untuk TW *depth* = 0,8 D2 ini, besar bilangan Froude untuk semua model sangat fluktuatif. Hal ini dikarenakan, pada kondisi TW *depth* minimum ini, aliran air tidak stabil untuk semua variasi debit. Berdasarkan grafik tersebut, dapat dikatakan bahwa model 1 memiliki kemampuan bilangan Froude aliran lebih baik daripada model asli USBR tipe III untuk TW *depth* = 0,8 D2.

4.7.3 Analisa kehilangan energi relatif aliran dengan variasi debit

Kehilangan energi relatif ini merupakan parameter hidraulik yang digunakan untuk mengetahui kemampuan model kolam olak dalam mereduksi energi aliran. Kehilangan energi pada penelitian ini dihitung menggunakan rumus pada subbab 2.9 sebagai berikut:

$$\text{Kehilangan energi relatif} = \frac{\Delta E}{E_1} \times 100\% = \frac{E_1 - E_2}{E_1} \times 100\%$$

Dimana:

E_1 = Energi spesifik di hulu kolam olak (cm)

E_2 = Energi spesifik di hilir kolam olak (cm)

ΔE = Kehilangan energi spesifik pada kolam olak (cm)

a. TW depth = 1,0 D₂

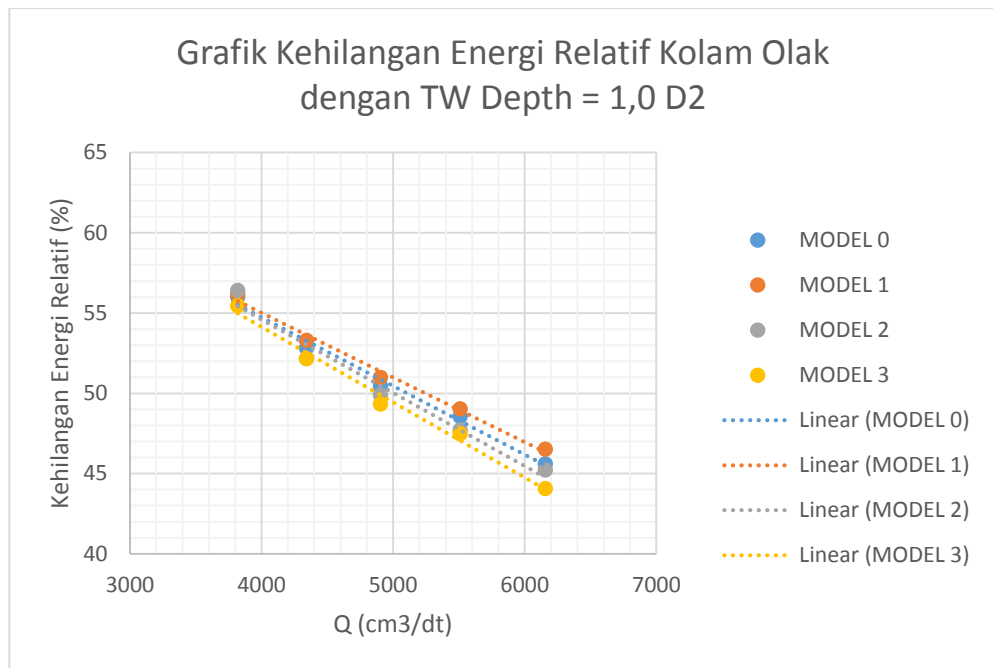
Perhitungan kehilangan energi relatif untuk TW depth = 1,0 D₂ dapat dilihat pada Tabel 4.22. Dari hasil perhitungan tersebut, kemudian dibuat grafik sehingga lebih mudah untuk dibandingkan.

Tabel 4.22. Perhitungan Kehilangan Energi Relatif untuk TW depth = 1,0 D₂

No	Q (cm/dt ³)	E ₁ (cm)	E ₂ (cm)				Kehilangan Energi Relatif (%)			
			model 0	model 1	model 2	model 3	model 0	model 1	model 2	model 3
1	3817,98	26,90	11,83	11,79	11,73	11,99	56,01	56,18	56,42	55,45
2	4340,35	27,00	12,74	12,61	12,92	12,92	52,82	53,30	52,17	52,17
3	4903,40	27,41	13,59	13,43	13,74	13,89	50,44	50,99	49,89	49,33
4	5508,15	28,05	14,43	14,30	14,67	14,73	48,56	49,02	47,71	47,48
5	6155,58	28,15	15,31	15,05	15,42	15,75	45,61	46,53	45,22	44,07

Sumber: Perhitungan

Grafik kehilangan energi aliran pada kondisi TW depth = 1,0 D₂ dapat dilihat pada Gambar 4.47. Berdasarkan grafik tersebut dapat dilihat bahwa pada kondisi TW depth = 1,0 D₂, model seri 1 memiliki nilai kehilangan energi relatif paling besar dibandingkan ketiga model lainnya. Rata-rata model 1 memiliki nilai kehilangan energi relatif dengan nilai 0,52% lebih besar dari model seri 0 atau model asli USBR tipe III. Sedangkan model 2 memiliki nilai kehilangan energi relatif dengan nilai 0,41 lebih kecil dari model 0. Sementara model 3 memiliki nilai kehilangan energi relatif dengan nilai 0,99% lebih kecil dari model 0.



Gambar 4.47 Grafik Kehilangan Energi Relatif dengan TW *depth* = 1,0 D2 (sumber: Perhitungan)

Berdasarkan grafik tersebut, dapat dikatakan bahwa model 1 memiliki kemampuan untuk mereduksi energi aliran lebih baik daripada model asli USBR tipe III untuk TW *depth* = 1,0 D₂.

b. TW *depth* = 0,9 D₂

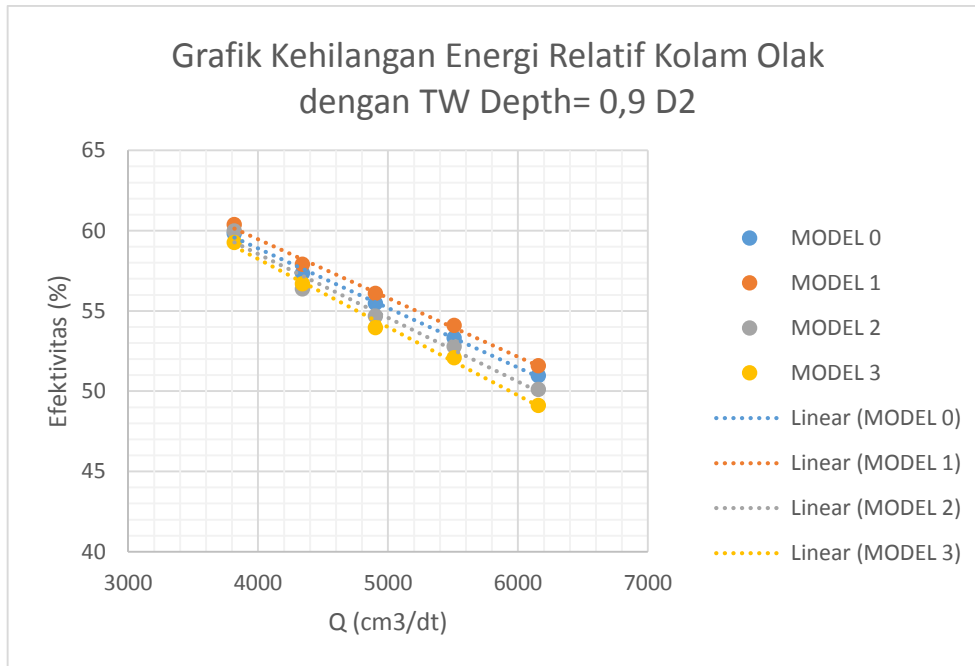
Perhitungan kehilangan energi relatif untuk TW *depth* = 0,9 D₂ dapat dilihat pada Tabel 4.23.

Tabel 4.23. Perhitungan Kehilangan Energi Relatif untuk TW *depth* = 0,9 D₂

No	Q (cm/dt ³)	E ₁ (cm)	E ₂ (cm)				Kehilangan Energi Relatif (%)			
			model 0	model 1	model 2	model 3	model 0	model 1	model 2	model 3
1	3817,98	26,90	10,81	10,66	10,77	10,96	59,82	60,38	59,98	59,26
2	4340,35	27,00	11,52	11,37	11,78	11,69	57,34	57,90	56,38	56,70
3	4903,40	27,41	12,21	12,03	12,42	12,62	55,47	56,10	54,68	53,97
4	5508,15	28,05	13,09	12,88	13,25	13,44	53,32	54,09	52,78	52,08
5	6155,58	28,15	13,80	13,63	14,04	14,32	50,96	51,58	50,12	49,12

Sumber: Perhitungan

Dari hasil perhitungan tersebut, kemudian dibuat grafik sehingga lebih mudah untuk dibandingkan. Grafik kehilangan energi aliran pada kondisi TW $depth = 0,9 D_2$ dapat dilihat pada Gambar 4.48.



Gambar 4.48 Grafik Kehilangan Energi Relatif dengan dengan TW $depth = 0,9 D_2$ (sumber: Perhitungan)

Berdasarkan grafik tersebut dapat dilihat bahwa pada kondisi TW $depth = 0,9 D_2$, model seri 1 memiliki nilai kehilangan energi relatif paling besar dibandingkan ketiga model lainnya. Rata-rata model 1 memiliki nilai kehilangan energi relatif dengan nilai 0,63% lebih besar dari model seri 0 atau model asli USBR tipe III. Sedangkan model 2 memiliki nilai kehilangan energi relatif dengan nilai 0,60% lebih kecil dari model 0. Sementara model 3 memiliki nilai kehilangan energi relatif dengan nilai 1,16% lebih kecil dari model 0.

Berdasarkan grafik tersebut, dapat dikatakan bahwa model 1 memiliki kemampuan untuk mereduksi energi aliran lebih baik daripada model asli USBR tipe III untuk TW $depth = 0,9 D_2$.

c. $TW\ depth = 0,8 D_2$

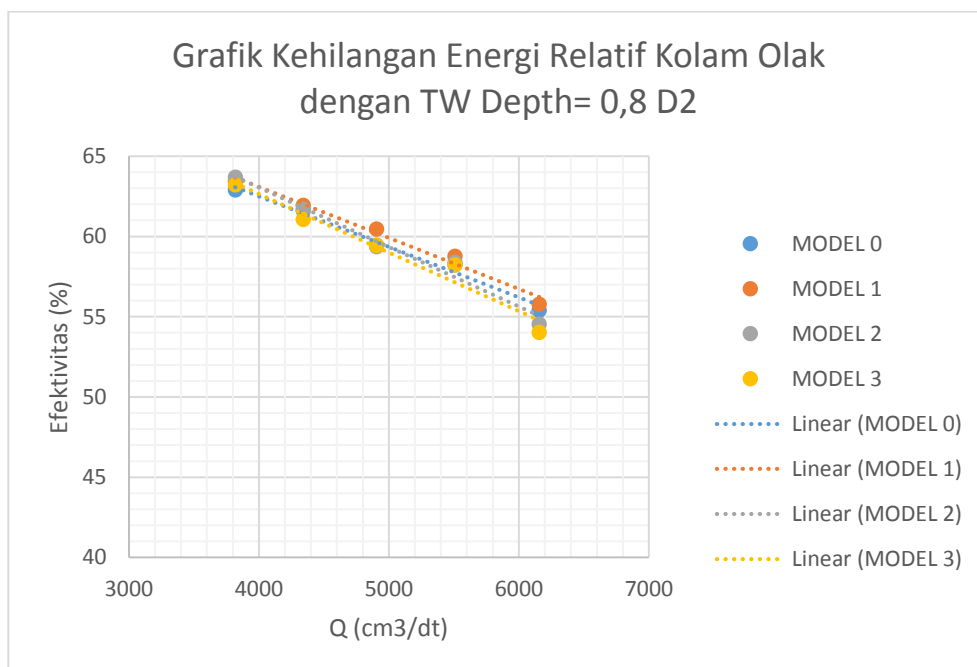
Perhitungan kehilangan energi relatif untuk $TW\ depth = 0,8 D_2$ dapat dilihat pada Tabel 4.24.

Tabel 4.24. Perhitungan Kehilangan Energi Relatif untuk $TW\ depth = 0,8 D_2$

No	Q (cm/dt ³)	E ₁ (cm)	E ₂ (cm)				Kehilangan Energi Relatif (%)			
			model 0	model 1	model 2	model 3	model 0	model 1	model 2	model 3
1	3817,98	26,90	9,98	9,83	9,76	9,89	62,90	63,47	63,71	63,22
2	4340,35	27,00	10,36	10,28	10,34	10,52	61,62	61,94	61,70	61,06
3	4903,40	27,41	11,12	10,83	11,14	11,12	59,45	60,48	59,37	59,45
4	5508,15	28,05	11,72	11,56	11,67	11,72	58,23	58,78	58,39	58,23
5	6155,58	28,15	12,55	12,45	12,79	12,94	55,41	55,79	54,55	54,02

Sumber: Perhitungan

Dari hasil perhitungan tersebut, kemudian dibuat grafik sehingga lebih mudah untuk dibandingkan. Grafik kehilangan energi aliran pada kondisi $TW\ depth = 0,8 D_2$ dapat dilihat pada Gambar 4.49.



Gambar 4.49 Grafik Kehilangan Energi Relatif dengan dengan $TW\ depth = 0,8 D_2$ (sumber: Perhitungan)

Berdasarkan grafik tersebut dapat dilihat bahwa pada kondisi $TW \text{ depth} = 0,8 D_2$, model seri 1 memiliki nilai kehilangan energi relatif paling besar dibandingkan ketiga model lainnya. Rata-rata model 1 memiliki nilai kehilangan energi relatif dengan nilai 0,57% lebih besar dari model seri 0 atau model asli USBR tipe III. Sedangkan model 2 memiliki nilai kehilangan energi relatif dengan nilai 0,02% lebih besar dari model 0. Sementara model 3 memiliki nilai kehilangan energi relatif dengan nilai 0,33% lebih kecil dari model 0. Berdasarkan grafik tersebut, dapat dikatakan bahwa model 1 memiliki kemampuan untuk mereduksi energi aliran lebih baik daripada model asli USBR tipe III untuk $TW \text{ depth} = 0,8 D_2$.

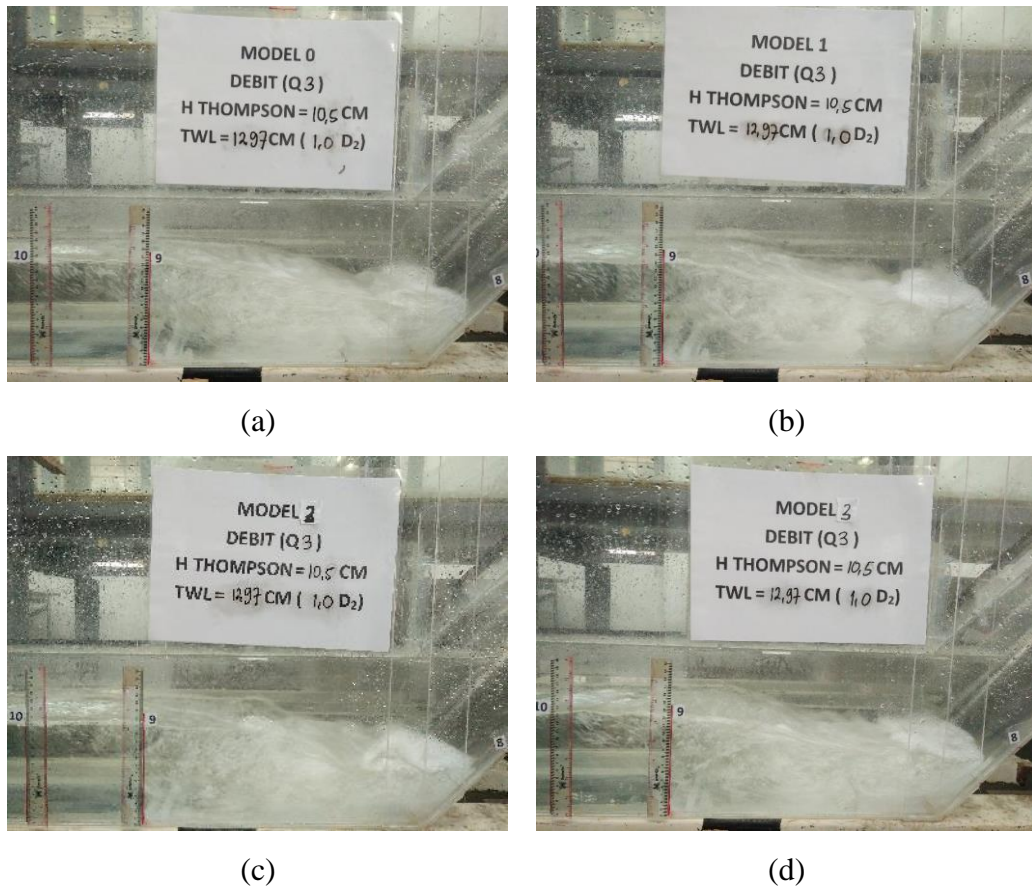
4.7.4 Analisa loncatan hidraulik dengan variasi debit

Pada penelitian ini dilakukan *record* berupa foto dan video untuk mengamati loncatan hidraulik yang terjadi. Pengamatan loncatan hidraulik ini dilakukan untuk mengetahui perilaku aliran yang terjadi di kolam olak dan membantu menganalisa hasil yang didapatkan. Untuk mempermudah perbandingan, pada subbab ini hanya diperlihatkan hasil loncatan hidraulik untuk debit perencanaan (Q_3). Foto hasil pengamatan debit yang lainnya dapat dilihat pada Lampiran B.

a. $TW \text{ depth} = 1,0 D_2$

Foto hasil pengamatan loncatan hidraulik untuk $TW \text{ depth} = 1,0 D_2$ dapat dilihat pada Gambar 4.50 sebagai berikut. Berdasarkan hasil pengamatan, model 1 memiliki panjang loncatan hidraulik yang paling pendek, ditunjukkan dengan warna putih gejolak air pada model 1 tidak mencapai ujung hilir kolam olak (titik 9) dan memiliki permukaan air yang relatif halus. Sedangkan pada model 0, permukaannya juga relatif halus namun warna putih gejolak air mencapai ujung hilir kolam olak (titik 9). Model 2 memiliki panjang gejolak air yang relatif sama dengan model 0 namun model ini memiliki permukaan yang agak kasar. Warna putih paling pekat pada ujung hilir kolam olak didapatkan pada model 3, atau dapat dikatakan pada model 3 masih terjadi loncatan air hingga ke

ujung hilir kolam olak dan juga loncatan air pada model ini memiliki permukaan agak kasar.

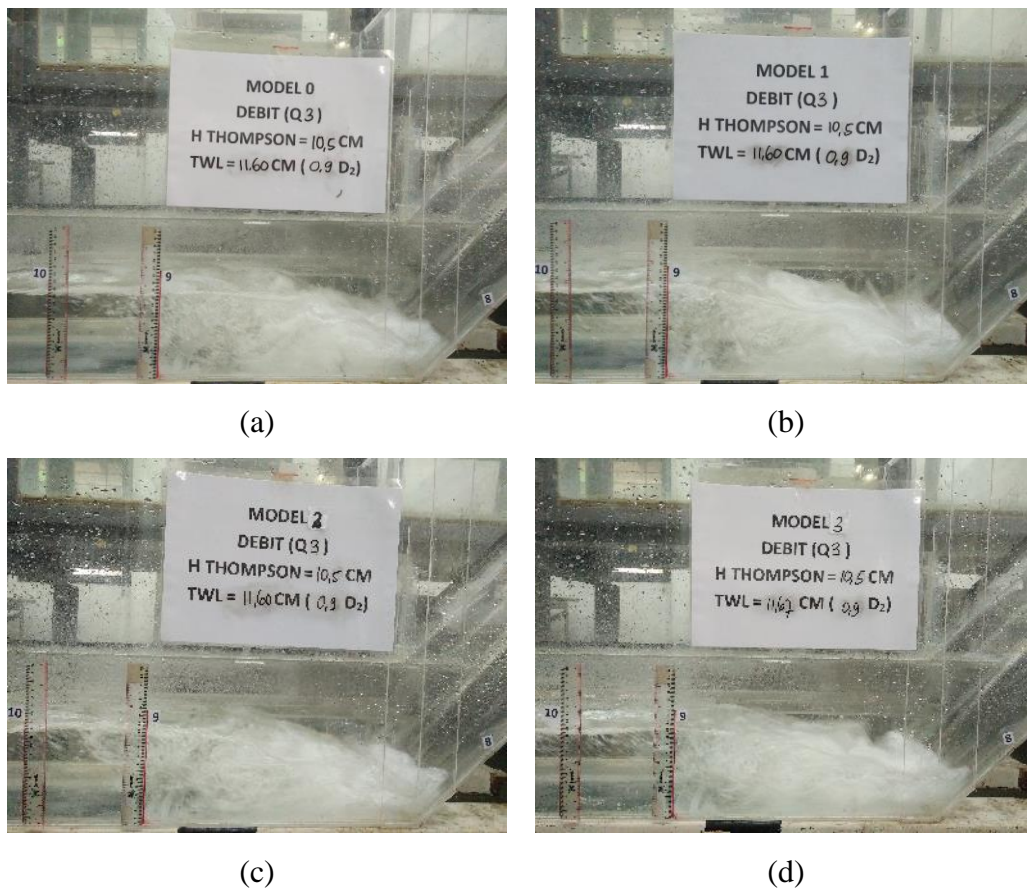


Gambar 4.50 Kondisi Loncatan Air pada Kolam Olak untuk TW *depth* = 1,0 D₂ pada (a) Model Seri 0 (b) Model Seri 1; (c) Model Seri 2; (d) Model Seri 3 (sumber: Dokumentasi Pribadi)

b. TW *depth* = 0,9 D₂

Foto hasil pengamatan loncatan hidraulik untuk TW *depth* = 0,9 D₂ dapat dilihat pada Gambar 4.51. Berdasarkan hasil pengamatan untuk TW dept = 0,9 D₂ ini, model 0, 1, dan 2 memiliki panjang loncatan hidraulik yang relatif sama, ditunjukkan dengan warna putih gejolak air pada model 0, 1, dan 2 mencapai ujung hilir kolam olak (titik 9). Namun model 0 dan 1 memiliki gelombang permukaan yang paling pendek, tidak sampai keluar dari panjang kolam olak. Sedangkan pada

model 2 dan 3, memiliki gelombang permukaan yang panjang hingga keluar dari kolam olak, hal ini dapat menyebabkan erosi pada tanggul di hilir kolam olak. Model 3 juga memiliki warna putih paling pekat pada ujung hilir kolam olak didapatkan pada model 3, atau dapat dikatakan pada model 3 masih terjadi gejolak yang cukup besar di ujung hilir kolam olak.

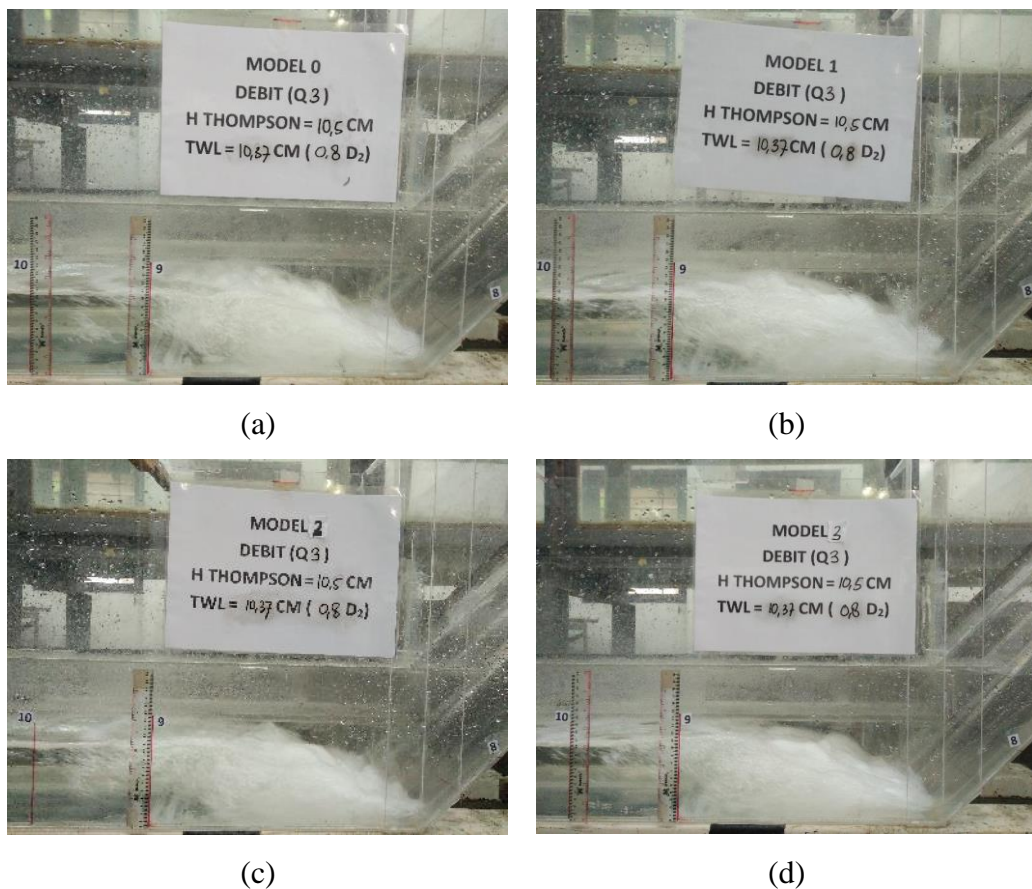


Gambar 4.51 Kondisi Loncatan Air pada Kolam Olak untuk TW *depth* = 0,9 D₂ pada (a) Model Seri 0 (b) Model Seri 1; (c) Model Seri 2; (d) Model Seri 3 (sumber: Dokumentasi Pribadi)

c. TW *depth* = 0,8 D₂

Foto hasil pengamatan loncatan hidraulik untuk TW *depth* = 0,8 D₂ dapat dilihat pada Gambar 4.52. Berdasarkan hasil pengamatan untuk TW dept = 0,8 D₂ ini, model 0, 1, dan 2 memiliki panjang loncatan

hidraulik yang relatif sama, ditunjukkan dengan warna putih gejolak air pada model 0, 1, dan 2 mencapai ujung hilir kolam olak (titik 9). Sedangkan model 3 memiliki panjang loncatan sedikit lebih panjang, hal ini ditunjukkan dengan warna putih yang lebih pekat pada ujung hilir kolam olak. Keempat model ini memiliki permukaan yang kasar. Namun model 0 dan 1 memiliki gelombang permukaan yang lebih pendek dibandingkan dengan model 2 dan 3.

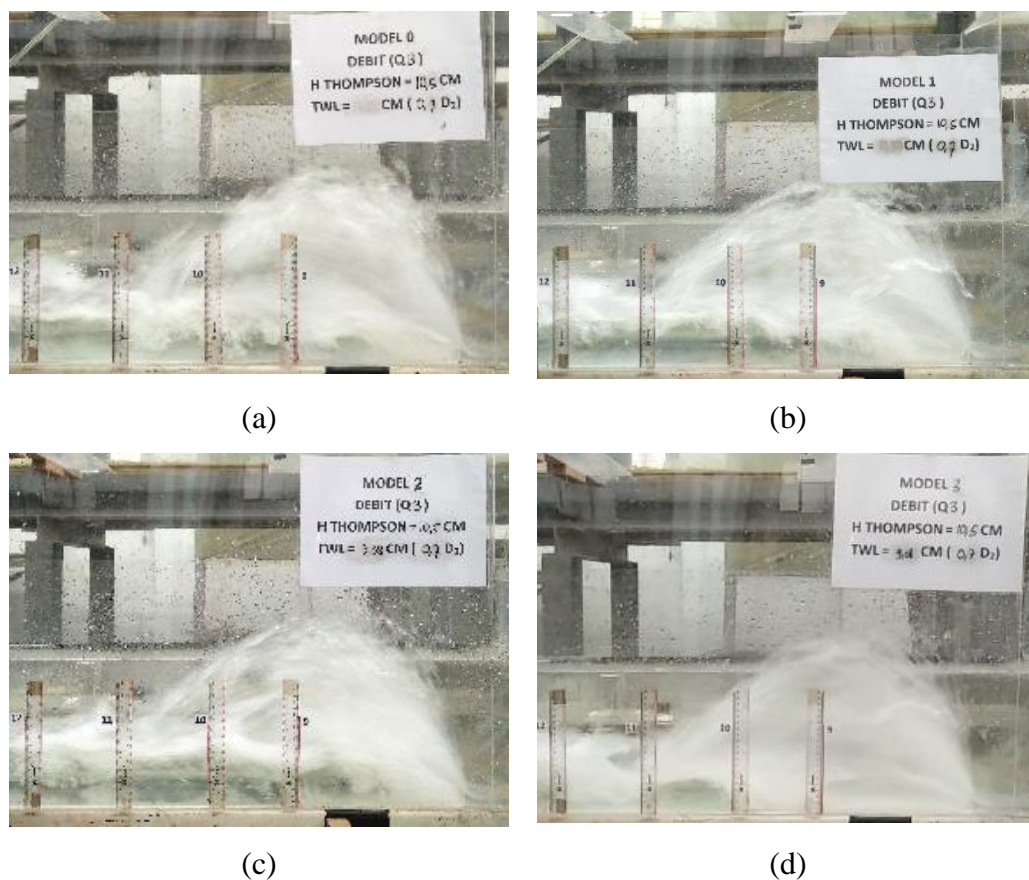


Gambar 4.52 Kondisi Loncatan Air pada Kolam Olak untuk TW *depth* = 0,8 D₂ pada (a) Model Seri 0 (b) Model Seri 1; (c) Model Seri 2; (d) Model Seri 3 (sumber: Dokumentasi Pribadi)

d. TW *depth* = 0,7 D₂

Foto hasil pengamatan loncatan hidraulik untuk TW *depth* = 0,7 D₂ dapat dilihat pada Gambar 4.53. Berdasarkan hasil pengamatan untuk

TW $depth = 0,7 D_2$ ini, pada semua model seri kolam olak, loncatan air keluar dari panjang kolam olak. Hal ini menyebabkan gelombang permukaan di hilir kolam olak. Hal ini dapat menyebabkan gerusan pada dasar dan juga erosi tebing saluran hilir kolam olak. Dapat disimpulkan bahwa empat model seri kolam olak ini tidak bekerja secara efektif dalam meredam energi aliran pada TW $depth$ kurang dari $0,8 D_2$.



Gambar 4.53 Kondisi Loncatan Air pada Kolam Olak untuk TW $depth = 0,7 D_2$ pada (a) Model Seri 0 (b) Model Seri 1; (c) Model Seri 2; (d) Model Seri 3 (sumber: Dokumentasi Pribadi)

4.8. Analisa efektivitas *baffled block* untuk tiap variasi model

Berdasarkan hasil perhitungan dan analisa parameter hidraulik pada subbab 4.6 dan 4.7, efektivitas pola pemasangan *baffled block* pada tiap model seri dapat diuraikan sebagai berikut:

1. Model 0

- Model 0 ini merupakan model asli USBR tipe III
- Model 0 ini memiliki kemampuan menurunkan kecepatan yang cukup baik untuk $TW\ depth = 1,0 D_2$. Namun pada $TW\ Depth$ kurang dari tinggi yang disyaratkan kemampuan model ini menjadi berkurang. Kecepatan rata-rata aliran menjadi tidak stabil.
- Kondisi aliran pada model 0 sudah mencapai kondisi subkritis. Namun pada $TW\ depth$ kurang dari tinggi yang disyaratkan kemampuan model ini menjadi berkurang. Kondisi aliran (bilangan Froude) yang dihasilkan menjadi tidak stabil.
- Model 0 ini memiliki loncatan hidraulik dengan permukaan yang halus dan panjang loncatan yang mampu diakomodir oleh panjang kolam olak. Model 0 ini hanya dapat bekerja efektif dengan $TW\ depth$ minimum $0,8 D_2$. $TW\ depth$ kurang dari $0,8 D_2$ menyebabkan loncatan hidraulik keluar dari panjang kolam olak

2. Model 1

- Model 1 ini merupakan model modifikasi dengan jarak antar *baffled block* di atur sedemikian hingga terletak diantara *chute block*. Hal ini dilakukan agar memastikan aliran yang belum teredam oleh *chute block* pasti diredam oleh *baffled block*.
- Model ini memiliki kemampuan menurunkan kecepatan yang lebih baik dari model 0. Kemampuan model 1 ini dalam mereduksi kecepatan aliran juga relatif sama untuk $TW\ depth = 1,0 D_2$ dan $TW\ depth = 0,9 D_2$. Namun pada $TW\ Depth = 0,8 D_2$ kemampuan model ini menjadi berkurang. Kecepatan rata-rata aliran menjadi tidak stabil.
- Kondisi aliran pada model 0 sudah mencapai kondisi subkritis. Kondisi aliran pada $TW\ depth = 1,0 D_2$ dan $TW\ depth = 0,9 D_2$ juga relatif sama. Hal ini membuktikan, model 1 ini memiliki kemampuan yang masih efektif untuk $TW\ Depth = 0,9 D_2$. Namun pada $TW\ Depth = 0,8 D_2$ kemampuan model ini menjadi berkurang. Kondisi aliran menjadi tidak stabil.

- Model 1 ini memiliki loncatan hidraulik dengan permukaan yang relatif halus dan panjang loncatan yang dapat diakomodir oleh panjang kolam olak. Pada $TW\ depth = 1,0 D_2$, model 1 ini memiliki panjang loncatan paling pendek dibandingkan 3 model yang lain. Namun, model ini juga hanya dapat bekerja efektif dengan $TW\ depth$ minimum $0,8 D_2$. $TW\ depth$ kurang dari $0,8 D_2$ menyebabkan loncatan hidraulik keluar dari panjang kolam olak

3. Model 2

- Model 2 ini merupakan model modifikasi dari model 1. Jarak antar *baffled block* memiliki setting yang sama dengan model 1, namun jarak *baffled block* dan *chute block* berubah menjadi $0,7 D_2$.
- Model ini memiliki kemampuan menurunkan kecepatan kurang efektif apabila dibandingkan dengan model 0 dan 1. Model 2 ini memiliki kemampuan menurunkan kecepatan yang kurang efektif pada semua setting $TW\ depth$. Kecepatan rata-rata aliran tidak stabil. Terutama pada $TW\ Depth$ kurang dari tinggi yang disyaratkan kemampuan model ini sangat berkurang.
- Kondisi aliran pada model 2 sudah mencapai kondisi subkritis. Namun pada $TW\ Depth$ kurang dari tinggi yang disyaratkan kemampuan model ini menjadi berkurang. Kondisi aliran (bilangan Froude) yang dihasilkan menjadi tidak stabil.
- Model 2 ini memiliki bentuk loncatan hidraulik yang memiliki gelombang permukaan yang panjang dan kasar. Hal ini dapat menyebabkan erosi pada tebing hilir kolam olak. Model ini hanya dapat bekerja efektif dengan $TW\ depth$ minimum $0,8 D_2$. $TW\ depth$ kurang dari $0,8 D_2$ menyebabkan loncatan hidraulik keluar dari panjang kolam olak

4. Model 3

- Model 3 ini merupakan model modifikasi dari model 1. Jarak antar *baffled block* memiliki setting yang sama dengan model 1, namun jarak *baffled block* dan *chute block* berubah menjadi $0,9 D_2$.

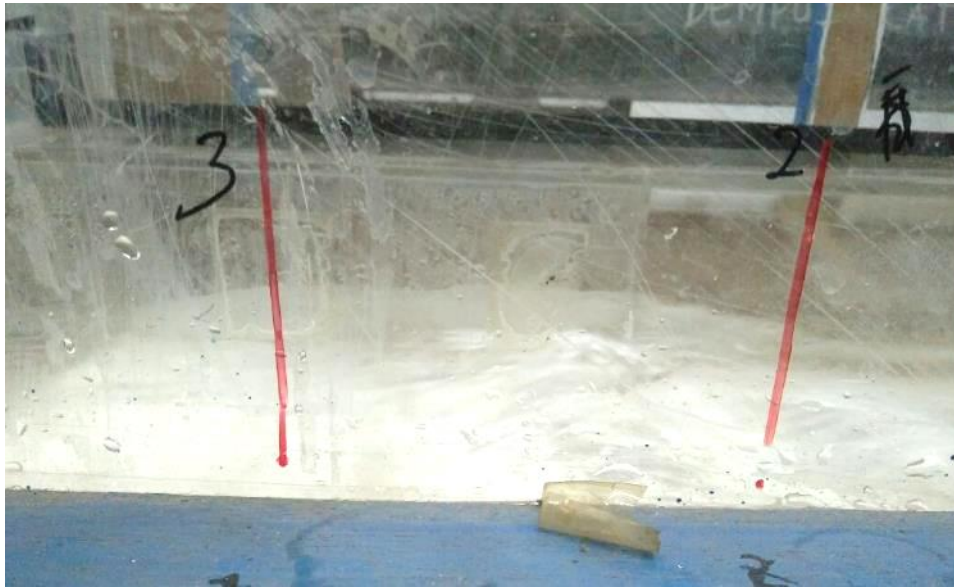
- Model ini memiliki kemampuan menurunkan kecepatan kurang efektif apabila dibandingkan dengan model 0, 1, dan 2. Model 3 ini memiliki kemampuan menurunkan kecepatan yang cukup baik untuk TW *depth* = 1,0 D₂. Namun pada TW *depth* kurang dari tinggi yang disyaratkan kemampuan model ini menjadi berkurang. Kecepatan rata-rata aliran menjadi tidak stabil.
- Kondisi aliran pada model 3 sudah mencapai kondisi subkritis. Namun pada TW *Depth* kurang dari tinggi yang disyaratkan kemampuan model ini menjadi berkurang. Kondisi aliran (bilangan Froude) yang dihasilkan menjadi tidak stabil.
- Model 3 ini memiliki bentuk loncatan hidraulik yang memiliki gelombang permukaan yang panjang dan kasar. Model 3 ini juga memiliki gejala loncatan yang paling panjang dibandingkan tiga model kolam olak lainnya,. Hal ini dapat menyebabkan erosi pada dasar dan tebing hilir kolam olak. Model ini hanya dapat bekerja efektif dengan TW *depth* minimum 0,8 D₂. TW *depth* kurang dari 0,8 D₂ menyebabkan loncatan hidraulik keluar dari panjang kolam olak

Berdasarkan uraian tersebut dapat disimpulkan bahwa kolam olak modifikasi model 1 memiliki kemampuan yang lebih efektif dalam menstabilkan aliran air dibandingkan model asli USBR tipe III.

4.9. Kendala Penelitian

a. Percobaan running pertama

Kondisi: Pada percobaan running pertama, kondisi aliran pada hulu saluran peluncur sangat tidak stabil dan superkritis seperti terlihat pada gambar 4.54. Hal ini menyebabkan kondisi saluran hilir tidak stabil. Pengukuran yang dilakukan memiliki hasil yang fluktuatif, sehingga penelitian tidak dapat dilakukan.



Gambar 4.54 Kondisi Hulu Saluran pada Percobaan Pertama (sumber: Dokumentasi Pribadi)

Solusi: Hulu saluran diperpanjang 1 meter agar kondisi saluran lebih stabil dan tercapai kondisi subkritis.

Kesimpulan: *Upper boundary condition* harus terpenuhi agar peredam dapat bekerja secara optimal.

b. Percobaan running kedua

Kondisi: Pada percobaan running kedua ini, hilir peredam tidak di *setting tail water depth (TW depth)* sesuai perencanaan USBR tipe III, hal ini menyebabkan loncatan air tinggi dan keluar dari kolam olak seperti terlihat pada gambar 4.55. Hal ini menyebabkan kondisi pengaliran di hilir peredam masih memiliki kecepatan tinggi dan dalam kondisi superkritis.

Solusi: *TW depth* harus di-*setting* sesuai perencanaan USBR tipe III *TW depth* minimum untuk kolam olak USBR tipe III adalah $0,8 D_2$. Nilai ini harus terpenuhi agar loncatan air tidak keluar dari panjang kolam olak.

Kesimpulan: Semua model seri penelitian kemudian di-*running* dengan melakukan *setting TW depth*. *Setting TW depth* dilakukan untuk tinggi *TW depth* sama dengan $1 D_2$; $0,9 D_2$; $0,8 D_2$ dan $0,7 D_2$ untuk mengetahui keefektifan *baffled block* modifikasi.



Gambar 4.55 Kondisi Aliran pada Percobaan Kedua (sumber: Dokumentasi Pribadi)

c. Alat ukur kecepatan

Kondisi: Pada penelitian ini, alat ukur kecepatan yang digunakan adalah tabung pitot. Hal ini dikarenakan, alat ukur current meter yang tersedia di laboratorium memiliki keterbatasan yaitu hanya bisa mengukur kecepatan untuk kedalaman air lebih dari 5 cm. Sedangkan pada penelitian ini, pada bagian hulu kolam olak, terutama pada bagian saluran peluncur, kedalaman air yang mengalir sangat tipis. Sehingga alat current meter tidak dapat digunakan.

Solusi: Alat lain yang tersedia adalah tabung pitot. Namun tabung pitot yang tersedia belum dilakukan kalibrasi. Oleh karena current meter tidak dapat digunakan, maka tabung pitot dikalibrasi menggunakan kecepatan teori. Dimana diasumsikan debit yang mengalir di flume konstan dan alat ukur Thompson yang tersedia di flume telah dilakukan kalibrasi. Sehingga debit yang dihitung dari Thompson dianggap sudah akurat.

(Halaman ini sengaja dikosongkan)

BAB 5

KESIMPULAN

5.1. Kesimpulan Penelitian

Berdasarkan hasil perhitungan dan analisa yang telah diuraikan pada bab 4, dapat disimpulkan bahwa:

1. Model seri 0 merupakan model yang dibuat berdasarkan pola pemasangan *baffled block* asli kolam olak USBR tipe III. Model seri 1 merupakan alternatif pola pemasangan *baffled block*. Model seri 1 ini dibuat berdasarkan hipotesa awal dimana *baffled block* akan bekerja lebih efektif apabila jarak antar *baffled block* disesuaikan sehingga letaknya berada diantara *chute block*. Model seri 2 dan 3 merupakan alternatif pola pemasangan *baffled block*, dengan hipotesa berdasarkan hasil penelitian Adipura (2013) yang melakukan perubahan jarak longitudinal *baffled block* didapatkan adanya perubahan efektifitas reduksi energi aliran. Maka jarak longitudinal *baffled block* model 2 dimodifikasi menjadi $0,7 D_2 = 9,08$ cm sedangkan model 3 menjadi $0,9 D_2 = 11,67$ cm.
2. Berdasarkan hasil analisa kecepatan rata-rata aliran di hilir kolam olak, model seri 1 memiliki kecepatan rata-rata paling kecil dibandingkan ketiga model lainnya. Rata-rata model 1 memiliki kecepatan 1,85% lebih kecil dari model seri 0 atau model asli USBR tipe III. Sedangkan model 2 memiliki kecepatan 1,20% lebih besar dari model 0. Sementara model 3 memiliki kecepatan 3,01% cm/dt lebih besar dari model 0. Berdasarkan hasil tersebut, dapat disimpulkan bahwa model 1 memiliki kemampuan untuk menurunkan kecepatan aliran lebih baik dibandingkan 3 model seri lainnya.
3. Berdasarkan hasil analisa bilangan Froude aliran di hilir kolam olak, kondisi aliran untuk semua model seri kolam olak sudah dalam kondisi subkritis. Berdasarkan hasil tersebut juga dapat dilihat bahwa model seri 1 memiliki bilangan Froude paling kecil dibandingkan ketiga model lainnya. Rata-rata model 1 memiliki bilangan Froude dengan nilai 0,52% lebih kecil dari model seri 0 atau model asli USBR tipe III. Sedangkan model 2 memiliki bilangan Froude dengan nilai 0,34% lebih besar dari model 0. Sementara model 3

memiliki bilangan Froude dengan nilai 1,36% lebih besar dari model 0. Berdasarkan hasil tersebut, dapat disimpulkan bahwa model 1 memiliki kemampuan untuk menurunkan bilangan Froude lebih baik dibandingkan 3 model seri lainnya.

4. Berdasarkan hasil analisa kehilangan energi relatif aliran di kolam olak, model seri 1 memiliki nilai kehilangan energi relatif paling besar dibandingkan ketiga model lainnya. Rata-rata model 1 memiliki nilai kehilangan energi relatif dengan nilai 0,52% lebih besar dari model seri 0 atau model asli USBR tipe III. Sedangkan model 2 memiliki nilai kehilangan energi relatif dengan nilai 0,41% lebih kecil dari model 0. Sementara model 3 memiliki nilai kehilangan energi relatif dengan nilai 0,99% lebih kecil dari model 0. Berdasarkan hasil tersebut, dapat disimpulkan bahwa model 1 memiliki kemampuan untuk mereduksi energi aliran lebih baik dibandingkan 3 model seri lainnya.
5. Berdasarkan hasil pengamatan, model 1 memiliki panjang loncatan hidraulik yang paling pendek dan memiliki permukaan air yang relatif halus. Sedangkan pada model 0, permukaannya juga relatif halus namun memiliki panjang loncatan yang lebih panjang dibandingkan model 1. Model 2 memiliki panjang loncatan air yang relatif sama dengan model 0 namun model ini memiliki permukaan yang agak kasar. Sedangkan pada model 3 masih terjadi loncatan air hingga ke ujung hilir kolam olak dan juga loncatan air pada model ini memiliki permukaan agak kasar. Berdasarkan hasil tersebut, dapat disimpulkan bahwa model 1 memiliki kemampuan untuk mereduksi panjang loncatan air lebih baik dibandingkan 3 model seri lainnya.
6. Berdasarkan hasil pengamatan, empat model seri kolam olak pada penelitian ini tidak bekerja secara efektif dalam meredam energi aliran pada TW depth kurang dari $0,8 D_2$. Hal ini dibuktikan dengan loncatan air yang keluar dari kolam olak. Berdasarkan hasil analisa tersebut, dapat disimpulkan bahwa modifikasi pola pemasangan *baffled block* tidak dapat meningkatkan efektivitas kolam olak untuk TW depth kurang dari 0,8 kali tinggi air setelah loncatan (D_2). Namun modifikasi *baffled block* ini juga tidak menurunkan efektivitas kolam olak, karena semua model seri masih cukup efektif dalam meredam aliran dengan TW depth minimum $0,8 D_2$.

7. Pola pemasangan *baffled block* dengan jarak antar *baffled block* disesuaikan sehingga letaknya berada diantara *chute block* (model 1) untuk memastikan semua aliran air teredam sempurna memiliki kemampuan menstabilkan aliran lebih baik dibandingkan model kolam olak USBR tipe III.

5.2. Saran Penelitian

Berdasarkan kesimpulan-kesimpulan yang telah disampaikan pada subbab 5.1, saran yang dapat penulis berikan adalah sebagai berikut:

1. Berdasarkan hasil pengamatan panjang loncatan air, model 1 memiliki kemampuan mereduksi panjang loncatan lebih baik dari model asli USBR tipe III. Untuk menyempurnakan model 1 ini, maka dapat dilakukan peninjauan lebih lanjut terhadap panjang kolam olak agar kolam olak menjadi lebih efektif.
2. Model seri pola pemasangan *baffled block* pada penelitian ini masih belum efektif untuk nilai TWdepth kurang dari $0,8 D_2$. Oleh karena itu, dapat dilakukan kajian lebih lanjut pada pola pemasangan atau dimensi *baffled block* untuk mendapatkan kolam olak yang bekerja lebih efektif untuk TW depth kurang dari $0,8 D_2$.

(Halaman ini sengaja dikosongkan)

DAFTAR PUSTAKA

- Anggrahini (1997), *Hidrolika Saluran Terbuka*, CV. Citra Media, Surabaya
- Adipura, Pembra Juned (2013), "Pengaruh Variasi Kemiringan Tubuh Hilir Bendung dan Penempatan Baffle Block pada Kolam Olak Tipe Solid Roller Bucket Terhadap Loncatan Hidrolik dan Peredaman Energi", Universitas Muhammadiyah Surakarta, Surakarta
- Cabelka, J dan Novak, P. (1981), *Models in Hydraulic Engineering: Physical Principles and Design Applications*, Pitman Advances Publishing Inc, Massachusetts.
- Chow, Ven Te (1988), *Open-Channel Hydraulics*, McGraw-Hill Book Company Inc, United States of America.
- <https://www.ilmutekniksipil.com/bangunan-air/pengertian-bendungan>
- <https://myfreakysunday.wordpress.com/2014/11/02/river-explorer/>
- Krisnayanti, Denik S (2014), *Pemodelan Pelimpah Bertangga Terhadap Geometri Kolam Olak Pada Kondisi Aliran Tenggelam*, Disertasi, Universitas Brawijaya, Malang.
- Peterka, A.J. (1978), *Hydraulic Design of Stilling Basin and Energy Dissipators*, United States Government Printing Office, Washington.
- Pudyono dan Sunik (2013), "Penentuan Kedalaman dan Pola Gerusan Akibat Aliran Superkritik di Hilir Pintu Air Menggunakan End Sill dan Baffle Block dengan Simulasi Model Integrasi Numerik", *Jurnal Rekayasa Sipil*, Vol. 7, No. 2, hal 118-131.
- Rageh, O.S. (1999), "Effect of Baffle Blocks on the Performance of Radial Hydraulic Jump", *Fourth International Water Technology Conference IWTC 99*, hal 255-269.
- Raju, K.G. Ranga (1986), *Aliran Melalui Saluran Terbuka*, Erlangga, Jakarta
- Streeter, Victor L dan Wylie, Benjamin dan Prijono, Arko (1992), *Mekanika Fluida*, Jilid I, Edisi Delapan, Erlangga.

(Halaman ini sengaja dikosongkan)

LAMPIRAN A
HASIL PENGUKURAN KECEPATAN DAN
TINGGI MUKA AIR

A. HASIL PENGUKURAN KECEPATAN DAN TINGGI MUKA AIR

1. Hulu Peredam Energi

Tabel A.1 Analisa Data Hasil Pengukuran Hulu Peredam Energi untuk Q1

Titik	D	L1	L2 (cm)				h	V _{pitot}	V _{akt}
	cm	cm	kiri	as	kanan	rerata	(cm)	(cm/dt)	(cm/dt)
1	4,60	5,25	4,10	4,00	4,00	4,03	1,73	58,32	47,02
2	4,40	5,25	4,20	4,20	4,10	4,17	1,97	62,12	50,09
3	4,00	5,25	4,40	4,60	4,40	4,47	2,47	69,57	56,10
4	3,00	5,25	4,80	4,80	4,30	4,63	3,13	78,41	63,22
5	1,50	5,25	23,00	23,00	24,50	23,50	11,84	152,44	122,92
6	1,20	5,25	39,00	40,00	41,50	40,17	23,84	216,28	174,40
7	1,00	5,25	42,50	43,50	43,50	43,17	26,10	226,31	182,49
8	0,80	5,25	64,00	63,50	62,50	63,33	40,51	281,91	227,32

Tabel A.2 Analisa Data Hasil Pengukuran Hulu Peredam Energi untuk Q2

Titik	D	L1	L2 (cm)				h	V _{pitot}	V _{akt}
	cm	cm	kiri	tengah	kanan	rerata	(cm)	(cm/dt)	(cm/dt)
1	5,00	5,25	4,80	4,60	4,40	4,60	2,10	64,19	51,76
2	4,80	5,25	5,00	4,80	4,80	4,87	2,47	69,57	56,10
3	4,50	5,25	4,90	5,00	4,80	4,90	2,65	72,11	58,14
4	3,30	5,25	5,00	5,20	5,00	5,07	3,42	81,87	66,02
5	1,60	5,25	22,50	23,50	24,50	23,50	11,77	151,98	122,55
6	1,40	5,25	38,50	41,50	42,50	40,83	24,17	217,77	175,60
7	1,00	5,25	56,50	51,00	50,50	52,67	32,82	253,76	204,62
8	0,90	5,25	63,00	64,50	63,00	63,50	40,55	282,07	227,45

Tabel A.3 Analisa Data Hasil Pengukuran Hulu Peredam Energi untuk Q3

Titik	D	L1	L2 (cm)				h	V _{pitot}	V _{akt}
	cm	cm	kiri	tengah	kanan	rerata	(cm)	(cm/dt)	(cm/dt)
1	5,40	5,25	4,90	5,20	5,00	5,03	2,33	67,66	54,56
2	5,00	5,25	5,10	5,20	5,10	5,13	2,63	71,88	57,96
3	4,60	5,25	5,50	5,60	5,40	5,50	3,20	79,24	63,89
4	3,50	5,25	5,80	6,10	5,80	5,90	4,15	90,23	72,76
5	1,70	5,25	24,30	25,50	25,50	25,10	12,83	158,68	127,96
6	1,40	5,25	42,50	45,50	45,50	44,50	26,76	229,15	184,78
7	1,20	5,25	51,50	52,50	53,50	52,50	32,56	252,76	203,81
8	1,00	5,25	63,50	65,00	64,50	64,33	41,07	283,87	228,90

Tabel A.4 Analisa Data Hasil Pengukuran Hulu Peredam Energi untuk Q4

Titik	D	L1	L2 (cm)				h	V _{pitot}	V _{akt}
	cm	cm	kiri	tengah	kanan	rerata	(cm)	(cm/dt)	(cm/dt)
1	5,50	5,25	5,50	5,10	4,80	5,13	2,38	68,38	55,14
2	5,20	5,25	5,40	5,10	5,00	5,17	2,57	70,96	57,22
3	4,70	5,25	5,50	5,60	5,00	5,37	3,02	76,93	62,04
4	3,60	5,25	5,50	5,50	5,80	5,60	3,80	86,35	69,63
5	2,00	5,25	24,50	22,50	26,50	24,50	12,20	154,70	124,74
6	1,60	5,25	41,50	42,00	44,50	42,67	25,33	222,91	179,75
7	1,20	5,25	51,00	55,00	57,50	54,50	33,98	258,19	208,19
8	1,10	5,25	61,50	67,50	68,00	65,67	41,94	286,87	231,32

Tabel A.5 Analisa Data Hasil Pengukuran Hulu Peredam Energi untuk Q5

Titik	D	L1	L2 (cm)				h	V _{pitot}	V _{akt}
	cm	cm	kiri	tengah	kanan	rerata	(cm)	(cm/dt)	(cm/dt)
1	6,10	5,25	6,00	5,80	5,80	5,87	2,82	74,34	59,94
2	5,80	5,25	5,90	5,70	5,40	5,67	2,77	73,68	59,41
3	5,10	5,25	6,00	6,10	5,90	6,00	3,45	82,27	66,34
4	4,00	5,25	6,40	6,50	5,90	6,27	4,27	91,49	73,78
5	2,20	5,25	26,50	25,80	26,80	26,37	13,38	162,00	130,63
6	1,70	5,25	45,00	46,60	46,30	45,97	27,59	232,66	187,61
7	1,40	5,25	55,50	57,00	57,00	56,50	35,25	262,98	212,06
8	1,20	5,25	64,50	67,50	65,50	65,83	41,99	287,03	231,45

2. Model 0

a. TWL = 1,0 D₂

Tabel A.6 Analisa Data Hasil Pengukuran Hilir Peredam Energi Model 0 untuk Q1 untuk TWL = 1,0 D₂

Titik	D	L1	L2 (cm)				h	v _{pitot}	v _{akt}
	cm	cm	kiri	tengah	kanan	rerata	(cm)	(cm/dt)	(cm/dt)
9	11,40	5,25	6,30	6,40	6,40	6,37	0,67	36,17	29,16
10	11,30	5,25	6,30	6,30	6,30	6,33	0,65	34,78	28,80
11	11,30	5,25	6,20	6,30	6,30	6,27	0,62	34,78	28,05
12	11,20	5,25	6,10	6,30	6,20	6,20	0,60	34,31	27,67
13	11,20	5,25	6,10	6,20	6,10	6,13	0,53	32,35	26,08
14	11,20	5,25	6,10	6,10	6,10	6,10	0,50	31,32	25,26

**Tabel A.7 Analisa Data Hasil Pengukuran Hilir Peredam Energi Model 0
untuk Q2 untuk TWL = 1,0 D2**

Titik	D	L1	L2 (cm)				h	vpitot	vakt
	cm	cm	kiri	tengah	kanan	rerata	(cm)	(cm/dt)	(cm/dt)
9	12,20	5,25	7,20	6,70	6,90	6,93	0,83	40,44	32,61
10	12,10	5,25	7,00	6,70	6,80	6,83	0,78	39,20	31,61
11	12,10	5,25	6,80	6,50	6,60	6,63	0,58	33,83	27,28
12	12,10	5,25	6,70	6,50	6,50	6,57	0,52	31,84	25,67
13	12,10	5,25	6,70	6,50	6,50	6,57	0,52	31,84	25,67
14	12,10	5,25	6,70	6,50	6,50	6,57	0,52	31,84	25,67

**Tabel A.8 Analisa Data Hasil Pengukuran Hilir Peredam Energi Model 0
untuk Q3 untuk TWL = 1,0 D2**

Titik	D	L1	L2 (cm)				h	vpitot	vakt
	cm	cm	kiri	tengah	kanan	rerata	(cm)	(cm/dt)	(cm/dt)
9	13,00	5,25	7,50	7,30	7,40	7,40	0,90	42,02	33,88
10	12,90	5,25	7,40	7,20	7,00	7,20	0,75	38,36	30,93
11	12,90	5,25	7,20	7,20	7,10	7,17	0,72	37,50	30,24
12	12,80	5,25	7,10	7,00	7,00	7,03	0,63	35,25	28,42
13	12,80	5,25	7,00	7,00	7,00	7,00	0,60	34,31	27,67
14	12,80	5,25	7,00	7,00	6,90	6,97	0,57	33,34	26,89

**Tabel A.9 Analisa Data Hasil Pengukuran Hilir Peredam Energi Model 0
untuk Q4 untuk TWL = 1,0 D2**

Titik	D	L1	L2 (cm)				h	vpitot	vakt
	cm	cm	kiri	tengah	kanan	rerata	(cm)	(cm/dt)	(cm/dt)
9	13,80	5,25	8,00	7,80	7,80	7,87	0,97	43,55	35,12
10	13,70	5,25	7,50	7,60	7,80	7,63	0,78	39,20	31,61
11	13,60	5,25	7,60	7,70	7,50	7,60	0,80	39,62	31,95
12	13,60	5,25	7,60	7,60	7,50	7,57	0,77	38,78	31,27
13	13,60	5,25	7,30	7,30	7,40	7,33	0,53	32,35	26,08
14	13,60	5,25	7,30	7,30	7,30	7,30	0,50	31,32	25,26

**Tabel A.10 Analisa Data Hasil Pengukuran Hilir Peredam Energi Model 0
untuk Q5 untuk TWL = 1,0 D2**

Titik	D	L1	L2 (cm)				h	vpitot	vakt
	cm	cm	kiri	tengah	kanan	rerata	(cm)	(cm/dt)	(cm/dt)
9	14,50	5,25	8,50	8,50	8,50	8,50	1,25	49,52	39,93
10	14,60	5,25	8,50	8,30	8,50	8,43	1,13	47,16	38,02
11	14,50	5,25	8,30	8,10	8,00	8,13	0,88	41,63	33,57
12	14,50	5,25	8,00	8,00	8,00	8,00	0,75	38,36	30,93
13	14,50	5,25	8,00	7,90	7,90	7,93	0,68	36,62	29,53
14	14,50	5,25	7,90	7,90	7,90	7,90	0,65	35,71	28,80

b. TWL = 0,9 D₂

**Tabel A.11 Analisa Data Hasil Pengukuran Hilir Peredam Energi Model 0
untuk Q1 untuk TWL = 0,9 D2**

Titik	D	L1	L2 (cm)				h	vpitot	vakt
	cm	cm	kiri	tengah	kanan	rerata	(cm)	(cm/dt)	(cm/dt)
9	10,30	5,25	6,10	6,00	5,70	5,93	0,78	39,20	31,61
10	10,10	5,25	6,00	5,90	5,60	5,83	0,78	39,20	31,61
11	10,10	5,25	6,00	5,80	5,50	5,77	0,72	37,50	30,24
12	10,00	5,25	5,90	5,80	5,50	5,73	0,73	37,93	30,59
13	10,00	5,25	5,80	5,60	5,40	5,60	0,60	34,31	27,67
14	10,00	5,25	5,80	5,50	5,40	5,57	0,57	33,34	26,89

**Tabel A.12 Analisa Data Hasil Pengukuran Hilir Peredam Energi Model 0
untuk Q2 untuk TWL = 0,9 D2**

Titik	D	L1	L2 (cm)				h	vpitot	vakt
	cm	cm	kiri	tengah	kanan	rerata	(cm)	(cm/dt)	(cm/dt)
9	11,00	5,25	6,50	6,30	6,10	6,30	0,80	39,62	31,95
10	10,90	5,25	6,30	6,10	5,90	6,10	0,65	35,71	28,80
11	10,80	5,25	6,10	5,90	5,90	5,97	0,57	33,34	26,89
12	10,70	5,25	6,10	5,90	5,80	5,93	0,58	33,83	27,28
13	10,60	5,25	6,00	5,90	5,80	5,90	0,60	34,31	27,67
14	10,60	5,25	5,90	5,90	5,70	5,83	0,53	32,35	26,08

**Tabel A.13 Analisa Data Hasil Pengukuran Hilir Peredam Energi Model 0
untuk Q3 untuk TWL = 0,9 D2**

Titik	D	L1	L2 (cm)				h	vpitot	vakt
	cm	cm	kiri	tengah	kanan	rerata	(cm)	(cm/dt)	(cm/dt)
9	11,60	5,25	6,80	6,80	6,60	6,73	0,93	42,79	34,51
10	11,40	5,25	6,60	6,40	6,40	6,47	0,77	38,78	31,27
11	11,30	5,25	6,50	6,40	6,40	6,43	0,78	39,20	31,61
12	11,30	5,25	6,40	6,30	6,30	6,33	0,68	36,62	29,53
13	11,20	5,25	6,30	6,30	6,20	6,27	0,67	36,17	29,16
14	11,20	5,25	6,20	6,10	6,10	6,13	0,53	32,35	26,08

**Tabel A.14 Analisa Data Hasil Pengukuran Hilir Peredam Energi Model 0
untuk Q4 untuk TWL = 0,9 D2**

Titik	D	L1	L2 (cm)				h	vpitot	vakt
	cm	cm	kiri	tengah	kanan	rerata	(cm)	(cm/dt)	(cm/dt)
9	12,40	5,25	7,30	7,50	7,00	7,27	1,07	45,75	36,89
10	12,30	5,25	7,20	7,10	6,80	7,03	0,88	41,63	33,57
11	12,20	5,25	6,80	6,70	6,80	6,77	0,67	36,17	29,16
12	12,20	5,25	6,80	6,50	6,80	6,70	0,60	34,31	27,67
13	12,10	5,25	6,70	6,50	6,60	6,60	0,55	32,85	26,49
14	12,10	5,25	6,70	6,50	6,50	6,57	0,52	31,84	25,67

**Tabel A.15 Analisa Data Hasil Pengukuran Hilir Peredam Energi Model 0
untuk Q5 untuk TWL = 0,9 D2**

Titik	D	L1	L2 (cm)				h	vpitot	vakt
	cm	cm	kiri	tengah	kanan	rerata	(cm)	(cm/dt)	(cm/dt)
9	13,10	5,25	7,50	7,90	7,50	7,63	1,08	46,10	37,18
10	13,00	5,25	7,30	7,50	7,30	7,37	0,87	41,24	33,25
11	12,90	5,25	7,00	7,00	7,10	7,03	0,58	33,83	27,28
12	12,90	5,25	6,90	6,80	7,10	6,93	0,48	30,79	24,83
13	12,80	5,25	7,00	6,80	6,80	6,87	0,47	30,26	24,40
14	12,80	5,25	6,90	6,80	6,90	6,87	0,47	30,26	24,40

c. $TWL = 0,8 D_2$

**Tabel A.16 Analisa Data Hasil Pengukuran Hilir Peredam Energi Model 0
untuk Q1 untuk $TWL = 0,8 D_2$**

Titik	D	L1	L2 (cm)				h	vpitot	vakt
	cm	cm	kiri	tengah	kanan	rerata	(cm)	(cm/dt)	(cm/dt)
9	9,20	5,25	5,90	6,00	5,50	5,80	1,20	48,52	39,13
10	9,10	5,25	5,80	5,50	5,50	5,60	1,05	45,39	36,60
11	9,10	5,25	5,70	5,50	5,50	5,57	1,02	44,66	36,01
12	9,00	5,25	5,60	5,40	5,50	5,50	1,00	44,29	35,72
13	9,00	5,25	5,60	5,40	5,40	5,47	0,97	43,55	35,12
14	9,00	5,25	5,50	5,40	5,30	5,40	0,90	42,02	33,88

**Tabel A.17 Analisa Data Hasil Pengukuran Hilir Peredam Energi Model 0
untuk Q2 untuk $TWL = 0,8 D_2$**

Titik	D	L1	L2 (cm)				h	vpitot	vakt
	cm	cm	kiri	tengah	kanan	rerata	(cm)	(cm/dt)	(cm/dt)
9	9,80	5,25	5,80	6,30	5,20	5,77	0,87	41,24	33,25
10	9,60	5,25	5,80	6,00	5,20	5,67	0,87	41,24	33,25
11	9,50	5,25	5,60	5,60	5,20	5,47	0,72	37,50	30,24
12	9,50	5,25	5,50	5,50	5,20	5,40	0,65	35,71	28,80
13	9,50	5,25	5,60	5,40	5,20	5,40	0,65	35,71	28,80
14	9,50	5,25	5,50	5,40	5,20	5,37	0,62	34,78	28,05

**Tabel A.18 Analisa Data Hasil Pengukuran Hilir Peredam Energi Model 0
untuk Q3 untuk $TWL = 0,8 D_2$**

Titik	D	L1	L2 (cm)				h	vpitot	vakt
	cm	cm	kiri	tengah	kanan	rerata	(cm)	(cm/dt)	(cm/dt)
9	10,40	5,25	6,60	6,50	5,80	6,30	1,10	46,46	37,46
10	10,20	5,25	6,20	6,00	5,90	6,03	0,93	42,79	34,51
11	10,10	5,25	5,90	6,00	5,90	5,93	0,88	41,63	33,57
12	10,10	5,25	6,00	5,90	5,80	5,90	0,85	40,84	32,93
13	10,00	5,25	6,00	5,90	5,80	5,90	0,90	42,02	33,88
14	10,00	5,25	6,00	5,80	5,80	5,87	0,87	41,24	33,25

**Tabel A.19 Analisa Data Hasil Pengukuran Hilir Peredam Energi Model 0
untuk Q4 untuk TWL = 0,8 D2**

Titik	D	L1	L2 (cm)				h	vpitot	vakt
	cm	cm	kiri	tengah	kanan	rerata	(cm)	(cm/dt)	(cm/dt)
9	11,00	5,25	6,50	7,00	6,30	6,60	1,10	46,46	37,46
10	10,90	5,25	6,20	6,30	6,40	6,30	0,85	40,84	32,93
11	10,90	5,25	6,30	6,00	6,30	6,20	0,75	38,36	30,93
12	10,80	5,25	6,30	6,00	6,10	6,13	0,73	37,93	30,59
13	10,80	5,25	6,20	6,00	6,10	6,10	0,70	37,06	29,88
14	10,80	5,25	6,10	6,10	6,10	6,10	0,70	37,06	29,88

**Tabel A.20 Analisa Data Hasil Pengukuran Hilir Peredam Energi Model 0
untuk Q5 untuk TWL = 0,8 D2**

Titik	D	L1	L2 (cm)				h	vpitot	vakt
	cm	cm	kiri	tengah	kanan	rerata	(cm)	(cm/dt)	(cm/dt)
9	11,60	5,25	7,00	7,30	7,50	7,27	1,47	53,64	43,26
10	11,50	5,25	6,80	6,80	6,90	6,83	1,08	46,10	37,18
11	11,40	5,25	6,50	6,50	6,80	6,60	0,90	42,02	33,88
12	11,40	5,25	6,60	6,40	6,70	6,57	0,87	41,24	33,25
13	11,40	5,25	6,60	6,50	6,70	6,60	0,90	42,02	33,88
14	11,40	5,25	6,50	6,50	6,60	6,53	0,83	40,44	32,61

3. Model 1

a. TWL = 1,0 D₂

**Tabel A.21 Analisa Data Hasil Pengukuran Hilir Peredam Energi Model 1
untuk Q1 untuk TWL = 1,0 D2**

Titik	D	L1	L2 (cm)				h	vpitot	vakt
	cm	cm	kiri	tengah	kanan	rerata	(cm)	(cm/dt)	(cm/dt)
9	11,40	5,25	6,40	6,30	6,20	6,30	0,60	34,31	27,67
10	11,30	5,25	6,40	6,20	6,20	6,27	0,62	34,78	28,05
11	11,30	5,25	6,40	6,20	6,10	6,23	0,58	33,83	27,28
12	11,30	5,25	6,30	6,20	6,10	6,20	0,55	32,85	26,49
13	11,20	5,25	6,40	6,10	6,00	6,17	0,57	33,34	26,89
14	11,20	5,25	6,40	6,10	6,00	6,17	0,57	33,34	26,89

**Tabel A.22 Analisa Data Hasil Pengukuran Hilir Peredam Energi Model 1
untuk Q2 untuk TWL = 1,0 D2**

Titik	D	L1	L2 (cm)				h	vpitot	vakt
	cm	cm	kiri	tengah	kanan	rerata	(cm)	(cm/dt)	(cm/dt)
9	12,20	5,25	7,00	6,60	6,60	6,73	0,63	35,25	28,42
10	12,10	5,25	6,80	6,60	6,60	6,67	0,62	34,78	28,05
11	12,10	5,25	6,90	6,50	6,50	6,63	0,58	33,83	27,28
12	12,10	5,25	6,80	6,50	6,40	6,57	0,52	31,84	25,67
13	12,10	5,25	6,80	6,40	6,50	6,57	0,52	31,84	25,67
14	12,10	5,25	6,70	6,50	6,50	6,57	0,52	31,84	25,67

**Tabel A.23 Analisa Data Hasil Pengukuran Hilir Peredam Energi Model 1
untuk Q3 untuk TWL = 1,0 D2**

Titik	D	L1	L2 (cm)				h	vpitot	vakt
	cm	cm	kiri	tengah	kanan	rerata	(cm)	(cm/dt)	(cm/dt)
9	13,00	5,25	7,40	7,30	6,80	7,17	0,67	36,17	29,16
10	12,90	5,25	7,40	6,90	6,70	7,00	0,55	32,845	26,49
11	12,90	5,25	7,20	6,90	6,80	6,97	0,52	31,84	25,67
12	12,80	5,25	7,00	6,90	6,80	6,90	0,50	31,32	25,26
13	12,80	5,25	7,00	6,90	6,80	6,90	0,50	31,32	25,26
14	12,80	5,25	7,00	6,90	6,70	6,87	0,47	30,26	24,40

**Tabel A.24 Analisa Data Hasil Pengukuran Hilir Peredam Energi Model 1
untuk Q4 untuk TWL = 1,0 D2**

Titik	D	L1	L2 (cm)				h	vpitot	vakt
	cm	cm	kiri	tengah	kanan	rerata	(cm)	(cm/dt)	(cm/dt)
9	13,80	5,25	7,50	8,00	7,50	7,67	0,77	38,78	31,27
10	13,70	5,25	8,00	7,50	7,50	7,67	0,82	40,03	32,28
11	13,60	5,25	7,80	7,50	7,40	7,57	0,77	38,78	31,27
12	13,60	5,25	7,60	7,40	7,50	7,50	0,70	37,06	29,88
13	13,60	5,25	7,60	7,50	7,30	7,47	0,67	36,17	29,16
14	13,60	5,25	7,50	7,30	7,30	7,37	0,57	33,34	26,89

**Tabel A.25 Analisa Data Hasil Pengukuran Hilir Peredam Energi Model 1
untuk Q5 untuk TWL = 1,0 D2**

Titik	D	L1	L2 (cm)				h	vpitot	vakt
	cm	cm	kiri	tengah	kanan	rerata	(cm)	(cm/dt)	(cm/dt)
9	14,50	5,25	8,30	8,00	8,00	8,10	0,85	40,84	32,93
10	14,30	5,25	8,00	7,80	7,50	7,77	0,62	34,78	28,05
11	14,10	5,25	8,00	8,00	7,80	7,93	0,88	41,63	33,57
12	14,00	5,25	7,80	7,80	7,60	7,73	0,73	37,93	30,59
13	14,00	5,25	7,80	7,70	7,60	7,70	0,70	37,06	29,88
14	14,00	5,25	7,60	7,80	7,50	7,63	0,63	35,25	28,42

b. TWL = 0,9 D₂

**Tabel A.26 Analisa Data Hasil Pengukuran Hilir Peredam Energi Model 1
untuk Q1 untuk TWL = 0,9 D2**

Titik	D	L1	L2 (cm)				h	vpitot	vakt
	cm	cm	kiri	tengah	kanan	rerata	(cm)	(cm/dt)	(cm/dt)
9	10,30	5,25	6,00	5,70	5,40	5,70	0,55	32,85	26,49
10	10,10	5,25	5,90	5,60	5,40	5,63	0,58	33,83	27,28
11	10,00	5,25	5,80	5,60	5,40	5,60	0,60	34,31	27,67
12	10,00	5,25	5,90	5,50	5,40	5,60	0,60	34,31	27,67
13	9,90	5,25	5,80	5,60	5,30	5,57	0,62	34,78	28,05
14	9,90	5,25	5,90	5,50	5,40	5,60	0,65	35,71	28,80

**Tabel A.27 Analisa Data Hasil Pengukuran Hilir Peredam Energi Model 1
untuk Q2 untuk TWL = 0,9 D2**

Titik	D	L1	L2 (cm)				h	vpitot	vakt
	cm	cm	kiri	tengah	kanan	rerata	(cm)	(cm/dt)	(cm/dt)
9	11,00	5,25	6,30	6,10	5,80	6,07	0,57	33,34	26,89
10	10,90	5,25	6,30	6,00	5,70	6,00	0,55	32,85	26,49
11	10,80	5,25	6,10	6,10	5,70	5,97	0,57	33,34	26,89
12	10,80	5,25	6,10	5,90	5,80	5,93	0,53	32,35	26,08
13	10,70	5,25	6,10	5,90	5,70	5,90	0,55	32,85	26,49
14	10,70	5,25	6,10	5,90	5,60	5,87	0,52	31,84	25,67

**Tabel A.28 Analisa Data Hasil Pengukuran Hilir Peredam Energi Model 1
untuk Q3 untuk TWL = 0,9 D2**

Titik	D	L1	L2 (cm)				h	vpitot	vakt
	cm	cm	kiri	tengah	kanan	rerata	(cm)	(cm/dt)	(cm/dt)
9	11,60	5,25	6,60	6,40	6,40	6,47	0,67	36,17	29,16
10	11,40	5,25	6,60	6,20	6,20	6,33	0,63	35,25	28,42
11	11,30	5,25	6,40	6,20	6,00	6,20	0,55	32,85	26,49
12	11,30	5,25	6,30	6,30	6,00	6,20	0,55	32,85	26,49
13	11,20	5,25	6,30	6,10	6,00	6,13	0,53	32,35	26,08
14	11,20	5,25	6,30	6,10	5,90	6,10	0,50	31,32	25,26

**Tabel A.29 Analisa Data Hasil Pengukuran Hilir Peredam Energi Model 1
untuk Q4 untuk TWL = 0,9 D2**

Titik	D	L1	L2 (cm)				h	vpitot	vakt
	cm	cm	kiri	tengah	kanan	rerata	(cm)	(cm/dt)	(cm/dt)
9	12,40	5,25	7,50	6,80	6,50	6,93	0,73	37,93	30,59
10	12,20	5,25	7,30	6,60	6,40	6,77	0,67	36,17	29,16
11	12,10	5,25	7,00	6,50	6,40	6,63	0,58	33,83	27,28
12	12,10	5,25	6,70	6,50	6,40	6,53	0,48	30,79	24,83
13	12,10	5,25	6,70	6,40	6,40	6,50	0,45	29,71	23,96
14	12,10	5,25	6,60	6,40	6,50	6,50	0,45	29,71	23,96

**Tabel A.30 Analisa Data Hasil Pengukuran Hilir Peredam Energi Model 1
untuk Q5 untuk TWL = 0,9 D2**

Titik	D	L1	L2 (cm)				h	vpitot	vakt
	cm	cm	kiri	tengah	kanan	rerata	(cm)	(cm/dt)	(cm/dt)
9	13,10	5,25	7,30	7,80	7,00	7,37	0,82	40,03	32,28
10	13,00	5,25	7,60	7,20	7,00	7,27	0,77	38,78	31,27
11	12,90	5,25	7,30	7,10	6,90	7,10	0,65	35,71	28,80
12	12,90	5,25	7,10	7,00	6,80	6,97	0,52	31,84	25,67
13	12,90	5,25	7,10	6,90	6,90	6,97	0,52	31,84	25,67
14	12,90	5,25	7,00	7,00	6,90	6,97	0,52	31,84	25,67

c. $TWL = 0,8 D_2$

**Tabel A.31 Analisa Data Hasil Pengukuran Hilir Peredam Energi Model 1
untuk Q1 untuk $TWL = 0,8 D_2$**

Titik	D	L1	L2 (cm)				h	vpitot	vakt
	cm	cm	kiri	tengah	kanan	rerata	(cm)	(cm/dt)	(cm/dt)
9	9,20	5,25	5,90	5,50	5,30	5,57	0,97	43,55	35,12
10	9,00	5,25	5,80	5,50	5,30	5,53	1,03	45,03	36,31
11	9,00	5,25	5,70	5,40	5,40	5,50	1,00	44,29	35,72
12	9,00	5,25	5,70	5,40	5,40	5,50	1,00	44,29	35,72
13	8,90	5,25	5,60	5,40	5,30	5,43	0,98	43,92	35,42
14	8,90	5,25	5,60	5,40	5,20	5,40	0,95	43,17	34,81

**Tabel A.32 Analisa Data Hasil Pengukuran Hilir Peredam Energi Model 1
untuk Q2 untuk $TWL = 0,8 D_2$**

Titik	D	L1	L2 (cm)				h	vpitot	vakt
	cm	cm	kiri	tengah	kanan	rerata	(cm)	(cm/dt)	(cm/dt)
9	9,80	5,25	6,30	5,50	5,10	5,63	0,73	37,93	30,59
10	9,60	5,25	6,00	5,50	5,10	5,53	0,73	37,93	30,59
11	9,50	5,25	5,80	5,50	5,10	5,47	0,72	37,50	30,24
12	9,50	5,25	5,90	5,40	5,20	5,50	0,75	38,36	30,93
13	9,50	5,25	5,90	5,50	5,10	5,50	0,75	38,36	30,93
14	9,50	5,25	5,80	5,50	5,20	5,50	0,75	38,36	30,93

**Tabel A.33 Analisa Data Hasil Pengukuran Hilir Peredam Energi Model 1
untuk Q3 untuk $TWL = 0,8 D_2$**

Titik	D	L1	L2 (cm)				h	vpitot	vakt
	cm	cm	kiri	tengah	kanan	rerata	(cm)	(cm/dt)	(cm/dt)
9	10,40	5,25	6,30	6,00	5,30	5,87	0,67	36,17	29,16
10	10,20	5,25	6,10	5,90	5,50	5,83	0,73	37,93	30,59
11	10,10	5,25	6,10	5,70	5,50	5,77	0,72	37,50	30,24
12	10,00	5,25	6,00	5,70	5,50	5,73	0,73	37,93	30,59
13	10,00	5,25	6,00	5,80	5,40	5,73	0,73	37,93	30,59
14	10,00	5,25	6,00	5,70	5,50	5,73	0,73	37,93	30,59

**Tabel A.34 Analisa Data Hasil Pengukuran Hilir Peredam Energi Model 1
untuk Q4 untuk TWL = 0,8 D₂**

Titik	D	L1	L2 (cm)				h	vpitot	vakt
	cm	cm	kiri	tengah	kanan	rerata	(cm)	(cm/dt)	(cm/dt)
9	11,00	5,25	7,00	6,30	5,80	6,37	0,87	41,24	33,25
10	10,90	5,25	6,80	6,20	5,80	6,27	0,82	40,03	32,28
11	10,90	5,25	6,50	6,00	5,80	6,10	0,65	35,71	28,80
12	10,80	5,25	6,50	6,00	5,80	6,10	0,70	37,06	29,88
13	10,80	5,25	6,50	6,10	5,80	6,13	0,73	37,93	30,59
14	10,80	5,25	6,20	6,00	5,80	6,00	0,60	34,31	27,67

**Tabel A.35 Analisa Data Hasil Pengukuran Hilir Peredam Energi Model 1
untuk Q5 untuk TWL = 0,8 D₂**

Titik	D	L1	L2 (cm)				h	vpitot	vakt
	cm	cm	kiri	tengah	kanan	rerata	(cm)	(cm/dt)	(cm/dt)
9	11,60	5,25	7,00	7,50	6,80	7,10	1,30	50,50	40,72
10	11,60	5,25	7,20	7,00	6,50	6,90	1,10	46,46	37,46
11	11,50	5,25	7,00	6,80	6,40	6,73	0,98	43,92	35,42
12	11,50	5,25	6,90	6,60	6,50	6,67	0,92	42,41	34,20
13	11,50	5,25	6,60	6,40	6,60	6,53	0,78	39,20	31,61
14	11,50	5,25	6,60	6,40	6,50	6,50	0,75	38,36	30,93

4. Model 2

a. TWL = 1,0 D₂

**Tabel A.36 Analisa Data Hasil Pengukuran Hilir Peredam Energi Model 2
untuk Q1 untuk TWL = 1,0 D₂**

Titik	D	L1	L2 (cm)				h	vpitot	vakt
	cm	cm	kiri	tengah	kanan	rerata	(cm)	(cm/dt)	(cm/dt)
9	11,40	5,25	6,80	6,00	5,80	6,20	0,50	31,32	25,26
10	11,40	5,25	6,90	6,50	6,40	6,60	0,90	42,02	33,88
11	11,30	5,25	6,70	6,40	6,30	6,47	0,82	40,03	32,28
12	11,20	5,25	6,60	6,30	6,40	6,43	0,83	40,44	32,61
13	11,20	5,25	6,50	6,30	6,40	6,40	0,80	39,62	31,95
14	11,20	5,25	6,50	6,30	6,40	6,40	0,80	39,62	31,95

**Tabel A.37 Analisa Data Hasil Pengukuran Hilir Peredam Energi Model 2
untuk Q2 untuk TWL = 1,0 D2**

Titik	D	L1	L2 (cm)				h	vpitot	vakt
	cm	cm	kiri	tengah	kanan	rerata	(cm)	(cm/dt)	(cm/dt)
9	12,20	5,25	7,40	7,20	7,00	7,20	1,10	46,46	37,46
10	12,10	5,25	7,30	6,90	6,80	7,00	0,95	43,17	34,81
11	12,10	5,25	7,00	7,00	7,00	7,00	0,95	43,17	34,81
12	12,00	5,25	7,00	7,00	6,90	6,97	0,97	43,55	35,12
13	12,00	5,25	6,50	6,40	6,40	6,43	0,43	29,16	23,51
14	12,00	5,25	6,50	6,40	6,50	6,47	0,47	30,26	24,40

**Tabel A.38 Analisa Data Hasil Pengukuran Hilir Peredam Energi Model 2
untuk Q3 untuk TWL = 1,0 D2**

Titik	D	L1	L2 (cm)				h	vpitot	vakt
	cm	cm	kiri	tengah	kanan	rerata	(cm)	(cm/dt)	(cm/dt)
9	13,00	5,25	7,50	7,80	7,60	7,63	1,13	47,16	38,02
10	13,00	5,25	7,50	7,40	7,50	7,47	0,97	43,55	35,12
11	12,90	5,25	7,30	7,30	7,20	7,27	0,82	40,03	32,28
12	12,90	5,25	7,30	7,20	7,20	7,23	0,78	39,20	31,61
13	12,90	5,25	7,20	7,30	7,30	7,27	0,82	40,03	32,28
14	12,80	5,25	7,00	7,00	7,00	7,00	0,60	34,31	27,67

**Tabel A.39 Analisa Data Hasil Pengukuran Hilir Peredam Energi Model 2
untuk Q4 untuk TWL = 1,0 D2**

Titik	D	L1	L2 (cm)				h	vpitot	vakt
	cm	cm	kiri	tengah	kanan	rerata	(cm)	(cm/dt)	(cm/dt)
9	13,80	5,25	8,40	8,30	8,00	8,23	1,33	51,15	41,24
10	13,90	5,25	8,30	8,00	8,00	8,10	1,15	47,50	38,30
11	13,80	5,25	8,20	8,00	7,80	8,00	1,10	46,46	37,46
12	13,80	5,25	8,00	8,00	8,00	8,00	1,10	46,46	37,46
13	13,70	5,25	7,90	7,90	8,00	7,93	1,08	46,10	37,18
14	13,70	5,25	7,90	8,00	8,00	7,97	1,12	46,81	37,74

**Tabel A.40 Analisa Data Hasil Pengukuran Hilir Peredam Energi Model 2
untuk Q5 untuk TWL = 1,0 D₂**

Titik	D	L1	L2 (cm)				h	vpitot	vakt
	cm	cm	kiri	tengah	kanan	rerata	(cm)	(cm/dt)	(cm/dt)
9	14,50	5,25	8,50	9,00	8,50	8,67	1,42	52,72	42,51
10	14,60	5,25	8,30	8,00	7,70	8,00	0,70	37,06	29,88
11	14,50	5,25	8,00	7,80	8,00	7,93	0,68	36,62	29,53
12	14,50	5,25	8,00	7,80	7,80	7,87	0,62	34,78	28,05
13	14,50	5,25	7,90	7,80	7,80	7,83	0,58	33,83	27,28
14	14,50	5,25	7,90	7,80	7,80	7,83	0,58	33,83	27,28

b. TWL = 0,9 D₂

**Tabel A.41 Analisa Data Hasil Pengukuran Hilir Peredam Energi Model 2
untuk Q1 untuk TWL = 0,9 D₂**

Titik	D	L1	L2 (cm)				h	vpitot	vakt
	cm	cm	kiri	tengah	kanan	rerata	(cm)	(cm/dt)	(cm/dt)
9	10,30	5,25	6,30	5,80	5,50	5,87	0,72	37,50	30,24
10	10,20	5,25	6,10	5,60	5,30	5,67	0,57	33,34	26,89
11	10,10	5,25	6,00	5,60	5,50	5,70	0,65	35,71	28,80
12	10,00	5,25	6,00	5,60	5,60	5,73	0,73	37,93	30,59
13	10,00	5,25	5,80	5,60	5,70	5,70	0,70	37,06	29,88
14	10,00	5,25	5,40	5,40	5,40	5,40	0,40	28,01	22,59

**Tabel A.41 Analisa Data Hasil Pengukuran Hilir Peredam Energi Model 2
untuk Q2 untuk TWL = 0,9 D₂**

Titik	D	L1	L2 (cm)				h	vpitot	vakt
	cm	cm	kiri	tengah	kanan	rerata	(cm)	(cm/dt)	(cm/dt)
9	11,00	5,25	7,00	6,80	6,30	6,70	1,20	48,52	39,13
10	10,90	5,25	6,90	6,80	6,20	6,63	1,18	48,18	38,85
11	10,90	5,25	6,80	6,30	6,40	6,50	1,05	45,39	36,60
12	10,90	5,25	6,80	6,50	6,50	6,60	1,15	47,50	38,30
13	10,80	5,25	6,50	6,00	6,30	6,27	0,87	41,24	33,25
14	10,80	5,25	6,30	6,00	6,30	6,20	0,80	39,62	31,95

**Tabel A.43 Analisa Data Hasil Pengukuran Hilir Peredam Energi Model 2
untuk Q3 untuk TWL = 0,9 D2**

Titik	D	L1	L2 (cm)				h	vpitot	vakt
	cm	cm	kiri	tengah	kanan	rerata	(cm)	(cm/dt)	(cm/dt)
9	11,60	5,25	7,30	7,10	6,80	7,07	1,27	49,85	40,20
10	11,50	5,25	7,30	6,90	6,80	7,00	1,25	49,52	39,93
11	11,50	5,25	7,00	6,50	6,80	6,77	1,02	44,66	36,01
12	11,40	5,25	7,00	6,80	6,80	6,87	1,17	47,84	38,58
13	11,40	5,25	6,80	6,50	6,80	6,70	1,00	44,29	35,72
14	11,40	5,25	6,90	6,60	6,60	6,70	1,00	44,29	35,72

**Tabel A.44 Analisa Data Hasil Pengukuran Hilir Peredam Energi Model 2
untuk Q4 untuk TWL = 0,9 D2**

Titik	D	L1	L2 (cm)				h	vpitot	vakt
	cm	cm	kiri	tengah	kanan	rerata	(cm)	(cm/dt)	(cm/dt)
9	12,40	5,25	7,50	7,50	7,50	7,50	1,30	50,50	40,72
10	12,30	5,25	7,20	7,10	7,00	7,10	0,95	43,17	34,81
11	12,30	5,25	7,00	7,00	7,00	7,00	0,85	40,84	32,93
12	12,20	5,25	7,10	6,90	7,00	7,00	0,90	42,02	33,88
13	12,20	5,25	7,00	7,10	7,00	7,03	0,93	42,79	34,51
14	12,20	5,25	6,90	7,00	7,00	6,97	0,87	41,24	33,25

**Tabel A.45 Analisa Data Hasil Pengukuran Hilir Peredam Energi Model 2
untuk Q5 untuk TWL = 0,9 D2**

Titik	D	L1	L2 (cm)				h	vpitot	vakt
	cm	cm	kiri	tengah	kanan	rerata	(cm)	(cm/dt)	(cm/dt)
9	13,10	5,25	8,00	8,00	8,00	8,00	1,45	53,34	43,01
10	13,20	5,25	7,80	8,00	7,70	7,83	1,23	49,19	39,67
11	13,10	5,25	7,70	7,50	7,50	7,57	1,02	44,66	36,01
12	13,10	5,25	7,50	7,30	7,40	7,40	0,85	40,84	32,93
13	13,10	5,25	7,40	7,30	7,50	7,40	0,85	40,84	32,93
14	13,10	5,25	7,40	7,30	7,50	7,40	0,85	40,84	32,93

c. $TWL = 0,8 D_2$

**Tabel A.46 Analisa Data Hasil Pengukuran Hilir Peredam Energi Model 2
untuk Q1 untuk $TWL = 0,8 D_2$**

Titik	D	L1	L2 (cm)				h	vpitot	vakt
	cm	cm	kiri	tengah	kanan	rerata	(cm)	(cm/dt)	(cm/dt)
9	9,20	5,25	6,30	5,10	5,00	5,47	0,87	41,24	33,25
10	9,00	5,25	5,50	5,20	5,00	5,23	0,73	37,93	30,59
11	9,00	5,25	5,60	5,10	5,40	5,37	0,87	41,24	33,25
12	9,00	5,25	5,50	5,00	5,40	5,30	0,80	39,62	31,95
13	8,90	5,25	5,50	5,00	5,10	5,20	0,75	38,36	30,93
14	8,90	5,25	5,30	5,00	5,10	5,13	0,68	36,62	29,53

**Tabel A.47 Analisa Data Hasil Pengukuran Hilir Peredam Energi Model 2
untuk Q2 untuk $TWL = 0,8 D_2$**

Titik	D	L1	L2 (cm)				h	vpitot	vakt
	cm	cm	kiri	tengah	kanan	rerata	(cm)	(cm/dt)	(cm/dt)
9	9,80	5,25	6,50	5,70	5,00	5,73	0,83	40,44	32,61
10	9,60	5,25	6,30	5,50	5,40	5,73	0,93	42,79	34,51
11	9,60	5,25	5,90	5,50	5,30	5,57	0,77	38,78	31,27
12	9,50	5,25	6,00	5,60	5,00	5,53	0,78	39,20	31,61
13	9,50	5,25	6,00	5,60	5,00	5,53	0,78	39,20	31,61
14	9,50	5,25	6,00	5,60	5,00	5,53	0,78	39,20	31,61

**Tabel A.48 Analisa Data Hasil Pengukuran Hilir Peredam Energi Model 2
untuk Q3 untuk $TWL = 0,8 D_2$**

Titik	D	L1	L2 (cm)				h	vpitot	vakt
	cm	cm	kiri	tengah	kanan	rerata	(cm)	(cm/dt)	(cm/dt)
9	10,40	5,25	6,80	6,40	5,80	6,33	1,13	47,16	38,02
10	10,20	5,25	6,30	6,00	5,50	5,93	0,83	40,44	32,61
11	10,10	5,25	6,20	5,80	5,50	5,83	0,78	39,20	31,61
12	10,10	5,25	5,90	5,80	5,60	5,77	0,72	37,50	30,24
13	10,10	5,25	5,80	5,70	5,80	5,77	0,72	37,50	30,24
14	10,10	5,25	5,90	5,60	5,80	5,77	0,72	37,50	30,24

**Tabel A.49 Analisa Data Hasil Pengukuran Hilir Peredam Energi Model 2
untuk Q4 untuk TWL = 0,8 D2**

Titik	D	L1	L2 (cm)				h	vpitot	vakt
	cm	cm	kiri	tengah	kanan	rerata	(cm)	(cm/dt)	(cm/dt)
9	11,00	5,25	7,00	6,80	5,80	6,53	1,03	45,03	36,31
10	11,00	5,25	6,90	6,30	6,00	6,40	0,90	42,02	33,88
11	10,80	5,25	6,50	6,20	6,30	6,33	0,93	42,79	34,51
12	10,80	5,25	6,50	6,30	6,40	6,40	1,00	44,29	35,72
13	10,80	5,25	6,30	6,30	6,40	6,33	0,93	42,79	34,51
14	10,80	5,25	6,30	6,30	6,30	6,30	0,90	42,02	33,88

**Tabel A.50 Analisa Data Hasil Pengukuran Hilir Peredam Energi Model 2
untuk Q5 untuk TWL = 0,8 D2**

Titik	D	L1	L2 (cm)				h	vpitot	vakt
	cm	cm	kiri	tengah	kanan	rerata	(cm)	(cm/dt)	(cm/dt)
9	11,70	5,25	7,50	8,30	6,80	7,53	1,68	57,47	46,34
10	11,50	5,25	7,30	7,00	6,30	6,87	1,12	46,81	37,74
11	11,50	5,25	7,20	6,90	6,80	6,97	1,22	48,86	39,40
12	11,50	5,25	7,00	6,80	6,90	6,90	1,15	47,50	38,30
13	11,50	5,25	7,00	6,80	7,00	6,93	1,18	48,18	38,85
14	11,50	5,25	7,00	7,00	7,00	7,00	1,25	49,52	39,93

5. Model 3

a. TWL = 1,0 D₂

**Tabel A.51 Analisa Data Hasil Pengukuran Hilir Peredam Energi Model 3
untuk Q1 untuk TWL = 1,0 D2**

Titik	D	L1	L2 (cm)				h	vpitot	vakt
	cm	cm	kiri	tengah	kanan	rerata	(cm)	(cm/dt)	(cm/dt)
9	11,40	5,25	6,90	6,40	6,50	6,60	0,90	42,02	33,88
10	11,40	5,25	6,80	6,30	6,50	6,53	0,83	40,44	32,61
11	11,30	5,25	6,90	6,20	6,40	6,50	0,85	40,84	32,93
12	11,30	5,25	6,80	6,40	6,20	6,47	0,82	40,03	32,28
13	11,30	5,25	6,50	6,10	6,20	6,27	0,62	34,78	28,05
14	11,30	5,25	6,30	6,10	6,00	6,13	0,48	30,79	24,83

**Tabel A.52 Analisa Data Hasil Pengukuran Hilir Peredam Energi Model 3
untuk Q2 untuk TWL = 1,0 D2**

Titik	D	L1	L2 (cm)				h	vpitot	vakt
	cm	cm	kiri	tengah	kanan	rerata	(cm)	(cm/dt)	(cm/dt)
9	12,20	5,25	7,50	6,80	7,30	7,20	1,10	46,46	37,46
10	12,10	5,25	7,30	6,80	7,00	7,03	0,98	43,92	35,42
11	12,00	5,25	6,80	6,60	6,40	6,60	0,60	34,31	27,67
12	12,00	5,25	6,90	6,70	6,50	6,70	0,70	37,06	29,88
13	12,00	5,25	6,60	6,60	6,60	6,60	0,60	34,31	27,67
14	12,00	5,25	6,50	6,50	6,50	6,50	0,50	31,32	25,26

**Tabel A.53 Analisa Data Hasil Pengukuran Hilir Peredam Energi Model 3
untuk Q3 untuk TWL = 1,0 D2**

Titik	D	L1	L2 (cm)				h	vpitot	vakt
	cm	cm	kiri	tengah	kanan	rerata	(cm)	(cm/dt)	(cm/dt)
9	13,00	5,25	8,00	7,80	7,80	7,87	1,37	51,78	41,76
10	13,10	5,25	7,80	7,50	7,50	7,60	1,05	45,39	36,60
11	13,00	5,25	7,50	7,50	7,50	7,50	1,00	44,29	35,72
12	13,00	5,25	7,60	7,50	7,40	7,50	1,00	44,29	35,72
13	13,00	5,25	7,40	7,40	7,30	7,37	0,87	41,24	33,25
14	13,00	5,25	7,40	7,30	7,30	7,33	0,83	40,44	32,61

**Tabel A.54 Analisa Data Hasil Pengukuran Hilir Peredam Energi Model 3
untuk Q4 untuk TWL = 1,0 D2**

Titik	D	L1	L2 (cm)				h	vpitot	vakt
	cm	cm	kiri	tengah	kanan	rerata	(cm)	(cm/dt)	(cm/dt)
9	13,80	5,25	8,50	8,50	8,00	8,33	1,43	53,03	42,76
10	13,80	5,25	8,30	7,80	7,80	7,97	1,07	45,75	36,89
11	13,60	5,25	7,90	7,30	7,30	7,50	0,70	37,06	29,88
12	13,50	5,25	7,40	7,40	7,40	7,40	0,65	35,71	28,80
13	13,50	5,25	7,50	7,40	7,40	7,43	0,68	36,62	29,53
14	13,50	5,25	7,40	7,30	7,40	7,37	0,62	34,78	28,05

**Tabel A.55 Analisa Data Hasil Pengukuran Hilir Peredam Energi Model 3
untuk Q5 untuk TWL = 1,0 D₂**

Titik	D	L1	L2 (cm)				h	vpitot	vakt
	cm	cm	kiri	tengah	kanan	rerata	(cm)	(cm/dt)	(cm/dt)
9	14,50	5,25	9,00	9,50	9,00	9,17	1,92	61,32	49,45
10	14,80	5,25	9,50	9,00	9,00	9,17	1,77	58,87	47,47
11	14,60	5,25	9,20	8,60	8,80	8,87	1,57	55,44	44,71
12	14,60	5,25	9,00	8,60	8,70	8,77	1,47	53,64	43,26
13	14,60	5,25	8,40	8,60	8,70	8,57	1,27	49,85	40,20
14	14,60	5,25	8,00	8,00	8,00	8,00	0,70	37,06	29,88

b. TWL = 0,9 D₂

**Tabel A.56 Analisa Data Hasil Pengukuran Hilir Peredam Energi Model 3
untuk Q1 untuk TWL = 0,9 D₂**

Titik	D	L1	L2 (cm)				h	vpitot	vakt
	cm	cm	kiri	tengah	kanan	rerata	(cm)	(cm/dt)	(cm/dt)
9	10,30	5,25	6,80	6,20	5,50	6,17	1,02	44,66	36,01
10	10,20	5,25	6,70	6,20	6,00	6,30	1,20	48,52	39,13
11	10,10	5,25	6,00	5,80	5,50	5,77	0,72	37,50	30,24
12	10,10	5,25	5,80	5,50	5,30	5,53	0,48	30,79	24,83
13	10,00	5,25	5,80	5,70	5,50	5,67	0,67	36,17	29,16
14	10,00	5,25	5,50	5,50	5,40	5,47	0,47	30,26	24,40

**Tabel A.57 Analisa Data Hasil Pengukuran Hilir Peredam Energi Model 3
untuk Q2 untuk TWL = 0,9 D₂**

Titik	D	L1	L2 (cm)				h	vpitot	vakt
	cm	cm	kiri	tengah	kanan	rerata	(cm)	(cm/dt)	(cm/dt)
9	11,00	5,25	7,10	6,30	6,30	6,57	1,07	45,75	36,89
10	10,90	5,25	7,00	6,30	6,10	6,47	1,02	44,66	36,01
11	10,80	5,25	6,60	6,50	6,50	6,53	1,13	47,16	38,02
12	10,80	5,25	6,60	6,60	6,40	6,53	1,13	47,16	38,02
13	10,70	5,25	6,30	6,40	6,40	6,37	1,02	44,66	36,01
14	10,70	5,25	6,40	6,40	6,40	6,40	1,05	45,39	36,60

**Tabel A.58 Analisa Data Hasil Pengukuran Hilir Peredam Energi Model 3
untuk Q3 untuk TWL = 0,9 D2**

Titik	D	L1	L2 (cm)				h	vpitot	vakt
	cm	cm	kiri	tengah	kanan	rerata	(cm)	(cm/dt)	(cm/dt)
9	11,60	5,25	7,80	7,50	6,80	7,37	1,57	55,44	44,71
10	11,60	5,25	7,30	7,00	6,60	6,97	1,17	47,84	38,58
11	11,50	5,25	6,80	6,80	6,60	6,73	0,98	43,92	35,42
12	11,50	5,25	6,90	6,80	6,60	6,77	1,02	44,66	36,01
13	11,50	5,25	6,40	6,80	6,60	6,60	0,85	40,84	32,93
14	11,50	5,25	6,80	6,60	6,50	6,63	0,88	41,63	33,57

**Tabel A.59 Analisa Data Hasil Pengukuran Hilir Peredam Energi Model 3
untuk Q4 untuk TWL = 0,9 D2**

Titik	D	L1	L2 (cm)				h	vpitot	vakt
	cm	cm	kiri	tengah	kanan	rerata	(cm)	(cm/dt)	(cm/dt)
9	12,40	5,25	7,80	8,30	7,30	7,80	1,60	56,03	45,18
10	12,50	5,25	7,90	8,30	7,60	7,93	1,68	57,47	46,34
11	12,40	5,25	7,70	7,30	7,60	7,53	1,33	51,15	41,24
12	12,30	5,25	7,50	7,40	7,50	7,47	1,32	50,83	40,98
13	12,30	5,25	6,90	6,40	6,50	6,60	0,45	29,71	23,96
14	12,30	5,25	6,90	6,50	6,40	6,60	0,45	29,71	23,96

**Tabel A.60 Analisa Data Hasil Pengukuran Hilir Peredam Energi Model 3
untuk Q5 untuk TWL = 0,9 D2**

Titik	D	L1	L2 (cm)				h	vpitot	vakt
	cm	cm	kiri	tengah	kanan	rerata	(cm)	(cm/dt)	(cm/dt)
9	13,10	5,25	8,30	9,00	8,00	8,43	1,88	60,79	49,02
10	13,20	5,25	8,30	8,00	7,80	8,03	1,43	53,03	42,76
11	13,10	5,25	8,00	7,70	7,80	7,83	1,28	50,18	40,46
12	13,10	5,25	7,80	7,40	7,40	7,53	0,98	43,92	35,42
13	13,10	5,25	7,50	7,50	7,40	7,47	0,92	42,41	34,20
14	13,10	5,25	7,50	7,40	7,40	7,43	0,88	41,63	33,57

c. $TWL = 0,8 D_2$

**Tabel A.61 Analisa Data Hasil Pengukuran Hilir Peredam Energi Model 3
untuk Q1 untuk $TWL = 0,8 D_2$**

Titik	D	L1	L2 (cm)				h	vpitot	vakt
	cm	cm	kiri	tengah	kanan	rerata	(cm)	(cm/dt)	(cm/dt)
9	9,20	5,25	6,30	5,80	4,90	5,67	1,07	45,75	36,89
10	9,10	5,25	5,70	4,90	4,90	5,17	0,62	34,78	28,05
11	9,00	5,25	5,30	5,40	5,10	5,27	0,77	38,78	31,27
12	9,00	5,25	5,60	5,00	5,30	5,30	0,80	39,62	31,95
13	8,90	5,25	5,10	5,30	5,30	5,23	0,78	39,20	31,61
14	8,90	5,25	5,10	5,00	5,20	5,10	0,65	35,71	28,80

**Tabel A.62 Analisa Data Hasil Pengukuran Hilir Peredam Energi Model 3
untuk Q2 untuk $TWL = 0,8 D_2$**

Titik	D	L1	L2 (cm)				h	vpitot	vakt
	cm	cm	kiri	tengah	kanan	rerata	(cm)	(cm/dt)	(cm/dt)
9	9,80	5,25	7,00	5,80	5,20	6,00	1,10	46,46	37,46
10	9,60	5,25	6,50	6,00	5,20	5,90	1,10	46,46	37,46
11	9,60	5,25	6,00	6,00	5,80	5,93	1,13	47,16	38,02
12	9,60	5,25	5,80	5,60	5,50	5,63	0,83	40,44	32,61
13	9,50	5,25	5,60	5,50	5,60	5,57	0,82	40,03	32,28
14	9,50	5,25	5,40	5,30	5,60	5,43	0,68	36,62	29,53

**Tabel A.63 Analisa Data Hasil Pengukuran Hilir Peredam Energi Model 3
untuk Q3 untuk $TWL = 0,8 D_2$**

Titik	D	L1	L2 (cm)				h	vpitot	vakt
	cm	cm	kiri	tengah	kanan	rerata	(cm)	(cm/dt)	(cm/dt)
9	10,40	5,25	6,50	7,00	5,40	6,30	1,10	46,46	37,46
10	10,20	5,25	6,30	6,20	5,60	6,03	0,93	42,79	34,51
11	10,00	5,25	6,10	6,00	5,80	5,97	0,97	43,55	35,12
12	10,00	5,25	6,00	5,90	6,00	5,97	0,97	43,55	35,12
13	10,00	5,25	6,00	5,90	5,80	5,90	0,90	42,02	33,88
14	10,00	5,25	5,80	5,80	5,80	5,80	0,80	39,62	31,95

**Tabel A.64 Analisa Data Hasil Pengukuran Hilir Peredam Energi Model 3
untuk Q4 untuk TWL = 0,8 D2**

Titik	D	L1	L2 (cm)				h	vpitot	vakt
	cm	cm	kiri	tengah	kanan	rerata	(cm)	(cm/dt)	(cm/dt)
9	11,00	5,25	6,80	7,00	6,00	6,60	1,10	46,46	37,46
10	11,00	5,25	6,50	6,80	6,00	6,43	0,93	42,79	34,51
11	10,90	5,25	6,30	6,00	6,00	6,10	0,65	35,71	28,80
12	10,80	5,25	6,30	6,00	6,30	6,20	0,80	39,62	31,95
13	10,80	5,25	6,30	6,00	6,20	6,17	0,77	38,78	31,27
14	10,80	5,25	6,00	6,00	6,00	6,00	0,60	34,31	27,67

**Tabel A.65 Analisa Data Hasil Pengukuran Hilir Peredam Energi Model 3
untuk Q5 untuk TWL = 0,8 D2**

Titik	D	L1	L2 (cm)				h	vpitot	vakt
	cm	cm	kiri	tengah	kanan	rerata	(cm)	(cm/dt)	(cm/dt)
9	11,60	5,25	7,80	8,80	7,00	7,87	2,07	63,68	51,35
10	11,60	5,25	7,50	7,80	6,80	7,37	1,57	55,44	44,71
11	11,50	5,25	7,30	6,80	6,80	6,97	1,22	48,86	39,40
12	11,40	5,25	7,30	6,80	7,20	7,10	1,40	52,41	42,26
13	11,40	5,25	6,60	6,50	6,50	6,53	0,83	40,44	32,61
14	11,40	5,25	6,60	6,50	6,40	6,50	0,80	39,62	31,95

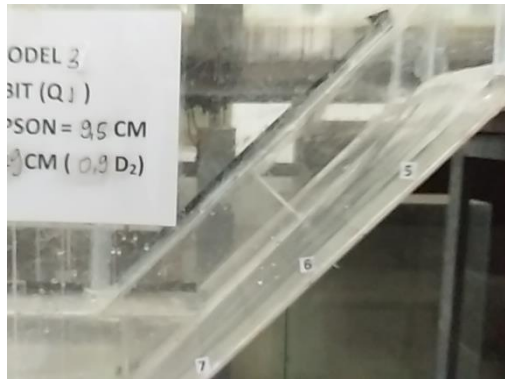
(Halaman ini sengaja dikosongkan)

LAMPIRAN B
FOTO HASIL PENGAMATAN
PENELITIAN

B. FOTO HASIL PENGAMATAN PENELITIAN

1. Hulu Kolam Olak

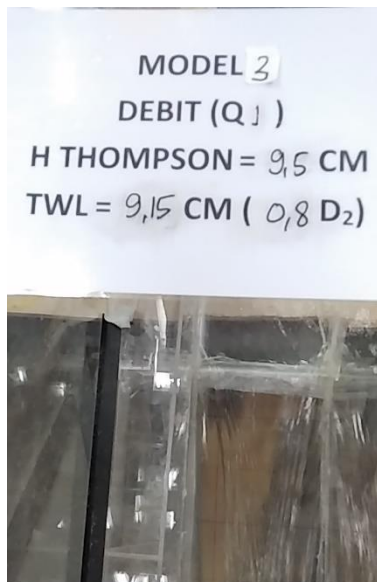
a. Q1



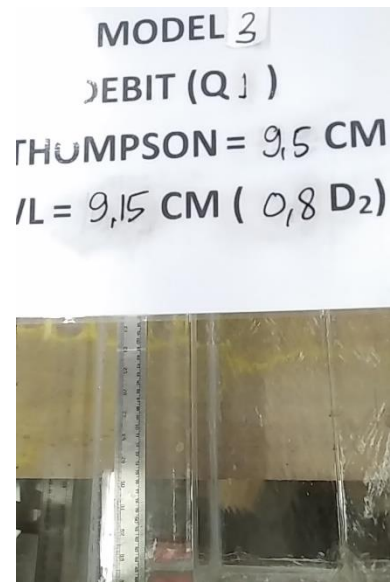
(a)



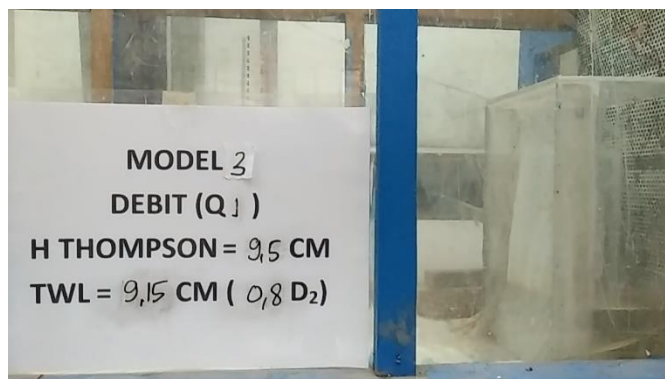
(b)



(c)



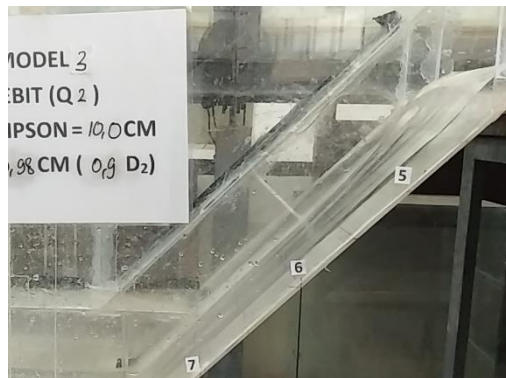
(d)



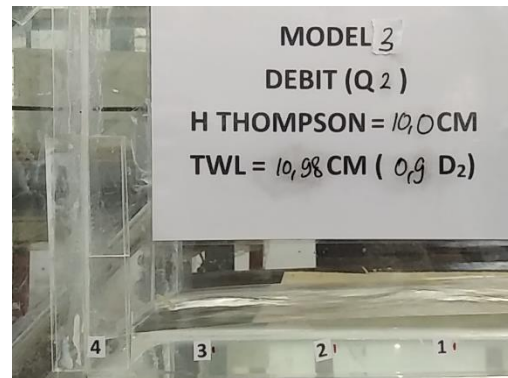
(e)

Gambar B.1 Kondisi Aliran Hulu Kolam Olak untuk Q1

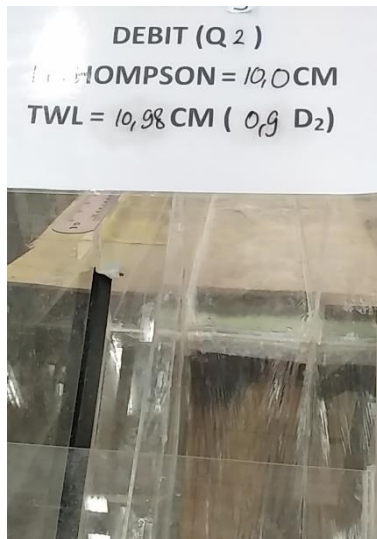
b. Q2



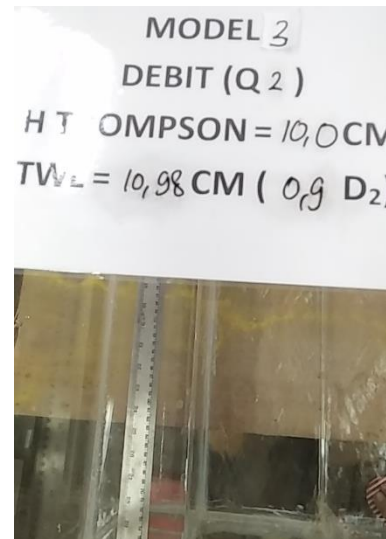
(a)



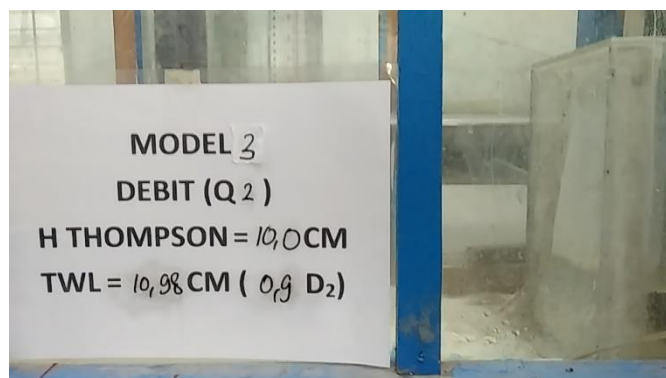
(b)



(c)



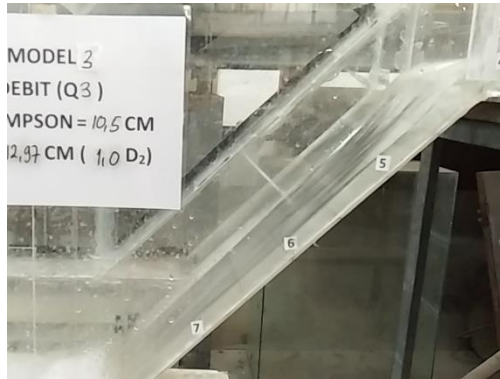
(d)



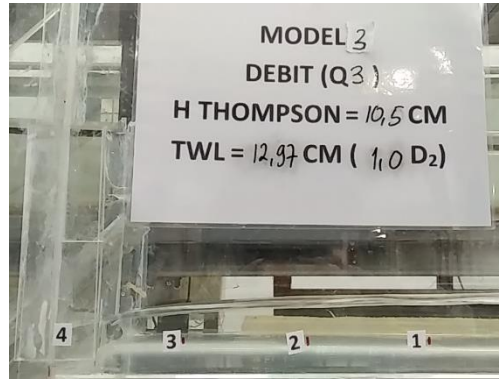
(e)

Gambar B.2 Kondisi Aliran Hulu Kolam Olak untuk Q2

c. Q3



(a)



(b)



(c)



(d)



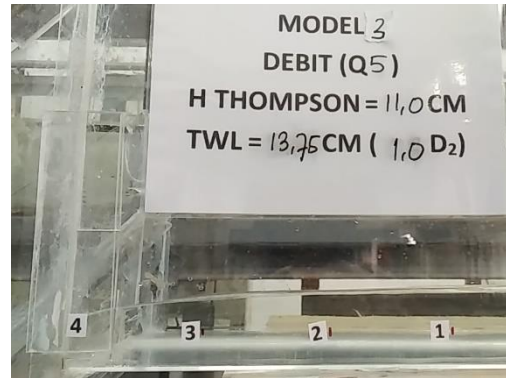
(e)

Gambar B.3 Kondisi Aliran Hulu Kolam Olak untuk Q3

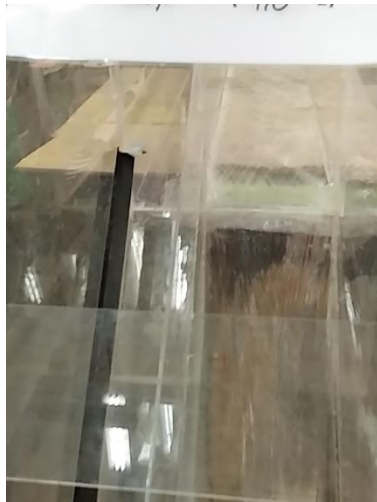
d. Q4



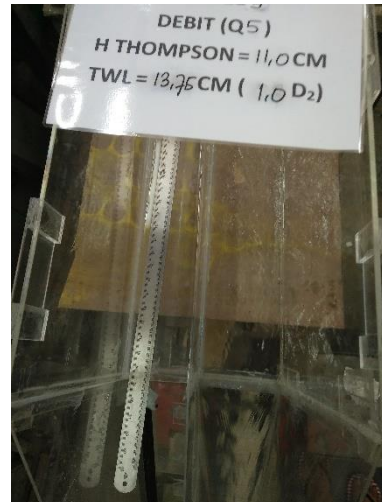
(a)



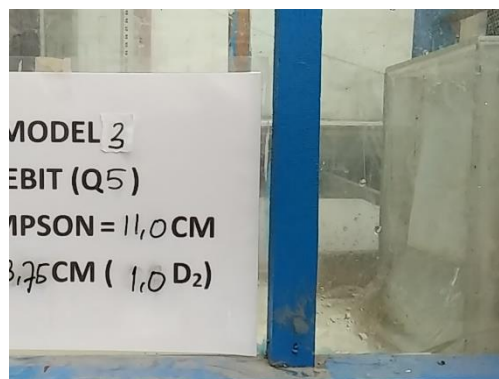
(b)



(c)



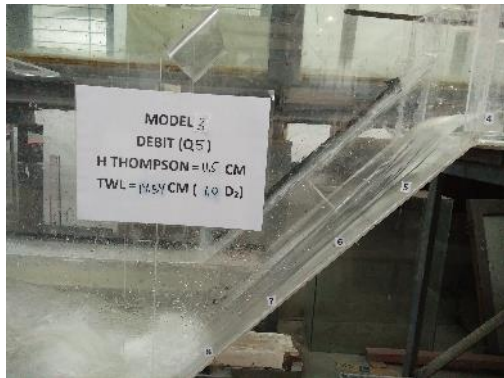
(d)



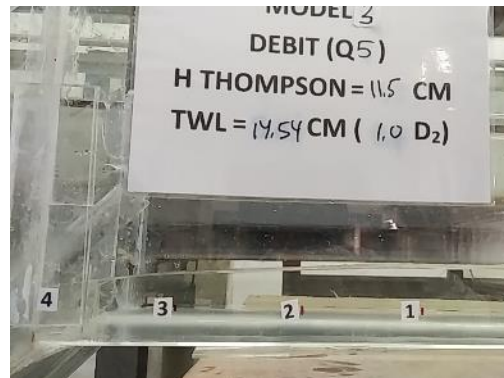
(e)

Gambar B.4 Kondisi Aliran Hulu Kolam Olak untuk Q4

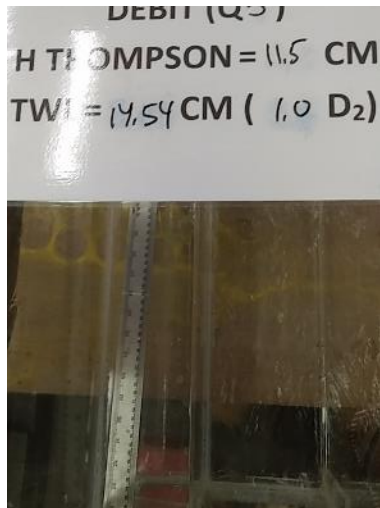
e. Q5



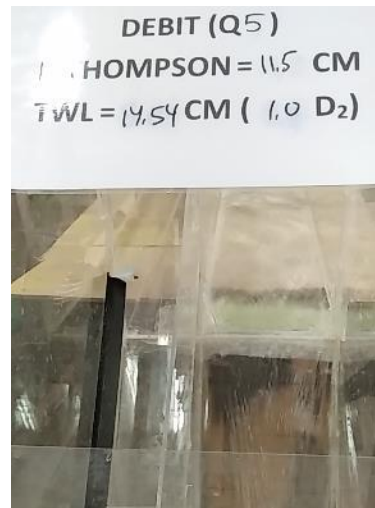
(a)



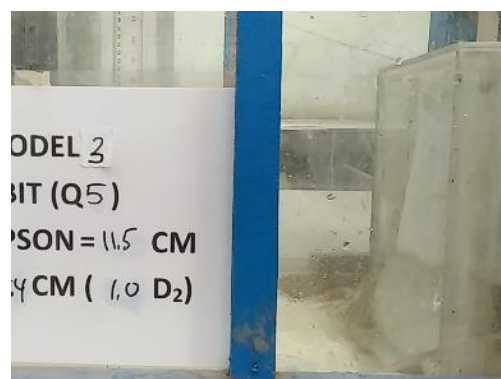
(b)



(c)



(d)



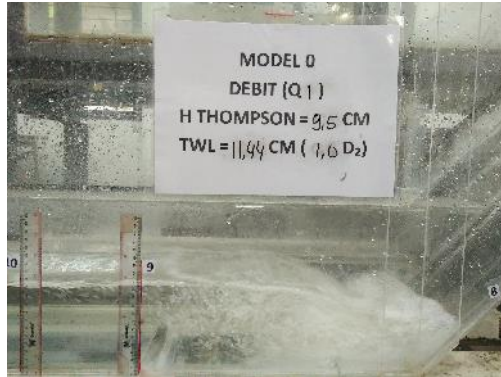
(e)

Gambar B.5 Kondisi Aliran Hulu Kolam Olak untuk Q5

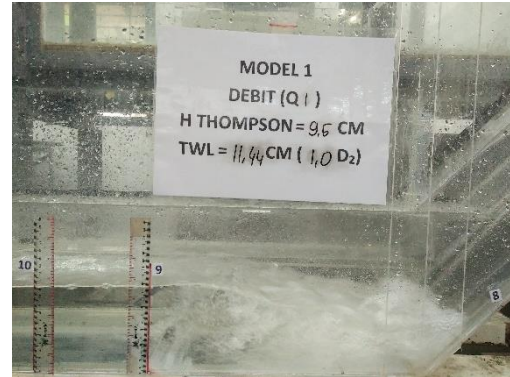
2. Hilir Kolam Olak

a. Q1

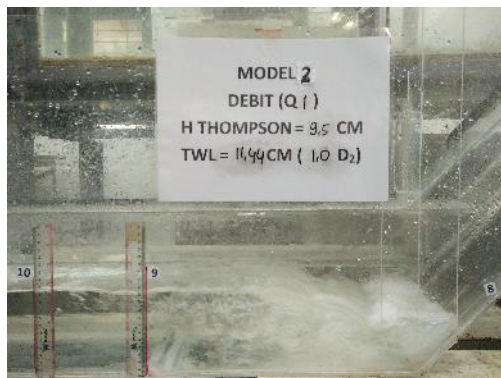
- TW depth 1,0



(a)



(b)



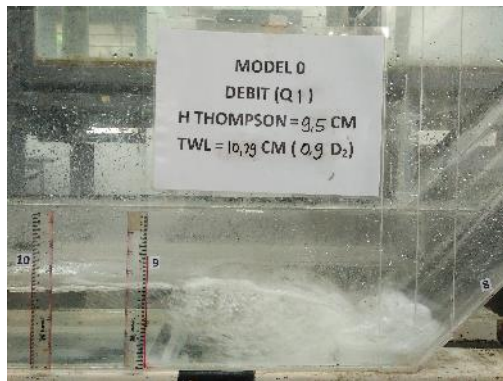
(c)



(d)

Gambar B.6 Kondisi Loncatan Air pada Kolam Olak untuk TW depth = 1,0 D2 pada (a) Model Seri 0 (b) Model Seri 1; (c) Model Seri 2; (d) Model Seri 3

• TW depth 0,9



(a)



(b)



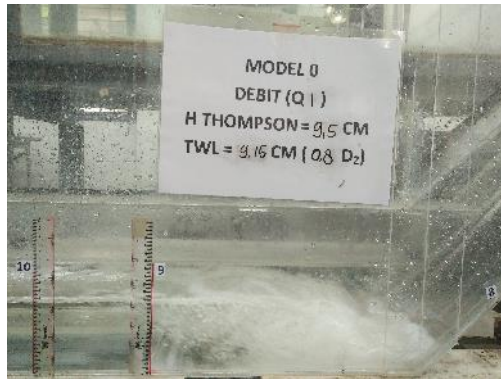
(c)



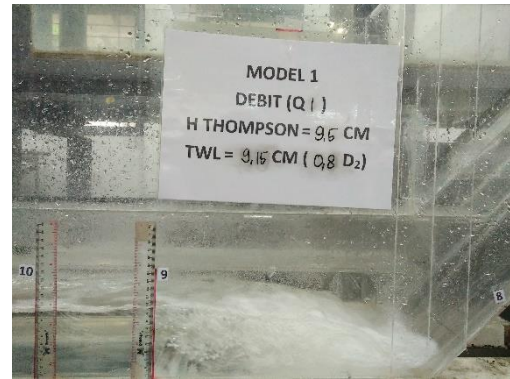
(d)

Gambar B.7 Kondisi Loncatan Air pada Kolam Olak untuk TW depth = 0,9 D₂ pada (a) Model Seri 0 (b) Model Seri 1; (c) Model Seri 2; (d) Model Seri 3

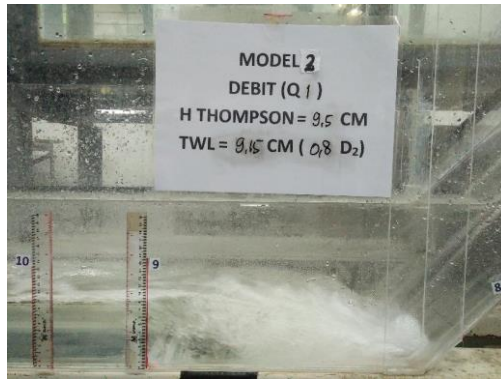
- TW depth 0,8



(a)



(b)



(c)



(d)

Gambar B.8 Kondisi Loncatan Air pada Kolam Olak untuk TW depth = 0,8 D2 pada (a) Model Seri 0 (b) Model Seri 1; (c) Model Seri 2; (d) Model Seri 3

- TW depth 0,7



(a)



(b)



(c)

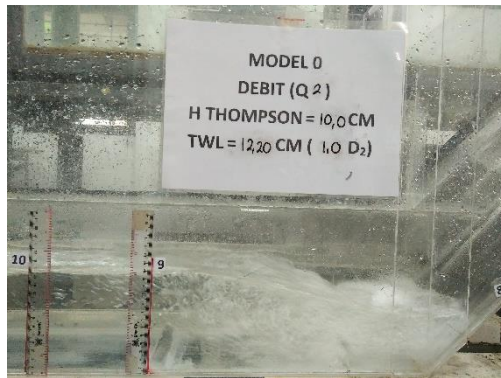


(d)

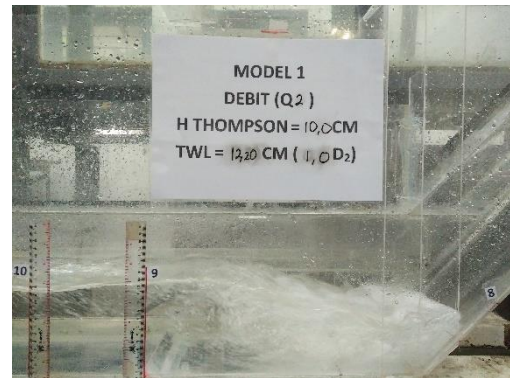
Gambar B.9 Kondisi Loncatan Air pada Kolam Olak untuk TW depth = 0,7 D2 pada (a) Model Seri 0 (b) Model Seri 1; (c) Model Seri 2; (d) Model Seri 3

b. Q2

- TW depth 1,0



(a)



(b)



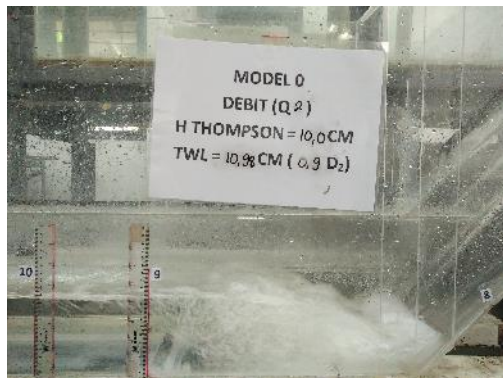
(c)



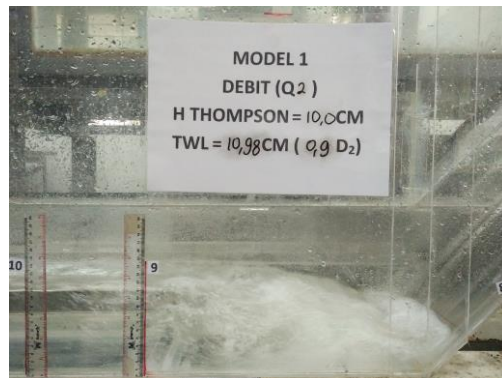
(d)

Gambar B.10 Kondisi Loncatan Air pada Kolam Olak untuk TW depth = 1,0 D₂ pada (a) Model Seri 0 (b) Model Seri 1; (c) Model Seri 2; (d) Model Seri 3

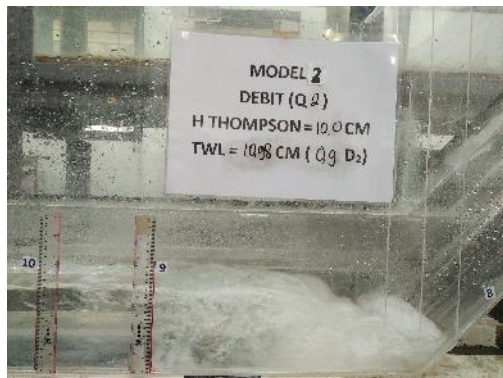
• TW depth 0,9



(a)



(b)



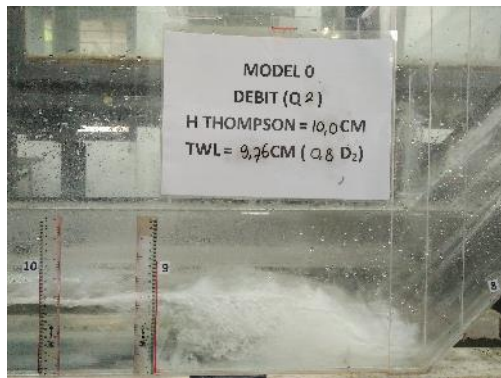
(c)



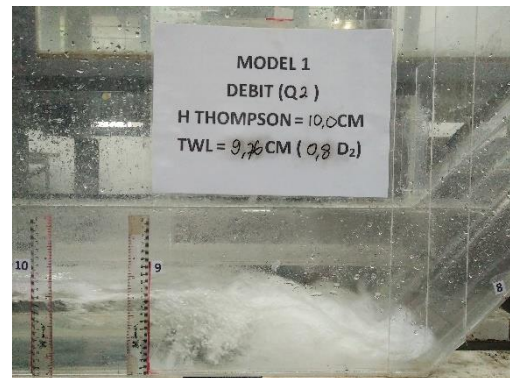
(d)

Gambar B.11 Kondisi Loncatan Air pada Kolam Olak untuk TW depth = 0,9 D2 pada (a) Model Seri 0 (b) Model Seri 1; (c) Model Seri 2; (d) Model Seri 3

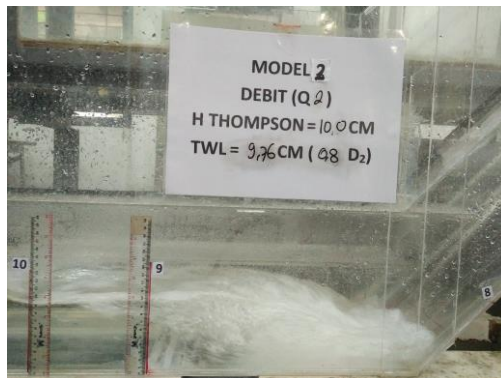
- TW depth 0,8



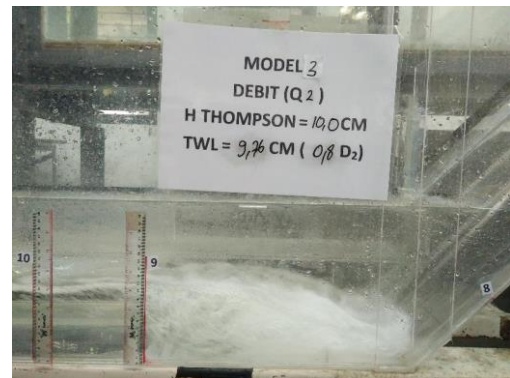
(a)



(b)



(c)



(d)

Gambar B.12 Kondisi Loncatan Air pada Kolam Olak untuk TW depth = 0,8 D₂ pada (a) Model Seri 0 (b) Model Seri 1; (c) Model Seri 2; (d) Model Seri 3

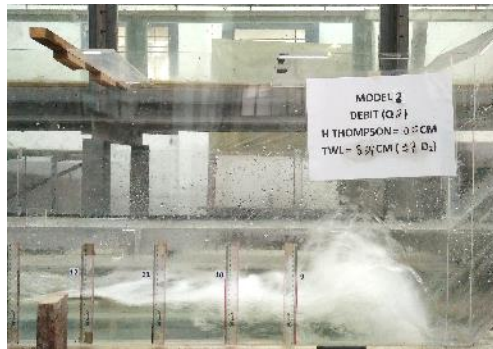
- TW depth 0,7



(a)



(b)



(c)

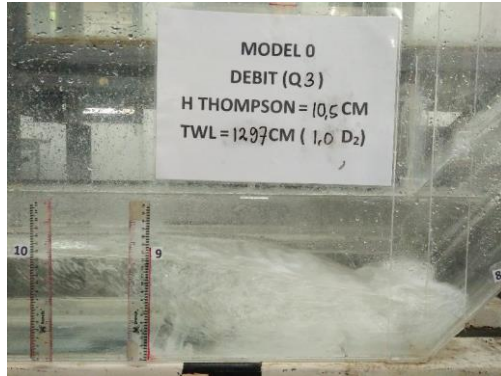


(d)

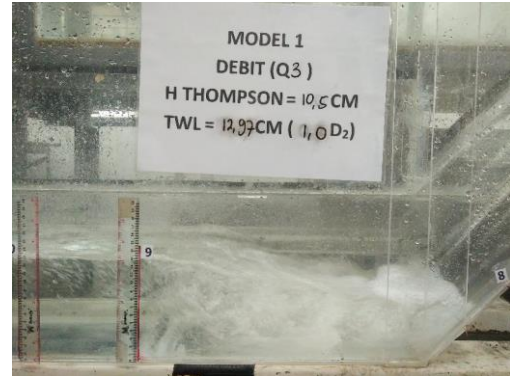
Gambar B.13 Kondisi Loncatan Air pada Kolam Olak untuk TW depth = 0,7 D2 pada (a) Model Seri 0 (b) Model Seri 1; (c) Model Seri 2; (d) Model Seri 3

c. Q3

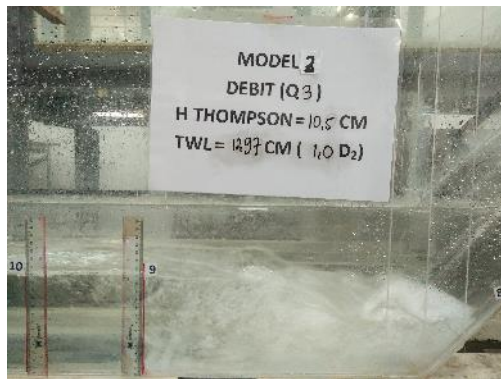
- TW depth 1,0



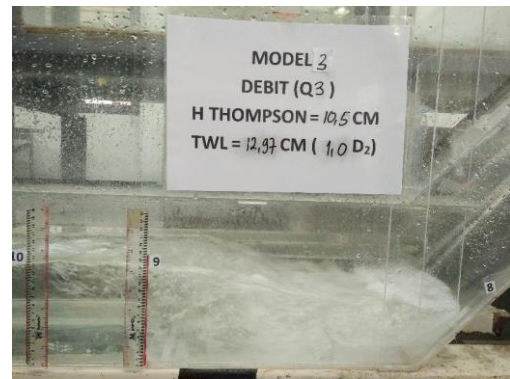
(a)



(b)



(c)



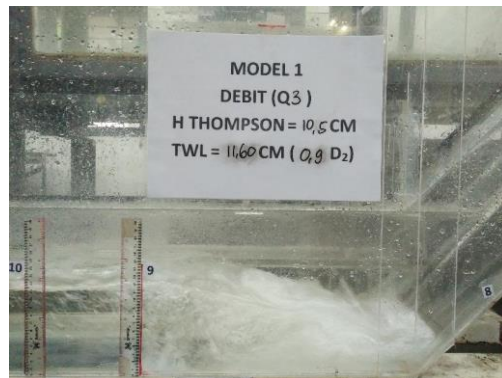
(d)

Gambar B.14 Kondisi Loncatan Air pada Kolam Olak untuk TW depth = 0,9 D2 pada (a) Model Seri 0 (b) Model Seri 1; (c) Model Seri 2; (d) Model Seri 3

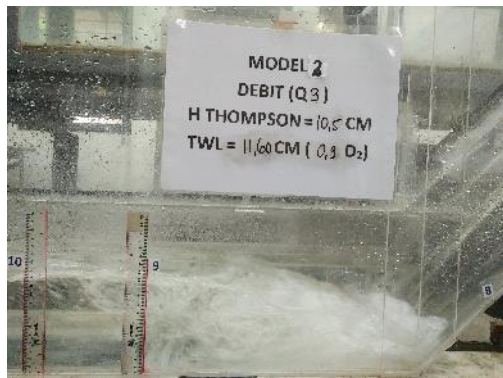
• TW depth 0,9



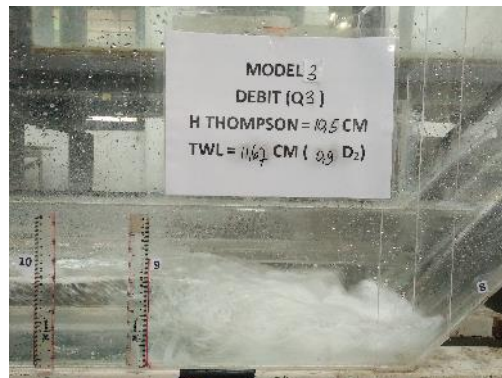
(a)



(b)



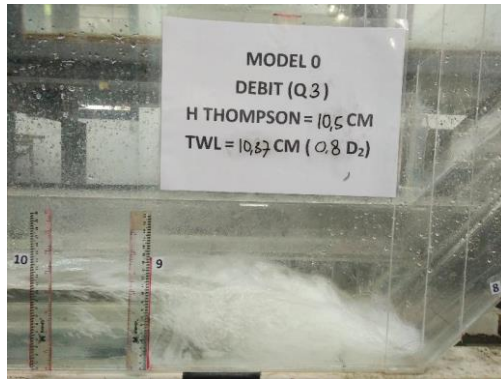
(c)



(d)

Gambar B.15 Kondisi Loncatan Air pada Kolam Olak untuk TW depth = 0,9 D2 pada (a) Model Seri 0 (b) Model Seri 1; (c) Model Seri 2; (d) Model Seri 3

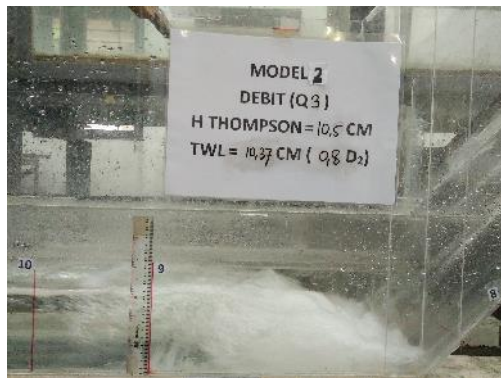
- TW depth 0,8



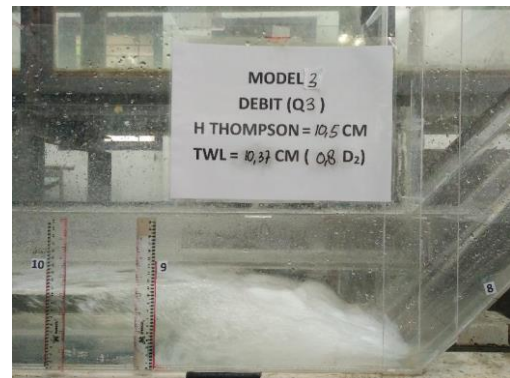
(a)



(b)



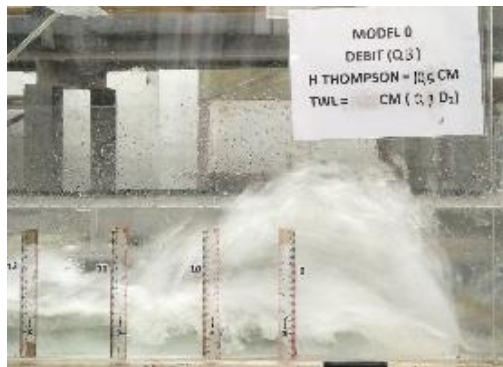
(c)



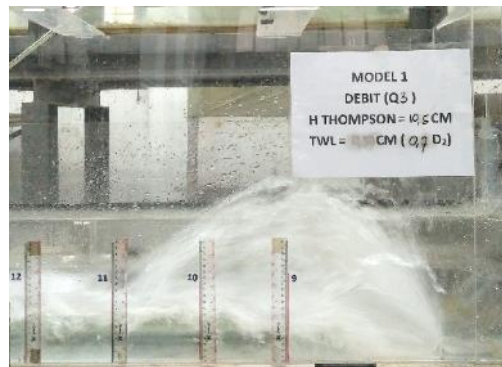
(d)

Gambar B.16 Kondisi Loncatan Air pada Kolam Olak untuk TW depth = 0,8 D2 pada (a) Model Seri 0 (b) Model Seri 1; (c) Model Seri 2; (d) Model Seri 3

• TW depth 0,7



(a)



(b)



(c)

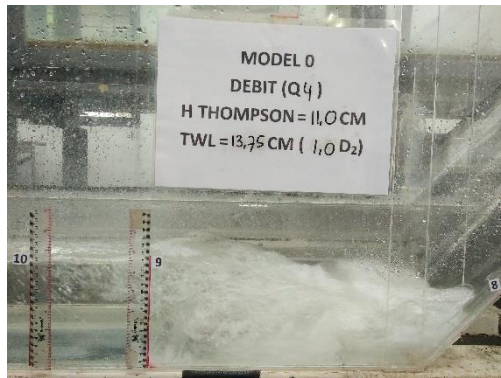


(d)

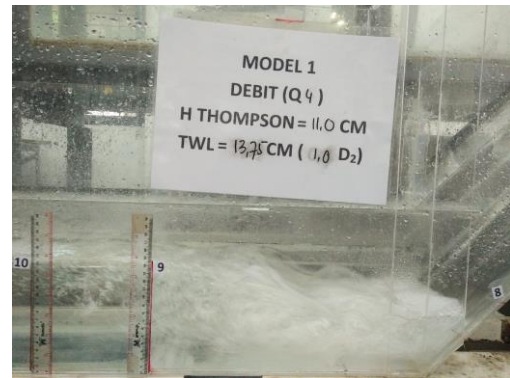
Gambar B.17 Kondisi Loncatan Air pada Kolam Olak untuk TW depth = 0,7 D2 pada (a) Model Seri 0 (b) Model Seri 1; (c) Model Seri 2; (d) Model Seri 3

d. Q4

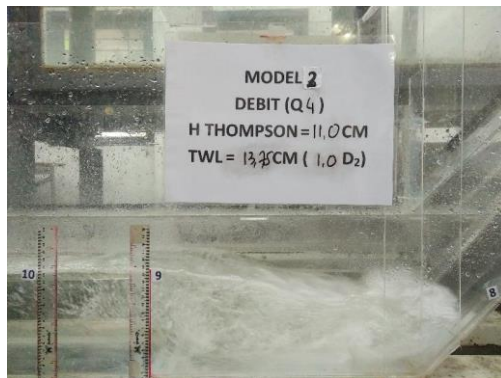
• TW depth 1,0



(a)



(b)



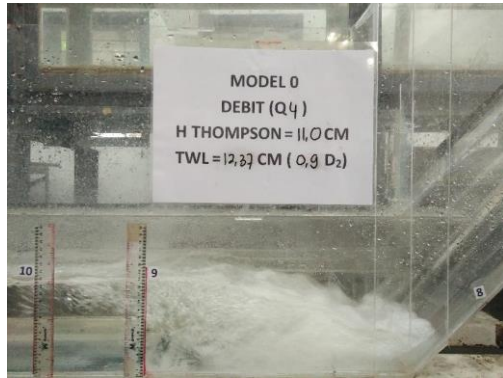
(c)



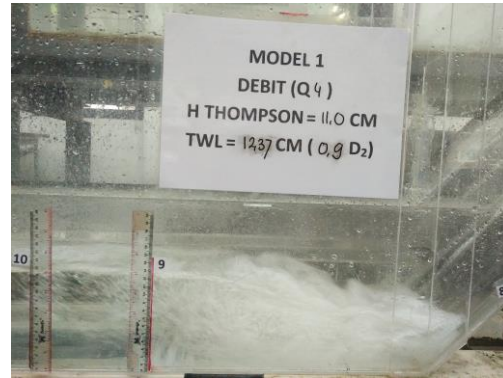
(d)

Gambar B.18 Kondisi Loncatan Air pada Kolam Olak untuk TW depth = 1,0 D2 pada (a) Model Seri 0 (b) Model Seri 1; (c) Model Seri 2; (d) Model Seri 3

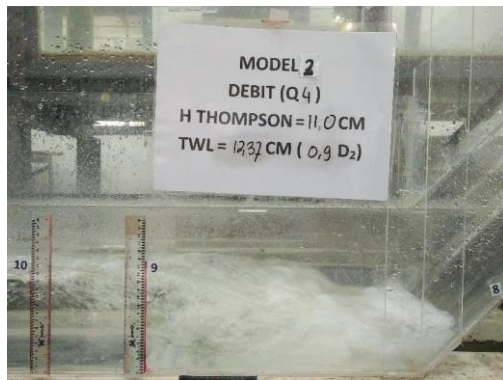
• TW depth 0,9



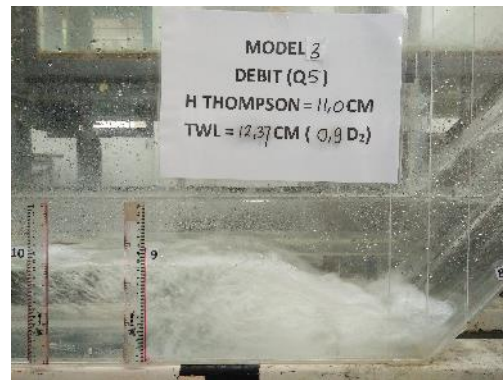
(a)



(b)



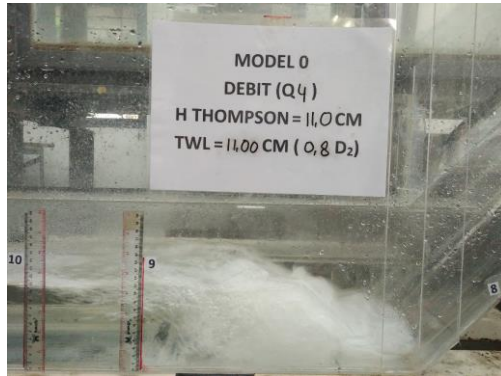
(c)



(d)

Gambar B.19 Kondisi Loncatan Air pada Kolam Olak untuk TW depth = 0,9 D2 pada (a) Model Seri 0 (b) Model Seri 1; (c) Model Seri 2; (d) Model Seri 3

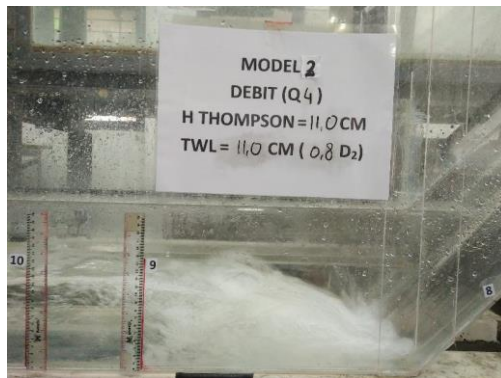
- TW depth 0,8



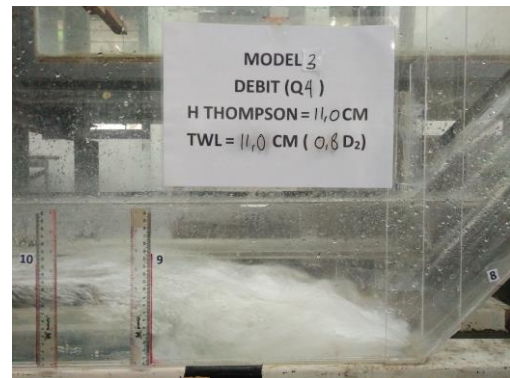
(a)



(b)



(c)



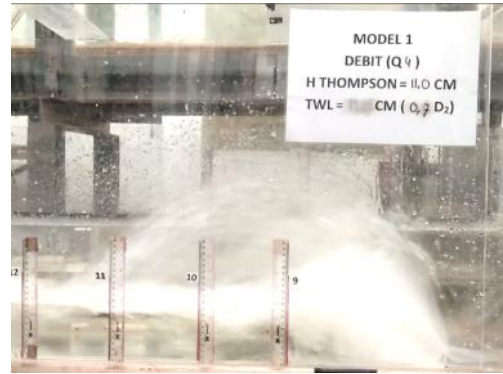
(d)

Gambar B.20 Kondisi Loncatan Air pada Kolam Olak untuk TW depth = 0,8 D2 pada (a) Model Seri 0 (b) Model Seri 1; (c) Model Seri 2; (d) Model Seri 3

- TW depth 0,7



(a)



(b)



(c)



(d)

Gambar B.21 Kondisi Loncatan Air pada Kolam Olak untuk TW depth = 0,7 D2 pada (a) Model Seri 0 (b) Model Seri 1; (c) Model Seri 2; (d) Model Seri 3

e. Q5

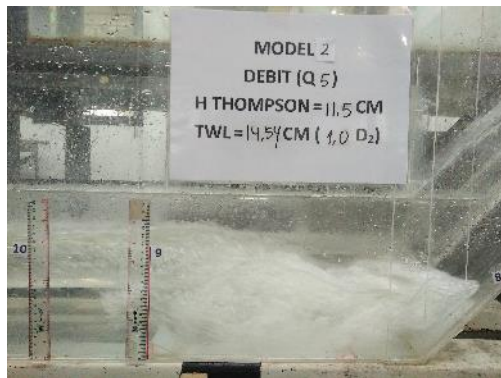
- TW depth 1,0



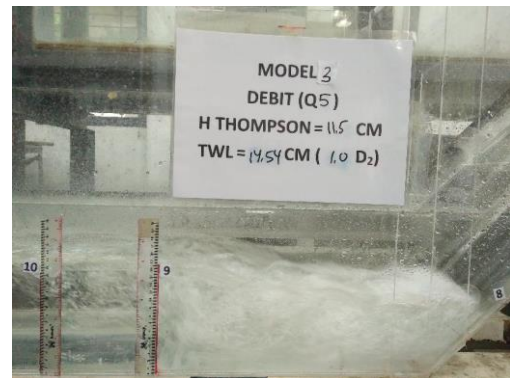
(a)



(b)



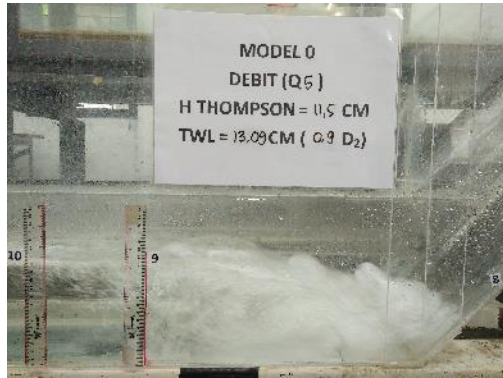
(c)



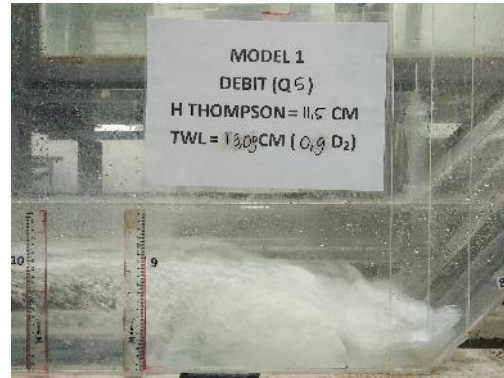
(d)

Gambar B.22 Kondisi Loncatan Air pada Kolam Olak untuk TW depth = 1,0 D2 pada (a) Model Seri 0 (b) Model Seri 1; (c) Model Seri 2; (d) Model Seri 3

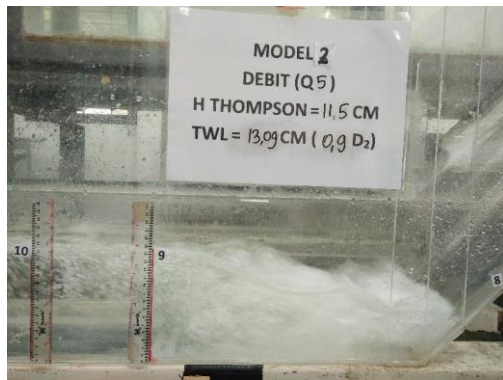
• TW depth 0,9



(a)



(b)



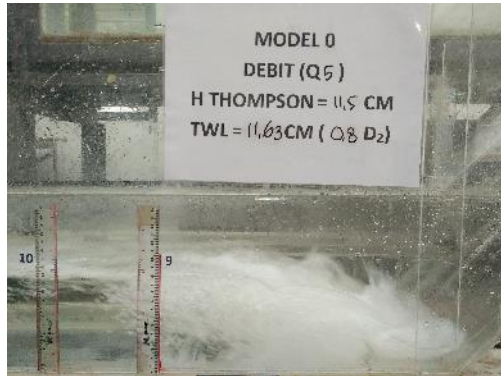
(c)



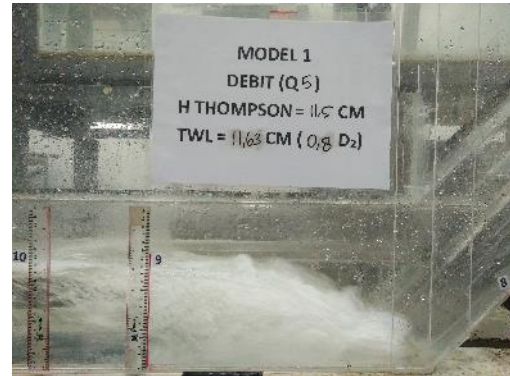
(d)

Gambar B.23 Kondisi Loncatan Air pada Kolam Olak untuk TW depth = 0,9 D2 pada (a) Model Seri 0 (b) Model Seri 1; (c) Model Seri 2; (d) Model Seri 3

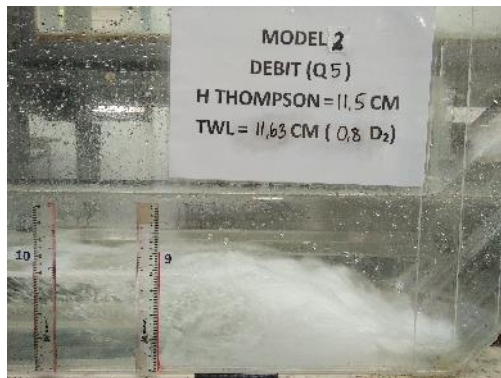
- TW depth 0,8



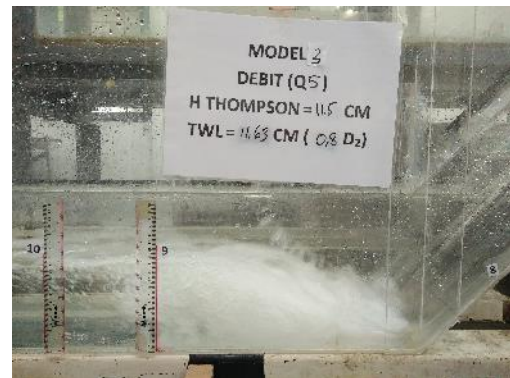
(a)



(b)



(c)



(d)

Gambar B.24 Kondisi Loncatan Air pada Kolam Olak untuk TW depth = 0,8 D2 pada (a) Model Seri 0 (b) Model Seri 1; (c) Model Seri 2; (d) Model Seri 3

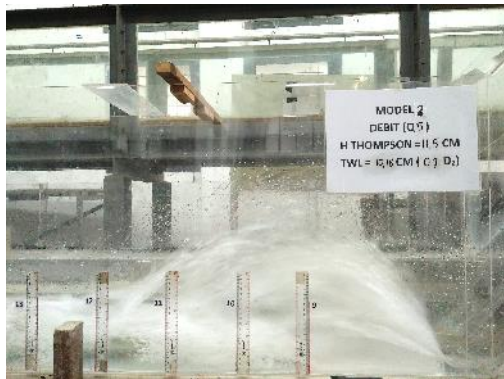
- TW depth 0,7



(a)



(b)



(c)



(d)

Gambar B.25 Kondisi Loncatan Air pada Kolam Olak untuk TW depth = 0,7 D2 pada (a) Model Seri 0 (b) Model Seri 1; (c) Model Seri 2; (d) Model Seri 3

LAMPIRAN C
TABEL PERBANDINGAN PARAMETER
HIDRAULIK

C. TABEL PERBANDINGAN PARAMETER HIDRAULIK

1. Kecepatan Aliran

Tabel C.1 Perbandingan Kecepatan Rata-rata Aliran Hilir Kolam Olak untuk TWL = 1,0 D2

No	Q	V ₁	V ₂ (cm/dt)			
	(cm/dt ³)	(cm/det)	model 0	model 1	model 2	model 3
1	3817,98	227,32	29,16	27,67	25,26	33,88
2	4340,35	227,45	32,61	28,42	37,46	37,46
3	4903,40	228,90	33,88	29,16	38,02	41,76
4	5508,15	231,32	35,12	31,27	41,24	42,76
5	6155,58	231,45	39,93	32,93	42,51	49,45
		Average	34,14	29,89	36,90	41,06

Sumber: Perhitungan

Tabel C.2 Perbandingan Kecepatan Rata-rata Aliran Hilir Kolam Olak untuk TWL = 0,9 D2

No	Q	V ₁	V ₂ (cm/dt)			
	(cm/dt ³)	(cm/dt)	model 0	model 1	model 2	model 3
1	3817,98	227,32	31,61	26,49	30,24	36,01
2	4340,35	227,45	31,95	26,89	39,13	36,89
3	4903,40	228,90	34,51	29,16	40,20	44,71
4	5508,15	231,32	36,89	30,59	40,72	45,18
5	6155,58	231,45	37,18	32,28	43,01	49,02
		Average	34,43	29,08	38,66	42,36

Sumber: Perhitungan

Tabel C.3 Perbandingan Kecepatan Rata-rata Aliran Hilir Kolam Olak untuk TWL = 0,8 D2

No	Q	V ₁	V ₂ (cm/dt)			
	(cm/dt ³)	(cm/dt)	model 0	model 1	model 2	model 3
1	3817,98	227,32	39,13	35,12	33,25	36,89
2	4340,35	227,45	33,25	30,59	32,61	37,46
3	4903,40	228,90	37,46	29,16	38,02	37,46
4	5508,15	231,32	37,46	33,25	36,31	37,46
5	6155,58	231,45	43,26	40,72	46,34	51,35
		Average	38,11	33,77	37,31	40,12

Sumber: Perhitungan

2. Bilangan Froude

Tabel C.4 Perbandingan Bilangan Froude Hilir Kolam Olak untuk TWL = 1,0 D2

No	Q	Fr ₁	Fr ₂			
	(cm/dt ³)		model 0	model 1	model 2	model 3
1	3817,98	8,11	0,28	0,26	0,24	0,32
2	4340,35	7,65	0,30	0,26	0,34	0,34
3	4903,40	7,31	0,30	0,26	0,34	0,37
4	5508,15	7,04	0,30	0,27	0,35	0,37
5	6155,58	6,75	0,33	0,28	0,36	0,41
Average			0,30	0,26	0,33	0,36

Sumber: Perhitungan

Tabel C.5 Perbandingan Bilangan Froude Hilir Kolam Olak untuk TWL = 0,9 D2

No	Q	Fr ₁	Fr ₂			
	(cm/dt ³)		model 0	model 1	model 2	model 3
1	3817,98	8,11	0,31	0,26	0,30	0,36
2	4340,35	7,65	0,31	0,26	0,38	0,36
3	4903,40	7,31	0,32	0,27	0,38	0,42
4	5508,15	7,04	0,33	0,28	0,37	0,41
5	6155,58	6,75	0,33	0,28	0,38	0,43
Average			0,32	0,27	0,36	0,39

Sumber: Perhitungan

Tabel C.6 Perbandingan Bilangan Froude Hilir Kolam Olak untuk TWL = 0,8 D2

No	Q	Fr ₁	Fr ₂			
	(cm/dt ³)		model 0	model 1	model 2	model 3
1	3817,98	8,11	0,41	0,37	0,35	0,39
2	4340,35	7,65	0,34	0,31	0,33	0,38
3	4903,40	7,31	0,37	0,29	0,38	0,37
4	5508,15	7,04	0,36	0,32	0,35	0,36
5	6155,58	6,75	0,41	0,38	0,43	0,48
Average			0,38	0,33	0,37	0,40

Sumber: Perhitungan

(Halaman ini sengaja dikosongkan)

FORMULIR KEGIATAN ASISTENSI TESIS / DISERTASI

NAMA MAHASISWA : DESYTA ULFIANA
 NRP. : 3116 205 003 / 0311650050002
 JUDUL THESIS / DISERTASI : STUDI EFEKTIVITAS POLA PEMASANGAN BAFFLED BLOCK PADA PEREDAM ENERGI DALAM MEMEREDUKSI ENERGI ALIRAN

NO.	KEGIATAN	PARAF DOSEN
1.	/9-17 - Asistensi data perencanaan awal / design USBR tipe II - Diskusi pemilihan bahan baffled block	js-
2.	/5-17 - Revisi lebar flume + desain perencanaan balok-balok peredam	js-
3.	/5-17 - Asistensi hasil running awal USBR tipe II	js-
4.	10-17 - Asistensi Asistensi hasil running flume sudah dimodifikasi (USBR tipe III + model 1)	js-
5.	10-17 - Asistensi paper untuk seminar internasional	js-
6.	/11-17 - Asistensi hasil kalibrasi pitot + bab 4	js-
7.	/11-17 - Asistensi hasil running 4 model + bab 4	js-

Pembimbing II

[Signature]

Surabaya,

Pembimbing I

[Signature]



ITS
Institut
Teknologi
Sepuluh Nopember

FAKULTAS TEKNIK SIPIL DAN PERENCANAAN
PROGRAM STUDI PASCASARJANA TEKNIK
Kampus ITS Sukolilo, Surabaya,
Telp : 031-5928797, 5947284, 59-
Fax : 031-59-
e-mail : pasca@ce.its

FORMULIR KEGIATAN ASISTENSI TESIS / DISERTASI

NAMA MAHASISWA : DESYTA ULFIANA
 NRP. : 3116205003 / 031165005003
 JUDUL TESIS /
DISERTASI : STUDI EFEKTIVITAS POLA PEMANGGARAN BAFFLED
BLOCK PADA PERBEDAAN ENERGI DALAM MEREDUKSI
ENERGI ALIRAN

Bp. Nadjadj Anwar

NO.	KEGIATAN	PARAF DOSEN
8.	1/9-17 - Asistensi data perencanaan awal / desain USBR tipe III	
9.	1/9-17 - Asistensi hasil running awal USBR tipe III	
10.	10-A - Asistensi hasil running plume modifikasi (model 0 + model 1)	
11.	10-A - Asistensi paper untuk seminar internasional	
12.	11-17 - Asistensi hasil kalibrasi pitot + bab 4	
13.	11-17 - Asistensi hasil running 4 model + bab 4	

Surabaya,

Pembimbing II

Pembimbing I

BIODATA PENULIS



Penulis dilahirkan di Kudus 11 Desember 1993, dengan nama lengkap Desyta Ulfiana. Penulis merupakan anak kedua dari 3 bersaudara. Penulis telah menempuh pendidikan formal di TK Aisyah Bustanul Athfal I (Kudus), SMP Negeri 1 Kudus (Kudus), SMA Semesta (Semarang). Setelah lulus dari

SMA Semesta Semarang tahun 2012, penulis mengikuti Seleksi Nasional Masuk Perguruan Tinggi Negeri (SNMPTN) dan diterima di Jurusan S-1 Teknik Sipil FTSP-ITS pada tahun 2012 dan terdaftar dengan NRP 3112 100 053.

Selama berkuliah di jurusan Teknik Sipil ini penulis mengambil bidang studi Hidroteknik dan menulis Tugas Akhir dengan judul "Pengaruh Pemanfaatan Got Miring sebagai Pembangkit Listrik Tenaga Mikro Hidro pada Nilai Manfaat Biaya (*Benefit Cost Ratio*) Saluran B.Lt-9 di Desa Pladen Kecamatan Jekulo Kabupaten Kudus". Penulis pernah aktif dalam beberapa kegiatan yang diselenggarakan oleh kampus ITS. Selain itu penulis juga aktif dalam mengikuti lomba-lomba bidang ketekniksipilan, salah satunya adalah Kompetisi Jembatan Indonesia kategori Jembatan Busur. Penulis melanjutkan studi Pascasarjana bidang Manajemen dan Rekayasa Sumber Air di departemen Teknik Sipil ITS dengan NRP 3116205003.

Apabila pembaca ingin berkorespondensi dengan penulis dapat dihubungi melalui *email* desyta93@gmail.com.