

SKRIPSI

**PENGARUH PEMECAH ENERGI AKIBAT KECEPATAN
TERHADAP STABILITAS KOLAM OLAKAN
(UJI MODEL LABORATORIUM)**



OLEH :

HASRIANDI
105 81 01514 11

**JURUSAN TEKNIK SIPIL
FAKULTAS TEKNIK
UNIVERSITAS MUHAMMADIYAH MAKASSAR
2017**

KATA PENGANTAR

Syukur Alhamdulillah penulis panjatkan ke hadirat Allah SWT, karena rahmat dan hidayah-Nyalah sehingga penulis dapat menyusun Skripsi ini dengan judul “Pengaruh Gerusan Terhadap Kolam Olakan Akibat Loncatan Hidrolik (Uji Model Laboratorium)”.

Penulis menyadari sepenuhnya bahwa di dalam penulisan proposal penelitian ini masih terdapat kekurangan dan kesalahan, hal ini disebabkan penulis sebagai manusia biasa tidak lepas dari kekhilafan baik itu dari segi teknis penulisan. Oleh karena itu penulis menerima dengan ikhlas dan senang hati segala koreksi serta perbaikan guna penyempurnaan tulisan ini agar kelak dapat lebih bermanfaat.

Proposal rencana penelitian ini dapat terwujud berkat adanya bantuan, arahan, dan bimbingan dari berbagai pihak. Oleh karena itu dengan segala ketulusan dan kerendahan hati, kami mengucapkan terima kasih dan penghargaan yang setinggi-tingginya kepada:

1. Bapak Hamzah Al Imran, ST., MT sebagai Dekan Fakultas Teknik Universitas Muhammadiyah Makassar.
2. Bapak Muh. Syafaat S. Kuba, ST. sebagai Ketua Jurusan Sipil Fakultas Teknik Universitas Muhammadiyah Makassar.
3. Ibu Dr. Ir. Hj. Ratna Musa, MT. selaku Pembimbing I dan Dr. Muhammad Yunus Ali, ST., MT. selaku pembimbing II, yang telah

banyak meluangkan waktu, memberikan bimbingan dan pengarahan sehingga terwujudnya proposal ini.

4. Bapak dan Ibu dosen serta staf pegawai pada Fakultas Teknik atas segala waktunya telah mendidik dan melayani penulis selama mengikuti proses belajar mengajar di Universitas Muhammadiyah Makassar.
5. Ayahanda, Ibunda dan Saudara-saudara yang tercinta, penulis mengucapkan terima kasih yang sebesar-besarnya atas segala limpahan kasih sayang, do'a, dorongan dan pengorbanannya.
6. Rekan-rekan mahasiswa Fakultas Teknik, terkhusus Saudaraku Angkatan 2011 yang dengan keakraban dan persaudaraannya banyak membantu dalam menyelesaikan proposal penelitian ini.

Semoga semua pihak tersebut di atas mendapat pahala yang berlipat ganda di sisi Allah SWT dan proposal penelitian yang sederhana ini dapat bermanfaat bagi penulis, rekan-rekan, masyarakat serta bangsa dan negara. Amin.

Makassar, 10 Februari 2017

Penulis

DAFTAR ISI

	Halaman
HALAMAN JUDUL.....	i
HALAMAN PENGESAHAN.....	ii
KATA PENGANTAR	iii
DAFTAR ISI.....	v
DAFTAR GAMBAR.....	vii
DAFTAR TABEL.....	ix
DAFTAR NOTASI.....	x
ABSTRAK	xii
 BAB I PENDAHULUAN	
A. Latar Belakang.....	1
B. Rumusan Masalah.....	3
C. Tujuan Penelitian	3
D. Batasan Masalah	3
E. Manfaat Penelitian	4
F. Sistematika Penulisan	5
 BAB II TINJAUAN PUSTAKA	

A. Kolam Olakan.....	7
B. Ruang Olak Tipe Roller Bucket	11
C. Baffle blocks.....	13
D. Konsep Dasar Aliran.....	14
E. Loncatan Hidrolik.....	24

BAB III METODE PENELITIAN

A. Lokasi dan Waktu Penelitian.....	28
B. Jenis Penelitian dan Sumber Data	28
C. Alat Dan Bahan	29
D. Rencana desain Penelitian.....	30
E. Variabel Yang Diteliti.....	32
F. Prosedur/ Langkah Penelitian.....	32
G. Analisis Data	33
H. Flow Chart Penelitian/Bagan Alur Penelitian	34

BAB IV HASIL DAN PEMBAHASAN

A. Debit dan Karakteristik Aliran	35
B. Prilaku Energi Kolam Olakan	46
C. Karakteristik Loncatan Hidrolik Kolam Olakan	55

BAB V Penutup

A. Kesimpulan.....	60
--------------------	----

B. Saran.....	61
DAFTAR PUSTAKA	62

LAMPIRAN

DAFTAR GAMBAR

	Halaman
Gambar 1. Kolam Olak Tipe USBR I	8
Gambar 2. Kolam Olak Tipe USBR II	9
Gambar 3. Kolam Olak Tipe USBR III	9
Gambar 4. Kolam Olak Tipe USBR IV	10
Gambar 5. Kolam Olak Tipe Solid Roller Bucket	12
Gambar 6. Kolam Olak Tipe Slotter Roller Bucket.....	12
Gambar 7. Kolam Olak Tipe Trajectory Bucket/Sky Jump	12
Gambar 8. Pemasangan Buffle Blocks	13
Gambar 9. Aliran Turbulen dan Laminar.....	20
Gambar 10. Pola Penjalaran Gelombang disaluran Terbuka	22
Gambar 11. Loncatan Hidrolik.....	24

Gambar 12. Kecepatan Loncatan Air	26
Gambar 13. Kolam Olakan Tipe Solid Roller Bucket	38
Gambar 14. Titik Pengamatan Kecepatan dan Tinggi Muka Air Pada Flume .	40
Gambar 15. Diagram Alur Penelitian	43
Gambar 16. Hubungan antara Jarak Pengamatan Dengan Angka Froude (Fr) Untuk MPE-1	46
Gambar 17. Hubungan antara Jarak Pengamatan Dengan Angka Froude (Fr) Untuk MPE-2	48
Gambar 18. Hubungan antara Jarak Pengamatan Dengan Angka Reynol (Re) Untuk MPE-1	50
Gambar 19. Hubungan antara Jarak Pengamatan Dengan Angka Reynol (Re) Untuk MPE-2	52
Gambar 20. Hubungan antara Jarak Pengamatan Dengan Energi Potensial (Ep) Untuk MPE-1	53
Gambar 21. Hubungan antara Jarak Pengamatan Dengan Energi Potensial (Ep) Untuk MPE-2	55

Gambar 22. Hubungan antara Jarak Pengamatan Dengan Energi Kinetik (Ek)	
Untuk MPE-1	57
 Gambar 23. Hubungan antara Jarak Pengamatan Dengan Energi Kinetik (Ek)	
Untuk MPE-2	58
 Gambar 24. Hubungan antara Jarak Pengamatan Dengan Energi Spesifik (E)	
Untuk MPE-1	60
 Gambar 25. Hubungan antara Jarak Pengamatan Dengan Energi Spesifik (E)	
Untuk MPE-2	61
 Gambar 26. Hubungan Variasi debit Terhadap Panjang Loncatan (Lr)	63
 Gambar 27. Hubungan Variasi debit Terhadap Tinggi Loncatan (Hj)	65

DAFTAR TABEL

Tabel 1. Kriteria Penggunaan Kolam Olakan	11
Tabel 2. Hasil Perhitungan Debit Menggunakan Alat Ukur Thomson.....	45
Tabel 3. Hasil Perhitungan Angka Froude (Fr) MPE-1	46
Tabel 4. Hasil Perhitungan Angka Froude (Fr) MPE-2.....	47
Tabel 5. Hasil Perhitungan Angka Reynold (Re) MPE-1	50
Tabel 6. Hasil Perhitungan Angka Reynold (Re) MPE-2.....	51
Tabel 7. Hasil Perhitungan Energi Potensial (Ep) MPE-1	53
Tabel 8. Hasil Perhitungan Energi Potensial (Ep) MPE-2.....	55
Tabel 9. Hasil Perhitungan Energi Kinetik (Ek) MPE-1	57
Tabel 10. Hasil Perhitungan Energi Kinetik (Ek) MPE-2.....	58
Tabel 11. Hasil Perhitungan Energi Spesifik (E) MPE-1	59
Tabel 12. Hasil Perhitungan Energi Spesifik (E) MPE-2	61
Tabel 13. Hasil Perhitungan Panjang Loncatan (Lr) MPE-1	63
Tabel 14. Hasil Perhitungan Tinggi Loncatan (hj) MPE-2	65

DAFTAR NOTASI

- Q : Debit
- A : Luas Penampang
- V : Kecepatan Aliran
- h & y : Kedalaman Aliran
- b : Lebar Saluran
- g : Percepatan Gravitasi
- P : Keliling Basah
- R : Jari-jari Hidrolis
- S : Kemiringan/ Slope
- H : Tinggi Saluran
- n : Koefisien Kekasaran
- Fr : Bilangan Froude

Re : Angka Reynold

μ : Viskositas Kinematik

\tilde{v} : Kecepatan Rata-rata Aliran

E : Energi Spesifik

E_p : Energi Potensial

E_k : Energi Kinematik

m : Massa Benda

z : Tinggi Air Jatuh

Y_s : Kedalaman Gerusan

d : Diameter Butiran Sedimen

ρ_s : Rapat Massa Sedimen

L_r : Panjang Loncatan

H_j : Tinggi Loncatan

$MPE-1$: Model Peredam Energi 1

$MPE-2$: Model Peredam Energi 2

$MPE-3$: Model Peredam Energi 3

MPE-4 : Model Peredam Energi 4

ABSTRAK

Pengaruh pemecah energi akibat kecepatan terhadap stabilitas kolam olakan (Uji Model Laboratorium). Pembimbing Ratna Musa dan Yunus Ali. Salah satu konstruksi bangunan air yang digunakan untuk mengoptimalkan penggunaan sumber daya air adalah bendung,

sehingga terjadi aliran deras di bagian hilir, jika jenis aliran tersebut superkritis menjadi subkritis, maka akan terjadi loncatan hidrolis (*hydraulic jump*). Tujuan dari penelitian ini untuk mengetahui pengaruh model peredam energi dan pengaruh pemasangan *baffle blocks* terhadap loncatan hidrolis dan jenis aliran yang terjadi di kolam olakan. Penelitian ini menggunakan *open flume* dengan pelimpah mercu bulat dan menggunakan kolam olak tipe bak tenggelam (*solid roller bucket*) dengan beberapa variasi penempatan balok halang (*baffle blocks*), percobaan dilakukan dengan tiga variasi debit dan empat model peredam energi, tiga diantaranya model peredam energi di lengkapi dengan *baffle blocks* dengan penempatan yang berbeda. Hasil penelitian menunjukkan beberapa kesimpulan, pertama semakin bertambahnya debit aliran, maka semakin besar turbulensi dan loncatan hidrolis yang terjadi. Kedua, model peredam energi yang tidak dilengkapi *baffle blocks* loncatan hidrolis yang terjadi sangat besar dibanding model yang dilengkapi *baffle blocks*. Ketiga, susunan *baffle blocks* yang paling efektif dalam meredam loncatan hidrolis di kolam olakan yaitu model yang dipasang dengan dua baris *baffle blocks*.

Kata Kunci: Bak tenggelam, Balok halang, Loncatan hidrolis

ABSTRACT

Influence of Energy Damper Model on Hydraulic Leaping on Artificial Pond (Laboratory Model Test). Ratna Musa and Yunus Ali. One of the water construction constructions used to optimize the use of water resources is a weir. The raising of the water level due to the containment will result in a downstream flow, if in a stream there is a change of flow type from supercritical to subcritical, then hydraulic jumping or hydraulic jump is often called. The purpose of this research is to know the influence of energy damper model and the effect of baffle block installation on hydraulic jump and the type of flow that occurs. This research uses open flume with sparkling spheres and uses a solid-roller bucket with several variations of baffle block placement. The study was conducted with three variations of discharge and four models of energy dampening, three of which are energy damper models equipped with baffle blocks with different placements. The results show several conclusions, first the increasing flow of flow, the greater the turbulence and hydraulic jumps that occur. Second, the energy damper model that is not equipped with hydraulic jump baffle blocks that occur is very large compared to models equipped with baffle blocks. Third, the most effective baffle block arrangement in reducing hydraulic jumps in the olakan pond is a model fitted with two rows of baffle blocks.

Keywords: *Roller bucket, Baffle blocks, hydraulic jump.*

BAB I

PENDAHULUAN

A. Latar Belakang

Salah satu konstruksi bangunan air yang digunakan untuk mengoptimalkan penggunaan sumber daya air adalah bendung. Peninggian muka air karena pembendungan akan mengakibatkan adanya aliran yang deras di bagian hilir. Jika dalam suatu aliran terjadi perubahan jenis aliran dari superkritis ke subkritis, maka akan terjadi loncatan hidrolis atau yang sering disebut *hydraulic jump*. Guna mereduksi energi yang terdapat di dalam aliran tersebut, maka diperlukan bangunan peredam energi yaitu kolam olakan (*stilling basin*). Akibat loncatan hidraulik ini sering menimbulkan gulungan ombak atau pusaran (*vortex*) yang bisa menyebabkan gerusan pada dasar saluran, terutama bagian hilir yang tidak diberi perlindungan sehingga menyebabkan sebagian besar bangunan air yang melintang pada alur sungai seperti ambang dasar, bendung, check dam, ground sill dan lain sebagainya mengalami kerusakan disebabkan oleh gerusan setempat yang tepat terjadi pada hilir bangunan.

Gerusan yang terjadi pada hilir bangunan diakibatkan oleh aliran air yang melimpas diatas ambang bangunan, karena aliran mempunyai energi cukup besar sehingga mampu menggerus dasar sungai dan mampu mangangkut material ke hilir bangunan sehingga bangunan air tersebut

tergerus. Dengan demikian kandungan energi dengan daya pengerusan yang sangat kuat yang timbul dalam aliran tersebut harus direduksi hingga mencapai yang normal kembali, sehingga aliran tersebut kembali ke dalam sungai tanpa membahayakan kestabilan alur sungai yang bersangkutan.

Guna mereduksi energi yang terdapat di dalam aliran tersebut, maka di ujung hilir saluran peluncur biasanya dibuat suatu bangunan yang disebut peredam energi pencegah gerusan (*scour protection basin*). Salah satu jenis kolam olakan yang biasa dipakai adalah tipe *solid roller bucket*. panjang kolam olak tipe *solid roller bucket* sangat pendek, yang mengakibatkan pengerusan sangat besar dapat terjadi di kolam olak.

Untuk mengurangi permasalahan yang diakibatkan oleh peredam energi yang kurang baik, kolam olak biasanya masih perlu dilengkapi dengan *baffle blocks* sebagai bangunan pemecah energi dibangun tersebut.

Dalam permasalahan tersebut diatas penulis mengambil tugas akhir tentang **Pengaruh pemecah energy akibat kecepatan terhadap stabilitas kolam olakan (Uji Laboratorium)**.

Peredam energi adalah bagian dari bendung yang berfungsi untuk meredam energi aliran air yang akan melalui bendung. Sebagian besar kerusakan bendung di sebabkan oleh penggerusan setempat (*local scouring*) yang terjadi terus-menerus di hilir bendung. Faktor utama terjadinya penggerusan yang dalam pada hilir bendung adalah peredam energi yang

belum berfungsi secara optimal, maka dari itu upaya untuk meminimalisasi penggerusan di hilir bendung dilakukan beberapa kali perubahan model dan modifikasi peredam energi.

B. Rumusan Masalah

Berdasarkan latar belakang masalah di atas, maka permasalahan dapat dirumuskan sebagai berikut :

- 1) Bagaimana pengaruh bentuk pemecah energi terhadap loncatan hidrolisk di kolam olakan.
- 2) Bagaimana karakteristik aliran yang terjadi di hilir kolam olakan pada setiap perubahan model peredam energi.

C. Tujuan Penelitian

Tujuan dilakukan penelitian ini adalah sebagai berikut :

- 1) Untuk mengetahui pengaruh setiap model peredam energi terhadap gerusan akibat loncatan hidrolisk.
- 2) Untuk mengetahui karakteristik aliran yang terjadi di hilir kolam olakan pada setiap perubahan model peredam energi.

D. Batasan Masalah

Untuk menciptakan penanggulangan gerusan di hilir bendung, diperlukan berbagai eksperimen dan penelitian yang dilakukan dilaboratorium, perlu ditetapkan batasan masalah yang digunakan dalam percobaan ini :

- 1) Penelitian ini dilakukan laboratorium menggunakan *open flume* berukuran 40x30x700 cm.
- 2) Penelitian dilakukan pada kolam olakan tanpa menggunakan baffle block.
- 3) Penelitian dilakukan menggunakan baffle block dengan beberapa model dan ukuran yang berbeda-beda.
- 4) Mengamati kondisi aliran yang terjadi di kolam olakan tanpa baffle block dan menggunakan baffle block.
- 5) Mengamati gerusan yang terjadi di kolam olakan tanpa menggunakan baffle block dan menggunakan baffle block.
- 6) Dilakukan pengamatan terhadap variabel-variabel yang berpengaruh terhadap kedalaman gerusan seperti (kecepatan aliran, kedalaman aliran, angka Fruode, angka Reynold dan energi spesifik).
- 7) Menggunakan beberapa kondisi debit air (Q) dan waktu yang ditentukan (tidak konstan).

E. Manfaat Penelitian

Hasil penelitian ini diharapkan dapat memberikan manfaat diantaranya :

- 1) Sebagai referensi untuk membuat bangunan pelindung kolam olakan bendung atau meminimalisir kerusakan yang terjadi.
- 2) Sebagai bahan referensi tentang bangunan pelindung kolam olakan terhadap gerusan yang praktis dan efektif

- 3) Sebagai sarana untuk menerepkan ilmu pengentahuan yang kami dapat di bangku perkuliahan.
- 4) Sebagai referensi untuk penelitian-penelitian lanjut dan yang serupa.

F. Sistematika Penulisan

Sistematika penulisan loparan ini terdiri dari lima bab, dimana masing-masing bab membahas masalah tersendiri diantaranya sebagai berikut:

BAB I Pendahuluan

Bab ini berisi tentang latar belakang penelitian, rumusan masalah, tujuan penelitian, batasan masalah, manfaat penelitian, dan sistematika penulisan.

BAB II Kajian Pustaka

Bab ini berisi mengenai permasalahan yang akan menjadi bahan penelitian dalam penulisan tugas akhir pada suatu wilayah tertentu. Dimana hal ini mencakup teori-teori dan formula/rumus-rumus yang akan digunakan dalam penelitian dan penyusunan tugas akhir.

BAB III Metodologi Penelitian

Bab ini berisi mengenai gambaran umum penelitian seperti lokasi penelitian, alat-alat yang akan digunakan dalam penelitian dan metode yang dipakai pada saat melakukan penelitian.

BAB IV Hasil dan Pembahasan

Bab ini berisi tentang hasil kajian dari judul penelitian tugas akhir secara detail dan terperinci. Diantaranya sifat-sifat aliran yang terjadi pada kolam olak bendung. kedalaman gerusan saat menggunakan proteksi di kolam olakan bendung tipe solid roller bucket.

BAB V Penutup

Bab ini berisi tentang kesimpulan dan saran setelah melakukan penelitian tugas akhir.

BAB II

KAJIAN PUSTAKA

A. Kolam Olakan

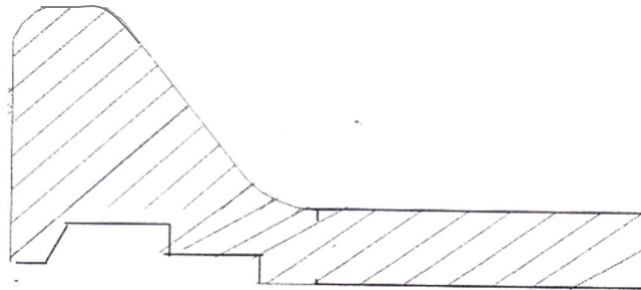
Kolam olakan adalah suatu konstruksi yang berfungsi sebagai peredam energi yang terkandung dalam aliran dengan memanfaatkan loncatan hidraulis dari suatu aliran yang berkecepatan tinggi. Kolam olakan sangat ditentukan oleh loncatan hidraulis yang terjadi di dalam aliran. Dimana loncatan air dapat menimbulkan kerusakan-kerusakan pada bendung terutama pada kolam olakan.

Secara umum terdapat banyak bentuk kolam olakan yang digunakan oleh lonctan hidraulis untuk meredam energi. Ada beberapa rancangan umum dari kolam olakan yang menggunakan loncatan sebagai peredam energi kolam olak tipe USBR (*united state biro reclamation*), bentuk tersebut diantaranya :

1) Kolam olak tipe USBR I,

Kolam olak USBR I adalah suatu kolam olakan dengan dasar yang datar dan terjadinya peredaman energi yang terkandung dalam aliran air dengan benturan secara langsung aliran tersebut ke atas permukaan dasar kolam, karena penyempurnaan redaman terjadi akibat gesekan-gesekan yang terjadi antara molekul-molekul air di dalam kolam olakan, sehingga air yang meninggalkan kolam tersebut mengalir memasuki alur sungai

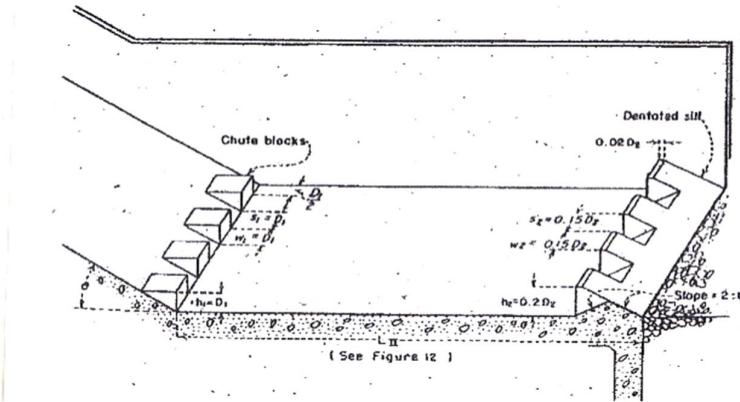
dalam kondisi yang sudah tenang. Akan tetapi kolam olakan menjadi lebih panjang dan karenanya tipe I ini hanya sesuai untuk mengalirkan debit yang relatif kecil dengan kapasitas peredaman energi yang kecil pula dan kolam olakannya pun akan berdimensi kecil dengan angka Froude $< 2,5$.



Gambar 1 : Kolam olakan tipe USBR I

2) Kolam olak tipe USBR II

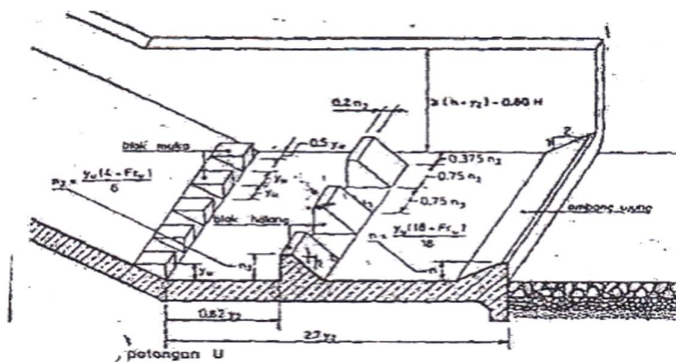
Kolam olak USBR II, dimana terjadinya peredaman energi yang terkandung didalam aliran adalah akibat gesekan diantara molekul-molekul air di dalam kolam dan dibantu oleh perlengkapan-perengkapan yang dibuat berupa gigi pemencar aliran dipinggir udik dasar kolam dan ambang bergerigi di pinggir hilirnya. Kolam olakan tipe ini cocok digunakan untuk aliran dengan tekanan hidrostatik yang tinggi dan debit yang besar ($Q < 45 \text{ m}^3/\text{det}$, $V < 15 \text{ m/det}$, tekanan hidrostatik $> 60 \text{ m}$ dan angka Froude $> 4,5$). Gigi pemencar aliran berfungsi untuk lebih meningkatkan efektifitas peredaman sedang ambang bergerigi berfungsi untuk menstabilkan loncatan hidrolis dalam kolam olakan tersebut. Kolam olakan tipe ini sangat sesuai untuk bendungan urugan dan penggunaannya pun cukup luas.



Gambar 2 : kolam olakan tipe USBR-II

3) Kolam olak tipe USBR III

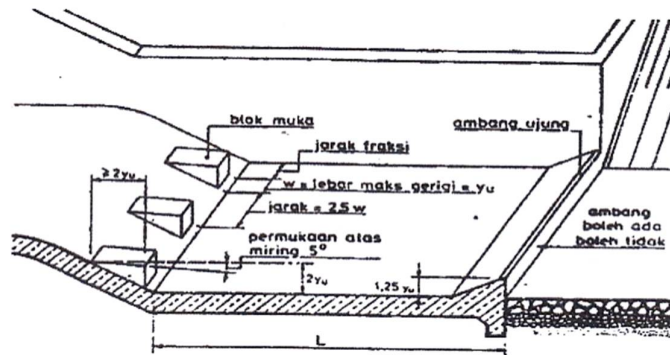
Kolam olak USBR III pada hakekatnya prinsip kerja dari kolam olakan ini sangat mirip dengan sistim dari kolam olakan USBR Tipe II, akan tetapi lebih sesuai untuk mengalirkan air dengan tekanan hydrostatis yang rendah dan debit yang akan kecil ($Q < 18,5 \text{ m}^3/\text{det}$, $V > 15 \text{ m}/\text{det}$, tekanan hidrostatik $< 60 \text{ m}$ dan angka Froude $> 4,5$). Untuk mengurangi panjang kolam olakan, biasanya dibuatkan gigi pemencar aliran ditepi udik dasar kolam, gigi penghadang aliran (gigi benturan) pada kolam olakan. Kolam olakan ini biasanya untuk bangunan pelimpah pada bendungan urugan yang rendah.



Gambar 3 : kolam olakan tipe USBR-III

4) Kolam olak tipe USBR IV.

Sistim kerja kolam olakan tipe ini sama dengan dengan sistim kerja kolam olakan tipe III akan tetapi penggunaannya yang paling cocok adalah untuk aliran dengan tekanan hidrostatis yang rendah (tekanan hidrostatis < 60 m) dan debit yang besar per unit lebar ($Q > 18,5 \text{ m}^3/\text{det}$), serta aliran dalam kondisi super kritis dengan angka Froude antara 2,5 - 4,5. Biasanya kolam olakan tipe ini dipergunakan pada bangunan pelimpah suatu bendungan urugan yang sangat rendah atau pada bendung, penyadap bendung konsolidasi, bendung penyangga dan lain-lain.



Gambar 4 : kolam olakan tipe USBR-IV

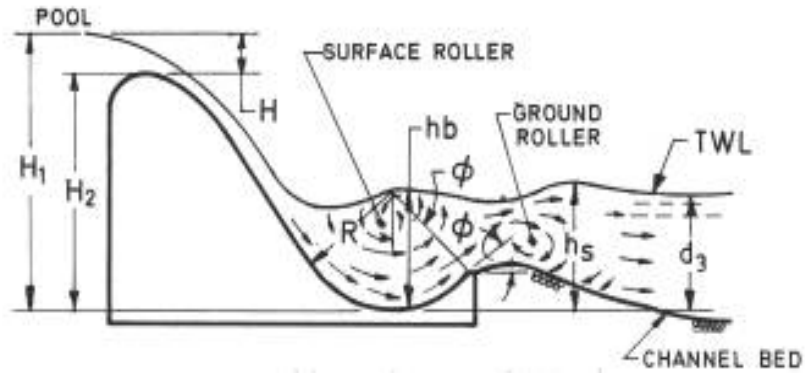
No	Kolam olak tipe USBR	Kriteria Penggunaan
1	Tipe USBR I	Fr < 2,5 dengan debit yang relatif kecil
2	Tipe USBR II	Fr > 4,5 ($Q < 45 \text{ m}^3/\text{det}$, $V < 15 \text{ m/det}$ dan tekanan hidrostatis > 60 m.)
3	Tipe USBR III	Fr > 4,5 ($Q < 18,5 \text{ m}^3/\text{det}$, $V > 15 \text{ m/det}$ dan tekanan hidrostatis < 60 m.)
4	Tipe USBR IV	Fr antara 2,5-4,5 ($Q > 18,5 \text{ m}^3/\text{det}$, dan tekanan hidrostatis < 60 m.)

Sumber : (Sosdarsono & Takeda, 1997)

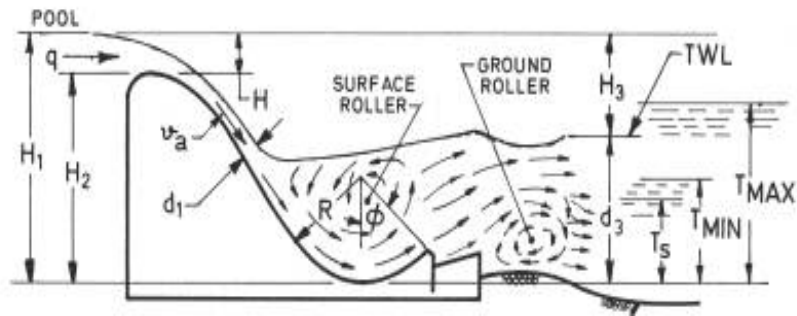
B. Ruang Olak Tipe Roller Bucket

Kolam peredam energi ini terdiri dari tiga tipe, yaitu *solid roller bucket*, *slotted roller bucket* dan *sky jump*. Ketiga ini mempunyai bentuk hampir sama dengan tipe Vlughter, namun perbedaannya sedikit pada ujung ruang olakan. Umumnya peredam ini di gunakan bilamana sungai membawa batuan sebesar kepala (boulder). Untuk menghindarkan kerusakan lantai belakang maka di buat lantai yang melengkung sehingga bilamana ada batuan yang terbawa akan melanting ke arah hilirnya (USBR, 1984; Mawardi & Mamed, 2002).

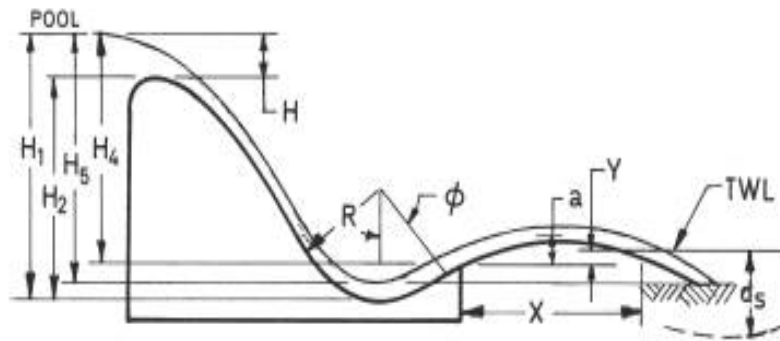
Pembangunan konstruksi di hilir pelimpah atau *outlet* yang berupa kolam olak sebagai peredam energi, peredam energi (*energy dissipater*) atau kolam olak (*stilling basin*) adalah struktur dari bangunan di hilir tubuh bendung yang terdiri dari beberapa tipe dan bentuk, di kanan dan kirinya dibatasi oleh tembok pangkal bendung dilanjutkan dengan tembok sayap hilir dengan bentuk tertentu (Desain Hidrolik Bendung Tetap, 2002). Bentuk kolam olak tipe *roller bucket* di tunjukkan pada gambar berikut.



Gambar 5. kolam olak tipe Solid Roller Bucket (Peterka, 1974)



Gambar 6. kolam olak tipe Slotted Roller Bucket (Peterka, 1974)



Gambar 7 . kolam olak tipe Trajectory Bucket/ Sky Jump (Peterka, 1974)

C. BAFFLE BLOCKS

Baffle Blocks adalah berupa kotak kubus, balok penghalang atau blok-blok beton buatan dengan ukuran dan volume tertentu yang digunakan antara lain sebagai tambahan peredam energi di hilir bendung dan berfungsi pula sebagai lapisan untuk mengurangi kedalaman gerusan setempat dan untuk melindungi dasar kolam olak bendung. Pemasangan Baffle blocks bersifat mereduksi momentum aliran, yang akan menurunkan kecepatan setelah terjadi loncatan air.



Gambar 8 . Pemasangan Baffle Blocks (Hubert Chanson 2014)

Beberapa penelitian yang pernah dilakukan berkaitan dengan pemasangan *Baffle Blocks* sebagai pemecah energi di kolam olak diantaranya :

Agnes (1999) melakukan penelitian dan menyimpulkan bahwa pemasangan *BaffleBlocks* sangat mempengaruhi loncatan air dan juga tata letak *baffle blocks* yang berbeda akan menghasilkan panjang kolam olak yang berbeda pula. Sedangkan pada model pelimpah yang tidak memakai

baffle blocks loncatan dihasilkan lebih panjang dibanding model yang memakai *baffle blocks*.

Irawan (2009) melakukan percobaan penelitian pengaruh variasi kemiringan pada hulu bendung dan penggunaan kolam olak tipe solid roller bucket terhadap loncatan air dan gerusan setempat. Dari hasil penelitian didapatkan bahwa kedalaman air saat awal loncatan hidrolis lebih rendah dibandingkan setelah loncatan, tetapi energi spesifik saat awal loncatan hidrolis lebih besar dibanding setelah loncatan. Dengan debit aliran yang sama dari variasi kemiringan hulu bendung, tidak terjadi perbedaan yang berarti terhadap panjang gerusan.

D. Konsep Dasar Aliran

Menurut ilmu mekanika fluida aliran fluida khususnya air diklasifikasikan berdasarkan perbandingan antara gaya inersia dan gaya-gaya kekentalanya menjadi tiga bagian yaitu aliran laminar, turbulin, dan transisi (French, 1985). Variable yang dipakai untuk klarifikasi ini adalah bilangan Reynolds.

a. Karakteristik Aliran

Kondisi biofisik setiap saluran terbuka memiliki karakter yang berbeda yang mencerminkan tingkat kepekaan dan potensi suatu saluran. Pengumpulan data fisik dengan mencatat beberapa faktor yang dominan pada suatu wilayah akan mencerminkan karakteristik suatu saluran.

Karakteristik aliran adalah gambaran spesifik mengenai aliran yang dicirikan oleh parameter yang berkaitan dengan keadaan topografi, tanah, geologi, vegetasi, penggunaan lahan, hidrologi, dan manusia. Aliran pada saluran terbuka merupakan aliran yang mempunyai permukaan yang bebas. Permukaan yang bebas itu merupakan pertemuan dua fluida dengan kerapatan ρ (*density*) yang berbeda. Biasanya pada saluran terbuka itu dua fluida itu adalah udara dan air dimana kerapatan udara jauh lebih kecil daripada kerapatan air.

Gerakan air pada saluran terbuka berdasarkan efek dari gravitasi bumi yang didistribusi tekanan dalam air umumnya bersifat hidrostatis karena kuantitasnya tergantung dari berat jenis aliran dalam kedalaman. Karena jenis berat aliran dapat diasumsikan tetap, maka tekanan hanya tergantung dari kedalamannya; semakain dalam tekanannya semakin besar. Namun pada beberapa kondisi bisa ditemukan distribusi tekanan tidak hidrostatis.

Aliran air dalam suatu saluran dapat berupa aliran dalam saluran terbuka, dan dapat pula berupa aliran dalam pipa. Kedua jenis aliran tersebut memiliki prinsip yang sangat berbeda. Aliran melalui saluran terbuka adalah aliran yang memiliki permukaan bebas sehingga memiliki tekanan udara walaupun berada dalam saluran tertutup. Adapun aliran dalam pipa merupakan aliran yang tidak memiliki permukaan bebas, karena aliran air mengisi saluran secara terus menerus, sehingga tidak dipengaruhi oleh tekanan udara dan hanya dipengaruhi oleh tekanan hidrostatis. Banyak

faktor aliran yang berpengaruh terhadap pengendapan partikel dalam suatu aliran, tetapi yang terpenting adalah kecepatan endap dan karakteristik aliran (Takamatsu dan Naito,1967). Simmon dan Senturk (1992) menekankan pentingnya turbulensi terhadap keberadaan sedimen di dalam suspensi. Turbulensi menjaga sedimen yang tersuspensi untuk tidak mengendap, bahkan mampu mengangkat sedimen yang sudah mengendap untuk tersuspensi lagi.

Karakter aliran yang paling sesuai untuk mengendapkan partikel sedimen adalah aliran laminar dengan kecepatan yang rendah. Banyak cara dilakukan untuk mendapatkan pola aliran yang seperti ini, atau yang lebih dikenal dengan “*plug-flow*”, seperti merancang posisi *inlet* dan *outlet* (Pearson *et.al*, 1995), mencegah pembentukan gelombang dipermukaan dengan meminimalkan angin (Kim dan Kim, 2000), menggunakan *baffle*/sekat (Muttamara dan Puetpaiboon, 1997), dan merancang bentuk atau geometri dari konstruksi (European Investment Bank, 1998).

b. Tipe Aliran

Mengkaji suatu aliran pada saluran terbuka, haruslah dipahami tentang sifat dan jenis aliran itu sendiri. Adapun tipe aliran pada saluran terbuka yakni dipengaruhi oleh adanya suatu permukaan bebas yang berkaitan langsung dengan parameter-parameter aliran seperti kecepatan, kekentalan, gradient serta geometri saluran. Aliran saluran terbuka dapat digolongkan berdasarkan pada berbagai kriteria, salah satu kriteria utama

adalah perubahan kedalaman aliran (h) terhadap waktu (t) dan terhadap tempat (s).

a. Tipe Aliran Berdasarkan Kriteria Waktu yaitu:

- 1) Aliran Tetap/mantap (*Steady Flow*) yaitu aliran di mana kedalaman air (h) tidak berubah menurut waktu atau dianggap tetap dalam suatu interval waktu, dengan demikian kecepatan aliran pada suatu titik tidak berubah terhadap waktu dan segala variabel disepanjang saluran sama.
- 2) Aliran tidak tetap/Tidak Mantap (*Unsteady Flow*) yaitu apabila kedalaman air (h) berubah menurut waktu demikian pula kecepataannya berubah menurut waktu . Aliran ini terbagi dua yaitu:Aliran seragam tidak tetap (*unsteady uniform flow*)dan aliran tidak tetap dan berubah-ubah (*unsteady varied flow*).Aliran ini hampir tidak pernah terjadi.
- 3) Aliran Seragam (*uniform flow*) yaitu aliran dimana segala variabel seperti kedalaman, luas, debit, konstan disepanjang saluran sama.
- 4) Aliran tidak seragam (*un-uniform Flow*) yaitu aliran berubah-ubah (*varied flow*) disepanjang saluran terhadap kedalaman, luas, dan debit, Yang terdiri dari: Aliran tetap berubah lambat laun (*gradually varied flow*) dan Aliran tetap berubah dengan cepat (*rapidle varied flow*).

b. Tipe Aliran Berdasarkan Kriteria Tempat yaitu:

1. Aliran seragam (*uniform flow*) yaitu: aliran dimana segala variabel seperti kedalaman, luas penampang, dan debit konstan disepanjang saluran sama. Aliran ini terbagi dua yaitu:

- a. Aliran seragam tetap (*steady uniform flow*) yaitu aliran seragam yang tidak berubah terhadap waktu.
- b. Aliran seragam tidak tetap (*unsteady uniform flow*) yaitu aliran yang dapat pula berubah terhadap waktu apabila fluktuasi muka air terjadi dari waktu ke waktu namun tetap paralel dengan dasar saluran.
2. Aliran Tidak seragam (*non uniform flow*) yaitu aliran dimana segala variabel seperti kedalaman, luas penampang, dan debit berubah di sepanjang saluran. Aliran ini disebut juga aliran berubah-ubah (*varied flow*) yaitu; Aliran berubah lambat laun (*gradually varied flow*) dan Aliran berubah dengan cepat.

c. Sifat aliran

Sifat-sifat aliran saluran terbuka pada dasarnya ditentukan oleh adanya Pengaruh kekentalan (*viscositas*) dan pengaruh gravitasi dalam perbandingannya dengan gaya-gaya kelembaman (*inersia*) dari aliran. Tegangan permukaan sebenarnya juga dapat berpengaruh pada sifat-sifat aliran, namun dalam kebanyakan aliran tegangan permukaan tidak memegang peranan penting, oleh karena itu tidak diperhitungkan. Selanjutnya apabila perbandingan antara pengaruh gaya-gaya kelembaman dengan gaya-gaya kekentalan yang dipertimbangkan maka aliran dapat dibedakan menjadi: aliran laminar, dan aliran turbulen serta aliran transisi. Parameter yang dipakai sebagai dasar untuk membedakan sifat aliran tersebut adalah suatu parameter tidak berdimensi yang dikenal dengan

angka Reynold (Re) yaitu: perbandingan (*ratio*) dari gaya kelembaman (*inersia*) terhadap gaya- gaya kekentalan (*viscositas*) persatuan volume.

1. Sifat-sifat aliran berdasarkan pengaruh gaya kelembaman dengan gaya kekentalan yaitu:

a) Aliran Laminer yaitu suatu aliran dimana gaya-gaya kekentalan relatif lebih besar dibanding dengan gaya kelembaman sehingga kekentalan berpengaruh besar terhadap sifat aliran. Pada aliran ini partikel cairan seolah-olah bergerak secara teratur menurut lintasan tertentu.

b) Aliran Turbulen yaitu apabila kecepatan aliran lebih besar daripada kekentalan dalam hal ini butiran-butiran air bergerak menurut lintasan yang tidak teratur, tidak lancar, tidak tetap, walaupun butiran bergerak maju dalam kesatuan aliran secara keseluruhan.

c) Aliran Transisi yaitu Aliran peralihan dari laminar ke aliran turbulen dimana kekentalan relatif terhadap kecepatan.

Pengaruh kekentalan terhadap kelembaban dapat dinyatakan dengan bilangan Reynold. Reynold menerapkan Analisis dimensi pada hasil percobaannya dan menyimpulkan bahwa perubahan dari aliran laminar ke aliran turbulen terjadi suatu harga yang dikenal dengan angka Reynold (Re). Angka ini menyatakan perbandingan antara gaya-gaya kelembaman dengan gaya-gaya kekentalan yaitu:

$$Re = \frac{\tilde{v}R}{\mu}$$

Dimana:

Re = Angka Reynold

\bar{v} = Kecepatan rata-rata aliran (m/det)

R = Jari-jari Hidrolis (m)

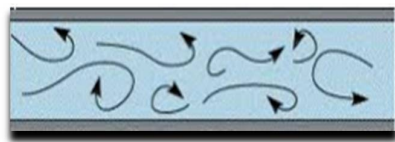
μ = kekentalan (*viscositas*) kinematik cairan (m²/det)

Kemudian dari berbagai percobaan disimpulkan bahwa untuk saluran terbuka :

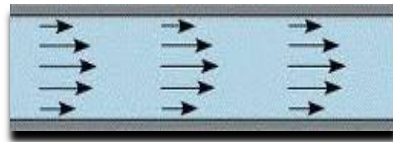
$Re < 500$ aliran laminar

$500 < Re < 12.500$ aliran transisi

$Re > 12.500$ aliran turbulen



a) Turbulen



b) Laminer

Gambar 5: Aliran Turbulen dan laminar

2. Sifat-sifat aliran berdasarkan Perbandingan gaya kelembaman dengan gaya Gravitasi.

- a) Aliran super kritis yaitu suatu aliran dimana kecepatan alirannya lebih besar daripada kecepatan gelombangnya.
- b) Aliran kritis yaitu suatu aliran dimana kecepatan alirannya sama besar dengan kecepatan gelombangnya.
- c) Aliran subkritis yaitu suatu aliran dimana kecepatan alirannya lebih kecil daripada kecepatan gelombangnya.

Parameter yang membedakan ketiga aliran tersebut adalah parameter yang tidak berdimensi yang dikenal dengan angka Froude (Fr) yaitu angka perbandingan antara gaya kelembaman dan gaya gravitasi, di rumuskan dengan :

$$Fr = \frac{\tilde{v}}{\sqrt{g \cdot h}}$$

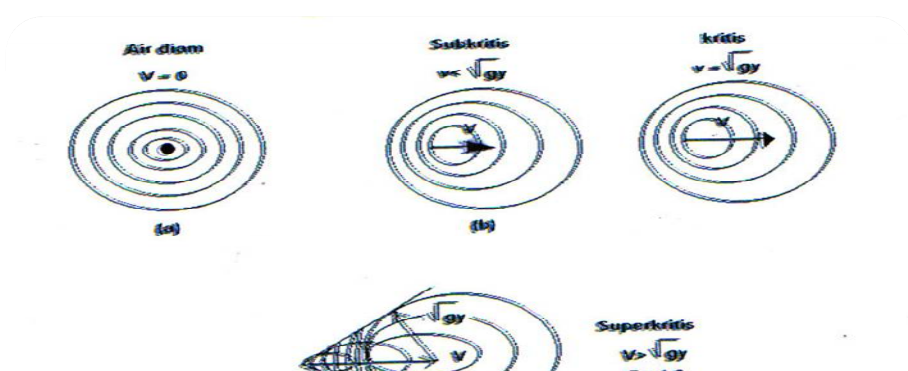
Dimana:

- Fr = Angka Froude
- \tilde{v} = Kecepatan rata-rata aliran (m/det)
- h = Kedalaman aliran (m)
- g = Gaya Gravitasi (m/det²)

Sehingga:

- a. Aliran bersifat Kritis apabila $Fr = 1$, dimana kecepatan aliran sama dengan kecepatan rambat gelombang .
- b. Aliran bersifat subkritis apabila $Fr < 1$, dimana kecepatan aliran lebih kecil daripada kecepatan rambat gelombang .
- c. Aliran bersifat superkritis apabila $Fr > 1$, dimana kecepatan aliran lebih besar daripada kecepatan rambat gelombang.

Berikut gambar aliran sub kritis, aliran super gratis, aliran kritis:



Gambar 6 : Pola penjalaran gelombang disaluran terbuka (Bambang Triatmojo, 2008)

Pada gambar di atas diperlihatkan suatu saluran panjang dengan tiga jenis kemiringan, subkritis, kritis dan superkritis. Pada kemiringan subkritis (Gambar a) permukaan air di zona peralihan tampak bergelombang. Aliran dibagian tengah saluran bersifat seragam namun kedua ujungnya bersifat berubah. Pada kemiringan kritis (Gambar b) permukaan air dari aliran kritis ini tidak stabil. Dibagian tengah dapat terjadi gelombang tetapi kedalaman rata-ratanya konstan dan alirannya dapat dianggap seragam. Pada kemiringan subkritis (Gambar c) permukaan air bealih dari keadaan subkritis menjadi superkritis setelah melalui terjunan hidrolis lambat laun.

d. Energi Spesifik

Enrgi spesifik adalah energi relatif terhadap dasar saluran. Besarnya

energi spesifik adalah $E = \frac{V^2}{2g} + y$

Dimana :

E = Energi spesifik

V = Kecepatan aliran (m/det)

Y = kedalaman air (m)

g = Gaya gravitasi (m/det)

e. Debit Aliran

Debit aliran adalah jumlah air yang mengalir dalam satuan volume per satuan waktu. Debit adalah satuan besaran air yang keluar dari daerah aliran sungai (DAS). satuan debit yang digunakan adalah meter kubik per detik (m^3/det). Debit aliran adalah laju aliran air (dalam bentuk volume air) yang melewati suatu penampang melintang sungai per satuan waktu (Asdak, 2002). Dalam praktek, sering variasi kecepatan pada tampang melintang diabaikan, dan kecepatan aliran dianggap seragam di setiap titik pada tampang melintang yang besarnya sama dengan kecepatan rerata V , sehingga debit aliran adalah :

$$Q = A \times V$$

Dengan :

Q = debit aliran (m^3/det)

A = luas penampang (m^2)

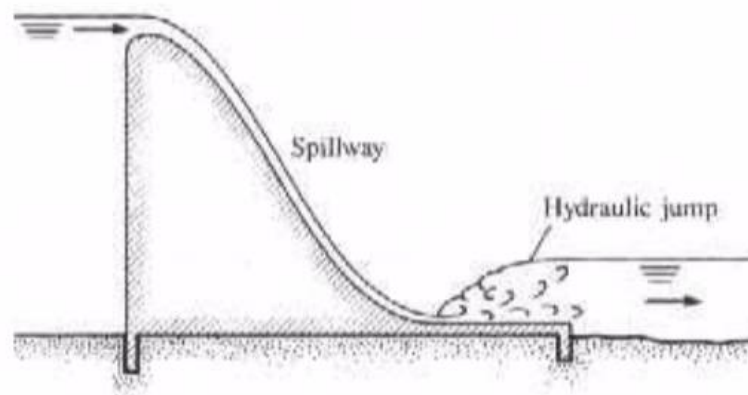
V = kecepatan aliran (m/det)

Debit air sungai merupakan tinggi permukaan air sungai yang terukur oleh alat ukur permukaan air sungai (Mulyana, 2007).

E. Loncatan Hidrolik

Air luapan jatuh bebas pada pelimpah terjunan akan memutar kurvturnya dan bergerak secara perlahan-lahan hingga menjadi aliran

superkritis pada lapisan lindung. Akibatnya, akan terbentuk loncatan hidrolis pada hilir. Loncatan hidrolis ini terjadi apabila terjadi perubahan kedalaman yang mendadak terhadap kedalaman lanjutannya. Salah satu perilaku loncatan hidrolis yang penting adalah letak dan panjang loncatan hidrolis.



Gambar 14 . Loncatan hidrolis (*Hydrolic jump*).

Loncatan hidrolis mempunyai ciri-ciri aliran air mengalami suatu perubahan baik kecepatan atau kedalaman saluran basah ataupun perubahan kemiringan saluran. Suatu loncatan hidrolis terjadi apabila aliran super-kritis berubah menjadi aliran sub-kritis. Terdapat suatu kenaikan tiba-tiba pada permukaan dan kehilangan yang berukuran besar dalam loncatan hidrolis. Pusaran turbulen yang berukuran besar terbentuk pada awal loncatan, pusaran ini menarik energi utama dan pusaran terpecah ke dalam bagian-bagian yang lebih kecil dan mengalir ke bagian hilir. Energi tersebut diredamkan ke dalam pusaran-pusaran ini.

Dari pandangan pemakaian praktis, loncatan hidrolis sangat berguna sebagai peredam berlebih pada aliran supe-kritis. Peredaman ini berguna untuk mencegah erosi yang mungkin terjadi pada saluran pelimpah, saluran curam, dan pintu air geser tegak, dengan cara memperkecil kecepatan aliran pada lapisan pelindung hingga pada suatu titik di mana aliran tidak mempunyai kemampuan untuk mengikis dasar saluran di bagian hilir (Chow, 1992).

Loncatan hidrolis yang digunakan sebagai peredam energi, biasanya meliputi sebagian atau seluruh kolam saluran yang dinamakan kolam olakan. Bagian bawah kolam olakan diratakan untuk menahan pengikisan. Pada umumnya jarang sekali kolam olakan dirancang untuk menahan seluruh loncatan bebas, karena kolam olakan demikian sangat mahal biayanya. Akibatnya, peralatan untuk mengontrol loncatan hidrolis biasanya dipasang pada kolam olakan. Tujuannya adalah untuk memperpendek selang waktu terjadinya loncatan sehingga memperkecil ukuran dan biaya kolam olakan, memperbaiki fungsi peredaman kolam olakan, menstabilkan gerakan loncatan dan juga dapat memperbesar factor keamanan.

Untuk kecepatan awal loncatan hidrolis pada saluran terbuka dapat ditentukan dengan rumus berikut:

$$V_1 = \sqrt{2g \left(\frac{1}{2} H_1 + z \right)} \dots\dots\dots (9)$$

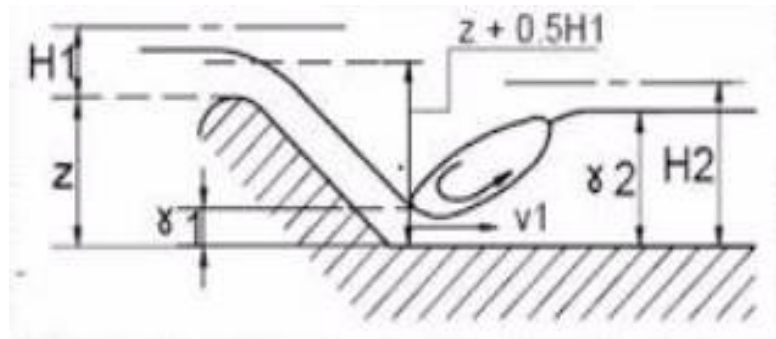
Dengan :

V_1 = Kecepatan awal loncatan (m/det)

g = Percepatan gravitasi (m/det)

H_1 = Tinggi energi di atas ambang (m)

z = Tinggi jatuh air (m)



Gambar 15 . Kecepatan loncatan air

1. Tipe Loncatan Hidrolik

Loncatan hidrolik yang terjadi pada dasar mendatar, terdiri dari beberapa jenis yang berbeda-beda. Biro Reklamasi Amerika Serikat membedakan jenisnya berdasarkan bilangan *Froude* (Fr) (Chow, 1992), jenis tersebut:

- a) Untuk $Fr = 1$, aliran adalah keritis. Pada aliran ini tidak terbentuk loncatan.

- b) Untuk $Fr = 1$ sampai dengan 1,7 terjadi ombak pada permukaan air, dan loncatan yang terjadi dinamakan loncatan yang berombak.
- c) Untuk $Fr = 1,7$ sampai dengan 2,5, terbentuk rangkaian gulungan ombak pada permukaan loncatan, tapi permukaan di hilir masi halus. Secara keseluruhan kecepatan seragam, dan kehilangan energy kecil, loncatan ini dinamakan loncatan lemah.
- d) Untuk $Fr = 2,5$ sampai 4,5 terdapat semburan berosilasi setiap osilasi dan menghasilkan gelombang tak teratur yang besar dan mengjar sampai jauh. Hal ini menyebabkan kerusakan pada tanggul-tanggul dan loncatan ini dinamakan berosilasi.
- e) Untuk $Fr = 4,5$ sampai dengan 9 ujung permukaan hilir akan bergulung, dan titik di mana kecepatan semburannya tinggi cenderung memisahkan diri dari aliaran. Loncatan hidroliknya sangat seimbang. Peredam energinya berselam antara 45 sampai dengan 70% loncatan ini dinamakan loncatan lunak atau lemah.
- f) Untuk $Fr = 9$ dan lebih besar, kecepatan semburan yang tinggi akan memisahkan hempasan gelombang gulung dari permukaan loncatan dan menimbulkan gelombang-gelombang hilir. Jika permukaannya kasar, akan mempengaruhi gelombang yang terjadi.

BAB III

METODE PENELITIAN

A. Lokasi dan Waktu Penelitian

Penelitian ini dilaksanakan pada bulan Desember sampai bulan Januari 2017 di laboratorium Fakultas Teknik Universitas Muhammadiyah Makassar.

Dimana pada bulan pertama yakni di awal bulan Desember merupakan pengurusan administrasi dan kajian literatur, kemudian pada bulan berikutnya dilanjutkan pembuatan model simulasi, pengambilan data, pengolahan data dan analisa data.

B. Jenis Penelitian Dan Sumber Data

1. Jenis Penelitian

Penelitian yang dilakukan adalah eksperimental dengan model simulasi, dimana kondisi tersebut dibuat dan diatur sendiri oleh peneliti dengan mengacu pada literatur yang berkaitan dengan judul penelitian tersebut.

2. Sumber Data

Penelitian ini menggunakan dua sumber data, yang terdiri dari data primer dan sekunder :

- a) Data primer yakni data yang diperoleh langsung dari simulasi model fisik di laboratorium.

- b) Data sekunder yaitu data yang didapatkan dari literatur, hasil penelitian yang telah ada, baik yang telah dilakukan di laboratorium maupun di tempat lain yang berkaitan dengan penelitian karakteristik aliran saluran terbuka.

C. Alat dan Bahan

Adapun alat dan bahan yang digunakan dalam penelitian ini sebagai berikut :

1. Alat

- a) Flowatch untuk mengukur kecepatan aliran dan suhu tempat penelitian.
- b) Stopwatch untuk mengukur waktu lama pengaliran.
- c) Pintu sorong untuk mengatur besarnya debit (Q) yang di alirkan.
- d) Mesin pompa, digunakan untuk memompa air dari hilir ke hulu.
- e) Meter lipat.
- f) Pipa dan slang untuk mengalirkan/menaikkan air dari bak air kesaluran.
- g) Kamera digunakan untuk pengambilan dokumentasi dokumentasi.
- h) Alat tulis.

2. Bahan

- a) Semen
- b) Pasir
- c) Air Tawar

d) Tanah Timbunan

e) Fiber Glass

D. Rencana desain penelitian

Biasanya kolam olakan tipe ini dipergunakan pada bangunan pelimpah suatu bendungan urugan yang sangat rendah atau pada bendung, penyadap bendung konsolidasi, bendung penyangga dan lain-lain.

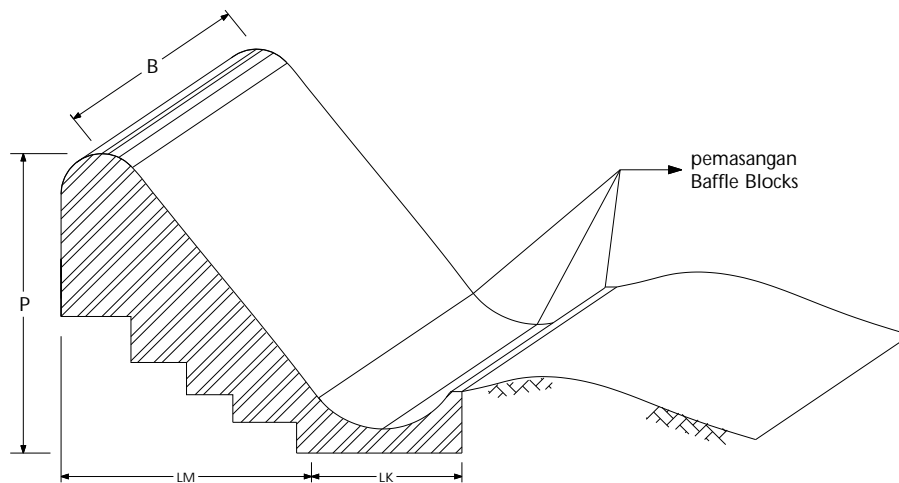
a) Perencanaan dimensi kolam olak tipe Solid Roller Bucket yaitu :

$$P = 50 \text{ cm}$$

$$Lk = 20 \text{ cm}$$

$$B = 40 \text{ cm}$$

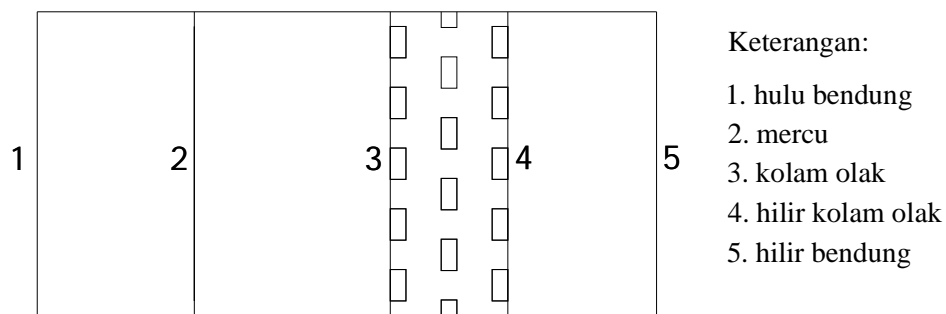
$$Lm = 25 \text{ cm}$$



Gambar 17. Kolam Olakan tipe Solid Roller Bucket

Model proteksi berupa pemasangan *Baffle Blocks* berbentuk kotak kubus yang terbuat dari beton yang terdiri dari berbagai variasi bentuk, ukuran dan jarak.

Penelitian ini dilakukan sebanyak 15 *running* dengan dua tahap pengukuran, tahap pertama 9 *running* dan tahap kedua 6 *running*, yaitu **tahap pertama** adalah *Running* untuk mengetahui variabel-variabel yang berpengaruh terhadap loncatan hidrolis (seperti kecepatan aliran, kecepatan gesek, kedalaman aliran, kedalaman gerusan, angka Froude dan angka Reynold), ini dilakukan tanpa menggunakan baffle blocks, **tahap kedua** adalah *Running* pengendalian/proteksi terhadap gerusan dengan debit konstan dipakai debit terbesar yaitu pada bukaan 3 cm dengan menggunakan variasi *baffle blocks* penelitian meliputi: pengukuran besarnya gerusan terhadap pemasangan *baffle blocks* dari susunan balok beton/balok halang yang dipasang dibagian kolom olakan dengan ukuran yang telah ditentukan. Kesemuanya untuk masing-masing variasi model *Baffle Blocks* dilakukan *running* 3 kali dengan debit konstan dan variasi waktu, hasil *running* dirata-rata untuk mengetahui besarnya gerusan. Adapun pengukuran yang dilakukan pada beberapa titik pengamatan seperti yang nampak pada Gambar 22.



Gambar 22. Titik pengamatan kecepatan dan tinggi muka air pada flume

E. Variabel Yang Diteliti

Sesuai tujuan penelitian ini yang dilaksanakan pada model saluran terbuka (flume), dengan kajian untuk mengetahui besarnya terjadi gerusan pada hilir kolam olakan yang mengacu pada rancangan yang telah disetujui untuk mendapatkan data sebagai bahan kajian.

Variabel yang akan digunakan adalah :

1. Variabel bebas :

- a) Tinggi muka air (h)
- b) Kecepatan aliran (v)
- c) Waktu (t)

2. Variabel tidak bebas:

- a) Debit (Q)
- b) Angka Froude (Fr)
- c) Angka Reynold (Re)
- d) Energi Spesifik (E)
- e) Gerusan (d_s)

F. Prosedur / Langkah Penelitian

Adapun langkah-langkah yang dilakukan dalam penelitian adalah sebagai berikut :

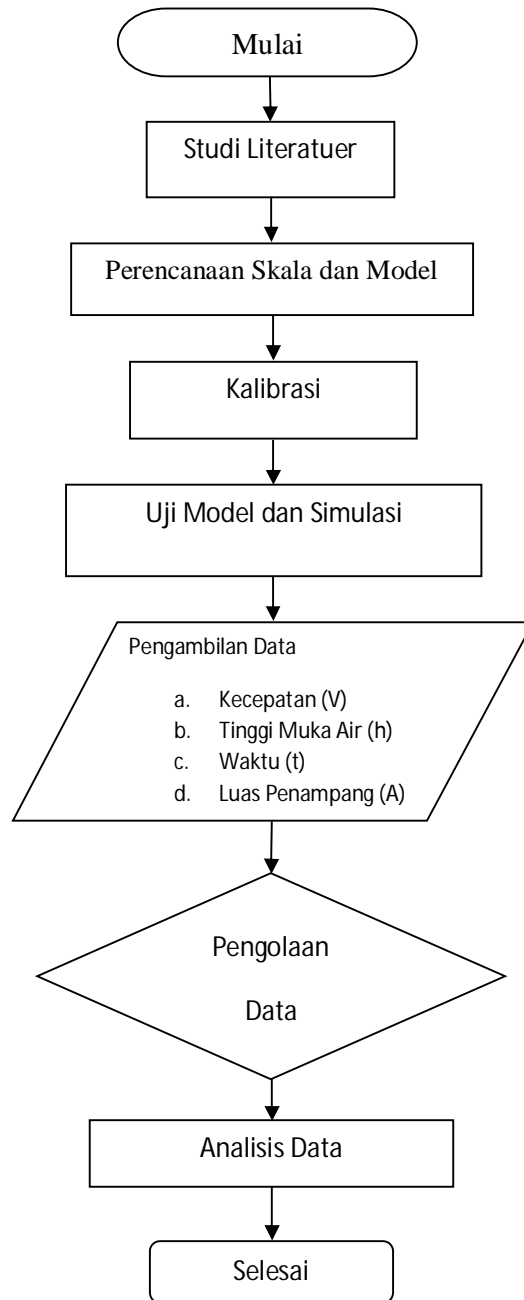
- 1) Mempersiapkan peralatan di laboratorium termasuk membuat model fisik saluran terbuka.

- 2) Melakukan pengaliran awal untuk mengetahui layak atau tidaknya saluran yang akan digunakan dalam pengaliran (Running kosong).
- 3) Melakukan pengaliran dengan variasi debit (Q) dan waktu (T) tanpa menggunakan (baffle blocks). Melakukan pengaliran dengan menggunakan variasi model (baffle blocks) dengan debit konstan yaitu debit terbesar pada bukaan 3 dan variasi waktu.
- 4) Melakukan pengukuran pada saat pengaliran yaitu pengukuran kecepatan aliran (V) dengan menggunakan flowacht.
- 5) Mengukur kedalaman air pada setiap titik pengamatan gerusan yang telah ditentukan pada saluran.
- 6) Mencatat data-data penelitian yang diperlukan dalam perhitungan.
- 7) Analisis atau validasi data dari hasil pencatatan pengamatan uji laboratorium yang telah dilakukan.

G. Analisis Data

Dari data lapangan atau laboratorium kemudian diolah sebagai bahan Analisis hasil kajian sesuai dengan tujuan dan sasaran penelitian. Data yang diolah adalah data yang relevan yang dapat mendukung dalam menganalisis hasil penelitian, antara lain : data debit Q (m^3/det) kecepatan aliran V (m/det) dan Gerusan d_s (m).

H. Flow Chart Penelitian/ Bagan alur penelitian



BAB IV

HASIL DAN PEMBAHASAN

A. Debit dan Karakteristik Aliran

Parameter loncatan hidrolik yang diukur pada penelitian ini adalah kecepatan dan tinggi muka air sebelum terjunan, kecepatan dan tinggi muka air di ambang terjunan, kecepatan dan tinggi muka air setelah terjunan, kecepatan dan tinggi muka sebelum loncatan, kecepatan dan tinggi muka air di kolam olak, ketinggian air dan kecepatan aliran setelah loncatan, tinggi loncatan dan panjang loncatan.

1. Debit Aliran

Perhitungan debit aliran diperoleh dengan menggunakan persamaan *Thomson* (pelimpah segitiga), seperti dibawah ini :

$$\text{Dik: } H_i = 0.085 \text{ m}$$

$$V = 1.416 \text{ m/dtk}$$

$$\text{Dit: } Q_1 = \dots\dots\dots?$$

$$\begin{aligned} \text{Peny: } Q_1 &= V \times H_i^{5/2} \\ &= 1.416 \times 0.085^{5/2} \\ &= 1.416 \times 0.0021 \\ &= 0.00298 \text{ m}^3/\text{det} \end{aligned}$$

Menentukan nilai koefisien debit (*Cd*)

Nilai koefisien debit(cd) di hitung dengan

$$\text{Dik: } H_1 = 0.085 \text{ m}$$

$$g = 9.81 \text{ m/dtk}$$

$$Q_1 = 0.00298 \text{ m}^3/\text{dtk}$$

$$\text{Dit: } Cd_1 = \dots?$$

$$\text{Peny: } Cd_1 = \frac{Q_1 \times 15}{8 \times \sqrt{2 \times g \times \tan \frac{\theta}{2}} \times H_1^{\frac{5}{2}}}$$

$$Cd_1 = \frac{3 \times 10^{-3} \times 15}{8 \times \sqrt{2 \times 9.81 \times \tan 45^\circ} \times 0.085^{\frac{5}{2}}}$$

$$Cd_1 = 0.5594 \text{ m}^3/\text{dtk}$$

Menentukan Debit (Q) pengaliran di Saluran :

$$\text{Dit: } (Cd) = 0.5594 \text{ m}^3/\text{dtk}$$

$$(g) = 9.81 \text{ m/dtk}$$

$$(\varphi) = 45^\circ$$

$$(H_1) = 0.105 \text{ m}$$

$$\text{Dit: } Q_1 = \dots?$$

$$\text{Peny: } Q_1 = \left(\frac{8}{15}\right) \times Cd_1 \times \sqrt{2 \times g} \times \tan \frac{\theta}{2} \times H_1^{\frac{5}{2}}$$

$$Q_1 = \left(\frac{8}{15}\right) \times 0.599 \times \sqrt{2 \times 9.81} \times \tan 45^\circ \times 0.105^{\frac{5}{2}}$$

$$Q_1 = 0.0045 \text{ m}^3/\text{dtk}$$

Untuk perhitungan selanjutnya dengan menggunakan cara yang sama, hasil perhitungannya dapat di lihat pada tabel 4.

Tabel 4. Hasil Perhitungan Debit (Q) menggunakan alat ukur *Thomson*.

No.	Tinggi Pintu Thomson (H_T)	Koefisien Debit (C_d)	Debit (Q)
	(m)	-	m ³ /dtk
1	0.085	0.5994	0.0045
2	0.110	0.5994	0.0078
3	0.125	0.5994	0.0113

2. Angka Froude (Fr)

Angka *Froude* didefenisikan sebagai kecepatan rata-rata dibagi akar dari percepatan gravitasi dan tinggi muka air rata-rata, yang bertujuan untuk mengetahui dan menetapkan jenis aliran yang terjadi dalam saluran pada saat proses pengaliran.

Perhitungan *Angka Froude* pada kecepatan 0,10 cm/dtk dan kedalaman aliran 14,43 cm dengan debit 0,0045 m³/dtk sebagai berikut :

$$\text{Dit: } V = 0.10 \text{ cm/dtk}$$

$$g = 0.981 \text{ cm/dtk}$$

$$h = 0.020 \text{ cm}$$

$$\text{Dit: } Fr = \dots\dots\dots?$$

$$\text{Peny: } Fr = \frac{v}{\sqrt{g \cdot h}}$$

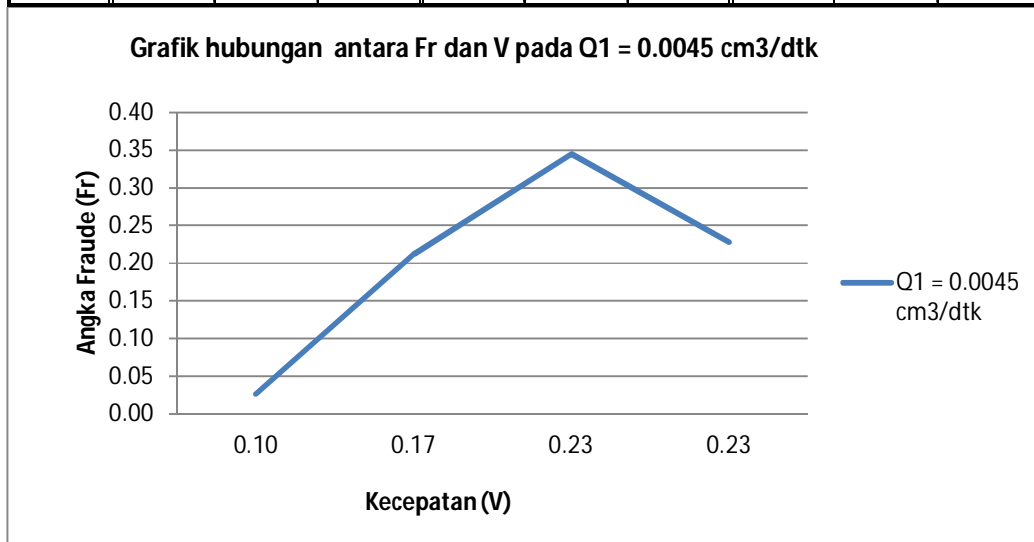
$$= \frac{0,10}{\sqrt{0,981 \cdot 0,020}}$$

$$= 0,452 \text{ cm/dtk}$$

Untuk perhitungan angka *Froude* selanjutnya dengan menggunakan cara yang sama pada beberapa variasi debit dan variasi model peredam energi yang digunakan dalam penelitian, hasil perhitungannya dapat di lihat pada tabel 5 sampai tabel 11.

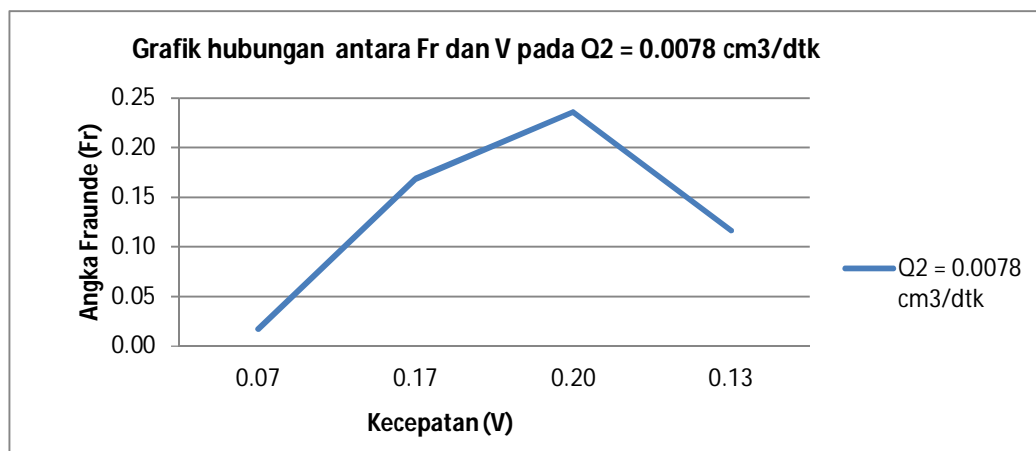
Tabel 5. Hasil Perhitungan *Angka Froude*

Titik Pengamat	Model Peredam Energi I								
	Q1 = 0.0045 cm ³ /dtk			Q2 = 0.0078 cm ³ /dtk			Q3 = 0.0113 cm ³ /dtk		
-	V (cm/det)	h (cm)	Fr	V (cm/det)	h (cm)	Fr	V (cm/det)	h (cm)	Fr
Hulu	0.10	14.433	0.03	0.07	15.333	0.02	0.03	16.400	0.01
Mercu	0.17	0.633	0.21	0.17	1.000	0.17	0.13	1.433	0.11
Peredam	0.23	0.467	0.34	0.20	0.733	0.24	0.13	1.033	0.13
Hilir	0.23	1.067	0.23	0.13	1.333	0.12	0.10	2.400	0.07



Gambar 26. Hubungan antara kecepatan dan *Angka Froude* pada Q1 untuk model peredam energi 1

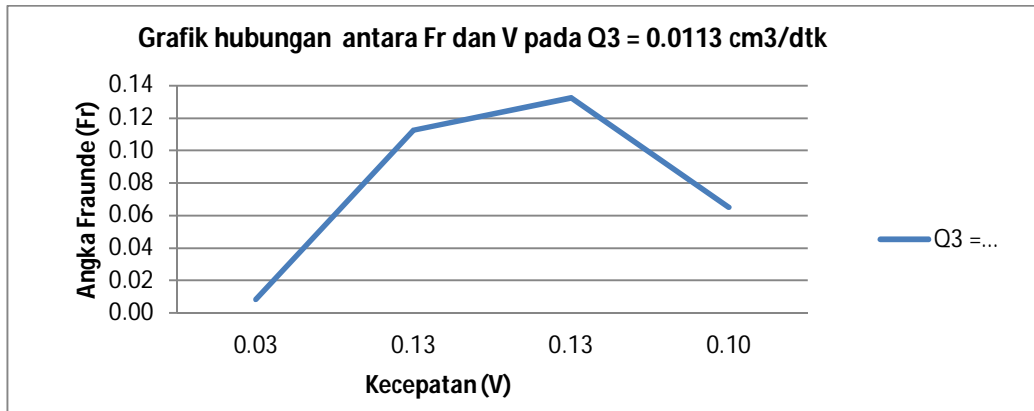
Dari hasil pengamatan Angka Froude aliran pada titik pengamatan di hulu cenderung kecil yaitu 0.03 dengan kecepatan aliran 0.10 cm/dtk, sedangkan pada mercu angka fraude yang diperoleh sebesar 0.21 dengan kecepatan aliran 0.17 cm/dtk. dan angka fraude tertinggi terdapat di peredam sebesar 0.34 dengan kecepatan aliran 0.23 cm/dtk, sedangkan pada hilir diperoleh angka fraud sebesar 0.23 dengan kecepatan aliran 0.23 cm/dtk. Aliran yang terjadi pada Q1 dapat dikategorikan sebagai aliran subkritis karena angka fraude yang di peroleh < 1 .



Gambar 27. Hubungan antara kecepatan dan *Angka Froude* pada Q2 untuk model peredan energi 1

Dari grafik hubungan kecepatan aliran dan angka fraude diatas dapat dilihat bahwa angka fraude terendah terdapat pada bagian hulu yaitu 0.02 dengan kecepatan aliran 0.07 cm/dtk, sedangkan pada mercu saluran angka fraude yang diperoleh sebesar 0.17 dengan kecepatan aliran 0.17 cm/dtk. Pada peredam energi diperoleh angka fraude tertinggi yaitu 0.24 dengan kecepatan aliran 0.20,

sedangkan pada hilir saluran dengan kecepatan aliran 0.13 cm/dtk diperoleh angka fraude sebesar 0.12.

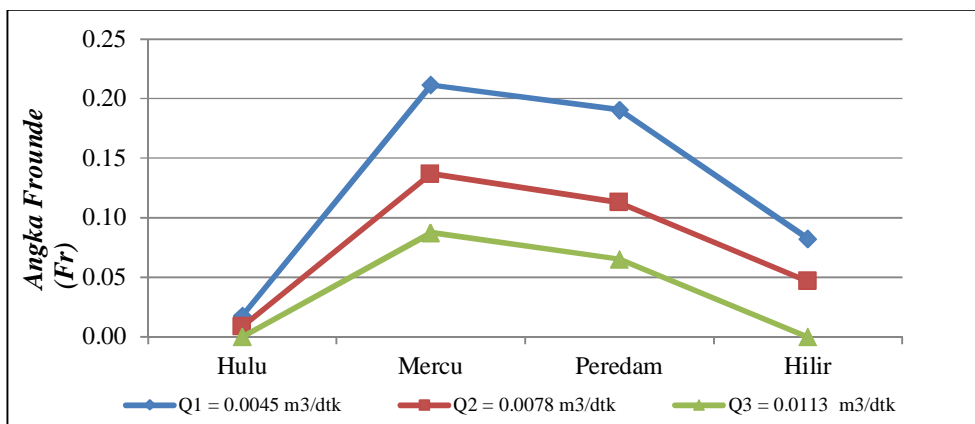


Gambar 28 Hubungan antara kecepatan dan *Angka Froude* pada Q3 untuk model peredan energi 1

Dari hasil pengamatan *Angka Froude* aliran pada debit 0.0113 diperoleh angka fraude pada hulu sebesar 0.01 dengan kecepatan aliran 0.03 cm/dtk, sedangkan pada mercu angka fraude yang didapat sebesar 0.11 dengan kecepatan aliran 0.13 cm/dtk. Pada peredam energy dan mercu memiliki keseragaman aliran pada $Q = 0.0113 \text{ m}^3/\text{dtk}$ namun angka fraude pada peredam lebih besar dari pada angka fraude pada mercu yaitu sebesar 0.13. pada bagian hilir angka fraude yang duperoleh sebesar 0.07 dengan kecepatan 0.10 cm/dtk. Jadi besar kecepatan aliran bukanlah faktor utama penentu besarnya angka *Froude* karena apabila semakin besar kecepatan aliran dan semakin rendah tinggi muka air maka angka *Froude* semakin besar. Aliran yang terjadi pada Q1, Q2, dan Q3 dapat dikategorikan sebagai aliran subkritis karena angka fraude yang di peroleh < 1 .

Tabel 6. Hasil Perhitungan angka *Froude*

Titik Pengamat	Model Peredam Energi II								
	Q1 = 0.0045 cm ³ /dtk			Q2 = 0.0078 cm ³ /dtk			Q3 = 0.0113 cm ³ /dtk		
-	V (cm/det)	h (cm)	Fr	V (cm/det)	h (cm)	Fr	V (cm/det)	h (cm)	Fr
Hulu	0.07	14.433	0.02	0.03	15.333	0.01	0.00	16.300	0.00
Mercu	0.17	0.633	0.21	0.13	0.967	0.14	0.10	1.333	0.09
Peredam	0.13	0.500	0.19	0.10	0.800	0.11	0.07	1.067	0.07
Hilir	0.10	1.500	0.08	0.07	2.067	0.05	0.00	2.633	0.00



Gambar 29. Hubungan antara jarak pengamatan dan *Angka Froude* untuk model peredam energi I

Dari hasil pengamatan *Angka Froude* aliran pada titik pengamatan di hulu cenderung kecil sehingga aliran yang terjadi adalah aliran subkritis setelah itu kecepatan aliran bertambah besar pada titik pengamatan di peredam energi, dan kecepatan aliran menurun pada pengamatan di hilir, dapat diketahui bahwa *angka Froude* yang paling besar yaitu 0,34 terdapat pada peredam dengan kecepatan yaitu 0,23 m/det dan tinggi muka air 0,467 cm, besar kecepatan aliran bukanlah faktor utama penentu besarnya *Angka Froude* karena apabila semakin besar kecepatan aliran dan semakin rendah tinggi muka air maka *Angka Froude* semakin besar.

3. Angka Reynold (*Re*)

Angka Reynold yaitu Keadaan atau perilaku aliran pada saluran terbuka pada dasarnya ditentukan oleh pengaruh kekentalan dan gravitasi. Pengaruh kekentalan (viscosity) aliran dapat bersifat laminar, turbulen dan peraliran yang tergantung pada pengaruh kekentalan relatif dapat dinyatakan dengan angka *Reynold*.

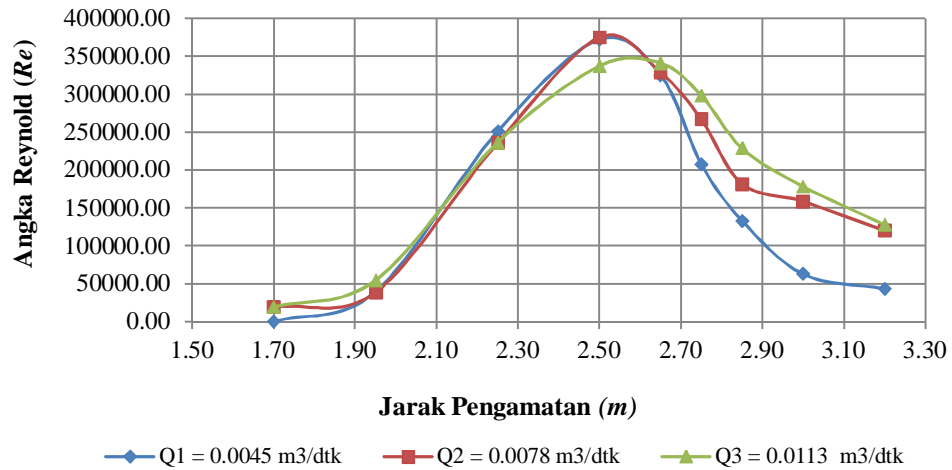
Perhitungan untuk *Angka Reynold* pada kecepatan 0,20 m/dtk dan jari-jari hidrolis 0,167 m dengan debit 0,0045m³/dtk sebagaiberikut :

$$\begin{aligned} Re &= \frac{\tilde{v}R}{\mu} \\ &= \frac{0,20 \cdot 0,167}{0,000850} \\ &= 39215,69 \end{aligned}$$

Untuk perhitungan selanjutnya dengan menggunakan cara yang sama, hasil perhitungannya dapat di lihat pada tabel 12 sampai tabel 18.

Tabel 12. Hasil Perhitungan *Angka Reynol*

Jarak pengamatan (m)	MPE-1					
	Q ₁ = 0.0045 m ³ /dtk		Q ₂ = 0.0078 m ³ /dtk		Q ₃ = 0.0113 m ³ /dtk	
	V (m/det)	Re	V (m/det)	Re	V (m/det)	Re
1.70	0.00	0.00	0.10	19334.88	0.10	19379.84
1.95	0.20	39215.69	0.20	38669.76	0.28	54263.57
2.25	1.28	250980.39	1.22	235885.54	1.22	236434.11
2.50	1.90	372549.02	1.94	375096.67	1.74	337209.30
2.65	1.66	325490.20	1.70	328692.96	1.76	341085.27
2.75	0.84	207843.14	1.38	266821.35	1.54	298449.61
2.85	0.68	133333.33	0.94	181747.87	1.18	228682.17
3.00	0.32	62745.10	0.82	158546.02	0.92	178294.57
3.20	0.22	43137.25	0.62	119876.26	0.66	127906.98

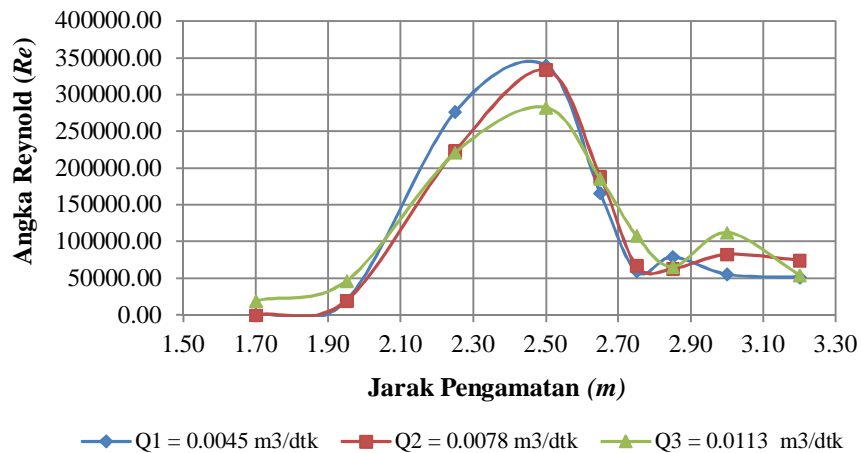


Gambar 30. Hubungan antara jarak pengamatan dan *Angka Reynold* MPE-1

Dari hasil pengamatan jika kecepatan aliran semakin besar dan panjang karakteristik aliran juga bertambah besar maka angka *Reynold* akan semakin besar, hasil analisis untuk angka *Reynold* yang paling besar yaitu 375096,67 terdapat pada pengamatan 4 sehingga aliran yang terjadi pada pengamatan untuk MPE-1 adalah aliran turbulen (aliran tidak seragam).

Tabel 13. Hasil Perhitungan Angka *Reynold*

Jarak pengamatan (m)	MPE-2					
	Q ₁ = 0.0045 m ³ /dtk		Q ₂ = 0.0078 m ³ /dtk		Q ₃ = 0.0113 m ³ /dtk	
	V (m/det)	Re	V (m/det)	Re	V (m/det)	Re
1.70	0.00	0.00	0.00	0.00	0.10	19334.88
1.95	0.10	19747.24	0.10	19607.84	0.24	46403.71
2.25	1.40	276461.30	1.14	223529.41	1.14	220417.63
2.50	1.72	339652.45	1.70	333333.33	1.46	282289.25
2.65	0.84	165876.78	0.96	188235.29	0.96	185614.85
2.75	0.30	59241.71	0.34	66666.67	0.56	108275.33
2.85	0.40	78988.94	0.32	62745.10	0.34	65738.59
3.00	0.28	55292.26	0.42	82352.94	0.58	112142.30
3.20	0.26	51342.81	0.38	74509.80	0.28	54137.66



Gambar 31. Hubungan antara Jarak pengamatan dan Angka *Reynold* MPE-2

Dari hasil pengamatan jika kecepatan aliran semakin besar dan panjang karakteristik aliran juga bertambah besar maka angka *Reynold* akan semakin besar, hasil analisis untuk angka *Reynold* yang paling besar yaitu 339652,45 terdapat pada pengamatan 4 sehingga aliran yang terjadi pada pengamatan untuk MPE-2 adalah aliran turbulen (aliran tidak seragam).

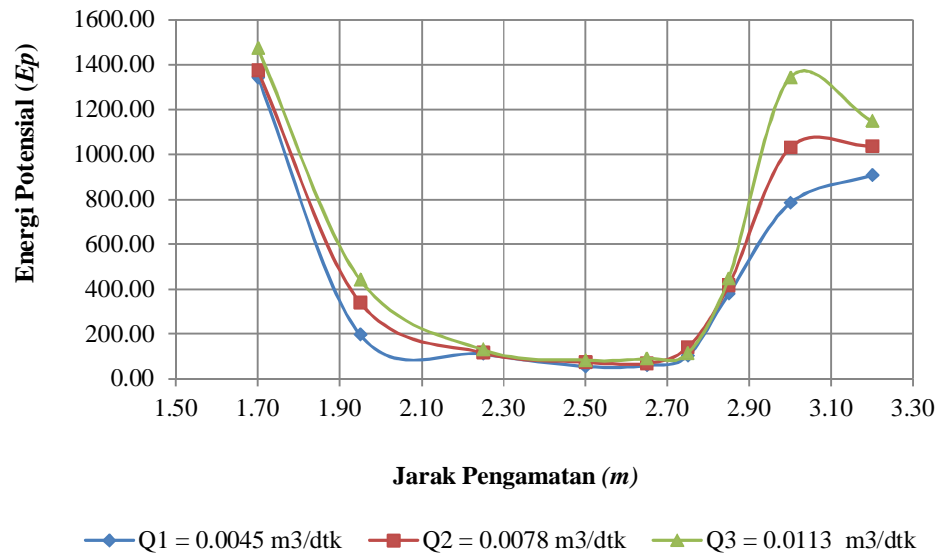
B. Prilaku Energi Kolam Olakan

1) Energi Potensial(E_p)

Energi potensial (*pada air jatuh*) adalah energi yang mempengaruhi benda karena posisi (ketinggian) benda tersebut yang mana kecenderungan tersebut menuju tak lain terkait dengan arah dari gaya yang ditimbulkan dari energi potensial tersebut. Besarnya tenaga air yang tersedia dari suatu sumber air bergantung pada tinggi air diatas tanah dan besarnya debit air, energi potensial ada karena adanya gaya gravitasi bumi. Hasil perhitungan *Energi Potensial* pada beberapa variasi debit dan variasi model peredam energi yang digunakan dalam penelitian dapat dilihat pada tabel berikut :

Tabel 19. Hasil Perhitungan *Energi Potensial*

Jarak pengamatan (m)	MPE-1					
	$Q_1 = 0.0045 \text{ m}^3/\text{dtk}$		$Q_2 = 0.0078 \text{ m}^3/\text{dtk}$		$Q_3 = 0.0113 \text{ m}^3/\text{dtk}$	
	h m	Ep J	h m	Ep J	h m	Ep J
1.70	0.137	1342.008	0.140	1373.400	0.150	1473.462
1.95	0.020	196.200	0.035	339.426	0.045	441.450
2.25	0.011	109.872	0.012	115.758	0.013	129.492
2.50	0.006	54.936	0.008	74.556	0.008	82.404
2.65	0.006	58.860	0.007	68.670	0.009	90.252
2.75	0.010	102.024	0.014	141.264	0.012	113.796
2.85	0.039	378.666	0.042	415.944	0.046	447.336
3.00	0.080	782.838	0.105	1030.050	0.137	1342.008
3.20	0.093	908.406	0.106	1035.936	0.117	1147.770



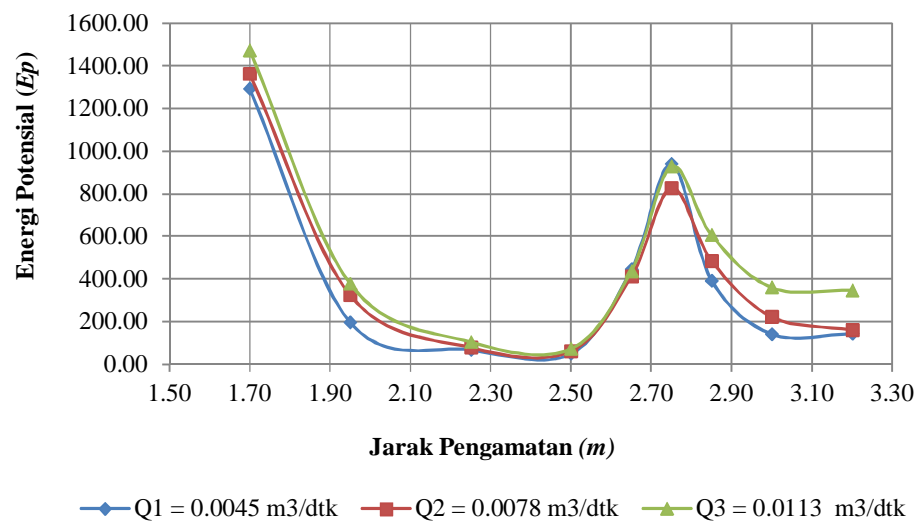
Gambar 32..Hubungan antara Jarak pengamatan dan *Energi Potensial* untuk MPE-1

Dari hasil pengamatan *Energi potensial* pada MPE-1 menunjukkan bahwa semakin tinggi muka air maka *energy potensial* akan semakin besar.

Energi potensial yang paling besaryaitu 1473,462 terdapat pada Q_3 dengan tinggi muka air 0,150 m terdapat pada jarak pengamatan 1.

Tabel 20. Hasil Perhitungan *Energi Potensial*

Jarak pengamatan	MPE-2					
	$Q_1 = 0.0045 \text{ m}^3/\text{dtk}$		$Q_2 = 0.0078 \text{ m}^3/\text{dtk}$		$Q_3 = 0.0113 \text{ m}^3/\text{dtk}$	
(m)	h m	Ep J	h m	Ep J	h m	Ep J
1.70	0.132	1290.996	0.139	1361.628	0.150	1471.500
1.95	0.020	196.200	0.033	323.730	0.038	376.704
2.25	0.007	66.708	0.008	78.480	0.011	103.986
2.50	0.005	49.050	0.006	60.822	0.007	72.594
2.65	0.045	445.374	0.042	412.020	0.045	437.526
2.75	0.096	937.836	0.084	826.002	0.095	928.026
2.85	0.040	392.400	0.049	484.614	0.062	604.296
3.00	0.014	141.264	0.023	221.706	0.037	359.046
3.20	0.015	143.226	0.016	160.884	0.035	347.274



Gambar 33. Hubungan antara Jarak pengamatan dan *Energi Potensial* untuk MPE-2

Dari hasil pengamatan *Energi potensial* pada MPE-2 menunjukkan bahwa semakin tinggi muka air maka *energy ipotensial* akan semakin besar.

Energi potensial yang paling besaryaitu 1471,500 terdapat pada Q_3 dengan tinggi muka air 0,150 m terdapat pada jarak pengamatan 1.

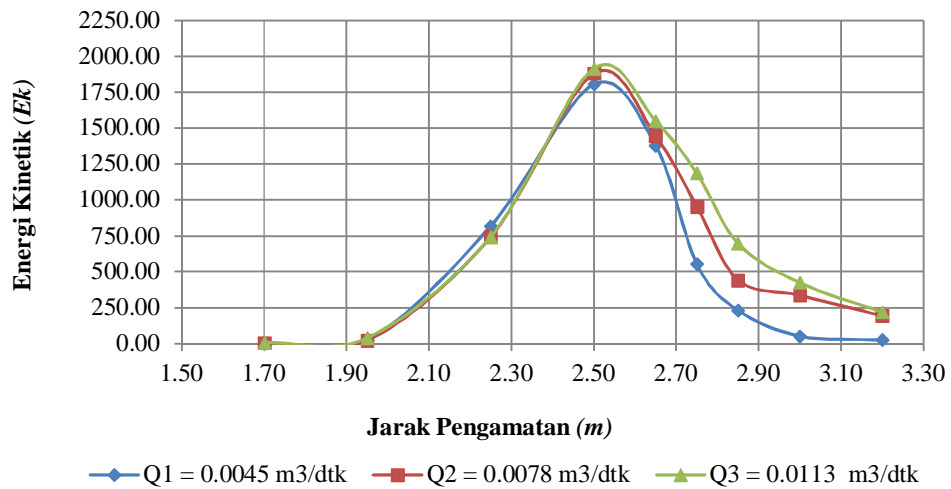
2) Energi Kinetik (Ek)

Energi kinetik(*pada air mengalir*) adalah energi yang dimiliki oleh sebuah benda karena gerakannya. Energi kinetik dipengaruhi oleh massa benda dan kecepatan.

Hasil perhitungan *Energi Potensial* pada beberapa variasi debit dan variasi model peredam energi yang digunakan dalam penelitian dapat dilihat pada tabel berikut :

Tabel 23. Hasil Perhitungan *Energi Kinetik (Ek)*

Jarak pengamatan	MPE-1					
	$Q_1 = 0.0045 \text{ m}^3/\text{dtk}$		$Q_2 = 0.0078 \text{ m}^3/\text{dtk}$		$Q_3 = 0.0113\text{m}^3/\text{dtk}$	
(m)	V (m/det)	Ek J	V (m/det)	Ek J	V (m/det)	Ek J
1.70	0.000	0.000	0.100	5.000	0.100	5.000
1.95	0.200	20.000	0.200	20.000	0.280	39.200
2.25	1.280	819.200	1.220	744.200	1.220	744.200
2.50	1.900	1805.000	1.940	1881.800	1.740	1913.800
2.65	1.660	1377.800	1.700	1445.000	1.760	1548.800
2.75	0.840	552.800	1.380	952.200	1.540	1185.800
2.85	0.680	231.200	0.940	441.800	1.180	696.200
3.00	0.320	51.200	0.820	336.200	0.920	423.200
3.20	0.220	24.200	0.620	192.200	0.660	217.800

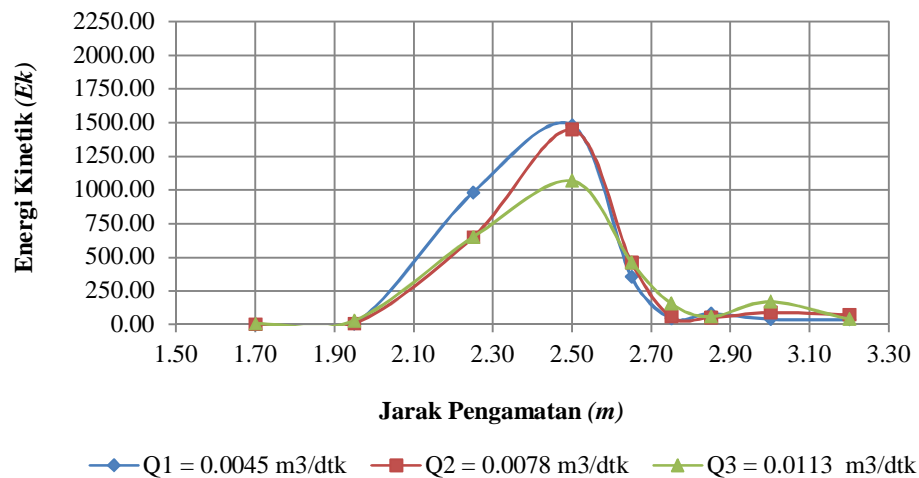


Gambar 34. Hubungan antara Jarak pengamatan dan *Energi Kinetik* untuk MPE-1

Dari hasil pengamatan *Energi kinetik* (E_k) pada MPE-1 menunjukkan bahwa semakin tinggi kecepatan aliran maka *energy kinetik* (E_k) akan semakin besar. *Energi kinetik* yang paling besar yaitu 1913,800 terdapat pada Q_3 dengan kecepatan aliran 1,74 m/dtk terdapat pada jarak pengamatan 4.

Tabel 24. Hasil Perhitungan *Energi Kinetik (Ek)*

Jarak pengamatan (m)	MPE-2					
	$Q_1 = 0.0045 \text{ m}^3/\text{dtk}$		$Q_2 = 0.0078 \text{ m}^3/\text{dtk}$		$Q_3 = 0.0113 \text{ m}^3/\text{dtk}$	
	V (m/det)	Ek (J)	V (m/det)	Ek (J)	V (m/det)	Ek (J)
1.70	0.000	0.000	0.000	0.000	0.100	5.000
1.95	0.100	5.000	0.100	5.000	0.240	28.800
2.25	1.400	980.000	1.140	649.800	1.140	649.800
2.50	1.720	1479.200	1.700	1445.000	1.460	1065.800
2.65	0.840	352.800	0.960	460.800	0.960	460.800
2.75	0.300	45.000	0.340	57.800	0.560	156.800
2.85	0.400	80.000	0.320	51.200	0.340	57.800
3.00	0.280	39.200	0.420	88.200	0.580	168.200
3.20	0.260	33.800	0.380	72.200	0.280	39.200



Gambar 35. Hubungan antara Jarak pengamatan dan *Energi Kinetik* untuk MPE-2

Dari hasil pengamatan *Energi kinetik (Ek)* pada MPE-2 menunjukkan bahwa semakin kecepatan aliran maka *energi kinetik (Ek)* akan semakin besar. *Energi kinetik* yang paling besar yaitu 1479,200 terdapat pada Q_1 dengan kecepatan aliran 1,72 m/dtk terdapat pada jarak pengamatan 4.

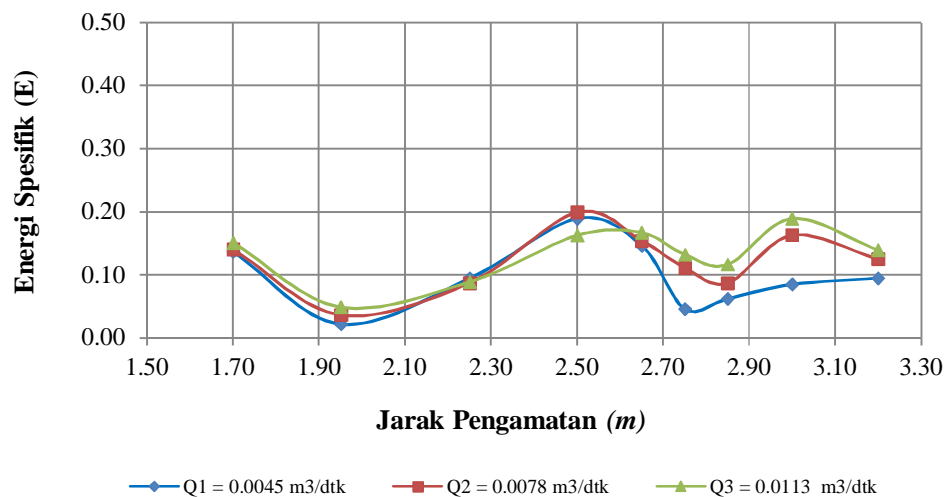
3) *Energi Spesifik (E)*

Energi spesifik adalah energi relatif terhadap dasar saluran. Energi Spesifik dipengaruhi oleh kedalaman aliran, kecepatan dan gaya gravitasi.

Hasil perhitungan *Energi Spesifik (E)* pada beberapa variasi debit dan variasi model peredam energi yang digunakan dalam penelitian dapat dilihat pada tabel berikut

Tabel 27. Hasil Perhitungan *Energi Spesifik (E)*

Jarak pengamatan (m)	MPE-1								
	Q ₁ = 0.0045 m ³ /dtk			Q ₂ = 0.0078 m ³ /dtk			Q ₃ = 0.0113 m ³ /dtk		
	V (m/det)	h (m)	E	V (m/det)	h (m)	E	V (m/det)	h (m)	E
1.70	0.00	0.137	0.137	0.10	0.14	0.141	0.10	0.15	0.151
1.95	0.20	0.020	0.022	0.20	0.03	0.037	0.28	0.05	0.049
2.25	1.28	0.011	0.095	1.22	0.01	0.088	1.22	0.01	0.089
2.50	1.90	0.006	0.190	1.94	0.01	0.199	1.74	0.01	0.163
2.65	1.66	0.006	0.146	1.70	0.01	0.154	1.76	0.01	0.167
2.75	0.84	0.010	0.046	1.38	0.01	0.111	1.54	0.01	0.132
2.85	0.68	0.039	0.062	0.94	0.04	0.087	1.18	0.05	0.117
3.00	0.32	0.080	0.085	0.76	0.13	0.163	0.86	0.15	0.189
3.20	0.22	0.093	0.095	0.62	0.11	0.125	0.66	0.12	0.139

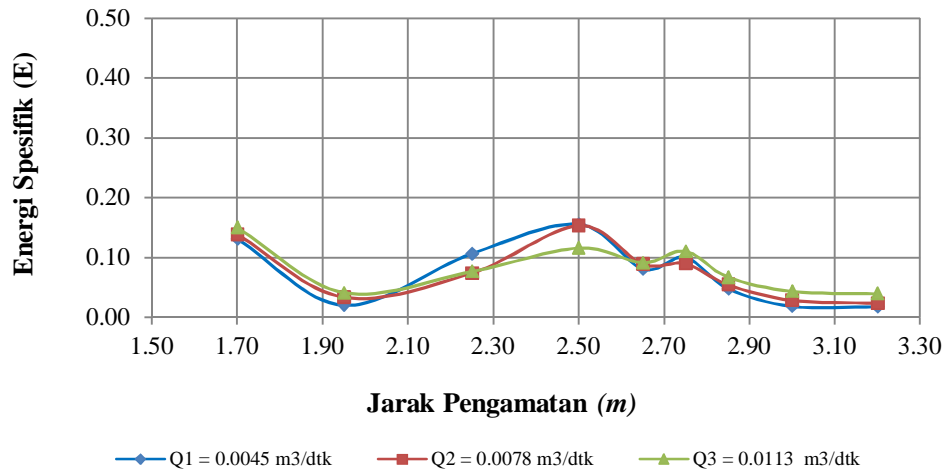


Gambar 36. Hubungan antara Jarak pengamatan dan *Energi Spesifik* untuk MPE-1

Dari hasil analisis apabila semakin tinggi muka air dan semakin besar pula kecepatan aliran maka energy spesifiknya akan semakin besar. Energi spesifik yang paling besar yaitu 0,199 terdapat pada Q_2 dengan tinggi muka air 0,10 m dan kecepatan 1,94 m/det, Dari hasil pengamatan Q_2 dapat disimpulkan bahwa tinggi muka air bukanlah factor utama penentu besarnya energy spesifik.

Tabel 28. Hasil Perhitungan *Energi Spesifik (E)*

Jarak pengamatan (m)	MPE-2								
	$Q_1 = 0.0045 \text{ m}^3/\text{dtk}$			$Q_2 = 0.0078 \text{ m}^3/\text{dtk}$			$Q_3 = 0.0113 \text{ m}^3/\text{dtk}$		
	V (m/det)	h (m)	E	V (m/det)	h (m)	E	V (m/det)	h (m)	E
1.70	0.00	0.132	0.132	0.00	0.14	0.139	0.10	0.15	0.151
1.95	0.10	0.020	0.021	0.10	0.03	0.034	0.24	0.04	0.041
2.25	1.40	0.007	0.107	1.14	0.01	0.074	1.14	0.01	0.077
2.50	1.72	0.005	0.156	1.70	0.01	0.153	1.46	0.01	0.116
2.65	0.84	0.045	0.081	0.96	0.04	0.089	0.96	0.04	0.092
2.75	0.30	0.096	0.100	0.34	0.08	0.090	0.56	0.09	0.111
2.85	0.40	0.040	0.048	0.32	0.05	0.055	0.34	0.06	0.067
3.00	0.28	0.014	0.018	0.40	0.02	0.029	0.44	0.03	0.044
3.20	0.26	0.015	0.018	0.38	0.02	0.024	0.28	0.04	0.039



Gambar 37. Hubungan antara Jarak pengamatan dan *Energi Spesifik (E)* untuk MPE-2

Dari hasil analisis apabila semakin tinggi muka air dan semakin besar pula kecepatan aliran maka energy spesifiknya akan semakin besar. Energi spesifik yang paling besar yaitu 0,153 terdapat pada Q_2 dengan tinggi muka air 0,10 m dan kecepatan 1,70 m/det, Dari hasil pengamatan Q_2 dapat disimpulkan bahwa tinggi muka air bukanlah factor utama penentu besarnya energi spesifik.

C. Karakteristik Loncatan Hidrolik Kolam Olakan

1. Panjang Loncatan (L_r)

Perhitungan panjang loncatan untuk tinggi aliran sebelum loncatan (y_1) 0,006 m dan tinggi aliran setelah loncatan (y_2) 0,093 m dengan debit 0,0045 m³/dtk sebagai berikut :

$$L_r = 5 - 7 (y_2 - y_1)$$

$$Lr_{min} = 5 \cdot (0,006 - 0,093)$$

$$= 0,435 \text{ m}$$

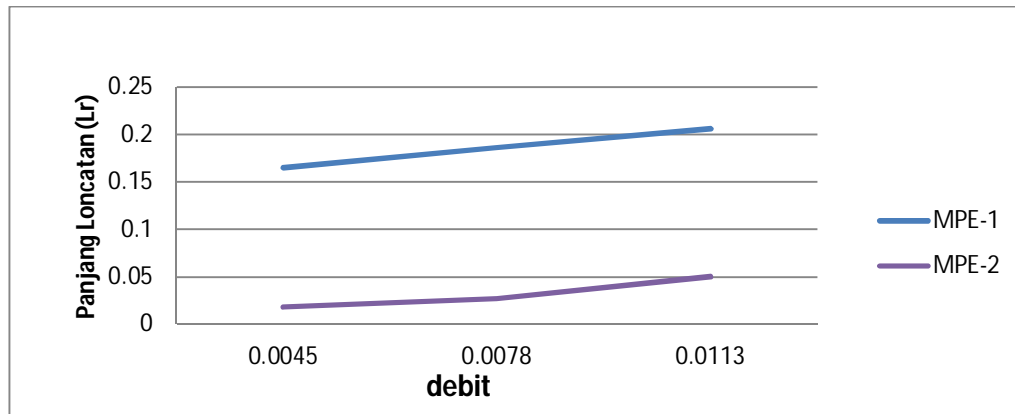
$$Lr_{max} = 7 \cdot (0,045 - 0,040)$$

$$= 0,600 \text{ m}$$

Untuk perhitungan selanjutnya dengan menggunakan cara yang sama pada beberapa variasi debit dan variasi model peredam energi yang digunakan dalam penelitian, hasil perhitungannya dapat dilihat pada table 31.

Tabel 31. Hasil perhitungan panjang loncatan (Lr)

Variasi Peredam	Debit m^3/dtk	y_1 (m)	y_2 (m)	Lr		Lr (m)
				min	max	
MPE-1	Q_1 0.0045	0.006	0.093	0.435	0.600	0.165
	Q_2 0.0078	0.008	0.106	0.490	0.676	0.186
	Q_3 0.0113	0.008	0.117	0.543	0.749	0.206
MPE-2	Q_1 0.0045	0.005	0.014	0.047	0.065	0.018
	Q_2 0.0078	0.006	0.020	0.071	0.098	0.027
	Q_3 0.0113	0.007	0.034	0.132	0.182	0.050



Gambar 37. Hubungan variasi debit terhadap panjangloncatan (L_r)

Dari grafik di atas terlihat bahwa panjang loncatan pada model percobaan 1 (*MPE-1*) yaitu model yang tidak dilengkapi *baffle block* dengan debit 0,0045 m³/dtk, panjang loncatan yang terjadi 0,165 m; sedangkan pada model yang dilengkapi *baffle block* (*MPE-2*) dengan debit 0,0045 m³/dtk, panjang loncatan yang terjadi 0,018 m, dapat mereduksi loncatan 0,147 m; pada model percobaan 3 (*MPE-3*) dengan debit 0,0045 m³/dtk, panjang loncatan yang terjadi yaitu 0,033 m dapat mereduksi loncatan 0,132 m; pada model percobaan 4 (*MPE-4*) dengan debit 0,0045 m³/dtk, panjang loncatan yang terjadi 0,040 m dapat mereduksi loncatan 0,125 m.

Dari hasil perhitungan tinggi loncatan hidrolis dengan debit yang sama, dapat disimpulkan bahwa model paling efektif terdapat pada model peredamenergi 2 (*MPE-2*) karena dapat mereduksi loncatan dengan maksimal yaitu 0,147 m.

2. Tinggi Loncatan (h_j)

Perhitungan tinggi loncatan dengan tinggi aliran sebelum loncatan (y_1) 0,006 m dan tinggi aliran setelah loncatan (y_2) 0,093 m dengan debit 0,0045 m³/dtk sebagai berikut :

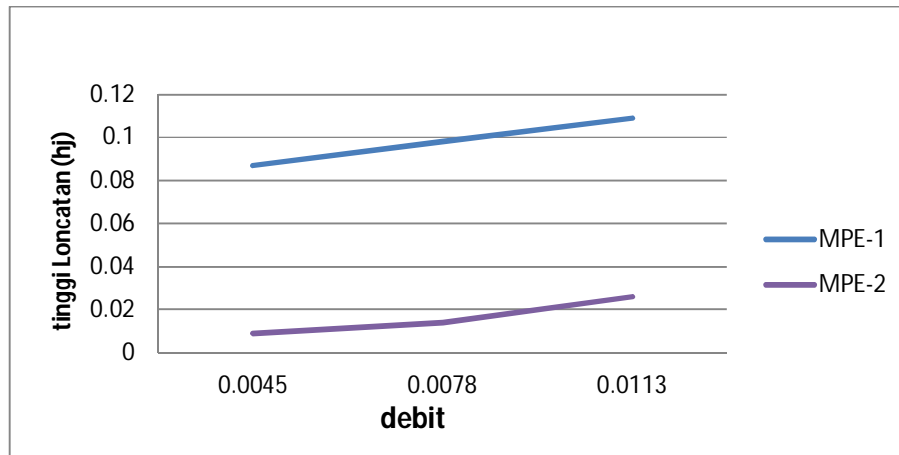
$$h_j = y_2 - y_1$$

$$\begin{aligned} h_j &= 0,093 - 0,006 \\ &= 0,087\text{m.} \end{aligned}$$

Hasil perhitungan tinggi loncatan (h_j) pada beberapa variasi debit dan variasi model peredam energi yang digunakan dalam penelitian dapat dilihat pada tabel berikut :

Tabel 32. Hasil perhitungan tinggi loncatan (h_j)

Variasi Peredam	Debit m ³ /dtk	y_1 (m)	y_2 (m)	j (m)
MPE-1	Q_1 0.0045	0.006	0.093	0.087
	Q_2 0.0078	0.008	0.106	0.098
	Q_3 0.0113	0.008	0.117	0.109
MPE-2	Q_1 0.0045	0.005	0.014	0.009
	Q_2 0.0078	0.006	0.020	0.014
	Q_3 0.0113	0.007	0.034	0.026



Gambar 38. Hubungan variasi debit terhadap tinggi loncatan (h_j)

Dari grafik di atas terlihat bahwa tinggi loncatan pada model percobaan 1 (*MPE-1*) yaitu model yang tidak dilengkapi *baffle block* dengan debit 0,0045 m³/dtk, tinggi loncatan yang terjadi 0,087 m; sedangkan pada model yang dilengkapi *baffle block* (*MPE-2*) dengan debit 0,0045 m³/dtk, tinggi loncatan yang terjadi 0,009 m, dapat mereduksi loncatan 0,078 m; pada model percobaan 3 (*MPE-3*) dengan debit 0,0045 m³/dtk, tinggi loncatan yang terjadi yaitu 0,017 m dapat mereduksi loncatan 0,070 m; pada model percobaan 4 (*MPE-4*) dengan debit 0,0045 m³/dtk, tinggi loncatan yang terjadi 0,021 m dapat mereduksi loncatan 0,066 m.

Dari hasil perhitungan tinggi loncatan hidrolis dengan debit yang sama, dapat disimpulkan bahwa model paling efektif terdapat pada model peredamenergi 2 (*MPE-2*) karena dapat mereduksi loncatan dengan maksimal yaitu 0,078 m.

BAB V

PENUTUP

A. Kesimpulan

Dari penelitian pengaruh model peredam energi terhadap loncatan hidrolik pada kolam olakan, yang di lakukan di Laboratorium Fakultas Teknik Jurusan Teknik Sipil Universitas Muhammadiyah Makassar, dapat disimpulkan sebagai berikut :

- 1) Berdasarkan hasil pengamatan dari beberapa variasi model peredam energi (*MPE*) terlihat bahwa loncatan hidrolik pada model percobaan 1 (*MPE-1*) yaitu model yang tidak dilengkapi *baffle block* yang secara alaminya, loncatan hidrolik yang terjadi sangat besar yaitu 0,109 m. Sedangkan pada model yang dilengkapi *baffle block*, loncatan hidrolik yang terjadi relatif kecil yaitu 0,021 m. hal ini menunjukkan bahwa dengan adanya tambahan peredam energi (*baffle block*) di kolam olakan dapat mereduksi loncatan hidrolik yang terjadi yaitu 80,7 %. Namun diantara model tersebut, model peredam energi yang paling efektif terdapat pada model peredam 2 (*MPE-2*) karena model tersebut dapat meredam loncatan hidrolik dengan maksimal.
- 2) Berdasarkan hasil pengamatan sifat aliran yang terjadi pada setiap model peredam energi (*MPE*) adalah aliran superkritis menjadi subkritis, yang terdapat pada pengamatan 4 dan 5. Hasil pengamatan

karakteristik aliran yang terjadi adalah aliran turbulen (aliran tidak seragam).

B. Saran

Dari pengamatan di dalam penelitian ini penulis memberikan saran-saran untuk penelitian lebih lanjut, yaitu :

- 1) Untuk penelitian lebih lanjut dapat dilakukan dengan menambahkan penelitian mengenai gerusan di hilir kolam olakan.
- 2) Untuk penelitian lebih lanjut disarankan menggunakan beberapa variasi model *baffle block*, penempatan dan jarak, sebagai perbandingan.
- 3) Untuk penelitian selanjutnya dapat juga dilakukan dengan variasi kemiringan tubuh hilir bendung serta variasi ketinggian bendung lebih beragam.
- 4) Diperlukan peningkatan kapasitas debit pompa, agar variasi debit yang digunakan lebih beragam dan jarak interval debit bisa lebih besar.
- 5) Dalam pengambilan data harus dilakukan dengan teliti dan cermat.

DAFTAR PUSTAKA

- Admaja, I.T. (2003). “Efektifitas Ukuran Baffle Balok halang pada kolam olakan USBR IV,” Skripsi (Tidak diterbitkan) Universitas Sebelas Maret (UNS), Surakarta.
- Agnes, 1999, “Pengaruh Tataletak Baffle Block Pada Kolam Olakan USBR Tipe IV Lantai Miring, “Skripsi (Tidak Diterbitkan) Universitas Sebelas Maret (UNS), Surakarta.
- Ari Praja, T. (2009). “Kajian Peredam Energi Pada Kolam Olak Tipe USBR Type Solid Roller Bucket dengan Baffle Blocks Bentuk kotak.” Skripsi, Jurusan Teknik Sipil Universitas Muhammadiyah Surakarta.
- Asdak, Chay, 2002, *Hidrologi Dan Pengelolaan Daerah Aliran Sungai*, Gajah Mada University Press, Yogyakarta.
- Budinetto Hermono S. (2010) *Bagunan Pelimpah Dengan Kolam Olak Tipe Solid Roller Bucket dan Baffle Block di Embung Wonosari*, Jurnal Teknik Sipil Universitas Muhammadiyah Surakarta.
- Chanson, H., (2016), *Self-Aeration On Chute Spilways – School Of Civil Engineering*. ([Staff.civil.uq.edu.au/h.chanson/civ410.html](http://staff.civil.uq.edu.au/h.chanson/civ410.html)).
- Chow, V.T. (1992). *Hidrolika Saluran Terbuka*, Penerbit Erlangga, Jakarta.
- Chow, V.T., 1989, (ed. Suyatman, dkk.) , *Hidrolika Saluran Terbuka*, Pen. Erlangga, Jakarta.
- Frank M. White, 1986. *Mekanika Fluida Jilid I*. Penerbit Erlangga. Jakarta.
- Gambar Kolam Olak tipe Vlugther. <http://academia.edu.com>. (diunduh pada tanggal 11 September 2016, 11:27).
- Gambar Aliran pada Saluran Terbuka. <http://pt.slideshare.net/01-hidrolika>. (diunduh pada tanggal 02 November 2016, 23:19).
- [Http://Arandityonarutomo.blogspot.co.id/2012/04/aliran-laminar-turbulen.html](http://Arandityonarutomo.blogspot.co.id/2012/04/aliran-laminar-turbulen.html).

- Irawan, Jati, 2011, Pengaruh Variasi Kemiringan pada Tubuh Hulu Bendung dan Penggunaan Kolam Olak Tipe Solid Roller Bucket terhadap Loncat Air dan Gerusan Setempat, Skripsi (tidak diterbitkan), Universitas Sebelas Maret, Surakarta.
- Jaji, Abdurrosyid . 2005, *Gerusan di Hilir Kolam Olak Bendung*, Jurnal Dinamika Teknik (Abdurrosyid, 2005) Sipil, Volume 5, Nomor 2, Hal 73-79, Jurusan Teknik Sipil, Universitas Muhammadiyah Surakarta, Surakarta.
- Kim, Y. and Kim, W. J. . “Roles of Water Hyacinth and their Roots for Reducing Algal Concentration in the Effluent from Waste Stabilization Ponds”, Water Research, vol. 34, no.13, pp. 3285-3294.
- Luknanto, D., 2003, *Sumber Daya Air*, Departemen Teknik Sipil dan Lingkungan, Fakultas Teknik, Universitas Gadjah Mada, Yogyakarta.
- Maraden, Sutyas Aji. 2008. Loncatan Air Pada Saluran Miring Terbuka Dengan Variasi Panjang Kolam Olakan.
- Mays, L.W. (1999). *Hydraulic Design Handbook*, McGraw-Hill, New York, USA.
- Mawardi, E. dan Mamed, M. (2002). *Desain Hidraulik Bendung Tetap Untuk Irigasi Teknis*, Alfabeta, Bandung.
- Mulyana, 2007. Pemodelan Debit Air Sungai. Makalah Inisiatif Pengembangan Infrastruktur Data. Institut Pertanian Bogor. Bogor.
- Muttamara, S. and Puetpaiboon, U.“Roles of Baffles in Waste Stabilisation Ponds”, Water Science & Technology, vol. 35, no.8, pp.275-284.
- Pearson et.al, 1995; Pedahzur et.al, 1993; Vega et.al, 2001; Xianghua and Desain Bangunan Penangkap Sedimen dengan Teknologi Baffle (Sekat).
- Pembra Juned Adipura, 2013, *Pengaruh Variasi Kemiringan Tubuh Bendung dan Penempatan Baffle Blocks Pada Kolam Olak Tipe Solid Roller Bucket Terhadap Loncatan Hidrolis dan Peredam Energi*, Jurnal Teknik Sipil Universitas Muhammadiyah Surakarta.

- Peterka, A.J. (1974). *Hidrolics Design Of Stilling Basin And Energy Dissipaters*. United States Departement Of Interior, Bureau Of Reclamation. Denfer, Colorado.
- Puslitbang SDA. (2008). *Pengkajian Hidraulik Bangunan Bendung Mariyat Tipe Berganda Dengan Uji Model Fisik. Laporan Teknis*. Tidak Diterbitkan, Jakarta.
- Raju, Ranga K.J. (1986). *Aliran Melalui Saluran Terbuka*. Penerbit Erlangga, Jakarta.
- Sasongko, 2010, *Unjuk Kerja Baffle Blocks Bentuk Cekung Dan Segitiga Untuk Memperbesar Kehilangan Energi Kinetik Serta Meredam Panjang Loncatan Air Pada Kolam Olakan Tipe Solid Roller Bucket*, Skripsi (tidak diterbitkan), Universitas Sebelas Maret, Surakarta.
- Simons, D. B., and Senturk, F., 1992. *Sediment Transport Technology-Water and Sediment Dynamics*. Water Resources Publications, Littleton, CO
- Sosrodarsono, S., 1997 *Bendung Tipe Urugan*, Dirjen pengairan Departemen Pekerjaan Umum dan Tenaga Listrik, PT Pradaya Paramita, Jakarta.
- Triatmodjo, Bambang. 2008. *Hidrolika II*. Beta Offset. Yogyakarta.
- USBR. (1984). *Design Of Small Dams*. USBR, Oxford and IBH Publishing CO, New Delhi. Bombay-Calcuta.

LAMPIRAN



Pengukuran kecepatan dan tinggi muka air



Pembuatan model penelitian

TABEL DATA PENGAMATAN PENELITIAN LABORATORIUM

JUDUL SKRIPSI : PENGARUH PEMECAH ENERGI AKIBAT KECEPATAN TERHADP
 : STABILITAS KOLAM OLAKAN (Uji Model Laboratorium)
 PENELITI : HASRIANDI DAN ARIFIN
 LOKASI PENELITIAN : LABORATORIUM SUNGAI TEKNIK SIPIL
 UNIVERSITAS MUHAMMADIYAH MAKASAR
 Hari/Tgl Pengambilan Data : Sabtu / 10 September 2017
 Pengamatan : Kecepatan Aliran dan Tinggi Muka Air

Lampiran 1. Tabel Data Pengukuran Kecepatan Aliran dan Tinggi Muka Air

No	Variasi Model	Tinggi Pintu Thomson	Jarak Pengamatan (m)	Kecepatan (V)			Rata-rata	Tinggi Muka Air (h)			Rata-rata
				(m/dek)				(cm)			
				kiri	tengah	kanan		kiri	tengah	kanan	
1.0	Model I	1.0	Hulu	0.1	0.1	0.1	0.10	14.5	14.4	14.4	14.43
2.0			Mercu	0.1	0.2	0.2	0.17	0.6	0.7	0.6	0.63
3.0			Peredam	0.2	0.3	0.2	0.23	0.4	0.5	0.5	0.47
4.0			Hilir	0.2	0.3	0.2	0.23	1.0	1.2	1.0	1.07
5.0		2.0	Hulu	0.1	0.1	0.0	0.07	15.0	15.6	15.4	15.33
6.0			Mercu	0.2	0.2	0.1	0.17	1.0	1.0	1.0	1.00
7.0			Peredam	0.2	0.2	0.2	0.20	0.7	0.7	0.8	0.73
8.0			Hilir	0.2	0.1	0.1	0.13	1.2	1.4	1.4	1.33
9.0		3.0	Hulu	0.0	0.1	0.0	0.03	16.5	16.5	16.2	16.40
10.0			Mercu	0.1	0.2	0.1	0.13	1.5	1.4	1.4	1.43
11.0			Peredam	0.1	0.2	0.1	0.13	1.0	1.0	1.1	1.03
12.0			Hilir	0.1	0.1	0.1	0.10	2.2	2.4	2.4	2.40

TABEL DATA PENGAMATAN PENELITIAN LABORATORIUM

JUDUL SKRIPSI : PENGARUH PEMECAH ENERGI AKIBAT KECEPATAN TERHADP
 : STABILITAS KOLAM OLAKAN (Uji Model Laboratorium)
 PENELITI : HASRIANDI DAN ARIFIN
 LOKASI PENELITIAN : LABORATORIUM SUNGAI TEKNIK SIPIL
 UNIVERSITAS MUHAMMADIYAH MAKASAR
 Hari/Tgl Pengambilan Data : Sabtu / 10 September 2017
 Pengamatan : Kecepatan Aliran dan Tinggi Muka Air

Lampiran 2. Tabel Data Pengukuran Kecepatan Aliran dan Tinggi Muka Air

No	Variasi Model	Tinggi Pintu Thomson	Jarak Pengamatan (m)	Kecepatan (V)			Rata-rata	Tinggi Muka Air (h)			Rata-rata
				(m/dek)				(cm)			
				kiri	tengah	kanan		kiri	tengah	kanan	
1.0	Model II	1.0	Hulu	0.0	0.1	0.1	0.07	14.5	14.4	14.4	14.43
2.0			Mercu	0.1	0.2	0.2	0.17	0.6	0.7	0.6	0.63
3.0			Peredam	0.1	0.2	0.1	0.13	0.5	0.5	0.5	0.50
4.0			Hilir	0.1	0.1	0.1	0.10	1.6	1.5	1.4	1.50
5.0		2.0	Hulu	0.0	0.1	0.0	0.03	15.0	15.6	15.4	15.33
6.0			Mercu	0.1	0.2	0.1	0.13	0.9	1.0	1.0	0.97
7.0			Peredam	0.1	0.1	0.1	0.10	0.8	0.8	0.8	0.80
8.0			Hilir	0.1	0.1	0.0	0.07	2.0	2.0	2.2	2.07
9.0		3.0	Hulu	0.0	0.0	0.0	0.00	16.5	16.2	16.2	16.30
10.0			Mercu	0.1	0.1	0.1	0.10	1.2	1.4	1.4	1.33
11.0			Peredam	0.0	0.1	0.1	0.07	1.1	1.0	1.1	1.07
12.0			Hilir	0.0	0.0	0.0	0.00	2.5	2.8	2.6	2.63

		TABEL TOFOGRAFI bukaan = 1 cm, t = 10 menit, tanpa model																	
greed vert	greed horizontal 6	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18
	el.sebelum	23.1	23.1	23	23.5	23.3	23.8	23.1	23	23.4	23	23.3	23.3	22.8	22.9	22	22.1	22.2	22.4
	el.setelah	30.2	31.2	30.8	28	25.5	27	25.5	25.6	25.4	25.4	25.2	24.2	24.9	24.9	25.1	25	24.5	24.8
	1	-9.1	-8.1	-7.8	-4.5	-2.2	-1.7	-2.4	-2.1	-2	-2.1	-1.8	-1.4	-2.1	-3.1	-3.1	-2.9	-2.4	
	2	24	24.5	24.9	24	24.2	25.1	24.3	24.2	24.6	23.8	24.1	24.1	23.5	23.6	23.3	23	23	23.3
	3	32.5	32.6	32.2	29.9	26.6	25.8	24.8	24.8	24.9	24.6	24.5	24.5	24.1	24.1	24	24	24	24.5
	4	-7.6	-8.3	-7.3	-4.9	-2.4	-1.7	-2.4	-2.1	-2	-2.1	-1.8	-1.4	-2.1	-3.1	-3.1	-2.9	-2.4	
	5	23.9	24.5	24.6	24.5	24.5	25.1	24.3	24.5	24.7	24.5	24.3	24.5	24	24.6	23.3	23.2	23	23.6
	6	31.5	32	31.2	29.9	27	26	25.1	25	25	24.7	24.4	24.5	24.2	24.1	24	24	24.1	24.4
	7	-7.6	-7.5	-6.6	-5.4	-2.5	-0.9	-0.8	-0.5	-0.3	-0.2	0.1	0	-0.2	0.5	-0.7	-0.8	-1.1	-0.8
	8	24.1	24.7	24.7	24.8	25	25.3	24.4	24.4	24.5	24.3	24.5	24.3	24	24.2	24.2	24	24.3	24.6
	9	31.8	32.4	32.8	28.6	26.8	25.5	24.8	24.9	25	24.5	24.7	24.2	24	24.3	24.2	24.1	24.5	24.6
	10	-7.7	-7.7	-14.1	-3.8	-1.8	-0.2	-0.4	-0.5	-0.5	-0.2	-0.2	-2.1	0.3	-0.3	-1.1	-0.5	-1.2	-1
	11	24.3	24.8	24.7	24.8	25.1	25	24.3	24.6	24.4	24.4	24.4	24.5	23.7	23.5	23.4	23.6	23.8	24.2
	12	31.6	32	30.4	28.6	26	25	24.9	24.9	25.3	25.1	24.9	24.3	24.3	25.1	24.4	24.4	24.7	23.3
	13	-7.3	-7.2	-5.7	-3.8	-0.9	0	-0.6	-0.3	-0.9	-0.7	-0.5	0.2	-0.6	-1.6	-1	-0.8	-0.9	0.9
	14	23.4	24.3	23.9	24.2	24.9	25.5	23.1	23.2	23.4	23.7	23.8	23.2	23.3	23	23	23.2	24	24.1
	15	32.7	32.7	29.8	24.5	25.2	25.1	24.1	23.2	23.5	24.1	23.8	24.7	23.7	23.2	24.8	24.9	25	25.3
	16	-7.8	-8.4	-5.9	-4.3	-0.3	0.4	-2.3	-2	-2.1	-1.4	-1.4	-1.5	-1.5	-2.2	-1.8	-1.7	-1	-1.2

		TABEL TOFOGRAFI bukaan = 1 cm, t = 15 menit, tanpa model																	
greed vert	greed horizontal 6	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18
	el.sebelum	23.1	23.1	23	23.5	23.3	23.8	23.1	23	23.4	23	23.3	23.3	22.8	22.9	22	22.1	22.2	22.4
	el.setelah	29	30.5	30.3	28	26.6	25.5	25	26.6	26	26.6	26	26.6	26	26.4	26	26	26	26.4
	1	-5.9	-7.4	-7.3	-4.5	-3.3	-1.7	-1.9	-3.6	-2.6	-2.6	-1.7	-2.1	-2.2	-2.1	-3	-3.3	-2.8	-3
	2	24	24.5	24.9	24	24.2	25.1	24.3	24.2	24.6	23.8	24.1	24.1	23.5	23.6	23.3	23	23	23.3
	3	32.5	32.5	32	29	26.8	25.6	25.2	26	26	25.5	25.5	25.3	25	25.1	24	24.5	24.7	25.5
	4	-8.3	-8	-7.1	-4.1	-2.6	-0.5	-0.9	-1.8	-1.4	-1.4	-1.2	-1.1	-1.2	-1.5	-0.7	-1.1	-1.7	-2.2
	5	23.9	24.5	24.6	24.5	24.5	25.1	24.3	24.5	24.7	24.5	24.3	24.5	24	24.6	23.3	23.2	23	23.6
	6	32	33	32	29.8	26.6	25.3	26.3	26.9	25.3	25.5	25	25	24.8	25	24.5	24.5	24.5	24.3
	7	-8.1	-8.5	-7.4	-5.3	-3.1	-2.2	-1.4	-0.6	-1.1	-0.7	0.5	-0.7	-0.4	-1.7	-1.3	-1.5	-0.7	-0.7
	8	24.1	24.7	24.7	24.8	25	25.3	24.4	24.4	24.5	24.3	24.5	24.3	24	24.2	24.2	24	24.3	24.6
	9	32.3	33	31	29.7	27.9	26	25.3	26.6	26	25.6	25	24.8	24.9	24.9	24.4	24.6	24.8	25.3
	10	-8.2	-8.3	-6.3	-4.9	-2.9	-0.7	-0.9	-2.2	-0.5	-1.3	-0.5	1.5	-0.6	-0.9	-1.2	-2.4	-1.5	-1.7
	11	24.3	24.8	24.7	24.8	25	25.3	24.4	24.4	24.5	24.3	24.5	24.3	24	24.2	24.2	24	24.3	24.6
	12	32.2	32.5	29.9	27.5	26	26.3	26.3	26.7	26.7	26.7	26.7	26.7	26.7	26.7	26.7	26.7	26.7	26.7
	13	-7.9	-7.7	-5.2	-2.7	-0.9	-1.3	-2	-0.7	-2.3	-1.3	-0.6	-0.5	-1.3	-1.4	-1.1	-0.9	-1.4	-1.2
	14	24.3	24.8	24.7	24.8	25	25.3	24.4	24.4	24.5	24.3	24.5	24.3	24	24.2	24.2	24	24.3	24.6
	15	30.6	31	28.5	26.3	25.5	25	24	25	25.9	26	26	25.3	26	26	25.4	25	25.9	25.8
	16	-7.2	-6.7	-4.6	-2.1	-0.6	0.5	-2.3	-1.8	-2.5	-2.3	-2.2	-2.1	-2.7	-3	-2.4	-1.8	-1.9	-1.7

		TABEL TOFOGRAFI bukaan = 1 cm, t = 20 menit, tanpa model																	
greed vert	greed horizontal 6	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18
	el.sebelum	23.1	23.1	23	23.5	23.3	23.8	23.1	23	23.4	23	23.3	23.3	22.8	22.9	22	22.1	22.2	22.4
	el.setelah	32.5	31.2	31.3	28.7	26	25.7	23	26.7	26.4	26.1	25.9	26.3	25.6	25.4	25.4	25.1	25	25.5
	1	-9.4	-8.1	-8.3	-5.4	-2.7	-1.9	-2.3	-2.8	-3	-3.1	-2.6	-3	-2.8	-2.5	-3.4	-3	-3.4	-3.6
	2	24	24.5	24.9	24	24.2	25.1	24.3	24.2	24.6	23.8	24.1	24.1	23.5	23.6	23.3	23	23	23.3
	3	32.5	32.6	32.2	29.9	26.6	25.8	24.8	24.8	24.9	24.6	24.5	24.5	24.1	24.1	24	24	24	24.5
	4	-8.5	-8	-7.7	-7.4	-4.7	-1.6	-1.8	-1.8	-1.6	-2.5	-1.7	-2	-2.2	-2.4	-1.2	-1.8	-2.1	-2
	5	23.9	24.5	24.6	24.5	24.5	25.1	24.3	24.5	24.7	24.5	24.3	24.5	24	24.6	23.3	23.2	23	23.6
	6	32	33	33	31.5	29.4	28	26.8	26.3	26.3	26.2	26.2	26.2	26.2	26.2	26.2	26.2	26.2	26.2
	7	-8.1	-8.1	-6.4	-4.1	-2.9	-1.3	-1.8	-1.3	-1.3	-1.3	-1.3	-1.3	-1.3	-1.3	-1.3	-1.3	-1.3	-1.3
	8	24.1	24.7	24.7	24.8	25	25.3	24.4	24.4	24.5	24.3	24.5	24.3	24	24.2	24.2	24	24.3	24.6
	9	32.3	33	31	29.7	27.9	26	25.3	26.6	26	25.6	25	24.8	24.9	24.9	24.4	24.6	24.8	25.3
	10	-8.2	-8.3	-6.3	-4.9	-2.9	-0.7	-0.9	-2.2	-0.5	-1.3	-0.5	1.5	-0.6	-0.9	-1.2	-2.4	-1.5	-1.7
	11	24.3	24.8	24.7	24.8	25	25.3	24.4	24.4	24.5	24.3	24.5	24.3	24	24.2	24.2	24	24.3	24.6
	12	32.2	32.5	29.9	27.5	26	26.3	26.3	26.7	26.7	26.7	26.7	26.7	26.7	26.7	26.7	26.7	26.7	26.7
	13	-7.9	-7.7	-5.2	-2.7	-0.9	-1.3	-2	-0.7	-2.3	-1.3	-0.6	-0.5	-1.3	-1.4	-1.1	-0.9	-1.4	-1.2
	14	24.3	24.8	24.7	24.8	25	25.3	24.4	24.4	24.5	24.3	24.5	24.3	24	24.2	24.2	24	24.3	24.6
	15	30.6	31	28.5	26.3	25.5	25	24	25	25.9	26	26	25.3	26	26	25.4	25	25.9	25.8
	16	-7.2	-6.7	-4.6	-2.1	-0.6	0.5	-2.3	-1.8	-2.5	-2.3	-2.2	-2.1	-2.7	-3	-2.4	-1.8	-1.9	-1.7

		TABEL TOFOGRAFI bukaan = 2 cm, t = 10 menit, tanpa model																	
greed vert	greed horizontal 6	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18
	el.sebelum	23.1	23.1	23	23.5	23.3	23.8	23.1	23	23.4	23	23.3	23.3	22.8	22.9	22	22.1	22.2	22.4
	el.setelah	31	31	30.8	29.3	28	25.5	26.3	27.3	27	25.7	25.5	25.9	25.8	25.6	25	25.6	25.4	25.6
	1	-7.9	-7.9	-7.8	-5.8	-4.7	-1.7	-3.2	-4.3	-3.6	-2.7	-2.2	-2.6	-3	-2.7	-3	-3.5	-3.2	-3.2
	2	24	24.5	24.9	24	24.2	25.1	24.3	24.2	24.6	23.8	24.1	24.1	23.5	23.6	23.3	23	23	23.3
	3	31.4	31.5	31.3	30	28.8	27.5	26.5	26.2	26.1	25.6	25.7	25.8	25.9	25.4	25.1	25	25	25.8
	4	-7.4	-7	-6.4	-6	-4.6	-2.4	-2.2	-2	-1.1	-1.8	-1.6	-1.7	-2	-1.9	-1.8	-2	-2.4	-2.5
	5	23.9	24.5	24.6	24.5	24.5	25.1	24.3	24.5	24.7	24.5	24.3	24.5	24	24.6	23.3	23.2	23	23.6
	6	31.9	32	31.9	29.9	29.3	27.6	27.1	26.6	26.4	26.4	26.4	26.4	26.4	26.4	26.4	26.4	26.4	26.4
	7	-7.5	-7.3	-5.4	-4.7	-2.5	-2.9	-2.1	-1.9	-2.1	-2	-2	-2	-2	-1	-0.8	-1.8	-1.7	-1.9
	8	24.1	24.7	24.7	24.8	25	25.3	24.4	24.4	24.5	24.3	24.5	24.3	24	24.2	24.2	24	24.3	24.6
	9	31.8	32.3	31.1	30	28.1	27.3	25.6	26.9	26.4	26.5	26.5	26.5	26.5	26.5	26.5	26.5	26.5	26.4
	10	-8.1	-7.6	-6.4	-4.1	-2.9	-1.3	-1.8	-1.3	-1.3	-1.3	-1.3	-1.3	-1.3	-1.3	-1.3	-1.3	-1.3	-1.3
	11	24.3	24.8	24.7	24.8	25	25.3	24.4	24.4	24.5	24.3	24.5	24.3	24	24.2	24.2			

TABEL TOFOGRAFI bukaan = 3 cm, t = 10 menit, tanpa model																			
greed vert	greed horizontal 6	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18
1	el.sebelum	23.1	23.1	23	23.5	23.3	23.8	23.1	23	23.4	23	23.3	23.3	22.8	22.9	22	22.1	22.2	22.4
1	el.setelah	32.1	31.9	31	30	28	26.3	25.3	27.9	27.4	26.6	26.4	25.8	26.4	25.8	26	24.2	25.2	26.1
2	el.sebelum	24	24.5	24.9	24	24.2	25.1	24.3	24.2	24.6	23.8	24.1	24.1	23.5	23.6	23.3	23	23.3	23.3
2	el.setelah	32.4	32.5	32.1	31	28.5	27	26.2	26	26.5	25.6	25.2	24.6	25.3	25.5	25.3	25.1	25.8	25.6
3	el.sebelum	23.9	24.5	24.6	24.5	24.5	25.1	24.3	24.5	24.7	24.5	24.3	24.5	24	24.4	23.3	23.2	23	23.6
3	el.setelah	32.5	32.5	31.7	30.5	28.5	27.5	27.1	26.5	25.9	25.6	25.5	24.9	25	25	24.6	24.8	25.4	25.6
4	el.sebelum	24.1	24.7	24.7	24.8	25	25.3	24.4	24.4	24.5	24.3	24.5	26.3	24.3	24	23.2	23.6	23.3	23.6
4	el.setelah	33.7	32.6	32.2	29.5	28.6	27.7	26.5	26.7	26.4	26.4	26	25.4	25.5	25.1	24.9	25	25.5	25.7
5	el.sebelum	24.3	24.6	24.7	24.8	25.1	25	24.3	24.6	24.4	24.4	24.4	24.5	23.7	23.5	23.4	23.6	23.8	24.2
5	el.setelah	33.4	32.6	31	30.6	28.6	27.2	26.6	26.1	26.1	26.2	26.4	26.9	25.5	25.3	25.9	26	25.5	25.7
6	el.sebelum	23.4	24.3	23.9	24.2	24.9	25.5	23.1	23.2	23.4	23.7	23.8	23.2	23.3	23	23	23.2	24	24.1
6	el.setelah	31	31.6	30.5	30.1	27.6	26.5	25.4	25.6	25.9	26	26.5	26.4	26	26.3	26.6	26.3	27.1	27.1
6	el.setelah	6	-7.6	-7.3	-6.6	-5.9	-2.7	-1	-2.3	-2.4	-2.5	-2.3	-2.7	-2.2	-3.3	-3.6	-3.4	-2.3	-3

TABEL TOFOGRAFI bukaan = 3 cm, t = 15 menit, tanpa model																			
greed vert	greed horizontal 6	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18
1	el.sebelum	23.1	23.1	23	23.5	23.3	23.8	23.1	23	23.4	23	23.3	23.3	22.8	22.9	22	22.1	22.2	22.4
1	el.setelah	32.5	35	33	29.9	26.5	25.4	27	26.5	27.2	27	26.6	26	25.5	25.2	25.9	25.9	26	27
2	el.sebelum	24	24.5	24.9	24	24.2	25.1	24.3	24.2	24.6	23.8	24.1	24.1	23.5	23.6	23.3	23	23.3	23.3
2	el.setelah	32	32.5	31.3	29.5	28	27	26.5	26.2	26	26.5	25.3	25.2	25.1	25.2	25.1	25.1	25.4	25.4
3	el.sebelum	23.9	24.5	24.6	24.5	24.5	25.1	24.3	24.5	24.7	24.5	24.3	24.5	24	24.4	23.3	23.2	23	23.6
3	el.setelah	31.3	29.9	31	29.6	28	27	26.5	26.2	26	26.5	25.3	25.2	25.1	25.2	25.1	25.1	25.4	25.4
4	el.sebelum	24.1	24.7	24.7	24.8	25	25.3	24.4	24.4	24.5	24.3	24.5	26.3	24.3	24	23.2	23.6	23.3	23.6
4	el.setelah	31.6	32.5	31.5	29.3	28.6	27.5	27	26.5	27.2	26.5	26	26.3	26.3	26	26.3	26.9	26	26
5	el.sebelum	24.3	24.6	24.7	24.8	25.1	25	24.3	24.6	24.4	24.4	24.4	24.5	23.7	23.5	23.4	23.6	23.8	24.2
5	el.setelah	35	32.4	31	27.7	28.1	26	27.5	27.3	27	27.4	27	26.7	26.3	26	26.5	26	26.7	26.5
6	el.sebelum	23.4	24.3	23.9	24.2	24.9	25.5	23.1	23.2	23.4	23.7	23.8	23.2	23.3	23	23	23.2	24	24.1
6	el.setelah	32	32.3	30	28.5	27	25.6	26.3	26.3	25.9	26	26	26.2	26	26.3	26.7	27	24	24.9
6	el.setelah	6	-8.6	-8	-6.1	-4.3	-2.1	-0.1	-3.2	-3.1	-2.5	-2.3	-2.2	-2.8	-2.9	-3	-3.3	-3.5	-3

TABEL TOFOGRAFI bukaan = 3 cm, t = 20 menit, tanpa model																			
greed vert	greed horizontal 6	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18
1	el.sebelum	23.1	23.1	23	23.5	23.3	23.8	23.1	23	23.4	23	23.3	23.3	22.8	22.9	22	22.1	22.2	22.4
1	el.setelah	32.5	35	33	29.9	26.5	25.4	27	26.5	27.2	27	26.6	26	25.5	25.2	25.9	25.9	26	27
2	el.sebelum	24	24.5	24.9	24	24.2	25.1	24.3	24.2	24.6	23.8	24.1	24.1	23.5	23.6	23.3	23	23.3	23.3
2	el.setelah	32	32	29.3	30.5	28.5	26.5	26	26	27.6	27.5	26.4	25.3	25.7	26	26.2	25.3	25	25.4
3	el.sebelum	23.9	24.5	24.6	24.5	24.5	25.1	24.3	24.5	24.7	24.5	24.3	24.5	24	24.4	23.3	23.2	23	23.6
3	el.setelah	31.3	29.9	31	29.6	28	27	26.5	26.2	26	26.5	25.3	25.2	25.1	25.2	25.1	25.1	25.4	25.4
4	el.sebelum	24.1	24.7	24.7	24.8	25	25.3	24.4	24.4	24.5	24.3	24.5	26.3	24.3	24	23.2	23.6	23.3	23.6
4	el.setelah	31.6	32.5	31.5	29.3	28.6	27.5	27	26.5	27.2	26.5	26	26.3	26.3	26	26.3	26.9	26	26
5	el.sebelum	24.3	24.6	24.7	24.8	25.1	25	24.3	24.6	24.4	24.4	24.4	24.5	23.7	23.5	23.4	23.6	23.8	24.2
5	el.setelah	35	32.4	31	27.7	28.1	26	27.5	27.3	27	27.4	27	26.7	26.3	26	26.5	26	26.7	26.5
6	el.sebelum	23.4	24.3	23.9	24.2	24.9	25.5	23.1	23.2	23.4	23.7	23.8	23.2	23.3	23	23	23.2	24	24.1
6	el.setelah	32	32.3	30	28.5	27	25.6	26.3	26.3	25.9	26	26	26.2	26	26.3	26.7	27	24	24.9
6	el.setelah	6	-8.6	-8	-6.1	-4.3	-2.1	-0.1	-3.2	-3.1	-2.5	-2.3	-2.2	-2.8	-2.9	-3	-3.3	-3.5	-3

TABEL TOFOGRAFI bukaan = 3 cm, t = 10 menit, menggunakan model 1																			
greed vert	greed horizontal 6	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18
1	el.sebelum	23.1	23.1	23	23.5	23.3	23.8	23.1	23	23.4	23	23.3	23.3	22.8	22.9	22	22.1	22.2	22.4
1	el.setelah	29.9	29	27.5	27.7	27.8	27.4	26.9	27	26.5	26.3	26	27.8	25.8	25.9	25.6	25.3	26	26.5
2	el.sebelum	24	24.5	24.9	24	24.2	25.1	24.3	24.2	24.6	23.8	24.1	24.1	23.5	23.6	23.3	23	23.3	23.3
2	el.setelah	29.9	28.9	27.4	28	27.6	26	26	26	26.5	26.5	26.1	26.3	26.2	25.7	25.6	25.8	26.2	25.7
3	el.sebelum	23.9	24.5	24.6	24.5	24.5	25.1	24.3	24.5	24.7	24.5	24.3	24.5	24	24.4	23.3	23.2	23	23.6
3	el.setelah	30.1	28.9	28.5	28	27.4	27	27.8	26.9	25.4	26.5	26.2	26.5	26.8	26.2	26.8	26.5	25.4	26.3
4	el.sebelum	24.1	24.7	24.7	24.8	25	25.3	24.4	24.4	24.5	24.3	24.5	26.3	24.3	24	23.2	23.6	23.3	23.6
4	el.setelah	30.2	29	28	27.5	27.4	27.7	26.7	27.9	27.3	27	27	26	26.2	26.8	26	26.6	26.5	26.9
5	el.sebelum	24.3	24.8	24.7	24.8	25.1	25	24.3	24.6	24.4	24.4	24.4	24.5	23.7	23.5	23.4	23.6	23.8	24.2
5	el.setelah	33	31.5	29.8	29.5	28	27	28	28	27.7	26.7	26.7	26.8	26.8	26.1	26.8	26.3	26	26.5
6	el.sebelum	23.4	24.3	23.9	24.2	24.9	25.5	23.1	23.2	23.4	23.7	23.8	23.2	23.3	23	23	23.2	24	24.1
6	el.setelah	27.5	27.8	26.8	25.5	24.6	26.6	26.6	26	27.4	27	26.8	27	27	27	26.3	26.5	26.5	27.1
6	el.setelah	6	-6.7	-5	-6	-4.1	-3.1	-2.3	-4.9	-3.8	-4.2	-3.6	-2.8	-3.6	-4	-4.2	-4.3	-3.4	-2.6

TABEL TOFOGRAFI bukaan = 3 cm, t = 15 menit, menggunakan model 1																			
greed vert	greed horizontal 6	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18
1	el.sebelum	23.1	23.1	23	23.5	23.3	23.8	23.1	23	23.4	23	23.3	23.3	22.8	22.9	22	22.1	22.2	22.4
1	el.setelah	30.5	30	28	28	29	27.1	28	27.7	27	26.5	26	26	26	26.4	26	26	26.5	26.5
2	el.sebelum	24	24.5	24.9	24	24.2	25.1	24.3	24.2	24.6	23.8	24.1	24.1	23.5	23.6	23.3	23	23.3	23.3
2	el.setelah	31	30.6	28.3	28.4	28.5	27	26.3	27.1	27	26.6	27.5	26.5	27	26.6	27.9	26	27.9	26.9
3	el.sebelum	23.9	24.5	24.6	24.5	24.5	25.1	24.3	24.5	24.7	24.5	24.3	24.5	24	24.4	23.3	23.2	23	23.6
3	el.setelah	31.5	31.5	28.5	28.2	28.5	26.7	27.5	27.2	28	27	26.5	28	26.5	27.2	27	27.6	26.5	26.6
4	el.sebelum	24.1	24.7	24.7	24.8	25	25.3	24.4	24.4	24.5	24.3	24.5	26.3	24.3	24	23.2	23.6	23.3	23.6
4	el.setelah	31.5	31	29	28.9	28.6	27.9	28	27.8	27.5	27.8	27	27	26.7	27	27	26.9	26.7	26.2
5	el.sebelum	24.3	24.8	24.7	24.8	25.1	25	24.3	24.6	24.4	24.4	24.4	24.5	23.7	23.5	23.4	23.6	23.8	24.2
5	el.setelah	30.5	30.9	28.5	28	28.4	27.6	27.3	28	25	27.5	28	27.2	27.5	26	27.3	26.9	27.2	27.5
6	el.sebelum	23.4	24.3	23.9	24.2	24.9	25.5	23.1	23.2	23.4	23.7	23.8	23.2	23.3					

TABEL TOFOGRAFI bukaan = 3 cm, t = 10 menit, menggunakan model 2																		
greed verti	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18
greed horizontal 6	1																	
et. sebelum running			23	23.5	23.3	23.8	23.1	23	23.4	23	23.3	23.3	22.8	22.9	22	22.1	22.2	22.4
et. setelah running			29.5	29.5	27.5	28.6	29	29	28.5	28	28	26.7	27	27.7	27.1	26.9	26.6	25
1			-6.5	-6	-4.2	-4.8	-5.9	-6	-5.1	-5	-4.7	-3.4	-4.2	-4.8	-5.1	-4.8	-4.4	-2.6
2			24.9	24	24.2	25.1	24.3	24.2	24.6	23.8	24.1	24.1	23.5	23.6	23.3	23	23	23.3
et. sebelum running			29.2	29.4	28.3	26.3	27.5	28.7	29	28.2	27	27	27.5	26.8	26.8	26.4	25.4	27
et. setelah running			4.3	-5.4	-4.1	-1.2	-3.2	-4.3	-4.4	-4.4	-2.9	-2.9	-8	-3.2	-3.3	-3.4	-2.4	-3.7
3			24.6	24.5	24.5	25.1	24.3	24.5	24.7	24.5	24.3	24.5	24	24.6	23.3	23.2	23	23.6
et. sebelum running			28.9	28	26.5	27.5	27.5	26.5	26.5	26.9	26.4	26.7	26.8	26.6	26	26.8	26.3	26.4
et. setelah running			4.3	-3.5	-3.2	2.4	-3.2	-3.2	-1.8	-2.4	-2.1	-2.2	2.8	2	2.7	-3.6	-3.3	-3
4			24.7	24.8	25	25.3	24.4	24.4	24.5	24.3	24.5	26.3	24.3	24	23.2	23.6	23.3	23.6
et. sebelum running			29.3	27.5	27	26	26.4	29.6	26	27.2	26.5	25.6	25.9	25.4	25.9	26	26	27.2
et. setelah running			4.6	-2.7	-2.2	-0.7	2	-5.3	-1.5	-2.9	-2	0.7	1.6	1.4	2.7	-2.4	-2.7	-3.6
5			24.7	24.8	25.1	25	24.3	24.6	24.4	24.4	24.4	24.5	23.7	23.5	23.4	23.6	23.8	24.5
et. sebelum running			28	27.3	26.9	26.2	27	27	27.1	26.4	27	26.4	26.6	27.5	25.1	25.6	25.6	26.1
et. setelah running			-3.3	-2.5	-1.8	-1.2	-2.7	-2.4	-2.7	2	-2.6	-1.9	-2.9	-4	-2.1	-2.5	-1.8	-1.4
6			23.9	24.2	24.9	25.5	23.1	23.2	23.4	23.7	23.8	23.2	23.3	23	23	23.2	24	24.1
et. sebelum running			29.5	28	27.4	27	26.4	26.9	26	26.3	26.5	25.7	27	26.5	25.7	25.2	25.6	25
et. setelah running			-5.6	-3.8	-2.5	-1.5	-3.3	-3.7	-2.6	-2.6	-2.7	-2.5	-3.7	-3.5	-2.7	-2	-1.6	-0.9

TABEL TOFOGRAFI bukaan = 3 cm, t = 15 menit, menggunakan model 2																		
greed verti	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18
greed horizontal 6	1																	
et. sebelum running			23	23.5	23.3	23.8	23.1	23	23.4	23	23.3	23.3	22.8	22.9	22	22.1	22.2	22.4
et. setelah running			29.8	29	28.9	28.5	28.7	27.5	28	27.1	27.3	27.6	27.2	26.5	27	26.5	26.7	26
1			-6.8	-5.5	-5.6	-4.7	-5.6	-4.5	-4.6	-4.1	-4	-4.3	-4.4	-3.6	-5	-4.4	-4.5	-3.6
2			24.9	24	24.2	25.1	24.3	24.2	24.6	23.8	24.1	24.1	23.5	23.6	23.3	23	23	23.3
et. sebelum running			29.3	29.3	28	27	29	29.9	29.4	27.6	27.8	27.3	26	26.9	26.2	26.6	26.4	27.9
et. setelah running			-4.4	-5.3	-3.8	-1.9	-4.7	-5.7	-4.8	-3.8	-3.7	-3.2	-2.5	-3.3	-2.9	-3.6	-3.4	-4.6
3			24.6	24.5	24.5	25.1	24.3	24.5	24.7	24.5	24.3	24.5	24	24.6	23.3	23.2	23	23.6
et. sebelum running			28.7	27.4	26.8	27.1	26.5	27.3	26.1	26.9	27.4	26.6	26.5	26.3	26.1	26.5	27.5	27.5
et. setelah running			-4.8	-4.2	-2.9	-1.7	-2.8	-2	-2.6	-1.6	-2.6	-2.9	-2.6	-1.9	-3	-2.9	-3.5	-3.9
4			24.7	24.8	25	25.3	24.4	24.4	24.5	24.3	24.5	26.3	24.3	24	23.2	23.6	23.3	23.6
et. sebelum running			29	28	27.1	26.8	27.1	26.3	26.9	27.1	26.5	25.9	25.7	26.4	26.1	26.4	27.5	27.2
et. setelah running			-4.3	-3.2	-2.1	-1.5	-2.7	-2.1	-2.4	-2.8	-2	0.4	-1.4	-2.4	-2.9	-2.8	-4.2	-3.6
5			24.7	24.8	25.1	25	24.3	24.6	24.4	24.4	24.4	24.5	23.7	23.5	23.4	23.6	23.8	24.2
et. sebelum running			29.1	27	26.7	26.9	27.2	27.1	27.5	26	25.6	26.1	25.8	25.5	26.5	25.9	26.2	27.5
et. setelah running			-4.4	-2.2	-1.6	-1.9	-2.9	-2.5	-3.1	-1.6	-1.2	-1.6	-2.1	-2	-3.1	-2	-2.4	-3.3
6			23.9	24.2	24.9	25.5	23.1	23.2	23.4	23.7	23.8	23.2	23.3	23	23	23.2	24	24.1
et. sebelum running			29.3	28.6	28.1	27.1	27.2	26.7	27.1	25.8	25.9	26.1	26.5	25.8	26.4	26.3	26.2	26.4
et. setelah running			-5.4	-4.4	-3.2	-1.6	-4.6	-3.5	-3.7	-2.1	-2.1	-2.9	-3.2	-2.8	-3.4	-3.1	-2.2	-2.3

TABEL TOFOGRAFI bukaan = 3 cm, t = 20 menit, menggunakan model 2																		
greed verti	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18
greed horizontal 6	1																	
et. sebelum running			23	23.5	23.3	23.8	23.1	23	23.4	23	23.3	23.3	22.8	22.9	22	22.1	22.2	22.4
et. setelah running			29.5	29	29	28.6	28	29	28.3	28.8	27.1	27	27.5	26	27	26.8	26	26.5
1			-6.5	-5.5	-5.7	-5	-4.9	-6	-4.9	-5.8	-3.8	-3.7	-4.7	-5.1	-5	-4.7	-5.8	-4.1
2			24.9	24	24.2	25.1	24.3	24.2	24.6	23.8	24.1	24.1	23.5	23.6	23.3	23	23	23.3
et. sebelum running			29.3	29	28	28.3	28.3	29.5	27.8	29.6	27.2	28	28.5	28.1	27.5	27.1	27.3	27.9
et. setelah running			-4.4	-5	-3.8	-3.2	-4	-5.3	-3.7	-5.8	-3.1	-3.9	-5	-4.5	-4.2	-4.1	-4.3	-4.6
3			24.6	24.5	24.5	25.1	24.3	24.5	24.7	24.5	24.3	24.5	24	24.6	23.3	23.2	23	23.6
et. sebelum running			29.5	29.1	27.6	27.6	27.2	27.6	27	27	29	28.5	28.3	27.4	28	27.8	28.3	27
et. setelah running			4.9	-4.6	-3.1	-2.5	-2.9	-3.1	-2.3	-2.5	-4.7	-4	-4.3	-2.8	4.7	-4.6	-5.3	-3.4
4			24.7	24.8	25	25.3	24.4	24.4	24.5	24.3	24.5	26.3	24.3	24	23.2	23.6	23.3	23.6
et. sebelum running			29	29.4	27.8	28	28	28.5	28	27.5	27.3	25.6	28	27	27.6	28.3	28	
et. setelah running			-4.3	-4.6	-2.8	-2.7	-2.6	-4.1	-3.5	-3.2	-2.8	0.7	-3.7	-3.5	-3.8	-4	-5	-4.4
5			24.7	24.8	25.1	25	24.3	24.6	24.4	24.4	24.4	24.5	23.7	23.5	23.4	23.6	23.8	24.2
et. sebelum running			28.5	28.9	29.3	28	27.4	27.5	27	26.8	27.5	27.3	27	26.3	26.5	27.7	28.2	
et. setelah running			-3.8	-4.1	-4.2	-3	-3.1	-2.9	-2.6	-2.4	-3.1	-2.8	-3.3	-2.8	-3.1	-2.9	-3.9	-4
6			23.9	24.2	24.9	25.5	23.1	23.2	23.4	23.7	23.8	23.2	23.3	23	23	23.2	24	24.1
et. sebelum running			29.5	28.8	27.8	26.7	26.1	27.4	27.3	27	26.5	26.5	26.9	26.5	26.6	26.3	27.7	28.5
et. setelah running			-5.6	-4.6	-2.9	-1.2	-3	-4.2	-3.9	-3.3	-2.7	-3.3	-3.6	-3.5	-3.6	-3.1	-3.7	-4.4