

**SKRIPSI**

**KARAKTERISTIK ALIRAN PADA BANGUNAN PELIMPAH  
TIPE OGEE**



**oleh**

**Husaiman  
105 81 2089 14**

**Muh. Ilham Nur  
105 81 2097 14**

**JURUSAN TEKNIK SIPIL  
FAKULTAS TEKNIK  
UNIVERSITAS MUHAMMADIYAH MAKASSAR  
2018**



UNIVERSITAS MUHAMMADIYAH MAKASSAR

# FAKULTAS TEKNIK

GEDUNG MENARA IQRA LT. 3

Jl. Sultan Alauddin No. 259 Telp. (0411) 866 972 Fax (0411) 865 588 Makassar 90221

Website : [www.unismuh.ac.id](http://www.unismuh.ac.id), e-mail : [unismuh@gmail.com](mailto:unismuh@gmail.com)

Website : <http://teknik.unismuh.makassar.ac.id>

بِسْمِ اللَّهِ الرَّحْمَنِ الرَّحِيمِ

## PENGESAHAN

Skripsi atas nama Husaiman dengan nomor induk Mahasiswa 105 81 2089 14 dan Muh. Ilham Nur dengan nomor induk Mahasiswa 105 81 2097 14, dinyatakan diterima dan disahkan oleh Panitia Ujian Tugas Akhir/Skripsi sesuai dengan Surat Keputusan Dekan Fakultas Teknik Universitas Muhammadiyah Makassar Nomor : 0009/SK-Y/22201/091004/2018, sebagai salah satu syarat guna memperoleh gelar Sarjana Teknik pada Program Studi Teknik Pengairan Jurusan Teknik Sipil Fakultas Teknik Universitas Muhammadiyah Makassar pada hari Rabu tanggal 06 Juni 2018

Panitia Ujian :

Makassar, 21 Ramadhan 1439 H  
06 Juni 2018 M

### 1. Pengawas Umum

a. Rektor Universitas Muhammadiyah Makassar

Dr. H. Abdul Rahman Rahim, SE., MM.

b. Dekan Fakultas Teknik Universitas Hasanuddin

Dr. Ir. H. Muhammad Arsyad Thaha, MT.

### 2. Penguji

a. Ketua : Dr. Ir. Hj. Sukmasari Antaria, MT

b. Sekertaris : Muh. Amir Zainuddin, ST., MT

3. Anggota : 1. Dr. Ir. Hj. Fenty Daud S, MT

2. ir. Mahmuddin, ST., MT

3. Hj. Arsyuni Ali Mustari, ST., MT

Mengetahui :

Pembimbing I

Pembimbing II

Dr. Ir. Hj. Ratna Musa, MT

Dr. Muh. Yunus Ali, ST., MT

Dekan

  
Ir. Hamzah Al Imran, ST., MT.  
NBM : 855 500



**UNIVERSITAS MUHAMMADIYAH MAKASSAR**

# **FAKULTAS TEKNIK**

**GEDUNG MENARA IQRA LT. 3**

Jl. Sultan Alauddin No. 259 Telp. (0411) 866 972 Fax (0411) 865 588 Makassar 90221

Website : [www.unismuh.ac.id](http://www.unismuh.ac.id), e-mail : [unismuh@gmail.com](mailto:unismuh@gmail.com)

Website : <http://teknik.unismuh.makassar.ac.id>

بِسْمِ اللَّهِ الرَّحْمَنِ الرَّحِيمِ

## **HALAMAN PENGESAHAN**

Tugas Akhir ini diajukan untuk memenuhi syarat ujian guna memperoleh gelar Sarjana Teknik (ST) Program Studi Teknik Pengairan Jurusan Teknik Sipil Fakultas Teknik Universitas Muhammadiyah Makassar.

Judul Skripsi : **KARAKTERISTIK ALIRAN PADA BANGUNAN PELIMPAH TIPE OGEE**

Nama : HUSAIMAN  
MUH. ILHAM NUR

Stambuk : 105 81 2089 14  
105 81 2097 14

Makassar, 06 Juni 2018

Telah Diperiksa dan Disetujui  
Oleh Dosen Pembimbing;

Pembimbing I

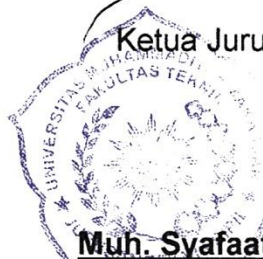
Pembimbing II

Dr. Ir. Hj. Ratna Musa, MT

Dr. Muh. Yunus Ali, ST., MT

Mengetahui,

Ketua Jurusan Teknik Sipil



Muh. Syafaat S. Kuba, ST., MT

NBM : 975 288

## KATA PENGANTAR

Syukur Alhamdulillah penulis panjatkan kehadiran Allah SWT, karena rahmat dan hidayah-Nyalah sehingga penulis dapat menyusun skripsi dengan judul “KARAKTERISTIK ALIRAN PADA BANGUNAN PELIMPAH TIPE OGEE”.

Penulis menyadari sepenuhnya bahwa di dalam penulisan skripsi 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.

Skripsi 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., MT sebagai Ketua Jurusan Sipil Fakultas Teknik Universitas Muhammadiyah Makassar.
3. Ibu Dr .Ir .Hj. Ratna Musa, ST., MT. selaku Pembimbing I dan Bapak Dr. Muh. Yunus Ali, ST., MT selaku pembimbing II, yang telah banyak

meluangkan waktu, memberikan bimbingan dan pengarahan sehingga terwujudnya skripsi 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. Kedua orang tua kami yang selalu memberikan dukungan moril, maupun material, doa kepada kami.
6. Saudara-saudara yang tercinta, penulis mengucapkan terima kasih yang sebesar-besarnya atas segala limpahan kasih sayang, do'a, dorongan dan pengorbanannya.

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, Mei 2018

**Penulis**

## ABSTRAK

Husaiman dan Muh. Ilham Nur, 2018. *Pengaruh Bangunan Pelimpah Tipe Ogee 1:1 Terhadap Karakteristik Aliran pada Saluran Terbuka*. Saluran terbuka merupakan saluran dimana air mengalir dengan muka air bebas. Pelimpah adalah suatu kenaikan dari dasar suatu saluran terbuka. Tujuan dari penelitian ini adalah untuk mengetahui bagaimana pengaruh bangunan pelimpah tipe ogee 1:1 terhadap karakteristik aliran pada saluran terbuka. Metode penelitian yang digunakan dalam penelitian ini adalah metode penelitian eksperimen laboratorium. Berdasarkan pada pengukuran dan perhitungan menggunakan tiga variasi debit yaitu 0,0015, 0,0020, dan 0,0025 m<sup>3</sup>/det, pada bagian hulu alirannya merupakan aliran sub kritis ( $Fr = 0,3022$  atau  $< 1$ ), pada saat diatas mercu alirannya berubah menjadi aliran kritis ( $Fr = 1$ ), dan pada saat melewati bangunan pelimpah alirannya merupakan aliran super kritis ( $Fr = 1,36$  atau  $> 1$ ). Hasil penelitian menunjukkan energi spesifik bergantung pada tinggi muka air dimana semakin tinggi muka air maka semakin rendah energi spesifik yang terjadi. **Kata kunci** : Saluran Terbuka, Pelimpah, Ogee 1:1, Energi Spesifik, Bilangan Froude

## ABSTRACT

*Husaiman and Muh. Ilham Nur. 2018. The Influence of the building overflow of Ogee Type 1:1 to the characteristics flow on open channels. Open channels are channels where water flows with free water. The overflow is an increase from the bottom of an open channel. The purpose of this research is to know how the influence of ogee type 1: 1 overflow building to flow characteristics in open channel. The research method used in this research is laboratory experimental research method. Based on the measurements and calculations using three variations of debits of 0.0015, 0.0020, and 0.0025 m<sup>3</sup> / s, the upstream flow is a sub-critical stream ( $Fr = 0.3022$  or  $<1$ ), at the moment above the stream turns into a critical stream ( $Fr = 1$ ), and as it passes through its overflow building the flow is super critical ( $Fr = 1.36$  or  $> 1$ ). The results showed that the specific energy depends on the water level where the higher the water level then the lower the specific energy that occurs.*

**Keywords:** Open Channel, Overflow, Ogee 1:1, Specific Energy, Froude Number

## DAFTAR ISI

	Halaman
HALAMAN JUDUL .....	i
PENGESAHAN .....	ii
HALAMAN PENGESAHAN .....	iii
KATA PENGANTAR .....	iv
ABSTRAK .....	vi
DAFTAR ISI .....	vii
DAFTAR TABEL .....	x
DAFTAR GAMBAR .....	xiv
DAFTAR NOTASI SINGKATAN .....	xvi
BAB I. PENDAHULUAN .....	1
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 .....	6
A. Saluran Terbuka .....	6

B. Konsep Dasar Aliran pada Saluran Terbuka .....	8
C. Karakteristik Aliran pada Saluran Terbuka .....	10
D. Penampang Saluran .....	15
E. Parameter Hidrolis Kecepatan dan Debit .....	17
F. Pelimpah .....	21
G. Persamaan Debit Bentuk Mercu Oge (Lengkung) .....	25
H. Energi Spesifik ( <i>Specific Energy</i> ) .....	27
I. Skala Model .....	31
<b>BAB III. METODOLOGI PENELITIAN .....</b>	<b>34</b>
A. Tempat dan Waktu Penelitian .....	35
B. Jenis Penelitian Sumber Data .....	35
C. Desain Penelitian .....	36
D. Variabel Penelitian .....	36
E. Prosedur Penelitian .....	40
F. Flow Chart Penelitian .....	42
<b>BAB IV. ANALISA HASIL DAN PEMBAHASAN .....</b>	<b>43</b>
A. Analisa Koefisien Debit (Cd) .....	43
B. Ketinggian Air .....	44
C. Luas Penampang .....	51
D. Kecepatan Aliran .....	56
E. Bilangan Froude .....	65
F. Energi Spesifik .....	74



G. Kehilangan Energi .....	83
H. Pembahasan .....	87
BAB V. PENUTUP .....	90
A. Kesimpulan .....	90
B. Saran .....	91
DAFTAR PUSTAKA .....	92

## DAFTAR TABEL

Tabel 1. Koordinat Tirai Luapan Atas diatas Muka Tegak Pelimpah Lengkung (Mercu Ogee) .....	24
Tabel 2. Harga-harga K dan n .....	24
Tabel 3. Perhitungan koefisien debit .....	44
Tabel 4. Tinggi muka air pada daerah hulu dengan debit 0,0015 $m^3/det$ , 0,0020 $m^3/det$ , dan 0,0025 $m^3/det$ .....	45
Tabel 5. Tinggi muka air pada saat diatas bangunan dengan debit 0,0015 $m^3/det$ , 0,0020 $m^3/det$ , dan 0,0025 $m^3/det$ .....	45
Tabel 6. Tinggi muka air pada saat melewati bangunan dengan debit 0,0015 $m^3/det$ .....	46
Tabel 7. Tinggi muka air pada saat melewati bangunan dengan debit 0,0020 $m^3/det$ .....	47
Tabel 8. Tinggi muka air pada saat melewati bangunan dengan debit 0,0025 $m^3/det$ .....	48
Tabel 9. Tinggi muka air pada daerah hilir dengan debit 0,0015 $m^3/det$ , 0,0020 $m^3/det$ , dan 0,0025 $m^3/det$ .....	49
Tabel 10. Luas penampang pada berbagai jarak dengan debit 0,0015 $m^3/det$ , 0,0020 $m^3/det$ , dan 0,0025 $m^3/det$ .....	51
Tabel 11. Hasil perhitungan luas penampang pada saat diatas bangunan dengan debit 0,0015 $m^3/det$ , 0,0020 $m^3/det$ , dan	

0,0025 m <sup>3</sup> /det. ....	52
Tabel 12. Hasil perhitungan luas penampang setelah bangunan dengan debit 0,0015 m <sup>3</sup> /det .....	53
Tabel 13. Hasil perhitungan luas penampang setelah bangunan dengan debit 0,002 m <sup>3</sup> /det .....	54
Tabel 14. Hasil perhitungan luas penampang setelah bangunan dengan debit 0,0025 m <sup>3</sup> /det .....	55
Tabel 15. Hasil perhitungan luas penampang pada daerah hilir dengan debit 0,0015 m <sup>3</sup> /det, 0,002 m <sup>3</sup> /det dan 0,0025 m <sup>3</sup> /det .....	56
Tabel 16. Kecepatan aliran didaerah hulu menggunakan pelampung	57
Tabel 17. Hasil perhitungan kecepatan pada bangunan dengan debit 0,0015 m <sup>3</sup> /det, 0,0020 m <sup>3</sup> /det, dan 0,0025 m <sup>3</sup> /det .....	59
Tabel 18. Perhitungan kecepatan aliran pada daerah setelah bangunan dengan debit 0,0015 m <sup>3</sup> /det .....	60
Tabel 19. Perhitungan kecepatan aliran pada daerah setelah bangunan dengan debit 0,0020 m <sup>3</sup> /det .....	61
Tabel 20. Perhitungan kecepatan aliran pada daerah setelah bangunan dengan debit 0,0025 m <sup>3</sup> /det .....	63
Tabel 21. Perhitungan kecepatan aliran pada daerah hilir dengan jarak dan tinggi muka air .....	65
Tabel 22. Hasil perhitungan bilangan froude pada daerah hulu .....	66

Tabel 23. Hasil perhitungan bilangan froude diatas bangunan pada debit 0,0015 m <sup>3</sup> /det, 0,0020 m <sup>3</sup> /det, dan 0,0025 m <sup>3</sup> /det .....	67
Tabel 24. Hasil perhitungan bilangan froude setelah bangunan pelimpah pada debit 0,0015 m <sup>3</sup> /det .....	68
Tabel 25. Hasil perhitungan bilangan froude setelah bangunan pelimpah pada debit 0,002 m <sup>3</sup> /det .....	70
Tabel 26. Hasil perhitungan bilangan froude setelah bangunan pelimpah pada debit 0,0025 m <sup>3</sup> /det .....	71
Tabel 27. Hasil perhitungan bilangan froude pada daerah hilir dengan debit 0,0015 m <sup>3</sup> /det, 0,0020 m <sup>3</sup> /det, 0,0025 m <sup>3</sup> /det	73
Tabel 28. Hasil perhitungan energi spesifik pada daerah hulu .....	74
Tabel 29. Hasil perhitungan energi spesifik diatas bangunan pada debit 0,0015 m <sup>3</sup> /det, 0,0020 m <sup>3</sup> /det, dan 0,0025 m <sup>3</sup> /det .....	76
Tabel 30. Hasil Perhitungan energi spesifik pada daerah setelah bangunan pada debit 0,0015 m <sup>3</sup> /det .....	77
Tabel 31. Hasil Perhitungan energi spesifik pada daerah setelah bangunan pada debit 0,0020 m <sup>3</sup> /det .....	78
Tabel 32. Hasil Perhitungan energi spesifik pada daerah setelah bangunan pada debit 0,0025 m <sup>3</sup> /det .....	80
Tabel 33. Hasil perhitungan energi spesifik pada daerah hilir dengan debit 0,0015 m <sup>3</sup> /det, 0,0020 m <sup>3</sup> /det, 0,0025 m <sup>3</sup> /det.	82

Tabel 34. Hasil perhitungan Kehilangan Energi pada debit 0.0015

m<sup>3</sup>/det ..... 84

Tabel 35. Hasil perhitungan Kehilangan Energi pada debit 0.0020

m<sup>3</sup>/det ..... 85

Tabel 36. Hasil perhitungan Kehilangan Energi pada debit 0.0025

m<sup>3</sup>/det ..... 86

## DAFTAR GAMBAR

Gambar 1. Aliran Laminar .....	11
Gambar 2. Aliran Turbulen .....	12
Gambar 3. Pola Penjalaran Gelombang di Saluran Terbuka .....	13
Gambar 4. Bentuk-bentuk Mercu Pelimpah .....	22
Gambar 5. Bentuk-bentuk Bendung Mercu Ogee .....	23
Gambar 6. Profil Ambang Tegak .....	26
Gambar 7. Parameter Energi Spesifik .....	29
Gambar 8. Denah Alat Penelitian .....	39
Gambar 9. Profil Alat Penelitian .....	39
Gambar 10. Pelimpah Tipe Ogee Dimensi 1:1 .....	39
Gambar 11. Skema aliran air dan titik pengamatan pada flume .....	40
Gambar 12. Flow Chart Penelitian .....	42
Gambar 13. Profil aliran air pada debit 0,0015 m <sup>3</sup> /det, 0,002 m <sup>3</sup> /det, dan 0,0025 m <sup>3</sup> /det .....	50
Gambar 14. Hubungan antara kecepatan dan Tinggi muka air pada daerah hulu .....	58
Gambar 15. Hubungan antara kecepatan dan Tinggi muka air pada daerah setelah bangunan .....	64
Gambar 16. Hubungan antara kecepatan dan bilangan froude pada bagian hulu .....	66

Gambar 17. Hubungan antara kecepatan dan bilangan froude pada daerah setelah bangunan .....	72
Gambar 18. Hubungan antara kecepatan dan energi spesifik pada daerah hulu .....	75
Gambar 19. Hubungan antara kecepatan dan energi spesifik pada daerah setelah bangunan .....	81

## DAFTAR NOTASI SINGKATAN

$V$	= Kecepatan aliran
$A$	= Luas penampang
$b$	= Lebar dasar saluran
$w$	= Tinggi jagaan saluran
$P$	= Keliling basah saluran
$R$	= Jari-jari hidrolis
$L$	= Panjang karakteristik
$E$	= Energi spesifik
$Fr$	= Bilangan Froude
$H$	= Tinggi energy
$h$	= Tinggi muka air
$g$	= Kecepatan gravitasi
$Cd$	= koefisien debit
$Q$	= Debit



# **BAB I**

## **PENDAHULUAN**

### **A. Latar Belakang**

Sungai adalah penyatuan air di permukaan bumi akibat dari kelebihan curah hujan dan air tanah yang mengalir ke lembah dan membentuk alur-alur secara alamiah dengan membawa berbagai material dari tempat yang tinggi ke tempat yang rendah yang bermuara di danau atau di laut.

Sungai sebagai jalur aliran air di permukaan bumi, disamping mengalirkan air juga mengalirkan sedimen yang terkandung di dalamnya. Sehubungan dengan pemanfaatan air untuk irigasi dan kebutuhan yang lain, seringkali dibuatlah bangunan air seperti waduk, saluran, pintu air, terjunan, bendung dan lain sebagainya guna mengatur dan mengendalikan air tersebut. Untuk menyalurkan air ke berbagai tempat guna keperluan irigasi, drainase, air bersih, dan sebagainya sering dibuat saluran dengan menggunakan saluran terbuka.

Saluran terbuka merupakan saluran dimana air mengalir dengan muka air bebas. Pada semua titik disepanjang saluran, tekanan dipermukaan air adalah sama. Pada saluran terbuka, misalnya sungai (saluran alam), parameter saluran sangat tidak teratur baik terhadap ruang dan waktu. Parameter tersebut adalah tampang lintang saluran, kekasaran, kemiringan

dasar, belokan, pembendungan, debit aliran dan sebagainya. Ketidakteraturan tersebut mengakibatkan analisis aliran sangat sulit untuk diselesaikan secara analitis. Oleh karena itu dibutuhkan pembendungan pada saluran yang merupakan suatu peralihan yang berfungsi untuk mengetahui tinggi permukaan air di sepanjang saluran (Edy Harseno, 2007).

Salah satu bangunan pelengkap yang dimiliki oleh saluran terbuka adalah bangunan pelimpah yang berfungsi menjaga saluran dari bahaya pelimpahan (*overtopping*) dan untuk mengatur debit serta tinggi muka air yang melalui saluran air.

Aliran pada pelimpah menggunakan prinsip aliran kritis. Sehingga pelimpah didesain sedemikian rupa hingga aliran yang mengalir pada pelimpah adalah aliran kritis. Dengan aliran kritis maka debit aliran mengalir hanya tergantung dari ketinggian muka air diatas pelimpah.

Pelimpah secara umum dibedakan menjadi pelimpah ambang lebar dan pelimpah ambang tipis. Tipe pelimpah akan berpengaruh pada tinggi air pada pelimpah dan keakuratan pengukuran debit dan kecepatan aliran. Selain itu, kecepatan aliran yang bertambah besar juga berdampak pada meningkatnya daya angkut aliran. Oleh karena hal diatas, maka perlu diteliti lebih lanjut mengenai pengaruh yang ditimbulkan bangunan pelimpah khususnya pelimpah tipe ogee dimensi 1:1 terhadap perubahan debit dan kecepatan aliran pada saluran terbuka.

## **B. Rumusan Masalah**

Berdasarkan latar belakang permasalahan diatas, maka dapat diambil rumusan masalah sebagai berikut:

1. Bagaimana pengaruh bangunan pelimpah tipe ogee dimensi 1:1 terhadap karakteristik aliran pada saluran terbuka?
2. Bagaimana energi spesifik pada bangunan pelimpah tipe ogee dimensi 1:1 terhadap karakteristik aliran?

## **C. Tujuan Penelitian**

Adapun tujuan dari penelitian ini adalah:

1. Untuk mengetahui bagaimana pengaruh bangunan pelimpah tipe ogee dimensi 1:1 terhadap karakteristik aliran pada saluran terbuka.
2. Untuk mengetahui energi spesifik pada bangunan pelimpah tipe ogee dimensi 1:1 terhadap karakteristik aliran.

## **D. Batasan Masalah**

Untuk menghindari cakupan penulisan yang lebih luas dan penulisan dapat berjalan efektif serta mencapai sasaran yang diinginkan, maka penulisan dibatasi pada :

1. Penelitian ini dilakukan dengan melakukan uji model laboratorium *open channel* di laboratorium Hidrolika Fakultas Teknik Universitas Muslim Indonesia Makassar.
2. Jenis air yang digunakan adalah air tawar.

3. Dimensi pelimpah tipe ogee 1:1 yang digunakan memiliki ukuran panjang 0,18 m, lebar 0,078 m dan tinggi 0,1 m.
4. Saluran flume segi empat dengan lebar saluran 0,078 m, tinggi 0,35 m, dan panjang 4,8 m.
5. Permasalahan aliran yang melalui suatu bentuk pelimpah tipe ogee dimensi 1:1 dimana debit akan di bagi menjadi tiga macam debit yang bervariasi.

#### **E. Manfaat Penelitian**

Dari hasil penelitian ini diharapkan dapat memberikan kontribusi yang bermanfaat antara lain:

##### 1. Bagi Ilmu Pengetahuan

Penelitian ini diharapkan bisa dikembangkan sesuai dengan teori-teori yang ada dan dihubungkan dengan kenyataan yang terjadi di lapangan. Sehingga dapat menghasilkan pengembangan ilmu pengetahuan yang bermanfaat baik dalam penerapan di lapangan maupun dalam akademis.

##### 2. Bagi Akademisi

Penelitian tentang pengaruh bangunan pelimpah tipe ogee dimensi 1:1 terhadap perubahan debit dan kecepatan aliran pada saluran terbuka, diharapkan dapat menjadi referensi untuk menambah wawasan serta pengetahuan bagi para akademisi sehingga kelak dapat mengimplementasikannya dengan baik.

## **F. Sistematika Penulisan**

Sistematika penulisan merupakan gambaran umum dari keseluruhan penulisan secara sistematis diuraikan sebagai berikut:

Bab I Pendahuluan, dalam bab ini diuraikan mengenai latar belakang, rumusan masalah, batasan penelitian, maksud dan tujuan penelitian, manfaat penelitian, serta sistematika penulisan.

Bab II Tinjauan Pustaka, dalam bab ini diuraikan berbagai pustaka yang terkait menjadi bahan referensi penulisan, baik yang akan digunakan maupun yang bersifat pengetahuan dan gambaran umum mengenai perpustakaan. Berisi juga tentang dasar-dasar teori yang dipergunakan dan menjadi bahan acuan dalam penelitian.

Bab III Metodologi Penelitian, dalam bab ini diuraikan mengenai metode penulisan meliputi kerangka penulisan yang berisi tahapan penelitian, pelaksanaan penelitian, teknik pengumpulan data, peralatan penelitian, jenis data yang diperlukan, waktu penelitian, pengambilan data serta analisis data yang sesuai dengan tujuannya.

Bab IV Analisis Dan Pemecahan Masalah, bab ini berusaha menguraikan analisis data, hasil uji laboratorium dan pembahasan.

Bab V Kesimpulan Dan Saran, dalam bab ini diuraikan kesimpulan yang diperoleh dari analisis data yang telah dilakukan beserta saran-saran dari penulis.

## **BAB II**

### **TINJAUAN PUSTAKA**

#### **A. Saluran Terbuka**

Saluran terbuka adalah saluran yang mengalirkan air dengan suatu permukaan bebas. Ditinjau dari mekanika aliran, saluran terbuka merupakan salah satu dari dua macam aliran yang mempunyai perbedaan prinsip yaitu aliran saluran tertutup dan aliran saluran terbuka. Pada aliran saluran tertutup tidak terdapat permukaan bebas sehingga tidak terdapat pengaruh langsung dari tekanan atmosfer, pengaruh yang ada hanyalah tekanan hidrolis yang tekanannya dapat lebih besar atau lebih kecil dari pada tekanan atmosfer. Sedangkan pada aliran terbuka, terdapat permukaan bebas yang berhubungan dengan atmosfer dimana permukaan bebas tersebut merupakan suatu batas antara dua fluida yang berbeda kerapatannya yaitu cairan dan udara, dan pada permukaan ini terdapat tekanan atmosfer. Dari kondisi tersebut dapat disimpulkan bahwa mekanika aliran saluran terbuka lebih sulit dibanding mekanika aliran saluran tertutup.

Saluran terbuka dibedakan menurut asalnya menjadi dua macam, yaitu saluran alam (*natural channels*) dan saluran buatan (*artificial channels*).

## 1. Saluran Alam

Mengindikasikan bahwa semua saluran terbentuk melalui proses alamiah dan tidak mengalami perubahan yang berarti oleh manusia. Saluran-saluran yang termasuk dalam jenis ini adalah saluran-saluran kecil, sungai-sungai besar maupun kecil, dan muara-muara sungai dipengaruhi oleh pasang surut air laut.

Sifat-sifat geometrik saluran alam pada umumnya tidak beraturan sehingga seringkali harus dilakukan pengamatan atau pengukuran yang nyata dan dibutuhkan pengalaman-pengalaman sedemikian rupa sehingga kondisi dari situasi pada saluran-saluran alam tersebut dapat diketahui.

Untuk geometri penampang saluran alam, belum ada rumus tertentu untuk menyatakan unsur-unsur tersebut, selain kurva-kurva yang menyatakan hubungan unsur-unsur ini dengan kedalaman aliran yang disiapkan untuk perhitungan hidrolis.

## 2. Saluran Buatan

Saluran buatan adalah semua saluran yang dibuat oleh manusia, meliputi saluran irigasi, saluran pembangkit listrik, saluran pelayaran, saluran drainase dan lain-lain, termasuk saluran-saluran di laboratorium untuk keperluan penelitian.

Saluran jenis ini biasanya direncanakan berdasarkan bentuk geometris yang umum. Bentuk yang paling umum bentuk saluran yang

berdinding tanah yang tidak dilapisi adalah bentuk trapesium, sebab stabilitas kemiringan dindingnya dapat disesuaikan.

Di lapangan, saluran terbuka buatan (*artificial channels*) dapat berupa:

- a. Canal (saluran) : biasanya panjang dan merupakan saluran selokan landai yang dibuat ditanah, dapat dilapisi pasangan batu maupun tidak, atau beton, semen, kayu maupun aspal
- b. Talang (*flume*) : merupakan selokan dari kayu, logam, beton atau pasangan batu, biasanya disangga atau terletak diatas permukaan tanah, untuk mengalirkan air berdasarkan perbedaan tinggi tekan
- c. Got miring (*chute*) : selokan yang kemiringan dasar relatif curam
- d. Terjunan (*drop*) : selokan dengan kemiringan yang tajam namun perubahan tinggi air terjadi dalam jarak pendek
- e. Terowongan air terbuka (*open-flow-tunnel*) : selokan tertutup yang cukup panjang, dipakai untuk mengalirkan air menembus bukit atau setiap gundukan tanah.

## **B. Konsep Dasar Aliran pada Saluran Terbuka**

Menurut Robert J. Kodoatie dalam bukunya yang berjudul Hidrolika Terapan tahun 2002, menyatakan bahwa aliran pada saluran terbuka merupakan aliran yang mempunyai permukaan yang bebas. Permukaan yang bebas itu merupakan pertemuan dua fluida dengan kerapatan  $\rho$



(*density*) yang berbeda. Biasanya pada saluran terbuka 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 dan distribusi tekanan di dalam air umumnya bersifat hidrostatis (French, 1987). Distribusi tekanan bersifat hidrostatis karna kuantitasnya tergantung dari berat jenis aliran dan kedalaman. Karena berat jenis aliran dapat diasumsikan tetap, maka tekanan hanya tergantung dari kedalamannya; semakin dalam tekanannya semakin besar. Namun pada beberapa kondisi bisa ditemukan distribusi tekanan tidak hidrostatis.

Sifat-sifat aliran saluran terbuka pada dasarnya ditentukan oleh adanya pengaruh kekentalan (*viskositas*) dan pengaruh gravitasi dalam perbandingannya dengan gaya-gaya kelembaban (*inertial forces*) dari aliran. Tegangan permukaan juga sebenarnya dapat berpengaruh pada sifat-sifat aliran.

Saluran terbuka bertentangan dengan pipa, dimana aliran terjadi dibawah tekanan aliran dalam saluran terbuka hanya disebabkan oleh kemiringan saluran dan permukaan air (Lucio Canonica, 2013). Saluran terbuka mempunyai tiga bentuk energi hidrolis, yaitu:

a. Energi potensial  $Z$

b. Energi tekanan  $\frac{p}{\gamma} = Y$

c. Energi kinetik  $\frac{v^2}{2g}$

Juga di dalam saluran terbuka aliran disertai oleh kehilangan tinggi tekan akibat gesekan  $h_f$ .

### C. Karakteristik Aliran pada Saluran Terbuka

Karakteristik aliran merupakan sifat, perilaku atau kualitas yang melekat secara alamiah pada aliran fluida yang terjadi di saluran. Klasifikasi aliran pada saluran juga dapat dibedakan menggunakan bilangan *Reynolds*. Menurut bilangan *Reynolds* dapat dibedakan menjadi tiga bagian klasifikasi aliran dan disertai dengan karakteristik alirannya adalah sebagai berikut :

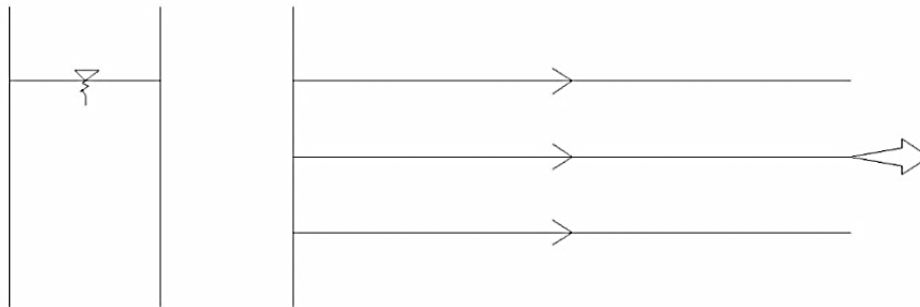
#### a. Aliran laminar

*Aliran laminar* adalah jika suatu lintasan aliran yang di tunjukan oleh gerak partikel-partikel cairan menunjukkan garis-garis halus,sejajar dan tidak memotong aliran. Menurut French 1985, nilai bilangan *Reynolds* lebih kecil dari lima ratus (  $Re < 500$  ).

Karakteristik aliran pada aliran ini adalah sebagai berikut :

- 1) Aliran fluida tanpa arus *turbulen* (pusaran air)
- 2) Aliran laminar bergerak atau mengalir secara beraturan
- 3) Partikel fluida mengalir atau bergerak dengan bentuk garis lurus dan sejajar/pararel

- 4) Laminar merupakan ciri dari arus yang berkecepatan rendah
- 5) Perpindahan partikel sedimen dalam zona aliran berpindah dengan cara menggelinding (*rolling*) atau terangkat.



Gambar 1. Aliran Laminar (Sumber: Ridho Ernandi, 2012)

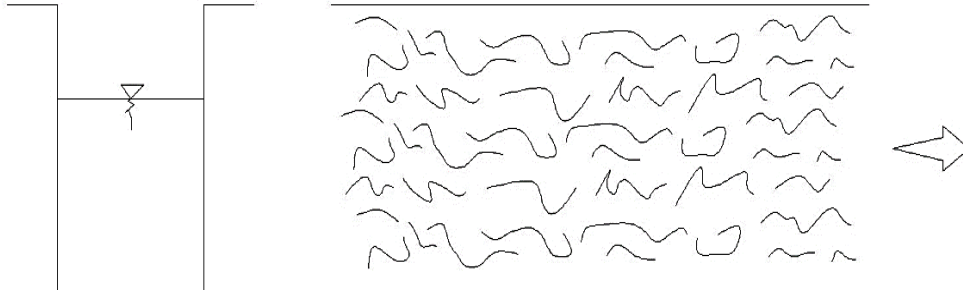
#### b. Aliran turbulen

*Aliran turbulen* adalah jika suatu aliran yang ditunjukkan oleh gerak pada partikel-partikel cairan bergerak sepanjang garis lintasan yang berupa lengkungan-lengkungan tak teratur dan mendorong satu sama lain. Menurut French 1985, nilai bilangan *Reynolds* lebih besar dari dua belas ribu lima ratus ( $Re > 12500$ ).

Karakteristik aliran pada aliran ini adalah sebagai berikut :

- 1) Aliran partikel tidak menentu
- 2) Mempunyai kecepatan beraneka ragam
- 3) Aliran ini lebih efisien dalam mengangkut dan menjalankan sedimen
- 4) Massa air bergerak ke atas, bawah dan secara lateral berhubungan dengan arah arus yang umum

5) Dapat memindahkan massa dan momentum.



Gambar 2. Aliran Turbulen (Sumber: Ridho Ernandi, 2012)

### c. Aliran transisi

*Aliran transisi* adalah aliran peralihan dari aliran laminar ke aliran turbulen, aliran transisi biasanya paling sulit untuk di amati. Menurut French 1985, nilai bilangan *Reynolds* antara lima ratus sampai dua belas ribu lima ratus (  $500 < Re < 12,500$  ).

Adapun persamaan untuk menghitung nilai bilangan *Reynolds* adalah, sebagai berikut:

$$Re = \frac{V.L}{\nu} \dots\dots\dots (1)$$

Keterangan:

Re = bilangan Reynolds

V = kecepatan aliran (m/det)

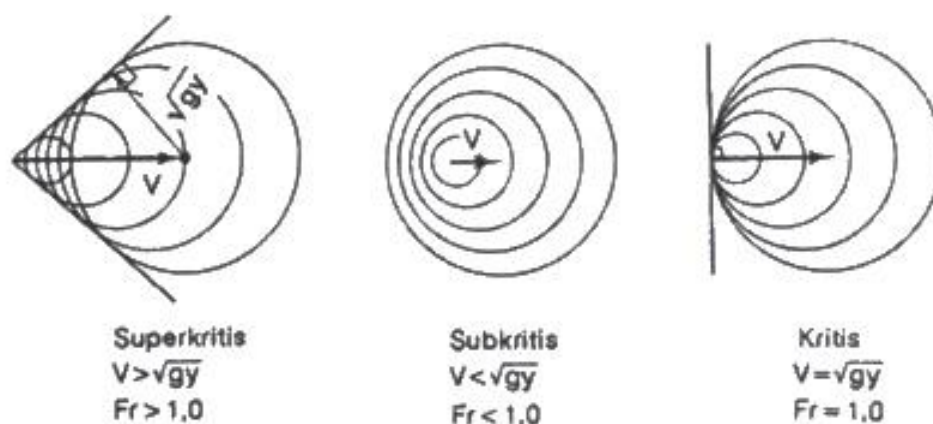
L = panjang karakteristik aliran (m)

$\nu$  = viskositas/kekentalan kinematis ( $m^2/det$ )

Fluida adalah suatu zat yang dapat mengalir bisa berupa cairan atau gas. Fluida menghugubah bentuknya dengan mudah, sedangkan viskositas fluida merupakan ukuran ketahanan sebuah fluida terhadap deformasi atau perubahan bentuk. Viskositas dipengaruhi oleh temperature, tekanan, kohesi dan laju perpindahan momentum molekulnya.

d. Aliran *kritis*, *subkritis* dan *superkritis*

Aliran dikatakan kritis apabila kecepatan aliran sama dengan kecepatan gelombang grafitasi dengan amplitudo kecil. Gelombang grafitasi dapat dibangkitkan dengan merubah kedalaman. Jika kecepatan aliran lebih kecil daripada kecepatan kritis, maka alirannya disebut subkritis, sedangkan jika kecepatan aliran lebih besar daripada kecepatan kritis, maka alirannya disebut superkritis. Apabila yang dipertimbangkan - adalah besarnya perbandingan antara gaya-gaya kelembaman dan gaya-gaya gravitasi maka aliran dapat dibagi menjadi:



Gambar 3. Pola Penjalaran Gelombang di saluran Terbuka

- 1) Aliran kritis apabila angka  $F_R = 1$ , berarti gaya-gaya kelembaman dan gaya gravitasi seimbang dan aliran disebut dalam keadaan aliran kritis.
- 2) Aliran subkritis apabila angka  $F_R < 1$ , berarti gaya gravitasi menjadi dominan dan aliran dalam keadaan aliran subkritis.
- 3) Aliran superkritis apabila angka  $F_R > 1$ , maka gaya gravitasi menjadi dominan dan aliran dalam keadaan aliran subkritis.

Parameter tidak berdimensi yang membedakan tipe aliran tersebut adalah angka Froude ( $F_R$ ) yaitu angka perbandingan antara gaya kelembaman dan gaya grafitasi:

$$F_r = \frac{V}{\sqrt{g h}} \dots\dots\dots (2)$$

Pada aliran terbuka biasanya digunakan kedalaman hidraulis  $D$ , sehingga  $F$  dapat ditulis sebagai :

$$F_r = V / \sqrt{gD} \dots\dots\dots (3)$$

$$F_r = \frac{Q}{A \sqrt{g_b \frac{A}{b}}} \dots\dots\dots (4)$$

Dimana:

$F_r$  = angka Froude

$V$  = kecepatan rata-rata aliran (m/det)

$h$  = kedalaman hidrolis saluran (m)

$g$  = gaya grafitasi (m/det<sup>2</sup>)

#### D. Penampang Saluran

Geometri atau penampang saluran (*channel section*) adalah tegak lurus terhadap arah aliran, sedangkan penampang vertikal saluran (*vertical channel section*) adalah suatu penampang melalui titik terbawah atau terendah dari penampang saluran. Unsur-unsur geometri atau penampang pada saluran terbuka berbentuk segi empat, adalah sebagai berikut:

##### a) Tinggi Jagaan Saluran (W)

Tinggi jagaan saluran (W) adalah tinggi saluran mulai dari permukaan air sampai tanggul. Adapun persamaan dari tinggi jagaan saluran, yaitu :

$$W = 0,3 + 0,25 h \dots\dots\dots (5)$$

Keterangan :

W = tinggi jagaan saluran (m)

h = kedalaman hidrolis saluran (m)

##### b) Luas Penampang Melintang (A)

Luas penampang melintang (A) adalah luas cairan yang dipotong oleh penampang melintang dan tegak lurus pada arah aliran. Adapun persamaannya, yaitu:

$$A = b \times h \dots\dots\dots (6)$$

Keterangan :

A = luas penampang basah saluran (m<sup>2</sup>)

b = lebar dasar saluran (m)

$h$  = kedalaman hidrolis saluran (m)

c) Keliling Basah (P)

Keliling basah saluran (P) adalah panjang dan sisi-sisi sampai permukaan cairan. Adapun persamaan dari keliling basah saluran, yaitu:

$$P = b + 2h \dots\dots\dots (7)$$

Keterangan:

$P$  = keliling basah saluran (m)

$b$  = lebar dasar saluran (m)

$h$  = kedalaman hidrolis saluran (m)

d) Jari-jari Hidrolis (R)

Jari-jari hidrolis (R) adalah perbandingan luas penampang melintang dan keliling basah. Adapun persamaan jari-jari hidrolis, yaitu:

$$R = \frac{A}{P} \dots\dots\dots (8)$$

Keterangan :

$R$  = jari-jari hidrolis saluran (m)

$A$  = luas penampang basah saluran ( $m^2$ )

$P$  = keliling basah saluran (m)

e) Lebar Dasar (b)

Lebar dasar (b) adalah lebar permukaan air bagian bawah atau dasar saluran. Adapun persamaan lebar dasar saluran, yaitu :

$$b = n \times h \dots\dots\dots (9)$$



Keterangan :

b = lebar dasar saluran (m)

h = kedalaman hidrolis saluran (m)

n = koefisien kekasaran Manning dasar saluran

f) Kedalaman Hidrolis Saluran (h)

Kedalam hidrolis saluran (h) adalah perbandingan luas penampang melintang dan lebar dasar saluran. Adapun persamaan kedalaman hidrolis saluran, adalah sebagai berikut :

$$h = \frac{A}{b} \dots\dots\dots (10)$$

Keterangan :

h = kedalaman hidrolis saluran (m)

A = luas penampang basah saluran (m<sup>2</sup>)

b = lebar dasar saluran (m)

### **E. Parameter Hidrolis Kecepatan dan Debit**

Pada saluran terbuka, parameter hidrolis atau kriteria, patokan dan tolak ukur aliran saluran sangat tidak teratur baik terhadap ruang maupun waktu. Adapun parameter hidrolis saluran terbuka diantaranya adalah distribusi kecepatan, kecepatan alira, debit aliran, pembendungan dan sebagainya.

## 1. Distribusi Kecepatan

Dengan adanya suatu permukaan bebas dan gesekan disepanjang dinding saluran, maka kecepatan aliran dalam saluran tidak terbagi merata dalam penampang saluran. Distribusi kecepatan aliran juga tergantung pada bentuk saluran, kekasaran dan kondisi kelurusan saluran. Kecepatan maksimum dalam saluran biasa umumnya terjadi di bawah permukaan bebas sedalam 0,05 sampai 0,25 kedalamannya (Karnisah Iin, 2010).

## 2. Kecepatan Aliran

Pengukuran debit saluran dikatakan secara tidak langsung apabila kecepatan alirannya tidak diukur langsung, akan tetapi dihitung berdasarkan rumus hidraulis debit dengan rumus *Manning*, *Chezy* dan *Darcy Weisbach*. Pada sungai-sungai yang besar, penggunaan alat ukur yang diterapkan di laboratorium menjadi tidak praktis dan pengukuran debit dilakukan dengan suatu alat pengukur kecepatan aliran yang disebut pengukur arus (*current meter*). (Cahya Yuni. S. D, 2012)

Rumus-rumus empiris yang digunakan untuk menghitung kecepatan aliran, yaitu sebagai berikut:

### a) Persamaan *Chezy*

Zat cair yang mengalir melalui saluran terbuka akan menimbulkan geser atau tahanan pada dinding saluran. Tahanan ini akan diimbangi oleh komponen gaya berat yang bekerja pada zat cair dalam arah aliran. Adapun

persamaan *Chezy* dapat dinyatakan dalam bentuk persamaan sebagai berikut:

$$v = C \cdot \sqrt{R} \dots\dots\dots (11)$$

Keterangan :

$v$  = kecepatan pengaliran (m/det)

$C$  = koefisien angka saluran

$s$  = slope atau kemiringan dasar saluran

$R$  = jari-jari hidrolis (m)

b) Persamaan *Darcy Weisbach*

Adapun persamaan *Darcy Weisbach* dapat dinyatakan dalam bentuk persamaan sebagai berikut:

$$h = \frac{1}{\sqrt{\lambda}} \sqrt{8 g R} \dots\dots\dots (12)$$

Keterangan :

$v$  = kecepatan pengaliran (m/det)

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

$s$  = slope atau kemiringan dasar saluran

$R$  = jari-jari hidrolis (m)

$\lambda$  = faktor gesekan wie

c) Persamaan *Manning-Gaukler-Strickler* (MGS)

Persamaan *Manning-Gaukler-Strickler* (MGS) paling sering digunakan untuk menghitung kecepatan aliran pada saluran terbuka, adapun

rumus *Manning-Gaukler-Strickler* (MGS) dapat dinyatakan dalam bentuk persamaan sebagai berikut:

$$V = \frac{1}{n} \times R^{2/3} \times S^{1/3} \dots\dots\dots (13)$$

Keterangan :

v = kecepatan aliran penampang (m/det)

s = slope atau kemiringan dasar saluran

R = jari-jari hidrolis (m)

n = koefisien kekasaran Manning dasar saluran

### 3. Debit Aliran

Debit aliran (Q) adalah laju aliran air dalam bentuk volume air yang melewati suatu penampang melintang saluran per satuan waktu. Dalam sistem Satuan Internasional (SI) besarnya debit dinyatakan dalam satuan meter kubik per detik (m<sup>3</sup>/det). Dalam laporan teknik, debit aliran biasanya ditunjukkan dalam bentuk hidrograf aliran (Yudah G.S, 2014).

Adapun persamaan umum untuk menghitung debit aliran yang melewati suatu saluran, yaitu:

$$Q = A \times V \dots\dots\dots (14)$$

Keterangan :

Q = debit aliran (m<sup>3</sup>/det)

A = luas keliling basah penampang (m<sup>2</sup>)

V = kecepatan aliran (m/det)

## **F. Pelimpah**

### **1. Umum**

Menurut Gandakoesoema dalam bukunya yang berjudul Hidrolika tahun 1983, menyatakan bahwa pelimpahan itu dapat dipandang sebagai lubang persegi yang sisi atasnya terbuka. Pelimpah biasanya mempunyai bentuk siku. Bagian bawah dinamai ambang, bagian pinggir dinamai sisi, dan jarak datar antara sisi-sisi disebut panjangnya dari pelimpahan.

Pelimpah yang paling umum di pergunakan yaitu pelimpah terbuka dengan ambang tetap. Fungsi dari pelimpah untuk penuntun dan pengarah saluran, pengatur kapasitas aliran (debit), untuk kelancaran dari saluran pengatur, untuk mereduksi energi yang terdapat dalam saluran. Pelimpah adalah suatu kenaikan dari dasar suatu saluran terbuka yaitu pada bendung atau ambang, datum yang berada pada dasar saluran.

Berdasarkan bentuk elevasi muka air di hilir ambang pelimpah dapat dibedakan :

#### **a) Pelimpah sempurna**

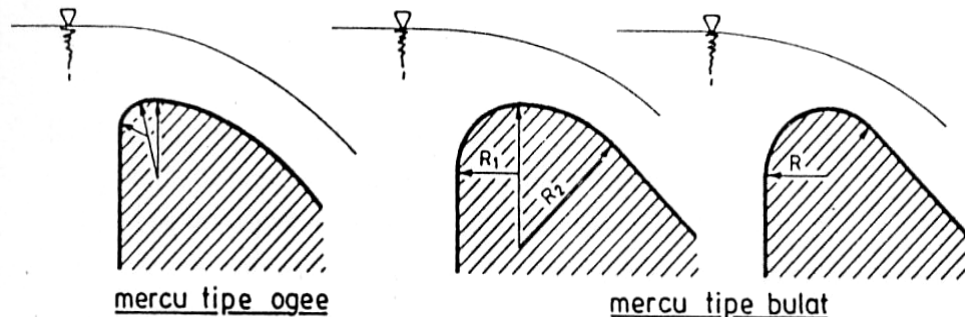
Pelimpah sempurna apabila muka air pada bagian hilir lebih rendah daripada ambang.

#### **b) Pelimpah tak sempurna**

Pelimpah tidak sempurna apabila muka air pada bagian hilir lebih tinggi dari pada ambang.

## 2. Bentuk Mercu Pelimpah

Di Indonesia pada umumnya digunakan dua tipe mercu untuk bendung pelimpah yaitu tipe Ogee dan tipe bulat.



Gambar 4. Bentuk-bentuk Mercu Pelimpah (Sub-Direktorat Perencanaan Teknis, Direktorat Irigasi I, Dirjend. Pengairan DPU, 1986)

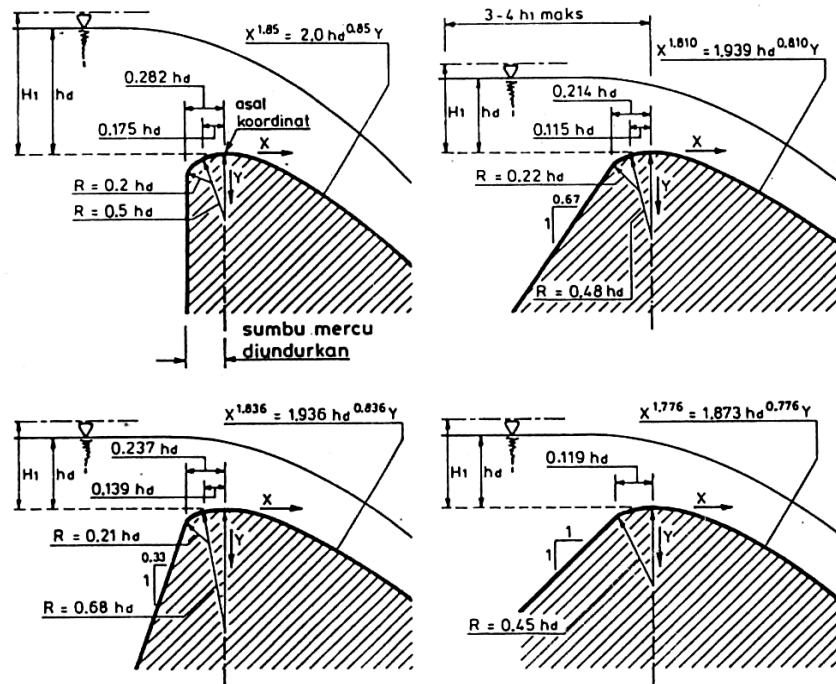
Kedua bentuk mercu tersebut dapat dipakai baik untuk konstruksi beton maupun pasangan batu atau bentuk kombinasi dari keduanya.

Kemiringan maksimum muka bendung bagian hilir yang dibicarakan disini kemiringan 1 dibanding 1 batas bendung dengan muka hilir vertikal mungkin menguntungkan jika bahan pondasinya dibuat dari batu keras dan tidak diperlukan kolam olak. Dalam hal ini kavitasasi dan aerasi tirai luapan harus diperhitungkan dengan baik.

### a. Mercu Ogee

Mercu ogee berbentuk tirai luapan bawah dari bendung ambang tajam aerasi. Oleh karena itu mercu ini tidak akan memberikan tekanan subatmosfir pada permukaan mercu sewaktu bendung mengalirkan air pada

debit rencana. Untuk debit yang lebih rendah, air akan memberikan tekanan kebawah pada mercu (Salomo Simanjuntak: 2009).



Gambar 5. Bentuk-bentuk bendung mercu Ogee (U.S Army Corps of Engineer, Waterways Experimental station)

Untuk merencanakan permukaan mercu Ogee dipakai persamaan dari buku kriteria perencanaan 02 :

$$X^{1,810} = 1,939 hd^{0,810}y \dots\dots\dots (15)$$

Dimana x dan y adalah koordinat-koordinat permukaan hilir dan hd adalah tinggi energi rencana di atas mercu. Harga-harga K dan n adalah parameter. Harga-harga ini bergantung kepada kecepatan dan kemiringan permukaan belakang.

Tabel 1. Koordinat tirai luapan atas diatas muka tegak pelimpah lengkung  
(Mercu Ogee)

y/Hd			
x/HD	H/HD = 0,5	H/HD =1,0	H/Hd = 1,33
-1,0	-0,49	-0,933	-1,21
-0,6	-0,475	-0,933	-1,21
-0,2	-0,425	-0,821	-0,106
0	-0,371	-0,755	-1,00
0,4	-0,20	-0,586	-0,821
0,8	0,075	-0,320	-0,22
1,8	1,269	0,857	0,531

(Sumber: Salomo Simanjuntak: 2009)

Tabel berikut menyajikan harga-harga K dan n untuk berbagai kemiringan hilir dan kecepatan pendekatan yang rendah.

Tabel 2. Harga-harga K dan n

Kemiringan permukaan hilir	K	N
Vertikal	2,000	1,850
3 : 1	1,936	1,836
3 : 2	1,939	1,810
1 : 1	1,873	1,776

(Sumber: Hafidh Farisi: 2014)



### b. Mercu Bulat

Bendung dengan mercu bulat memiliki harga koefisien debit yang jauh lebih tinggi (44%) dibandingkan dengan koefisien bendung ambang lebar. Pada sungai ini akan banyak memberikan keuntungan karena bangunan ini akan mengurangi tinggi muka air hulu selama banjir.

Tekanan pada mercu bulat adalah fungsi perbandingan antara  $H_1$  dan  $r$  ( $H_1/r$ ). Untuk bendung dengan jari-jari ( $R_2$ ), jari-jari yang akan digunakan untuk menentukan harga koefisien debit untuk menghindari bahaya kavitasitas lokal, tekanan minimum pada mercu bendung harus dibatasi sampai 4 m tekanan air jika mercu terbuat dari beton.

### G. Persamaan Debit Bentuk Mercu Ogee (Lengkung)

Karena profil pelimpah lengkung diperoleh dari profil tirai luapan bawah di atas bendung puncak tajam, hubungan debit yang sama dengan bentuk bendung akan berlaku sama dalam hal pelimpah (Salomo Simanjuntak: 2009).

Persamaan antara tinggi energi dan debit untuk bendung mercu Ogee adalah:

$$Q = \frac{2}{3} C_0 B \sqrt{2gH_0^{3/2}} \dots\dots\dots (16)$$

Dimana:

$Q$  = debit ( $m^3/dt$ )

$C_0$  = koefisien debit

$g$  = percepatan gravitasi,  $m/dt^2$  ( $\approx 9,8$ )

$H_0 = H_d + V_0^2/2g$  ( $V_0$  adalah pendekatan)

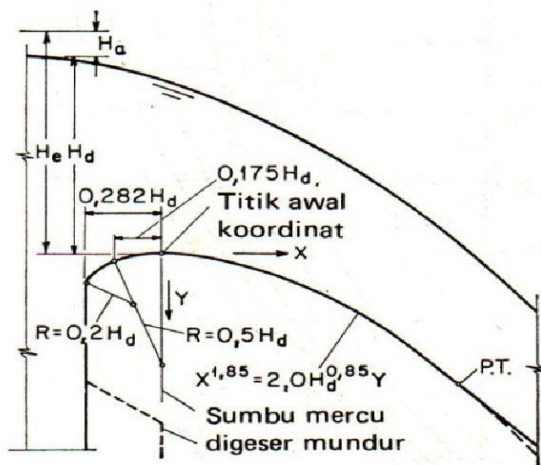
Penelitian USBR telah menunjukkan bahwa  $C_0$  adalah fungsi dari  $\frac{w}{H_0}$ . Harga  $C_0$  yang relative tinggi apabila dibandingkan dengan bendung puncak tajam ialah karena perbedaan dasar dari ketinggian tekan yang diambil. Persamaan debit dapat ditulis sebagai berikut:

$$Q = \frac{2}{3} CB \sqrt{2gHe^{3/2}} \dots\dots\dots (17)$$

Dimana C adalah koefisien debit dan

$$He = H + H + \frac{V_0^2}{2g} \dots\dots\dots (18)$$

Pada studi kali ini digunakan mercu pelimpah Ogee Tipe 1 (Tipe tegak).



Gambar 6. Profil Ambang Tegak (Sumber: Chow, 1997: 330)

Bentuk pelimpah dihitung berdasarkan metode yang disusun oleh The United State Army Corps of Engineers yang dinyatakan berdasar lengkung Harrold (Chow 1997: 330), sebagai berikut :

$$X^n = K \cdot H_d^{n-1} \cdot Y \dots\dots\dots(19)$$

Keterangan:

X, Y = koordinat profil mercu dengan titik awal pada titik tertinggi mercu

Hd = tinggi tekan rancangan tanpa tinggi kecepatan dari aliran yang masuk

K, n = parameter yang tergantung pada kemiringan muka pelimpah bagian hulu.

#### **H. Energi Spesifik (*Spesific Energy*)**

Energi spesifik adalah energi relatif terhadap dasar saluran. Prinsip energi yang diturunkan untuk aliran melalui pipa dapat juga digunakan untuk aliran melalui saluran terbuka. Energi yang terkandung di dalam satu satuan berat air yang mengalir di dalam saluran terbuka terdiri dari tiga bentuk, yaitu energi kinetik, energi tekanan, dan energi elevasi di atas garis referensi.

Energi kinetik pada suatu tampang di saluran terbuka diberikan oleh bentuk  $V^2/2g$  , dengan  $V$  adalah kecepatan rerata aliran di tampang tersebut. Apabila koefisien koreksi energi  $\alpha$  diperhitungkan maka energi kinetik mempunyai bentuk  $\alpha V^2/2g$ . Nilai  $\alpha$  adalah antara 1,05 dan 1,2 yang tergantung pada bentuk distribusi kecepatan.

Oleh karena aliran melalui saluran terbuka mempunyai permukaan air bebas yang terbuka ke atmosfer, maka tekanan pada permukaan air adalah konstan dan diambil  $p = 0$  (sebagai tekanan referensi). Apabila di aliran di saluran terbuka adalah sepanjang garis kemiringan yang lurus, tekanan pada titik  $A$  yang terendam air adalah sama dengan jarak vertikal dari muka air ke titik tersebut.

Untuk suatu tampang saluran, kedalaman air pada tampang tersebut,  $y$  biasanya digunakan untuk menunjukkan tinggi tekanan, yaitu  $y = p/\lambda$ . Tetapi apabila air mengalir melalui dasar saluran yang berbentuk lengkung, seperti pada bangunan pelimpah atau bendung, gaya sentrifugal yang terjadi karena massa air yang mengalir pada dasar lengkung tersebut dapat menyebabkan perbedaan tekanan yang cukup besar dari tekanan yang diukur dari kedalaman aliran.

Besarnya energi spesifik dapat dirumuskan sebagai berikut (Ven Te Chow, 1959 dalam Robert, J.K., 2002) :

$$E = \frac{v^2}{2g} \dots\dots\dots (20)$$

Energi spesifik aliran pada penampang tertentu sebagai total energi pada penampang yang dihitung dengan menggunakan dasar saluran sebagai titik duga ditentukan dengan :

$$E1 = h1 + \left( \frac{v^2}{2g} \right) \dots\dots\dots (21)$$

Keterangan:

$h$  = tinggi muka air (m)

$V$  = kecepatan aliran (m/det)

$g$  = kecepatan gravitasi (m/det<sup>2</sup>)

Energi spesifik untuk aliran kritis pada saluran persegi panjang dengan lebar  $B$  dapat ditulis:

$$E_c = \frac{V_c^2}{2g} + y_c = \frac{Q^2}{2gyc^2B^2} + y_c \dots \dots \dots (22)$$

Sehingga besarnya kedalaman kritis dapat ditulis menjadi :

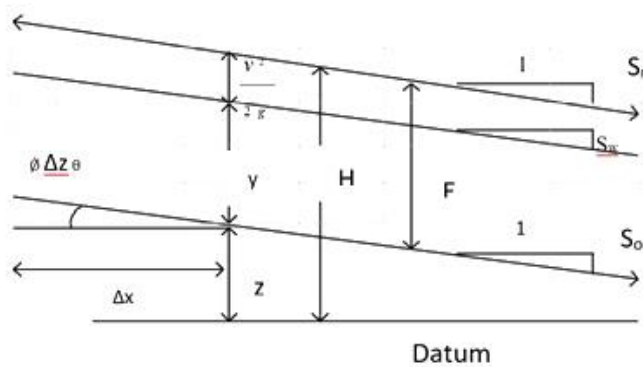
$$Y_c = \sqrt[3]{\frac{Q}{B^2g}} = \sqrt[3]{\frac{q^2}{g}} \dots \dots \dots (23)$$

Besarnya kecepatan kritis dapat dicari dari :

$$Fr = \frac{v_c}{\sqrt{gy_c}} = 1 \dots \dots \dots (24)$$

Atau

$$V_c = \sqrt{gy_c} \dots \dots \dots (25)$$



Gambar 7. Parameter energi spesifik (Robert J.K. : 2002)

Dasar saluran diasumsikan mempunyai kemiringan landai atau tanpa kemiringan. ( $Z$ ) adalah ketinggian dasar diatas garis referensi yang dipilih, ( $h$ ) adalah kedalaman aliran, dan faktor koreksi energi ( $\alpha$ ) dimisalkan sama dengan satu. Energi spesifik aliran pada setiap penampang tertentu dihitung sebagai total energi pada penampang itu dengan menggunakan dasar saluran sebagai referensi (Rangga Raju, 1981). Persamaan energi secara umum adalah :

$$H = z + h \cos \Theta + \alpha \frac{v^2}{2g} \dots\dots\dots (26)$$

Sehingga persamaan energi untuk saluran datar ( $\Theta = 0$ ), adalah

$$E = h + \frac{v^2}{2g} \dots\dots\dots (27)$$

Berhubung  $Q = v \times A$ , maka rumus energi spesifik menjadi :

$$E = \frac{Q^2}{2g A^2} + h \dots\dots\dots (28)$$

Dengan:

$H$  = tinggi energi (cm)

$z$  = tinggi suatu titik terhadap bidang refensi (cm)

$\alpha$  = koefisien energi, pada perhitungan selanjutnya  $\alpha = 1$

$E$  = energi spesifik (cm)

$h$  = kedalaman air (cm)

$v$  = kecepatan aliran rata-rata (cm/det)

$A =$  luas penampang ( $\text{cm}^2$ )

$g =$  percepatan gravitasi ( $\text{cm}/\text{det}^2$ )

$Q =$  debit ( $\text{cm}^3/\text{det}$ )

## **I. Skala Model**

### **1. Umum**

Menurut Bambang Triatmojo:2011, skala model dalam bidang hidrodinamik atau yang lebih dikenal dengan nama “Hidrolika Model” merupakan eksperimen mekanika fluida yang ditujukan untuk menyelesaikan problem-problem hidrolis dalam rekayasa praktis. Hal ini karena air mudah didapat dan mempunyai banyak keuntungan dibandingkan dengan fluida-fluida lainnya.

Dalam merencanakan skala model ada beberapa kondisi yang harus dipenuhi, yaitu antara lain:

- a) Skala model harus disimulasi secara akurat, model harus mereproduksi dengan tepat fenomena alam yang distudi .
- b) Skala model harus sensitif, sensitivitas skala model harus disesuaikan dengan kebutuhan yang diinginkan dalam mereproduksi proses alam yang diamati.
- c) Skala model harus ekonomis, model yang terbaik bukanlah model yang terbesar, tetapi skala model yang juga memperhitungkan pertimbangan ekonomi.

## 2. Jenis Model

Menurut jurnal Suprijanto (2013), secara umum pengertian model adalah suatu untuk menciptakan suatu replika atau tiruan dari suatu fenomena atau peristiwa alam. Ada tiga jenis model yaitu model fisik, model analogi dan model matematik.

### a) Model fisik

Pada model fisik replika atau tiruan tersebut dilaksanakan dengan menirukan domain atau ruang atau daerah dimana fenomena atau peristiwa alam itu terjadi. Tiruan domain ini dapat lebih besar atau lebih kecil dibandingkan dengan domain aslinya di lapangan atau alam. Kecocokan dari model ini tergantung dari seberapa mungkin kesebangunan (geometris, kinematis dan dinamis) di alam dapat ditirukan dalam model. Contoh: model bendung, model bangunan pelimpah, model karburator.

### b) Model analogi

Pada model analogi replika atau tiruan tersebut dilaksanakan dengan menganalogikan fenomena/peristiwa/alam dengan fenomenan atau peristiwa alam yang lain untuk kemudian dibuat model fisiknya. Misalnya peristiwa aliran tanah dibawah bendung ditirukan dengan model yang menggunakan arus listrik.

### c) Model matematik

Pada model matematik replika atau tiruan tersebut dilaksanakan dengan mendeskripsikan fenomena atau peristiwa alam dengan satu set



persamaan. Kecocokan model terhadap fenomena atau peristiwa alamnya tergantung dari ketepatan simulasi persamaan matematis dalam mendeskripsikan fenomena atau peristiwa alam yang ditirukan.

## **BAB III**

### **METODOLOGI PENELITIAN**

#### **A. Tempat dan Waktu penelitian**

##### **1. Umum**

Tahap-tahap yang sistematis runtut dan saling berkesinambungan disusun untuk memperoleh hasil yang maksimal serta untuk menghindari timbulnya kesulitan yang mungkin terjadi pada saat penelitian.

Metode yang dipakai untuk mendapatkan data dalam penelitian ini adalah dengan percobaan langsung atau eksperimen di laboratorium. Penelitian ini dilakukan dengan serangkaian kegiatan pendahuluan, untuk mencapai validitas hasil yang maksimal. Kemudian, untuk mendapatkan kesimpulan akhir, data hasil penelitian diolah dan dianalisis dengan kelengkapan studi pustaka.

##### **2. Tempat Penelitian**

Penelitian dilaksanakan di Laboratorium Hidraulika Fakultas Teknik Jurusan Teknik Sipil Universitas Muslim Indonesia Makassar.

##### **3. Waktu Penelitian**

Penelitian ini direncanakan selama 3 bulan, dimana bulan (1) pertama dan (2) kedua merupakan kajian literatur mengenai karakteristik aliran pada saluran terbuka dan melakukan desain alat kemudian dilanjutkan dengan

running, selanjutnya pada bulan (3) ketiga kami melakukan pengambilan dan analisis data.

## **B. Jenis Penelitian dan Sumber Data**

### **1. Jenis Penelitian**

Metode penelitian yang digunakan dalam penelitian ini adalah metode penelitian eksperimen laboratorium yang meliputi pengamatan atau pengukuran terhadap parameter aliran pada saluran terbuka berbentuk segi empat yang menggunakan bangunan pelimpah tipe ogee dengan memperhitungkan parameter hidrolis.

### **2. Sumber Data**

Penelitian ini menggunakan dua sumber data, yang terdiri dari:

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

## **C. Variabel Penelitian**

Dalam penelitian ini digunakan dua jenis variabel, yaitu bebas dan variabel terikat. Variabel yang digunakan dalam penelitian, yaitu:

## **1. Variabel Bebas (Independen)**

Variabel bebas adalah variabel yang mempengaruhi atau yang menjadi sebab terjadinya perubahan atau timbulnya variabel terikat (dependen). Dinamakan sebagai variabel bebas karena bebas dalam mempengaruhi variabel lain (Aditya Setyawan, 2011). Dalam penelitian ini variabel bebas yang digunakan, yaitu:

- a. Dimensi pelimpah
- b. Dimensi saluran terbuka
- c. Debit aliran

## **2. Variabel Terikat (Dependen)**

Variabel terikat adalah variabel yang di pengaruhi atau yang menjadi akibat karena adanya variabel bebas. (Aditya Setyawan, 2011). Dalam penelitian ini variabel terikat yang digunakan, yaitu:

- a. Kecepatan aliran
- b. Karakteristik aliran
- c. Energi spesifik

## **D. Desain Penelitian**

Penelitian ini menggunakan peralatan dan bahan yang tersedia di Laboratorium Hidraulika Fakultas Teknik Jurusan Teknik Sipil Universitas Muslim Indonesia Makassar. Secara umum, alat dan bahan yang digunakan dalam menunjang penelitian ini terdiri dari:

## 1. Peralatan yang digunakan

### 1) Open Flume

Flume ini, sebagian besar komponennya memiliki bagian-bagian penting, yaitu :

- a. Saluran air, tempat untuk meletakkan model pelimpah.
- b. *Hydraulic Bench*, bak penampung yang berfungsi menampung air yang akan dialirkan ke talang maupun yang keluar dari saluran dengan kapasitas maksimum  $1 \text{ m}^3$  yang terdiri dari 2 bak sirkulasi.
- c. Pompa air, terletak di *hydraulic bench*, berfungsi untuk memompa air agar bisa didistribusikan sepanjang talang air. Pompa ini dilengkapi dengan tombol *on/off* otomatis untuk *supply* listrik 220/240 V, 50 Hz.
- d. Kran debit, merupakan kran yang berfungsi mengatur besar-kecilnya debit yang keluar dari pompa.
- e. Roda pengatur kemiringan, terletak di hulu saluran yang bisa diputar secara manual untuk mengatur kemiringan dasar saluran (*bed slope*) yang diinginkan.
- f. *Reservoir* digunakan untuk menampung air yang keluar dari *open flume* (bagian hilir).

### 2) Pelimpah

Pelimpah yang digunakan adalah kayu sebagai bahan pembuatan bangunan pelimpah tipe ogee.

### 3) Stopwatch

Stopwatch dipakai untuk mengukur waktu pada perhitungan debit aliran.

### 4) Pompa Air

Pompa air digunakan untuk memompa air yang ada pada tampungan *hydraulic bench* agar dapat mengalir pada *open flume*.

### 5) Kamera

Kamera digunakan untuk mengabadikan gambar maupun video saat penelitian dilakukan atau sebagai dokumentasi.

### 6) Mistar ukur

Mistar ukur digunakan untuk mengukur panjang loncatan hidrolis.

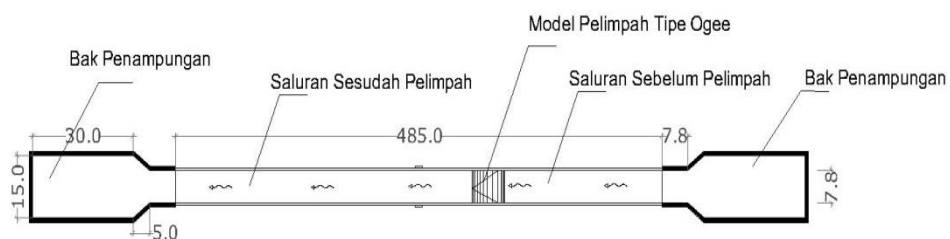
## 2. Bahan yang dipakai selama penelitian yaitu:

### a. Air bersih

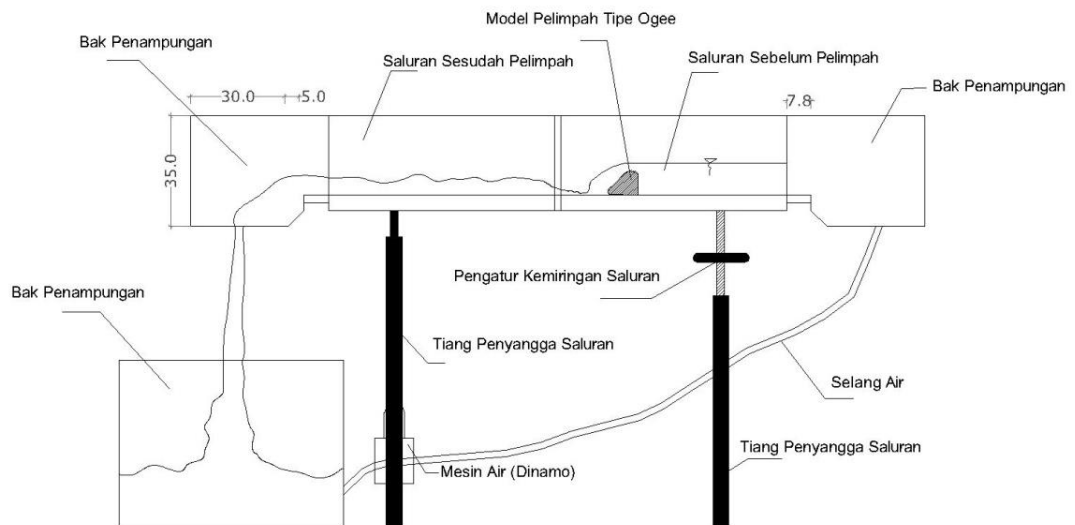
Aliran air yang digunakan adalah air bersih, air yang tidak membawa sedimen.

### b. Kayu

Sebagai bahan pembuatan bangunan pelimpah tipe ogee.

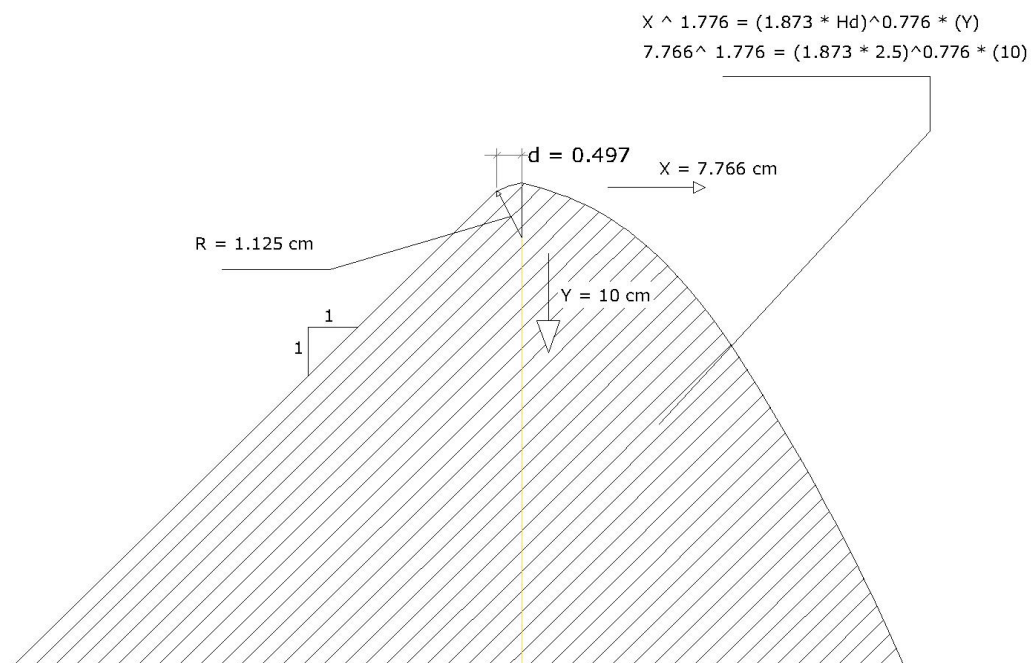


Gambar 8. Denah alat penelitian

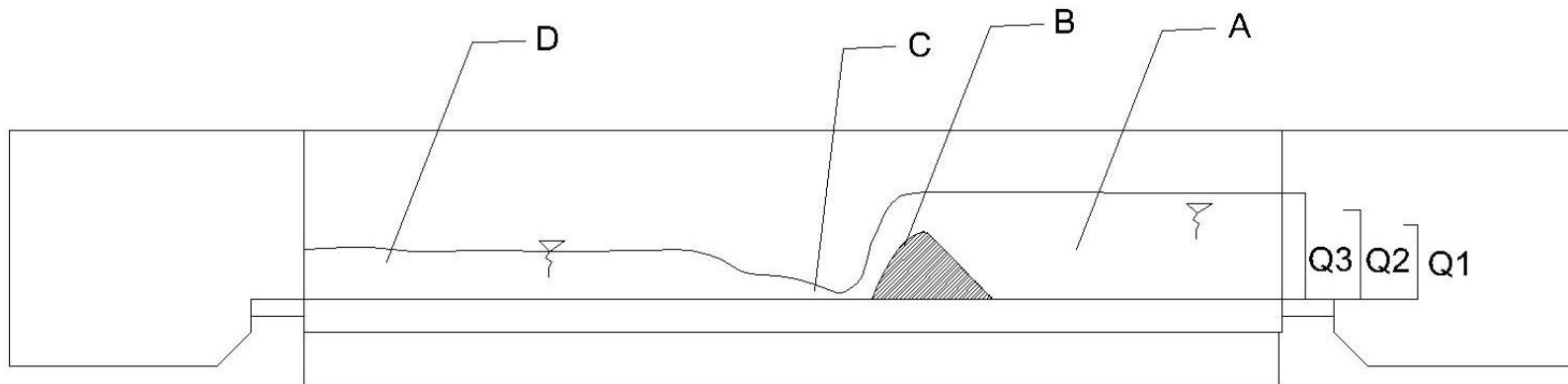


Gambar 9. Profil alat penelitian

Adapun bentuk sketsa pelimpah tipe ogee pada gambar sebagai berikut:



Gambar 10. Pelimpah tipe ogee dimensi 1 : 1



Panjang Pengamatan X

Ket:

A= Daerah Hulu

B = Di Atas Bangunan

C = Melewati Bangunan

D = Daerah Hilir

Gambar 11. Skema aliran air dan titik pengamatan dalam flume.



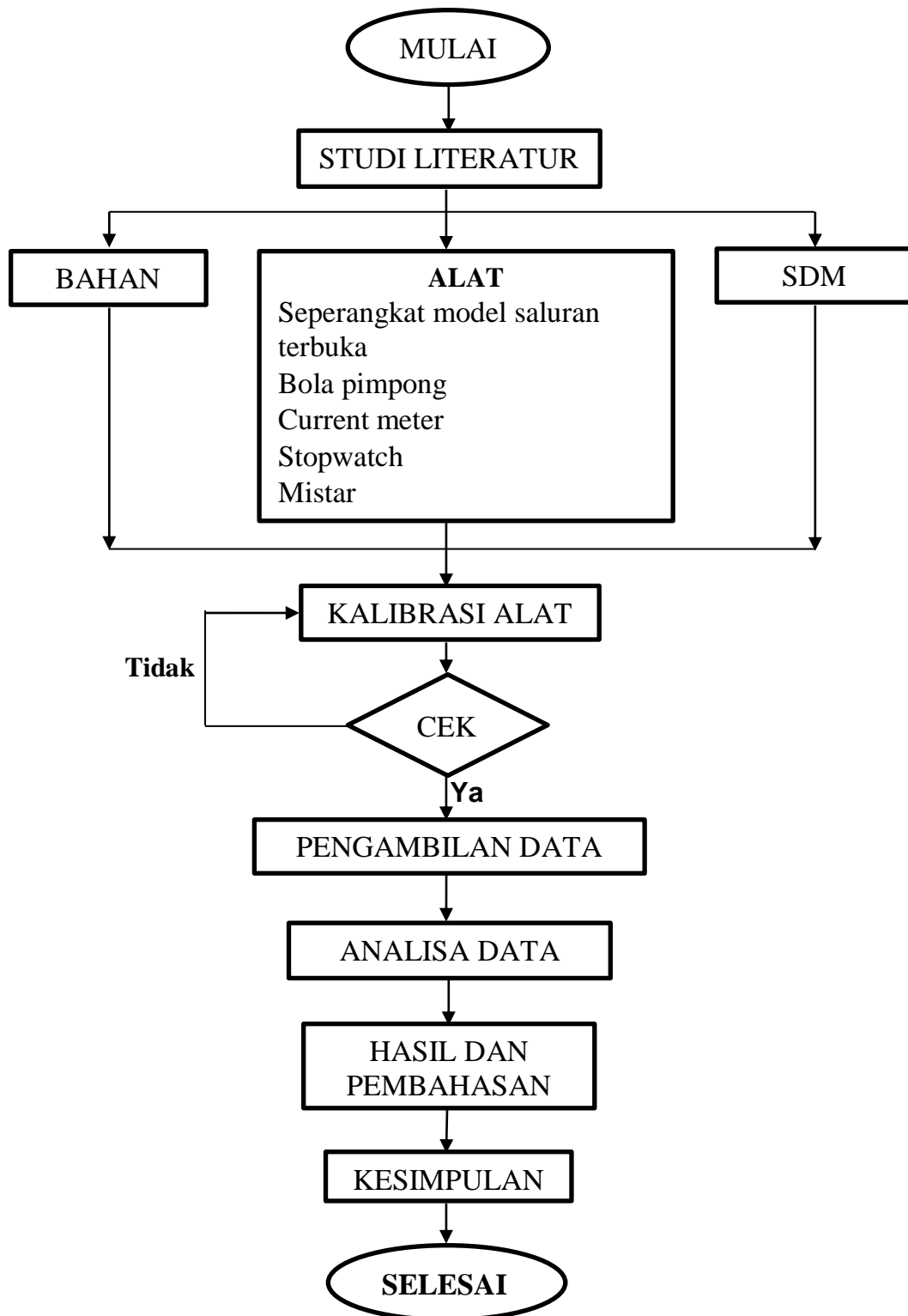
## E. Prosedur Penelitian

Adapun prosedur penelitiannya adalah sebagai berikut :

1. Mempersiapkan semua peralatan dilaboratorium termasuk saluran dengan lebar dasar 7.8 cm dengan tinggi 35 cm dan kemiringan 1:1.
2. Membuat model fisik pelimpah dengan lebar 7.8 cm dengan tinggi 10 cm dan panjang 7.7 cm.
3. Selanjutnya saluran diberikan bangunan pelimpah tipe ogee.
4. Memasang pelimpah pada tempat yang sudah disediakan dan menutup celah antara pelimpah dengan dinding dan dasar saluran, agar tidak bocor.
5. Kemudian menjalankan pompa selama  $t = 5$  menit (running) dan mengalirkan air pada variasi debit yang direncanakan.
6. Dari percobaan running tersebut didapatkan data kecepatan aliran dengan menggunakan alat ukur *current meter* pada titik pengukuran kemudian jarak dan tinggi muka air pada setiap titik pengukuran dan hasilnya dicatat pada tabel.
7. Kemudian menganalisis data hasil percobaan.

Sedangkan prosedur pengambilan datanya, yaitu dengan mencatat data dari hasil pengamatan/pengukuran pada uji model pengaruh bentuk pelimpah trapesium terhadap kecepatan alirana pada tabel yang telah di siapkan.

### F. Flow Chart Penelitian



Gambar12. Flow Chart Penelitian

## BAB IV

### ANALISA HASIL DAN PEMBAHASAN

#### A. Analisa Koefisien Debit (Cd)

Cd merupakan koefisien debit pada pelimpah, Cd pada pelimpah dapat dilihat pada tabel 3, dan besarnya Cd rata-rata adalah 1,1697, sebagai contoh untuk (H) = 0.032 m, volume air (v) = 0.01 m<sup>3</sup>, dengan waktu pengaliran sebagai berikut : 6,66 det, 6,06 det, 6,44 det. Total waktu pengaliran = 19,11 det.

$$\text{Waktu aliran rata-rata } tr = \frac{19,16}{3} = 6,39 \text{ det}$$

$$Q = \frac{\text{volume (v)}}{\text{waktu rata-rata (tr)}}$$

$$= \frac{0.010 \text{ m}^3}{6,39} = 0,00157 \text{ m}^3/\text{det}$$

$$Cd = \frac{Q}{\frac{2}{3} \cdot b \cdot \sqrt{2 \cdot g} \cdot H^{1,5}}$$

$$= \frac{0,00157}{\frac{2}{3} \cdot 0,078 \cdot \sqrt{2 \cdot 9,81} \cdot 0,032^{1,5}} = 1,1875$$

Perhitungan selanjutnya diselesaikan dengan cara yang sama dan hasilnya dirangkum dalam tabel 3 dengan masing-masing volume 0,01 m<sup>3</sup>:

Tabel 3. Perhitungan koefisien debit volume  $0,01 \text{ m}^3$ 

No	b (m)	h (m)	t (det)			$\sum t$ (det)	V ( $\text{m}^3$ )	Q ( $\text{m}^3/\text{det}$ )	Cd
			t1	t2	t3				
1	0,078	0,032	6,66	6,06	6,44	6,39	0,01	0,00157	1,1875
2	0,078	0,033	6,25	6,00	5,78	6,01	0,01	0,00166	1,2050
3	0,078	0,034	6,69	6,82	6,88	6,80	0,01	0,00147	1,0189
4	0,078	0,037	5,16	5,13	5,40	5,23	0,01	0,00191	1,1664
5	0,078	0,038	4,78	4,59	4,91	4,76	0,01	0,00210	1,2313
6	0,078	0,039	4,97	4,50	4,97	4,81	0,01	0,00208	1,1711
7	0,078	0,04	4,94	4,62	4,59	4,72	0,01	0,00212	1,1506
8	0,078	0,042	4,53	4,41	4,00	4,31	0,01	0,00232	1,1694
9	0,078	0,043	4,31	4,59	4,33	4,41	0,01	0,00227	1,1041
10	0,078	0,044	3,84	3,30	3,78	3,64	0,01	0,00275	1,2923
Rata-rata		0,0382				5,108	0,01	0,00202	1,1697

Sumber: *Data hasil perhitungan*

## B. Ketinggian Air

Hasil pengukuran muka tinggi air pada daerah hulu dapat dilihat pada tabel 4, pengukuran tinggi muka air pada saat diatas bangunan dirangkum pada tabel 5, pengukuran tinggi muka air pada saat melewati bangunan dirangkum pada tabel 6, 7, 8, dan hasil pengukuran muka tinggi air pada daerah hilir dirangkum pada tabel 9.

Tabel 4. Tinggi muka air pada daerah hulu dengan debit 0,0015 m<sup>3</sup>/det, 0,0020 m<sup>3</sup>/det, dan 0,0025 m<sup>3</sup>/det.

No	Debit terbaca (m <sup>3</sup> /det)	Jarak (m)	Tinggi Muka Air (m)
1	0,0015	0,00	0,152
2		0,35	0,148
3		0,71	0,145
1	0,0020	0	0,156
2		0,35	0,152
3		0,7	0,148
1	0,0025	0	0,169
2		0,35	0,164
3		0,695	0,16

Sumber: *Data hasil perhitungan*

Tabel 5. Tinggi muka air pada saat diatas bangunan dengan debit 0,0015 m<sup>3</sup>/det, 0,0020 m<sup>3</sup>/det, dan 0,0025 m<sup>3</sup>/det.

No	Debit terbaca (m <sup>3</sup> /det)	Jarak (m)	Tinggi Muka Air (m)
1	0,0015	0,76	0,037
2		0,78	0,037
3		0,8	0,037
4		0,82	0,037
5		0,84	0,037
1	0,0020	0,76	0,038
2		0,78	0,038
3		0,8	0,038
4		0,82	0,038
5		0,84	0,038
1	0,0025	0,76	0,043
2		0,78	0,043
3		0,8	0,043
4		0,82	0,043
5		0,84	0,043

Sumber: *Data hasil perhitungan*

Tabel 6. Tinggi muka air pada saat melewati bangunan dengan debit 0,0015 m<sup>3</sup>/det

No	Debit terbaca (m <sup>3</sup> /det)	Jarak (m)	Tinggi Muka Air (m)
1	0,0015	0,85	0,045
2		0,9	0,042
3		0,92	0,043
4		0,94	0,045
5		0,96	0,05
6		0,98	0,055
7		1	0,059
8		1,02	0,061
9		1,04	0,063
10		1,06	0,069
11		1,08	0,069
12		1,1	0,072
13		1,12	0,073
14		1,14	0,074
15		1,16	0,075
16		1,18	0,073
17		1,2	0,075
18		1,22	0,077
19		1,24	0,077
20		1,26	0,077
21		1,28	0,077
22		1,3	0,078
23		1,32	0,078
24		1,34	0,078
25		1,36	0,078
26		1,38	0,078
27		1,4	0,078
28		1,42	0,078
29		1,44	0,078

Sumber: *Data hasil perhitungan*

Tabel 7. Tinggi muka air pada saat melewati bangunan dengan debit 0,0020 m<sup>3</sup>/det.

No	Debit terbaca (m <sup>3</sup> /det)	Jarak (m)	Tinggi Muka Air (m)
1	0,0020	0,9	0,045
2		0,92	0,043
3		0,94	0,045
4		0,96	0,049
5		0,98	0,051
6		1	0,056
7		1,02	0,059
8		1,04	0,06
9		1,06	0,062
10		1,08	0,066
11		1,1	0,069
12		1,12	0,071
13		1,14	0,072
14		1,16	0,074
15		1,18	0,077
16		1,2	0,078
17		1,22	0,078
18		1,24	0,077
19		1,26	0,08
20		1,28	0,08
21		1,3	0,083
22		1,32	0,08
23		1,34	0,08
24		1,36	0,079
25		1,38	0,08
26		1,4	0,08
27		1,42	0,08
28		1,44	0,082
29		1,46	0,082

Sumber: *Data hasil perhitungan*

Tabel 8. Tinggi muka air pada saat melewati bangunan dengan debit 0,0025 m<sup>3</sup>/det.

No	Debit terbaca (m <sup>3</sup> /det)	Jarak (m)	Tinggi Muka Air (m)
1	0,0025		0,045
2		0,93	0,042
3		0,95	0,049
4		0,97	0,055
5		0,99	0,059
6		1,01	0,064
7		1,03	0,069
8		1,05	0,072
9		1,07	0,073
10		1,09	0,075
11		1,11	0,078
12		1,13	0,08
13		1,15	0,082
14		1,17	0,083
15		1,19	0,085
16		1,21	0,089
17		1,23	0,092
18		1,25	0,089
19		1,27	0,09
20		1,29	0,089
21		1,31	0,092
22		1,33	0,092
23		1,35	0,092
24		1,37	0,092
25		1,39	0,092
26		1,41	0,092
27		1,43	0,092
28		1,45	0,092
29		1,47	0,092

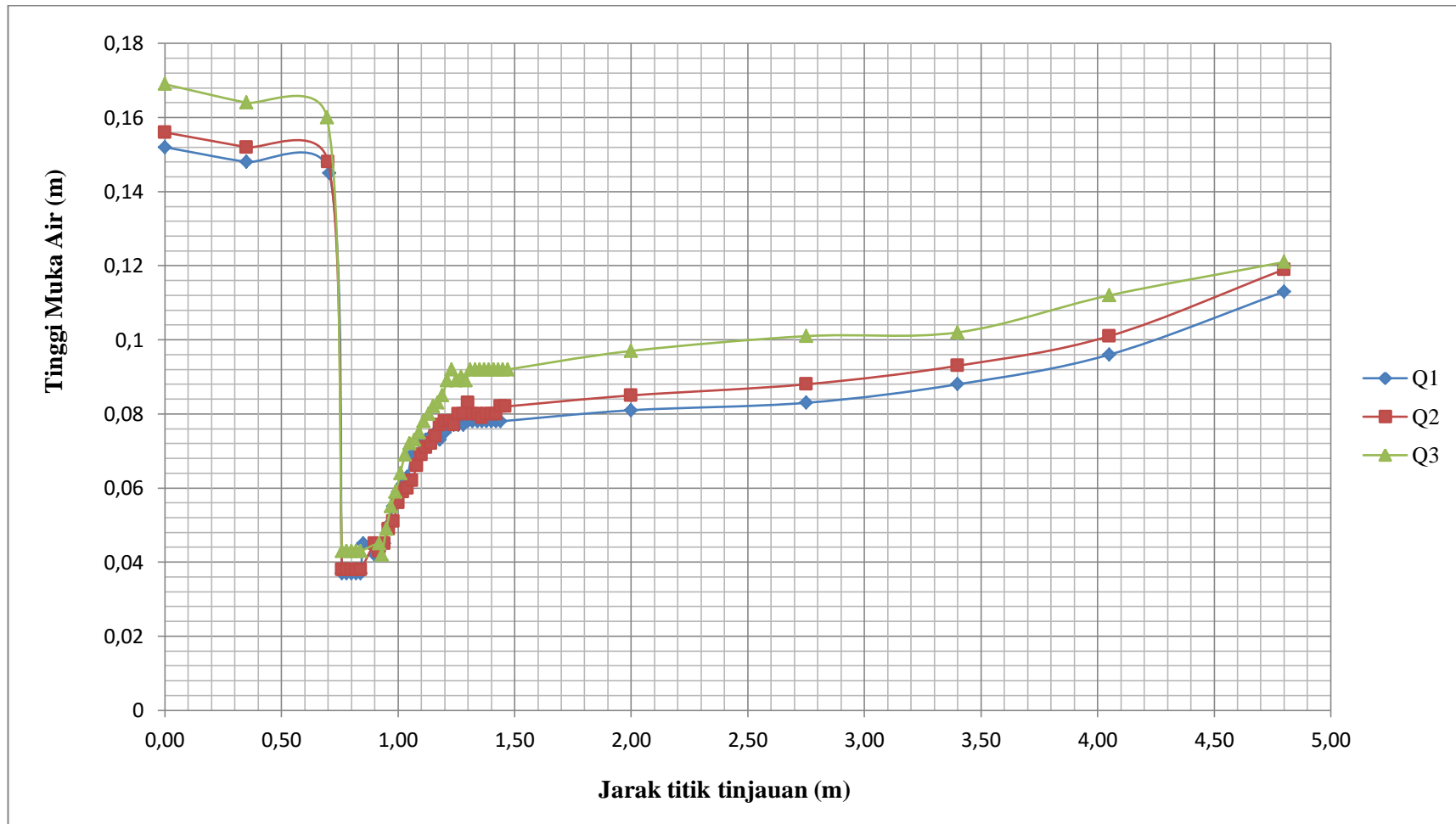
Sumber: *Data hasil perhitungan*



Tabel 9. Tinggi muka air pada daerah hilir dengan debit 0,0015 m<sup>3</sup>/det, 0,0020 m<sup>3</sup>/det, dan 0,0025 m<sup>3</sup>/det.

No	Debit terbaca (m <sup>3</sup> /det)	Jarak (m)	Tinggi Muka Air (m)
1	0,0015	2	0,081
2		2,75	0,083
3		3,4	0,088
4		4,05	0,096
5		4,8	0,113
1	0,0020	2	0,085
2		2,75	0,088
3		3,4	0,093
4		4,05	0,101
5		4,8	0,119
1	0,0025	2	0,097
2		2,75	0,101
3		3,4	0,102
4		4,05	0,112
5		4,8	0,121

Sumber: *Data hasil perhitungan*



Gambar 13. Profil aliran air pada debit  $0,0015 \text{ m}^3/\text{det}$ ,  $0,002 \text{ m}^3/\text{det}$ , dan  $0,0025 \text{ m}^3/\text{det}$ .

Pada gambar 12, diatas menunjukkan bahwa hubungan antara tinggi muka air dengan debit ( $Q_1, Q_2, Q_3$ ) berbanding lurus, dimana semakin tinggi debit aliran maka tinggi muka airnya semakin besar. Dimana tinggi muka air paling besar terdapat pada debit ( $Q_3 = 0.0025 \text{ m}^3/\text{det}$ ).

### C. Luas Penampang Basah

Dari hasil ketinggian air pada tabel diatas dapat dihitung luas penampang basah pada tiap titik didaerah hulu, dimana  $b = 0,078 \text{ m}$   $H = 0,152 \text{ m}$  mempunyai luas penampang basah  $A = b \times H = 0.078 \times 0,152 = 0,0119 \text{ m}^2$ . Perhitungan selanjutnya diselesaikan dengan cara yang sama dan hasilnya dirangkum dalam tabel 10.

Tabel 10. Luas penampang basah pada berbagai jarak dengan debit  $0,0015 \text{ m}^3/\text{det}$ ,  $0,0020 \text{ m}^3/\text{det}$ , dan  $0,0025 \text{ m}^3/\text{det}$ .

No	Debit terbaca ( $\text{m}^3/\text{det}$ )	Jarak (m)	Tinggi Muka Air (m)	b (m)	A ( $\text{m}^2$ )
1	0,0015	0,00	0,152	0,078	0,0119
2		0,35	0,148		0,0115
3		0,71	0,145		0,0113
1	0,002	0	0,156	0,078	0,0122
2		0,35	0,152		0,0119
3		0,7	0,148		0,0115
1	0,0025	0	0,169	0,078	0,0132
2		0,35	0,164		0,0128
3		0,695	0,16		0,0125

Sumber: *Data hasil perhitungan*

Hasil perhitungan luas penampang diatas bangunan, dimana  $b = 0,078$  m  $H = 0,037$  m mempunyai luas penampang  $A = b \times H = 0,078 \times 0,037 = 0,0029$  m<sup>2</sup>. Perhitungan selanjutnya dihitung dengan cara yang sama dan hasilnya dirangkum pada tabel 11.

Tabel 11. Hasil perhitungan luas penampang pada saat diatas bangunan dengan debit 0,0015 m<sup>3</sup>/det, 0,0020 m<sup>3</sup>/det, dan 0,0025 m<sup>3</sup>/det.

No	Debit terbaca (m <sup>3</sup> /det)	Jarak (m)	Tinggi Muka Air (m)	b (m)	A (m <sup>2</sup> )
1	0,0015	0,76	0,037	0,078	0,0029
2		0,78	0,037		0,0029
3		0,8	0,037		0,0029
4		0,82	0,037		0,0029
5		0,84	0,037		0,0029
1	0,0020	0,76	0,038	0,078	0,0030
2		0,78	0,038		0,0030
3		0,8	0,038		0,0030
4		0,82	0,038		0,0030
5		0,84	0,038		0,0030
1	0,0025	0,76	0,043	0,078	0,0034
2		0,78	0,043		0,0034
3		0,8	0,043		0,0034
4		0,82	0,043		0,0034
5		0,84	0,043		0,0034

Sumber: *Data hasil perhitungan*

Hasil perhitungan luas penampang setelah bangunan, dimana  $b = 0,078$  m  $H = 0,045$  m mempunyai luas penampang  $A = b \times H = 0,078 \times 0,045 = 0,0035$  m<sup>2</sup>. Perhitungan selanjutnya dihitung dengan cara yang sama dan hasilnya dirangkum pada tabel 12,13, dan 14.

Tabel 12. Hasil perhitungan luas penampang setelah bangunan dengan debit 0,0015 m<sup>3</sup>/det.

No	Debit terbaca (m <sup>3</sup> /det)	Jarak (m)	Tinggi Muka Air (m)	b (m)	A (m <sup>2</sup> )
1	0,0015	0,85	0,045	0,078	0,0035
2		0,9	0,042		0,0033
3		0,92	0,043		0,0034
4		0,94	0,045		0,0035
5		0,96	0,05		0,0039
6		0,98	0,055		0,0043
7		1	0,059		0,0046
8		1,02	0,061		0,0048
9		1,04	0,063		0,0049
10		1,06	0,069		0,0054
11		1,08	0,069		0,0054
12		1,1	0,072		0,0056
13		1,12	0,073		0,0057
14		1,14	0,074		0,0058
15		1,16	0,075		0,0059
16		1,18	0,073		0,0057
17		1,2	0,075		0,0059
18		1,22	0,077		0,0060
19		1,24	0,077		0,0060
20		1,26	0,077		0,0060
21		1,28	0,077		0,0060
22		1,3	0,078		0,0061
23		1,32	0,078		0,0061
24		1,34	0,078		0,0061
25		1,36	0,078		0,0061
26		1,38	0,078		0,0061
27		1,4	0,078		0,0061
28		1,42	0,078		0,0061
29		1,44	0,078		0,0061

Sumber: *Data hasil perhitungan*

Tabel 13. Hasil perhitungan luas penampang setelah bangunan dengan debit  $0,002 \text{ m}^3/\text{det}$ .

No	Debit terbaca (m <sup>3</sup> /det)	Jarak (m)	Tinggi Muka Air (m)	b (m)	A (m <sup>2</sup> )
1	0,0020	0,9	0,045	0,078	0,0035
2		0,92	0,043		0,0034
3		0,94	0,045		0,0035
4		0,96	0,049		0,0038
5		0,98	0,051		0,0040
6		1	0,056		0,0044
7		1,02	0,059		0,0046
8		1,04	0,06		0,0047
9		1,06	0,062		0,0048
10		1,08	0,066		0,0051
11		1,1	0,069		0,0054
12		1,12	0,071		0,0055
13		1,14	0,072		0,0056
14		1,16	0,074		0,0058
15		1,18	0,077		0,0060
16		1,2	0,078		0,0061
17		1,22	0,078		0,0061
18		1,24	0,077		0,0060
19		1,26	0,08		0,0062
20		1,28	0,08		0,0062
21		1,3	0,083		0,0065
22		1,32	0,08		0,0062
23		1,34	0,08		0,0062
24		1,36	0,079		0,0062
25		1,38	0,08		0,0062
26		1,4	0,08		0,0062
27		1,42	0,08		0,0062
28		1,44	0,082		0,0064
29		1,46	0,082		0,0064

Sumber: *Data hasil perhitungan*

Tabel 14. Hasil perhitungan luas penampang setelah bangunan dengan debit 0,0025 m<sup>3</sup>/det.

No	Debit terbaca (m <sup>3</sup> /det)	Jarak (m)	Tinggi Muka Air (m)	b (m)	A (m <sup>2</sup> )
1	0,0025		0,045	0,078	0,0035
2		0,93	0,042		0,0033
3		0,95	0,049		0,0038
4		0,97	0,055		0,0043
5		0,99	0,059		0,0046
6		1,01	0,064		0,0050
7		1,03	0,069		0,0054
8		1,05	0,072		0,0056
9		1,07	0,073		0,0057
10		1,09	0,075		0,0059
11		1,11	0,078		0,0061
12		1,13	0,08		0,0062
13		1,15	0,082		0,0064
14		1,17	0,083		0,0065
15		1,19	0,085		0,0066
16		1,21	0,089		0,0069
17		1,23	0,092		0,0072
18		1,25	0,089		0,0069
19		1,27	0,09		0,0070
20		1,29	0,089		0,0069
21		1,31	0,092		0,0072
22		1,33	0,092		0,0072
23		1,35	0,092		0,0072
24		1,37	0,092		0,0072
25		1,39	0,092		0,0072
26		1,41	0,092		0,0072
27		1,43	0,092		0,0072
28		1,45	0,092		0,0072
29		1,47	0,092		0,0072

Sumber: *Data hasil perhitungan*

Hasil perhitungan luas penampang pada daerah hilir, dimana  $b = 0,078$  m  $H = 0,081$  m mempunyai luas penampang  $A = b \times H = 0,078 \times 0,081 = 0,0063$  m<sup>2</sup>. Perhitungan selanjutnya dihitung dengan cara yang sama dan hasilnya dirangkum pada tabel 15.

Tabel 15. Hasil perhitungan luas penampang pada daerah hilir dengan debit 0,0015 m<sup>3</sup>/det, 0,002 m<sup>3</sup>/det dan 0,0025 m<sup>3</sup>/det.

No	Debit terbaca (m <sup>3</sup> /det)	Jarak (m)	Tinggi Muka Air (m)	b (m)	A (m <sup>2</sup> )
1	0,0015	2	0,081	0,078	0,0063
2		2,75	0,083		0,0065
3		3,4	0,088		0,0069
4		4,05	0,096		0,0075
5		4,8	0,113		0,0088
1	0,0020	2	0,085	0,078	0,0066
2		2,75	0,088		0,0069
3		3,4	0,093		0,0073
4		4,05	0,101		0,0079
5		4,8	0,119		0,0093
1	0,0025	2	0,097	0,078	0,0076
2		2,75	0,101		0,0079
3		3,4	0,102		0,0080
4		4,05	0,112		0,0087
5		4,8	0,121		0,0094

Sumber: *Data hasil perhitungan*

#### **D. Kecepatan Aliran**

Hasil perhitungan kecepatan aliran pada daerah hulu dapat dilihat pada tabel sebagai berikut dengan debit 0,0015 m<sup>3</sup>/det, 0,0020 m<sup>3</sup>/det, dan



0,0025 m<sup>3</sup>/det. Kecepatan didaerah hulu dilakukan lima kali percobaan tiap jarak, pada debit 0,0015 m<sup>3</sup>/det dengan waktu pengaliran 6,21 det, 5,41 det, 5,59 det, 5,93 det, dan 5,59 det. Total waktu pengaliran = 28,73 det.

$$\text{Waktu aliran rata-rata } tr = \frac{28,73}{5} = 5,746 \text{ det.}$$

$$V = \frac{\text{jarak}}{\text{waktu rata-rata (tr)}}$$

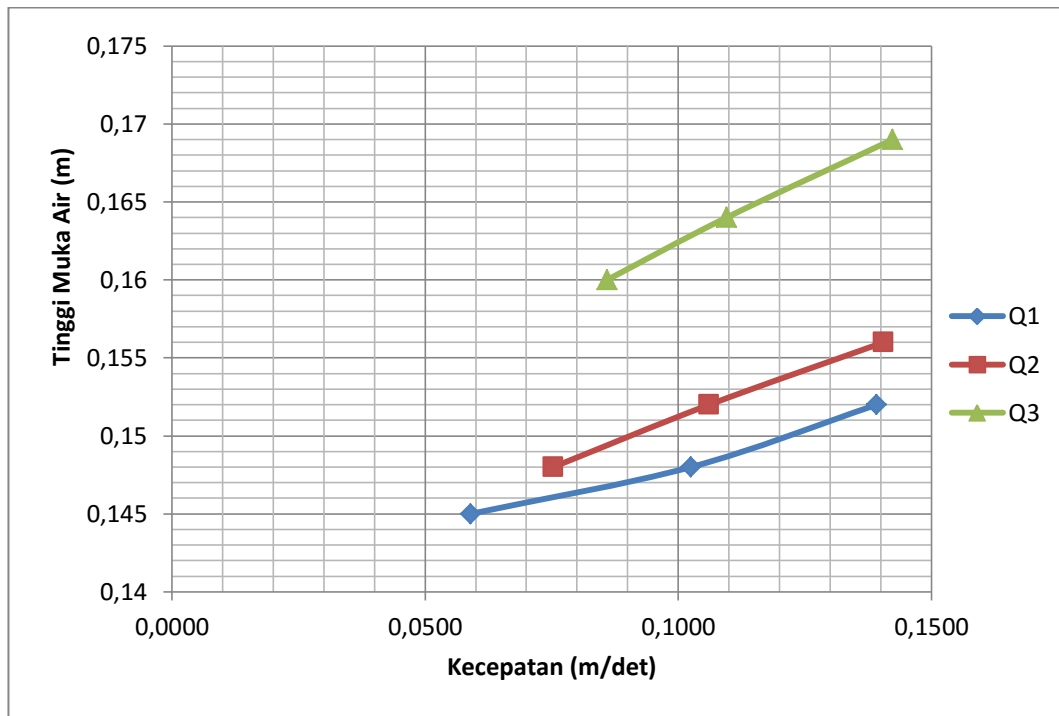
$$= \frac{0,80}{5,746} = 0,1392 \text{ m/det}$$

Perhitungan selanjutnya dilakukan dengan cara yang sama dan dirangkum pada tabel 16, sebagai berikut:

Tabel 16. Kecepatan aliran didaerah hulu menggunakan pelampung.

No	Debit (m <sup>3</sup> /det)	Jarak (m)	TMA (m)	Waktu (det)					t rata-rata	Jarak (m)	Kecepatan (m/det)
				t1	t2	t3	t4	t5			
1.	0,0015	0,00	0,337	6,21	5,41	5,59	5,93	5,59	5,746	0,80	0,1392
		0,35	0,332	4,63	4,32	4,12	4,23	4,65	4,390	0,45	0,1025
		0,71	0,323	1,54	1,45	1,67	1,54	1,43	1,526	0,09	0,0590
2.	0,0020	0,00	0,206	6,13	5,53	5,83	5,33	5,63	5,690	0,80	0,1406
		0,35	0,190	3,41	4,23	4,54	4,81	4,21	4,240	0,45	0,1061
		0,70	0,329	1,13	1,31	1,81	1,12	1,27	1,328	0,10	0,0753
3.	0,0025	0,00	0,323	5,59	5,21	5,94	5,71	5,65	5,620	0,80	0,1423
		0,35	0,314	4,13	4,23	3,41	4,23	4,54	4,108	0,45	0,1095
		0,69	0,201	1,12	1,51	1,32	1,19	1,26	1,280	0,11	0,0859

Sumber: *Data hasil perhitungan*



Gambar 14. Hubungan antara kecepatan dan tinggi muka air pada daerah hulu.

Gambar 13, diatas menunjukkan bahwa semakin tinggi muka air maka kecepatan semakin besar, dimana kecepatan yang terbesar terdapat pada debit (Q3) dengan jarak titik tinjauan yang dapat dilihat pada tabel 16 diatas.

Perhitungan kecepatan pada bangunan dengan debit  $0,0015 \text{ m}^3/\text{det}$ ,  $0,0020 \text{ m}^3/\text{det}$ , dan  $0,0025 \text{ m}^3/\text{det}$  dirangkum pada tabel 16, dimana  $Q = 0,0015 \text{ m}^3/\text{det}$ ,  $b = 0,078 \text{ m}$ ,  $g = 9,81 \text{ m}^2/\text{det}$  dan dijabarkan sebagai berikut:

$$q = \frac{Q}{b} = \frac{0,0015}{0,078} = 0,0192 \text{ m}^3/\text{det/m}$$

$$y_c = \sqrt[3]{\frac{q^2}{g}} = \sqrt[3]{\frac{0,0192^2}{9,81}} = 0,035 \text{ m}$$

$$V_c = \sqrt{g \cdot y_c} = \sqrt{9,81 \times 0,0335} = 0,5735 \text{ m/det}$$

Perhitungan selanjutnya dihitung dengan cara yang sama dan dirangkum pada tabel 17.

Tabel 17. Hasil perhitungan kecepatan pada bangunan dengan debit 0,0015 m<sup>3</sup>/det, 0,0020 m<sup>3</sup>/det, dan 0,0025 m<sup>3</sup>/det.

No	Debit terbaca (m <sup>3</sup> /det)	Jarak (m)	Tinggi Muka Air (m)	b (m)	q (m <sup>3</sup> /det/m)	yc (m)	Vc (m)
1	0,0015	0,76	0,037	0,078	0,0192	0,0335	0,5735
2		0,78	0,037		0,0192	0,0335	0,5735
3		0,8	0,037		0,0192	0,0335	0,5735
4		0,82	0,037		0,0192	0,0335	0,5735
5		0,84	0,037		0,0192	0,0335	0,5735
1	0,0020	0,76	0,038	0,078	0,0256	0,0406	0,6313
2		0,78	0,038		0,0256	0,0406	0,6313
3		0,8	0,038		0,0256	0,0406	0,6313
4		0,82	0,038		0,0256	0,0406	0,6313
5		0,84	0,038		0,0256	0,0406	0,6313
1	0,0025	0,76	0,043	0,078	0,0321	0,0471	0,6800
2		0,78	0,043		0,0321	0,0471	0,6800
3		0,8	0,043		0,0321	0,0471	0,6800
4		0,82	0,043		0,0321	0,0471	0,6800
5		0,84	0,043		0,0321	0,0471	0,6800

Sumber: *Data hasil perhitungan*

Perhitungan kecepatan pada daerah setelah bangunan dengan debit 0,0015 m<sup>3</sup>/det, 0,0020 m<sup>3</sup>/det, dan 0,0025 m<sup>3</sup>/det dirangkum pada tabel 18, 19, dan 20 dimana  $Q = 0,0015 \text{ m}^3/\text{det}$ ,  $b = 0,078 \text{ m}$ ,  $g = 9,81 \text{ m}^2/\text{det}$ ,

$y_2 = 0,081$  (Tinggi muka air sebelum melewati bangunan) dan dijabarkan sebagai berikut:

$$\Delta y = y_2 - y_1 = 0,081 - 0,045 = 0,0360 \text{ m}$$

$$V = \sqrt{2 \cdot g \cdot \Delta y} = \sqrt{2 \cdot 9,81 \cdot 0,0360} = 0,8404 \text{ m/det}$$

Perhitungan selanjutnya dihitung dengan cara yang sama dan hasilnya dirangkum pada tabel 18, sebagai berikut:

Tabel 18. Perhitungan kecepatan aliran pada daerah setelah bangunan dengan debit  $0,0015 \text{ m}^3/\text{det}$ .

No	Debit terbaca (m <sup>3</sup> /det)	Jarak (m)	Tinggi Muka Air y <sub>1</sub> (m)	y <sub>2</sub> (m)	Δy (m)	V (m)
1	0,0015	0,852	0,045	0,081	0,0360	0,8404
2		0,9	0,042		0,0390	0,8747
3		0,92	0,043		0,0380	0,8635
4		0,94	0,045		0,0360	0,8404
5		0,96	0,05		0,0310	0,7799
6		0,98	0,055		0,0260	0,7142
7		1	0,059		0,0220	0,6570
8		1,02	0,061		0,0200	0,6264
9		1,04	0,063		0,0180	0,5943
10		1,06	0,069		0,0120	0,4852
11		1,08	0,069		0,0120	0,4852
12		1,1	0,072		0,0090	0,4202
13		1,12	0,073		0,0080	0,3962
14		1,14	0,074		0,0070	0,3706
15		1,16	0,075		0,0060	0,3431
16		1,18	0,073		0,0080	0,3962

Lanjutan tabel 18.

No	Debit terbaca (m <sup>3</sup> /det)	Jarak (m)	Tinggi Muka Air y1 (m)	y2 (m)	Δy (m)	V (m)
17	0,0015	1,2	0,075	0,081	0,0060	0,3431
18		1,22	0,077		0,0040	0,2801
19		1,24	0,077		0,0040	0,2801
20		1,26	0,077		0,0040	0,2801
21		1,28	0,077		0,0040	0,2801
22		1,3	0,078		0,0030	0,2426
23		1,32	0,078		0,0030	0,2426
24		1,34	0,078		0,0030	0,2426
25		1,36	0,078		0,0030	0,2426
26		1,38	0,078		0,0030	0,2426
27		1,4	0,078		0,0030	0,2426
28		1,42	0,078		0,0030	0,2426
29		1,44	0,078		0,0030	0,24261

Sumber: *Data hasil perhitungan*

Tabel 19. Perhitungan kecepatan aliran pada daerah setelah bangunan dengan debit 0,0020 m<sup>3</sup>/det:

No	Debit terbaca (m <sup>3</sup> /det)	Jarak (m)	Tinggi Muka Air y1 (m)	y2 (m)	Δy (m)	V (m/det)
1	0,0020	0,9	0,045	0,085	0,0400	0,8859
2		0,92	0,043		0,0420	0,9078
3		0,94	0,045		0,0400	0,8859
4		0,96	0,049		0,0360	0,8404
5		0,98	0,051		0,0340	0,8167
6		1	0,056		0,0290	0,7543
7		1,02	0,059		0,0260	0,7142
8		1,04	0,06		0,0250	0,7004
9		1,06	0,062		0,0230	0,6718

Lanjutan tabel 19.

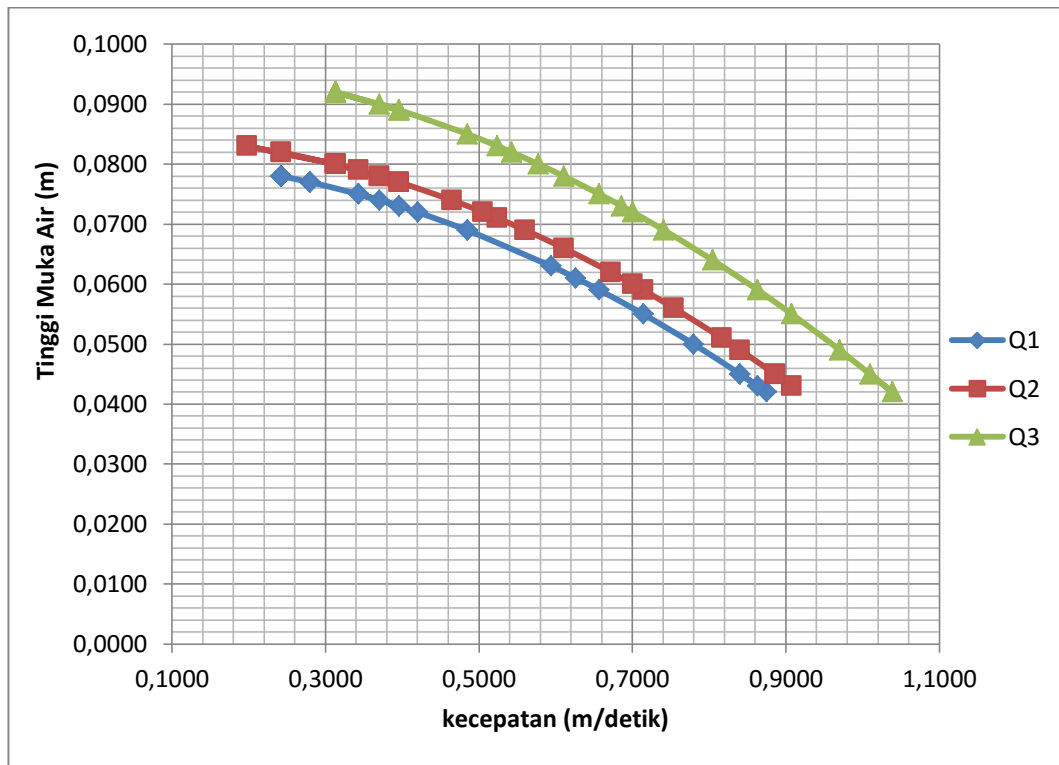
No	Debit terbaca (m <sup>3</sup> /det)	Jarak (m)	Tinggi Muka Air y1 (m)	y2 (m)	$\Delta y$ (m)	V (m/det)
10	0,0020	1,08	0,066	0,085	0,0190	0,6106
11		1,1	0,069		0,0160	0,5603
12		1,12	0,071		0,0140	0,5241
13		1,14	0,072		0,0130	0,5050
14		1,16	0,074		0,0110	0,4646
15		1,18	0,077		0,0080	0,3962
16		1,2	0,078		0,0070	0,3706
17		1,22	0,078		0,0070	0,3706
18		1,24	0,077		0,0080	0,3962
19		1,26	0,08		0,0050	0,3132
20		1,28	0,08		0,0050	0,3132
21		1,3	0,083		0,0020	0,1981
22		1,32	0,08		0,0050	0,3132
23		1,34	0,08		0,0050	0,3132
24		1,36	0,079		0,0060	0,3431
25		1,38	0,08		0,0050	0,3132
26		1,4	0,08		0,0050	0,3132
27		1,42	0,08		0,0050	0,3132
28		1,44	0,082		0,0030	0,2426
29	1,46	0,082	0,0030	0,2426		

Sumber: *Data hasil perhitungan*

Tabel 20. Perhitungan kecepatan aliran pada daerah setelah bangunan dengan debit 0,0025 m<sup>3</sup>/det.

No	Debit terbaca (m <sup>3</sup> /det)	Jarak (m)	Tinggi Muka Air y1 (m)	y2 (m)	$\Delta y$ (m)	V (m/det)
1	0,0025	0,92	0,045	0,097	0,0520	1,0101
2		0,93	0,042		0,0550	1,0388
3		0,95	0,049		0,0480	0,9704
4		0,97	0,055		0,0420	0,9078
5		0,99	0,059		0,0380	0,8635
6		1,01	0,064		0,0330	0,8046
7		1,03	0,069		0,0280	0,7412
8		1,05	0,072		0,0250	0,7004
9		1,07	0,073		0,0240	0,6862
10		1,09	0,075		0,0220	0,6570
11		1,11	0,078		0,0190	0,6106
12		1,13	0,08		0,0170	0,5775
13		1,15	0,082		0,0150	0,5425
14		1,17	0,083		0,0140	0,5241
15		1,19	0,085		0,0120	0,4852
16		1,21	0,089		0,0080	0,3962
17		1,23	0,092		0,0050	0,3132
18		1,25	0,089		0,0080	0,3962
19		1,27	0,09		0,0070	0,3706
20		1,29	0,089		0,0080	0,3962
21		1,31	0,092		0,0050	0,3132
22		1,33	0,092		0,0050	0,3132
23		1,35	0,092		0,0050	0,3132
24		1,37	0,092		0,0050	0,3132
25		1,39	0,092		0,0050	0,3132
26		1,41	0,092		0,0050	0,3132
27		1,43	0,092		0,0050	0,3132
28		1,45	0,092		0,0050	0,3132
29		1,47	0,092		0,0050	0,3132

Sumber: *Data hasil perhitungan*



Gambar 15. Hubungan antara kecepatan dan Tinggi muka air pada daerah setelah bangunan.

Pada gambar 14, diatas Hubungan antara kecepatan dan Tinggi muka air pada daerah setelah bangunan dengan debit pengaliran (Q1, Q2 dan Q3) menunjukkan bahwa semakin tinggi muka air maka kecepatan aliran akan semakin lambat. Dimana kecepatan terbesar berada pada debit pengaliran (Q3 = 0.0025 m<sup>3</sup>/det). Hal ini menunjukkan bahwa semakin tinggi debit pengaliran maka kecepatan semakin besar.

Hasil perhitungan kecepatan pada daerah hilir pada debit 0,0015 m<sup>3</sup>/det, 0,0020 m<sup>3</sup>/det, 0,0025 m<sup>3</sup>/det, dicari menggunakan currentmeter dan dirangkum pada tabel 21:



Tabel 21. Perhitungan kecepatan aliran pada daerah hilir dengan jarak dan tinggi muka air.

No	Debit terbaca (m <sup>3</sup> /det)	Jarak (m)	Tinggi Muka Air (m)	V (m/det)
1	0,0015	2	0,081	0,30
2		2,75	0,083	0,30
3		3,4	0,088	0,30
4		4,05	0,096	0,30
5		4,8	0,113	0,20
1	0,002	2	0,085	0,30
2		2,75	0,088	0,30
3		3,4	0,093	0,30
4		4,05	0,101	0,30
5		4,8	0,119	0,30
1	0,0025	2	0,097	0,40
2		2,75	0,101	0,40
3		3,4	0,102	0,40
4		4,05	0,112	0,30
5		4,8	0,121	0,30

Sumber: *Data hasil perhitungan*

### E. Bilangan Froude

Hasil perhitungan bilangan froude pada debit 0,0015 m<sup>3</sup>/det, 0,0020 m<sup>3</sup>/det, dan 0,0025 m<sup>3</sup>/det di daerah hulu dapat dilihat pada tabel 22, pada debit 0,0015 m<sup>3</sup>/det V = 0,1479 m/det, g = 9,81 m<sup>2</sup>/det, h = 0,152 m dan dijabarkan sebagai berikut:

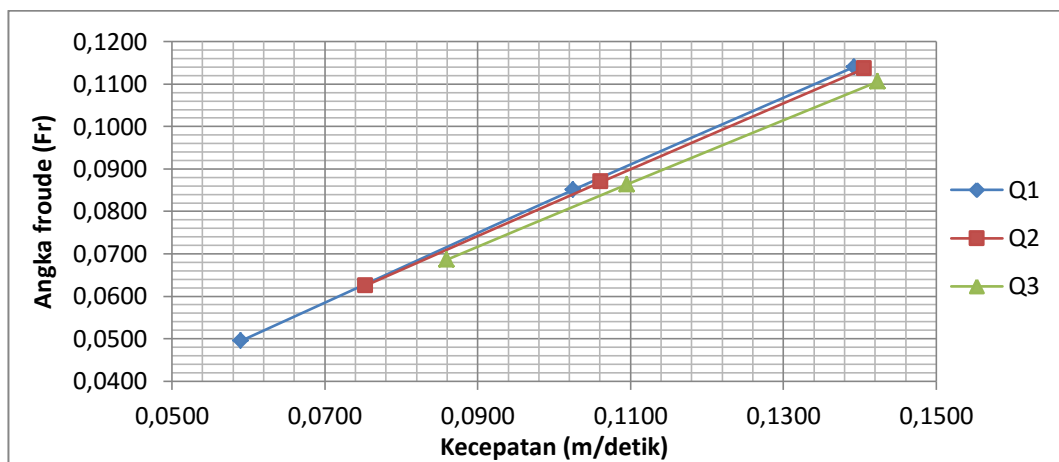
$$Fr = \frac{0,1479}{\sqrt{9,81 \cdot 0,152}}$$

$$= 0,1211$$

Tabel 22. Hasil perhitungan bilangan froude pada daerah hulu.

No	Debit terbaca (m <sup>3</sup> /det)	Jarak (m)	Tinggi Muka Air (m)	V (m/det)	Fr	Ket
1	0,0015	0	0,152	0,1479	0,1211	Sub Kritis
2		0,35	0,148	0,1936	0,1607	Sub Kritis
3		0,705	0,145	0,5570	0,4670	Sub Kritis
1	0,0020	0	0,156	0,1494	0,1208	Sub Kritis
2		0,35	0,152	0,2005	0,1642	Sub Kritis
3		0,7	0,148	0,6401	0,5312	Sub Kritis
1	0,0025	0	0,169	0,1512	0,1175	Sub Kritis
2		0,35	0,164	0,2069	0,1631	Sub Kritis
3		0,695	0,16	0,6641	0,5300	Sub Kritis

Sumber: Data hasil perhitungan



Gambar 16. Hubungan antara kecepatan dan bilangan froude pada bagian hulu.

Pada gambar 15, diatas Hubungan antara kecepatan dan bilangan froude pada daerah hulu dengan debit pengaliran (Q1, Q2 dan Q3) menunjukkan bahwa semakin besar kecepatan aliran maka bilangan froude semakin besar.

Perhitungan bilangan froude pada bangunan pada debit 0,0015 m<sup>3</sup>/det, 0,0020 m<sup>3</sup>/det, dan 0,0025 m<sup>3</sup>/det dirangkum pada tabel 23, dimana Q = 0,0015 m<sup>3</sup>/det, b = 0,078 m, g = 9,81 m<sup>2</sup>/det dan dijabarkan sebagai berikut:

$$q = \frac{Q}{b} = \frac{0,0015}{0,078} = 0,0192 \text{ m}^3/\text{det}/\text{m}$$

$$h_c = \sqrt[3]{\frac{q^2}{g}} = \sqrt[3]{\frac{0,0192^2}{9,81}} = 0,033 \text{ m}$$

$$V_c = \sqrt{g \cdot y_c} = \sqrt{9,81 \times 0,033} = 0,5735 \text{ m}/\text{det}$$

$$Fr = \frac{V_c}{\sqrt{g \cdot y_c}} = \frac{0,5735}{\sqrt{9,81 \cdot 0,033}} = 1$$

Perhitungan selanjutnya dihitung dengan cara yang sama dan dirangkum pada tabel 23.

Tabel 23. Hasil perhitungan bilangan froude diatas bangunan pada debit 0,0015 m<sup>3</sup>/det, 0,0020 m<sup>3</sup>/det, dan 0,0025 m<sup>3</sup>/det

No	Debit terbaca (m <sup>3</sup> /det)	Jarak (m)	Tinggi Muka Air (m)	b (m)	q (m <sup>3</sup> /det/m)	y <sub>c</sub> (m)	V <sub>c</sub> (m)	Fr	Ket
1	0,0015	0,76	0,037	0,078	0,0192	0,0335	0,5735	1	Kritis
2		0,78	0,037		0,0192	0,0335	0,5735	1	Kritis
3		0,8	0,037		0,0192	0,0335	0,5735	1	Kritis
4		0,82	0,037		0,0192	0,0335	0,5735	1	Kritis
5		0,84	0,037		0,0192	0,0335	0,5735	1	Kritis
1	0,0020	0,76	0,038	0,078	0,0256	0,0406	0,6313	1	Kritis
2		0,78	0,038		0,0256	0,0406	0,6313	1	Kritis

Lanjutan tabel 23.

No	Debit terbaca (m <sup>3</sup> /det)	Jarak (m)	Tinggi Muka Air (m)	b (m)	q (m <sup>3</sup> /det/m)	yc (m)	Vc (m)	Fr	Ket
3	0,0020	0,8	0,038	0,078	0,0256	0,0406	0,6313	1	Kritis
4		0,82	0,038		0,0256	0,0406	0,6313	1	Kritis
5		0,84	0,038		0,0256	0,0406	0,6313	1	Kritis
1	0,0025	0,76	0,043	0,078	0,0321	0,0471	0,6800	1	Kritis
2		0,78	0,043		0,0321	0,0471	0,6800	1	Kritis
3		0,8	0,043		0,0321	0,0471	0,6800	1	Kritis
4		0,82	0,043		0,0321	0,0471	0,6800	1	Kritis
5		0,84	0,043		0,0321	0,0471	0,6800	1	Kritis

Sumber: *Data hasil perhitungan*

Perhitungan bilangan froude pada daerah setelah bangunan pelimpah pada debit 0,0015 m<sup>3</sup>/det, 0,0020 m<sup>3</sup>/det, dan 0,0025 m<sup>3</sup>/det dirangkum pada tabel 24, dimana Q = 0,0015 m<sup>3</sup>/det, b = 0,078 m, g = 9,81 m<sup>2</sup>/det V = 0,8404 m/det, Δy = 0,0550 m dan dijabarkan sebagai berikut :

$$Fr = \frac{V}{\sqrt{g \cdot \Delta y}} = \frac{0,8404}{\sqrt{9,81 \cdot 0,0360}} = 1,2649$$

Perhitungan selanjutnya dilakukan dengan cara yang sama dan dirangkum pada tabel 24,25 dan 26.

Tabel 24. Hasil perhitungan bilangan froude setelah bangunan pelimpah pada debit 0,0015 m<sup>3</sup>/det.

No	Debit terbaca (m <sup>3</sup> /det)	Jarak (m)	Tinggi Muka Air y1 (m)	y2 (m)	Δy (m)	V (m/det)	Fr	Ket
1	0,0015	0,852	0,045	0,081	0,0360	0,8404	1,2649	Super Kritis

Lanjutan tabel 24.

No	Debit terbaca (m <sup>3</sup> /det)	Jarak (m)	Tinggi Muka Air y1 (m)	y2 (m)	$\Delta y$ (m)	V (m/det)	Fr	Ket
2	0,0015	0,9	0,042	0,081	0,0390	0,8747	1,3628	Super Kritis
3		0,92	0,043		0,0380	0,8635	1,3295	Super Kritis
4		0,94	0,045		0,0360	0,8404	1,2649	Super Kritis
5		0,96	0,05		0,0310	0,7799	1,1136	Super Kritis
6		0,98	0,055		0,0260	0,7142	0,9723	Sub Kritis
7		1	0,059		0,0220	0,6570	0,8636	Sub Kritis
8		1,02	0,061		0,0200	0,6264	0,8098	Sub Kritis
9		1,04	0,063		0,0180	0,5943	0,7559	Sub Kritis
10		1,06	0,069		0,0120	0,4852	0,5898	Sub Kritis
11		1,08	0,069		0,0120	0,4852	0,5898	Sub Kritis
12		1,1	0,072		0,0090	0,4202	0,5000	Sub Kritis
13		1,12	0,073		0,0080	0,3962	0,4682	Sub Kritis
14		1,14	0,074		0,0070	0,3706	0,4350	Sub Kritis
15		1,16	0,075		0,0060	0,3431	0,4000	Sub Kritis
16		1,18	0,073		0,0080	0,3962	0,4682	Sub Kritis
17		1,2	0,075		0,0060	0,3431	0,4000	Sub Kritis
18		1,22	0,077		0,0040	0,2801	0,3223	Sub Kritis
19		1,24	0,077		0,0040	0,2801	0,3223	Sub Kritis
20		1,26	0,077		0,0040	0,2801	0,3223	Sub Kritis
21		1,28	0,077		0,0040	0,2801	0,3223	Sub Kritis
22		1,3	0,078		0,0030	0,2426	0,2774	Sub Kritis
23		1,32	0,078		0,0030	0,2426	0,2774	Sub Kritis
24		1,34	0,078		0,0030	0,2426	0,2774	Sub Kritis
25		1,36	0,078		0,0030	0,2426	0,2774	Sub Kritis
26		1,38	0,078		0,0030	0,2426	0,2774	Sub Kritis
27		1,4	0,078		0,0030	0,2426	0,2774	Sub Kritis
28		1,42	0,078		0,0030	0,2426	0,2774	Sub Kritis
29		1,44	0,078		0,0030	0,24261	0,2774	Sub Kritis

Sumber: Data hasil perhitungan

Tabel 25. Hasil perhitungan bilangan froude setelah bangunan pelimpah pada debit 0,002 m<sup>3</sup>/det.

No	Debit terbaca (m <sup>3</sup> /det)	Jarak (m)	Tinggi Muka Air y1 (m)	y2 (m)	$\Delta y$ (m)	V (m/det)	Fr	Ket
1	0,0020	0,9	0,045	0,085	0,0400	0,8859	1,3333	Super Kritis
2		0,92	0,043		0,0420	0,9078	1,3977	Super Kritis
3		0,94	0,045		0,0400	0,8859	1,3333	Super Kritis
4		0,96	0,049		0,0360	0,8404	1,2122	Super Kritis
5		0,98	0,051		0,0340	0,8167	1,1547	Super Kritis
6		1	0,056		0,0290	0,7543	1,0177	Super Kritis
7		1,02	0,059		0,0260	0,7142	0,9388	Sub Kritis
8		1,04	0,06		0,0250	0,7004	0,9129	Sub Kritis
9		1,06	0,062		0,0230	0,6718	0,8614	Sub Kritis
10		1,08	0,066		0,0190	0,6106	0,7588	Sub Kritis
11		1,1	0,069		0,0160	0,5603	0,6810	Sub Kritis
12		1,12	0,071		0,0140	0,5241	0,6280	Sub Kritis
13		1,14	0,072		0,0130	0,5050	0,6009	Sub Kritis
14		1,16	0,074		0,0110	0,4646	0,5452	Sub Kritis
15		1,18	0,077		0,0080	0,3962	0,4558	Sub Kritis
16		1,2	0,078		0,0070	0,3706	0,4237	Sub Kritis
17		1,22	0,078		0,0070	0,3706	0,4237	Sub Kritis
18		1,24	0,077		0,0080	0,3962	0,4558	Sub Kritis
19		1,26	0,08		0,0050	0,3132	0,3536	Sub Kritis
20		1,28	0,08		0,0050	0,3132	0,3536	Sub Kritis
21		1,3	0,083		0,0020	0,1981	0,2195	Sub Kritis
22		1,32	0,08		0,0050	0,3132	0,3536	Sub Kritis
23		1,34	0,08		0,0050	0,3132	0,3536	Sub Kritis
24		1,36	0,079		0,0060	0,3431	0,3897	Sub Kritis
25		1,38	0,08		0,0050	0,3132	0,3536	Sub Kritis
26		1,4	0,08		0,0050	0,3132	0,3536	Sub Kritis

Sumber: *Data hasil perhitungan*

Lanjutan tabel 25.

No	Debit terbaca (m <sup>3</sup> /det)	Jarak (m)	Tinggi Muka Air y <sub>1</sub> (m)	y <sub>2</sub> (m)	Δy (m)	V (m/det)	Fr	Ket
27		1,42	0,08		0,0050	0,3132	0,3536	Sub Kritis
28		1,44	0,082		0,0030	0,2426	0,2705	Sub Kritis
29		1,46	0,082		0,0030	0,2426	0,2705	Sub Kritis

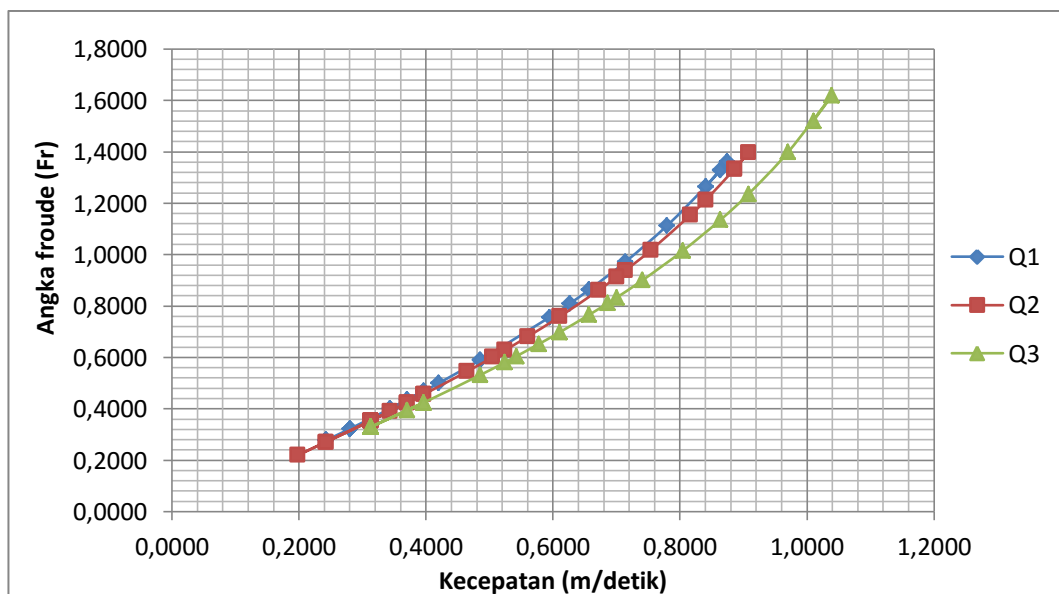
Tabel 26. Hasil perhitungan bilangan froude setelah bangunan pelimpah pada debit 0,0025 m<sup>3</sup>/det.

No	Debit terbaca (m <sup>3</sup> /det)	Jarak (m)	Tinggi Muka Air y <sub>1</sub> (m)	y <sub>2</sub> (m)	Δy (m)	V (m/det)	Fr	Ket
1		0,92	0,045		0,0520	1,0101	1,5202	Super Kritis
2		0,93	0,042		0,0550	1,0388	1,6183	Super Kritis
3		0,95	0,049		0,0480	0,9704	1,3997	Super Kritis
4		0,97	0,055		0,0420	0,9078	1,2358	Super Kritis
5		0,99	0,059		0,0380	0,8635	1,1350	Super Kritis
6		1,01	0,064		0,0330	0,8046	1,0155	Super Kritis
7		1,03	0,069		0,0280	0,7412	0,9009	Sub Kritis
8		1,05	0,072		0,0250	0,7004	0,8333	Sub Kritis
9	0,0025	1,07	0,073	0,097	0,0240	0,6862	0,8109	Sub Kritis
10		1,09	0,075		0,0220	0,6570	0,7659	Sub Kritis
11		1,11	0,078		0,0190	0,6106	0,6980	Sub Kritis
12		1,13	0,08		0,0170	0,5775	0,6519	Sub Kritis
13		1,15	0,082		0,0150	0,5425	0,6049	Sub Kritis
14		1,17	0,083		0,0140	0,5241	0,5808	Sub Kritis
15		1,19	0,085		0,0120	0,4852	0,5314	Sub Kritis
16		1,21	0,089		0,0080	0,3962	0,4240	Sub Kritis
17		1,23	0,092		0,0050	0,3132	0,3297	Sub Kritis

Lanjutan tabel 26.

No	Debit terbaca (m <sup>3</sup> /det)	Jarak (m)	Tinggi Muka Air y <sub>1</sub> (m)	y <sub>2</sub> (m)	Δy (m)	V (m/det)	Fr	Ket
18	0,0025	1,25	0,089	0,097	0,0080	0,3962	0,4240	Sub Kritis
19		1,27	0,09		0,0070	0,3706	0,3944	Sub Kritis
20		1,29	0,089		0,0080	0,3962	0,4240	Sub Kritis
21		1,31	0,092		0,0050	0,3132	0,3297	Sub Kritis
22		1,33	0,092		0,0050	0,3132	0,3297	Sub Kritis
23		1,35	0,092		0,0050	0,3132	0,3297	Sub Kritis
24		1,37	0,092		0,0050	0,3132	0,3297	Sub Kritis
25		1,39	0,092		0,0050	0,3132	0,3297	Sub Kritis
26		1,41	0,092		0,0050	0,3132	0,3297	Sub Kritis
27		1,43	0,092		0,0050	0,3132	0,3297	Sub Kritis
28		1,45	0,092		0,0050	0,3132	0,3297	Sub Kritis
29		1,47	0,092		0,0050	0,3132	0,3297	Sub Kritis

Sumber: Data hasil perhitungan



Gambar 17. Hubungan antara kecepatan dan bilangan froude pada daerah setelah bangunan.



Pada gambar 16, diatas Hubungan antara kecepatan dan bilangan froude pada daerah setelah melewati bangunan dengan debit pengaliran (Q1, Q2 dan Q3) menunjukkan bahwa semakin besar kecepatan aliran maka bilangan froude semakin besar.

Hasil perhitungan bilangan froude pada daerah hilir pada debit 0,0015 m<sup>3</sup>/det, 0,0020 m<sup>3</sup>/det, 0,0025 m<sup>3</sup>/det, pada debit 0,0015 m<sup>3</sup>/det dimana V = 0,30 m, g = 9,81, y = 0,081 m dan dijabarkan sebagai berikut :

$$Fr = \frac{V}{\sqrt{g \cdot y}} = \frac{0,30}{\sqrt{9,81 \cdot 0,081}} = 0,3365$$

Perhitungan selanjutnya dikerjakan dengan cara yang sama dan dirangkum pada tabel 27:

Tabel 27. Hasil perhitungan bilangan froude pada daerah hilir dengan debit 0,0015 m<sup>3</sup>/det, 0,0020 m<sup>3</sup>/det, 0,0025 m<sup>3</sup>/det.

No	Debit terbaca (m <sup>3</sup> /det)	Jarak (m)	Tinggi Muka Air (m)	V (m/det)	Fr	Ket
1	0,0015	2	0,081	0,30	0,3365	Sub Kritis
2		2,75	0,083	0,30	0,3325	Sub Kritis
3		3,4	0,088	0,30	0,3229	Sub Kritis
4		4,05	0,096	0,30	0,3091	Sub Kritis
5		4,8	0,113	0,20	0,1900	Sub Kritis
1	0,0020	2	0,085	0,30	0,3285	Sub Kritis
2		2,75	0,088	0,30	0,3229	Sub Kritis
3		3,4	0,093	0,30	0,3141	Sub Kritis

Sumber: *Data hasil perhitungan*

Lanjutan tabel 27.

No	Debit terbaca (m <sup>3</sup> /det)	Jarak (m)	Tinggi Muka Air (m)	V (m/det)	Fr	Ket
4	0,0020	4,05	0,101	0,30	0,3014	Sub Kritis
5		4,8	0,119	0,30	0,2777	Sub Kritis
1	0,0025	2	0,097	0,40	0,4101	Sub Kritis
2		2,75	0,101	0,40	0,4019	Sub Kritis
3		3,4	0,102	0,40	0,3999	Sub Kritis
4		4,05	0,112	0,30	0,2862	Sub Kritis
5		4,8	0,121	0,30	0,2754	Sub Kritis

Sumber: *Data hasil perhitungan*

## F. Energi Spesifik

Hasil perhitungan energi spesifik pada debit 0,0015 m<sup>3</sup>/det, 0,0020 m<sup>3</sup>/det, dan 0,0025 m<sup>3</sup>/det di daerah hulu dapat dilihat pada tabel 27. Pada debit 0,0015 m<sup>3</sup>/det dimana  $h = 0,152$  m,  $V = 0,1392$  m/det,  $g = 9,81$  m/det<sup>2</sup> dan dijabarkan sebagai berikut:

$$Es = 0,152 + \left( \frac{0,1392^2}{2 \cdot 9,81} \right) = 0,1530 \text{ m}$$

Perhitungan selanjutnya dihitung dengan cara yang sama dan dirangkum pada tabel 28, sebagai berikut:

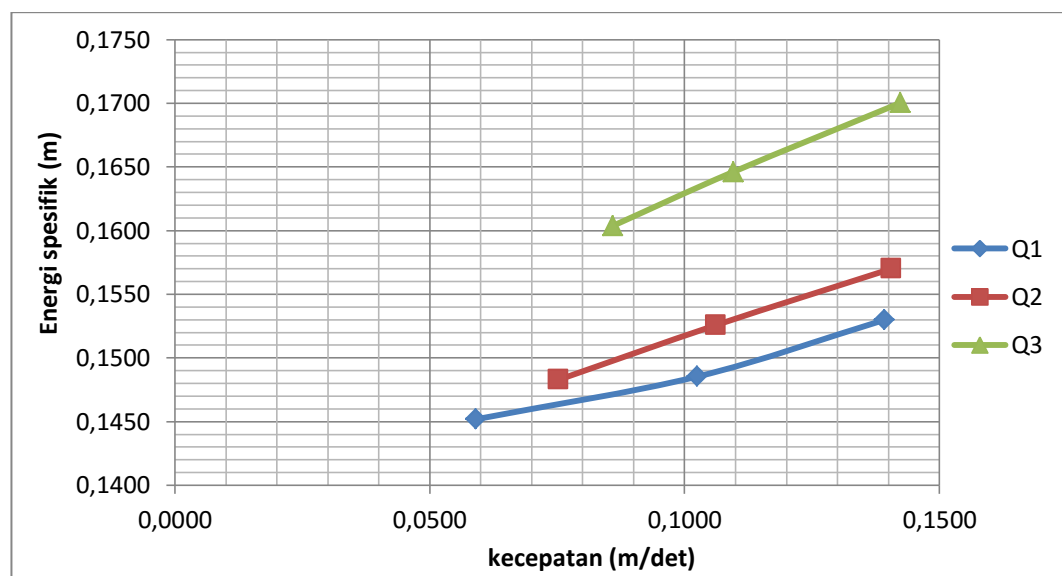
Tabel 28. Hasil perhitungan energi spesifik pada daerah hulu.

No	Debit terbaca (m <sup>3</sup> /det)	Jarak (m)	Tinggi Muka Air (m)	V (m/det)	Fr	Es
1	0,0015	0	0,152	0,1392	0,1140	0,1530
2		0,35	0,148	0,1025	0,0851	0,1485

Lanjutan tabel 28.

No	Debit terbaca (m <sup>3</sup> /det)	Jarak (m)	Tinggi Muka Air (m)	V (m/det)	Fr	Es
3	0,0015	0,705	0,145	0,0590	0,0495	0,1452
1	0,0020	0	0,156	0,1406	0,1137	0,1570
2		0,35	0,152	0,1061	0,0869	0,1526
3		0,7	0,148	0,0753	0,0625	0,1483
1	0,0025	0	0,169	0,1423	0,1106	0,1700
2		0,35	0,164	0,1095	0,0864	0,1646
3		0,695	0,16	0,0859	0,0686	0,1604

Sumber: *Data hasil perhitungan*



Gambar 18. Hubungan antara kecepatan dan energi spesifik pada daerah hulu.

Pada gambar diatas dapat dilihat bahwa energi spesifik akan tergantung pada besarnya kecepatan yang terjadi. Apabila kecepatannya besar maka energi spesifiknya akan tinggi. Dapat dilihat bahwa energy spesifik yang paling tinggi terdapat pada debit ( $Q_3=0.0025$  m/detik).

Perhitungan energi spesifik pada bangunan, dimana  $Q = 0,0015$   $m^3/det$ ,  $yc = 0,0335$  m,  $Vc = 0,1479$  m/det,  $g = 9,81$  m/det<sup>2</sup> dan dijabarkan sebagai berikut :

$$Es = 0,0335 + \left( \frac{0,5735^2}{2 \cdot 9,81} \right) = 0,0503 \text{ m}$$

Perhitungan selanjutnya dihitung dengan cara yang sama dan dirangkum pada tabel 29.

Tabel 29. Hasil perhitungan energi spesifik diatas bangunan pada debit 0,0015  $m^3/det$ , 0,0020  $m^3/det$ , dan 0,0025  $m^3/det$ .

No	Debit terbaca (m <sup>3</sup> /det)	Jarak (m)	Tinggi Muka Air (m)	b (m)	q (m <sup>3</sup> /det/m)	yc (m)	Vc (m)	Fr	Es
1	0,0015	0,76	0,037	0,078	0,0192	0,0335	0,5735	1	0,0503
2		0,78	0,037		0,0192	0,0335	0,5735	1	0,0503
3		0,8	0,037		0,0192	0,0335	0,5735	1	0,0503
4		0,82	0,037		0,0192	0,0335	0,5735	1	0,0503
5		0,84	0,037		0,0192	0,0335	0,5735	1	0,0503
1	0,002	0,76	0,038	0,078	0,0256	0,0406	0,6313	1	0,0609
2		0,78	0,038		0,0256	0,0406	0,6313	1	0,0609
3		0,8	0,038		0,0256	0,0406	0,6313	1	0,0609
4		0,82	0,038		0,0256	0,0406	0,6313	1	0,0609
5		0,84	0,038		0,0256	0,0406	0,6313	1	0,0609
1	0,0025	0,76	0,043	0,078	0,0321	0,0471	0,6800	1	0,0707
2		0,78	0,043		0,0321	0,0471	0,6800	1	0,0707
3		0,8	0,043		0,0321	0,0471	0,6800	1	0,0707
4		0,82	0,043		0,0321	0,0471	0,6800	1	0,0707
5		0,84	0,043		0,0321	0,0471	0,6800	1	0,0707

Sumber: *Data hasil perhitungan*

Perhitungan energi spesifik pada daerah setelah bangunan pada debit 0,0015 m<sup>3</sup>/det, 0,0020 m<sup>3</sup>/det, 0,0025 m<sup>3</sup>/det. Pada debit 0,0015 m<sup>3</sup>/det, dimana  $\Delta y = 0,0360$  m,  $V = 0,8404$  m/det,  $g = 9,81$  m/det<sup>2</sup> dan dijabarkan sebagai berikut:

$$Es = 0,0360 + \left( \frac{0,8404^2}{2 \cdot 9,81} \right) = 0,072 \text{ m}$$

Perhitungan selanjutnya dihitung dengan cara yang sama dan dirangkum pada tabel 30, 31 dan 32:

Tabel 30. Hasil Perhitungan energi spesifik pada daerah setelah bangunan pada debit 0,0015 m<sup>3</sup>/det.

No	Debit terbaca (m <sup>3</sup> /det)	Jarak (m)	Tinggi Muka Air y1 (m)	y2 (m)	$\Delta y$ (m)	V (m/det)	Fr	Es
1	0,0015	0,852	0,045	0,081	0,0360	0,8404	1,2649	0,072
2		0,9	0,042		0,0390	0,8747	1,3628	0,078
3		0,92	0,043		0,0380	0,8635	1,3295	0,076
4		0,94	0,045		0,0360	0,8404	1,2649	0,072
5		0,96	0,05		0,0310	0,7799	1,1136	0,062
6		0,98	0,055		0,0260	0,7142	0,9723	0,052
7		1	0,059		0,0220	0,6570	0,8636	0,044
8		1,02	0,061		0,0200	0,6264	0,8098	0,04
9		1,04	0,063		0,0180	0,5943	0,7559	0,036
10		1,06	0,069		0,0120	0,4852	0,5898	0,024
11		1,08	0,069		0,0120	0,4852	0,5898	0,024
12		1,1	0,072		0,0090	0,4202	0,5000	0,018
13		1,12	0,073		0,0080	0,3962	0,4682	0,016

Lanjutan tabel 30.

No	Debit terbaca (m <sup>3</sup> /det)	Jarak (m)	Tinggi Muka Air y <sub>1</sub> (m)	y <sub>2</sub> (m)	Δy (m)	V (m/det)	Fr	Es
14	0,0015	1,14	0,074	0,081	0,0070	0,3706	0,4350	0,014
15		1,16	0,075		0,0060	0,3431	0,4000	0,012
16		1,18	0,073		0,0080	0,3962	0,4682	0,016
17		1,2	0,075		0,0060	0,3431	0,4000	0,012
18		1,22	0,077		0,0040	0,2801	0,3223	0,008
19		1,24	0,077		0,0040	0,2801	0,3223	0,008
20		1,26	0,077		0,0040	0,2801	0,3223	0,008
21		1,28	0,077		0,0040	0,2801	0,3223	0,008
22		1,3	0,078		0,0030	0,2426	0,2774	0,006
23		1,32	0,078		0,0030	0,2426	0,2774	0,006
24		1,34	0,078		0,0030	0,2426	0,2774	0,006
25		1,36	0,078		0,0030	0,2426	0,2774	0,006
26		1,38	0,078		0,0030	0,2426	0,2774	0,006
27		1,4	0,078		0,0030	0,2426	0,2774	0,006
28	1,42	0,078	0,0030	0,2426	0,2774	0,006		
29	1,44	0,078	0,0030	0,24261	0,2774	0,006		

Sumber: Data hasil perhitungan

Tabel 31. Hasil Perhitungan energi spesifik pada daerah setelah bangunan pada debit 0,0020 m<sup>3</sup>/det.

No	Debit terbaca (m <sup>3</sup> /det)	Jarak (m)	Tinggi Muka Air y <sub>1</sub> (m)	y <sub>2</sub> (m)	Δy (m)	V (m/det)	Fr	Es
1	0,0020	0,9	0,045	0,085	0,0400	0,8859	1,3333	0,08
2		0,92	0,043		0,0420	0,9078	1,3977	0,084
3		0,94	0,045		0,0400	0,8859	1,3333	0,08

Lanjutan tabel 31.

No	Debit terbaca (m <sup>3</sup> /det)	Jarak (m)	Tinggi Muka Air y <sub>1</sub> (m)	y <sub>2</sub> (m)	Δy (m)	V (m/det)	Fr	Es
4	0,0020	0,96	0,049	0,085	0,0360	0,8404	1,2122	0,072
5		0,98	0,051		0,0340	0,8167	1,1547	0,068
6		1	0,056		0,0290	0,7543	1,0177	0,058
7		1,02	0,059		0,0260	0,7142	0,9388	0,052
8		1,04	0,06		0,0250	0,7004	0,9129	0,05
9		1,06	0,062		0,0230	0,6718	0,8614	0,046
10		1,08	0,066		0,0190	0,6106	0,7588	0,038
11		1,1	0,069		0,0160	0,5603	0,6810	0,032
12		1,12	0,071		0,0140	0,5241	0,6280	0,028
13		1,14	0,072		0,0130	0,5050	0,6009	0,026
14		1,16	0,074		0,0110	0,4646	0,5452	0,022
15		1,18	0,077		0,0080	0,3962	0,4558	0,016
16		1,2	0,078		0,0070	0,3706	0,4237	0,014
17		1,22	0,078		0,0070	0,3706	0,4237	0,014
18		1,24	0,077		0,0080	0,3962	0,4558	0,016
19		1,26	0,08		0,0050	0,3132	0,3536	0,01
20		1,28	0,08		0,0050	0,3132	0,3536	0,01
21		1,3	0,083		0,0020	0,1981	0,2195	0,004
22		1,32	0,08		0,0050	0,3132	0,3536	0,01
23		1,34	0,08		0,0050	0,3132	0,3536	0,01
24		1,36	0,079		0,0060	0,3431	0,3897	0,012
25		1,38	0,08		0,0050	0,3132	0,3536	0,01
26		1,4	0,08		0,0050	0,3132	0,3536	0,01
27		1,42	0,08		0,0050	0,3132	0,3536	0,01
28		1,44	0,082		0,0030	0,2426	0,2705	0,006
29		1,46	0,082		0,0030	0,2426	0,2705	0,006

Sumber: Data hasil perhitungan

Tabel 32. Hasil Perhitungan energi spesifik pada daerah setelah bangunan pada debit 0,0025 m<sup>3</sup>/det.

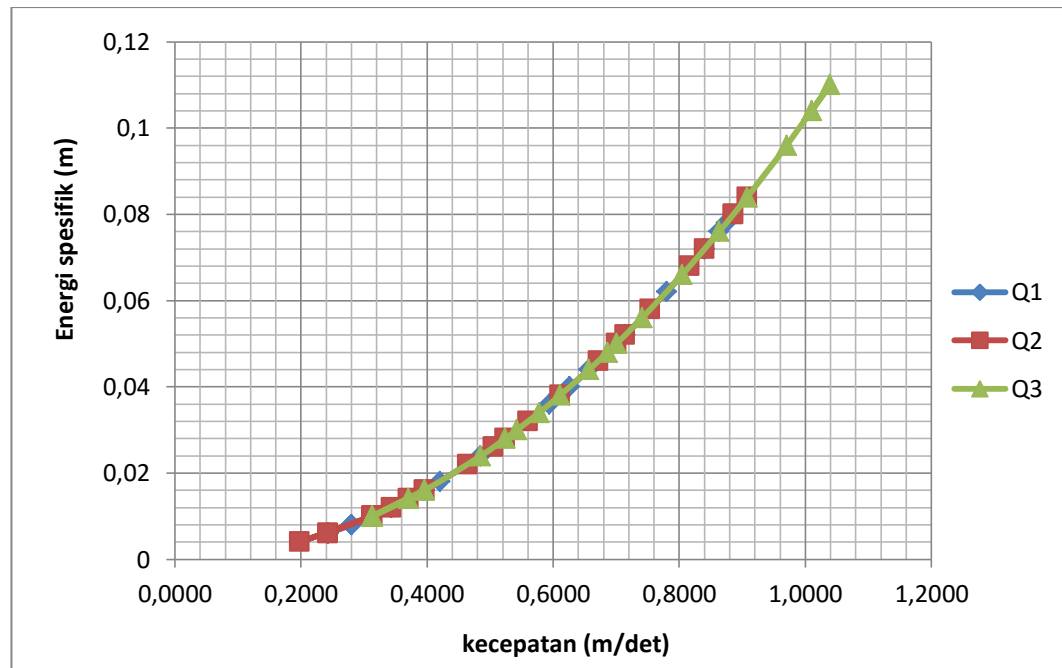
No	Debit terbaca (m <sup>3</sup> /det)	Jarak (m)	Tinggi Muka Air y1 (m)	y2 (m)	Δy (m)	V (m/det)	Fr	Es
1	0,0025	0,92	0,045	0,097	0,0520	1,0101	1,5202	0,104
2		0,93	0,042		0,0550	1,0388	1,6183	0,11
3		0,95	0,049		0,0480	0,9704	1,3997	0,096
4		0,97	0,055		0,0420	0,9078	1,2358	0,084
5		0,99	0,059		0,0380	0,8635	1,1350	0,076
6		1,01	0,064		0,0330	0,8046	1,0155	0,066
7		1,03	0,069		0,0280	0,7412	0,9009	0,056
8		1,05	0,072		0,0250	0,7004	0,8333	0,05
9		1,07	0,073		0,0240	0,6862	0,8109	0,048
10		1,09	0,075		0,0220	0,6570	0,7659	0,044
11		1,11	0,078		0,0190	0,6106	0,6980	0,038
12		1,13	0,08		0,0170	0,5775	0,6519	0,034
13		1,15	0,082		0,0150	0,5425	0,6049	0,03
14		1,17	0,083		0,0140	0,5241	0,5808	0,028
15		1,19	0,085		0,0120	0,4852	0,5314	0,024
16		1,21	0,089		0,0080	0,3962	0,4240	0,016
17		1,23	0,092		0,0050	0,3132	0,3297	0,01
18		1,25	0,089		0,0080	0,3962	0,4240	0,016
19		1,27	0,09		0,0070	0,3706	0,3944	0,014
20		1,29	0,089		0,0080	0,3962	0,4240	0,016
21		1,31	0,092		0,0050	0,3132	0,3297	0,01
22		1,33	0,092		0,0050	0,3132	0,3297	0,01
23		1,35	0,092		0,0050	0,3132	0,3297	0,01
24		1,37	0,092		0,0050	0,3132	0,3297	0,01
25		1,39	0,092		0,0050	0,3132	0,3297	0,01



Lanjutan tabel 32.

No	Debit terbaca (m <sup>3</sup> /det)	Jarak (m)	Tinggi Muka Air y <sub>1</sub> (m)	y <sub>2</sub> (m)	Δy (m)	V (m/det)	Fr	Es
26	0,0025	1,41	0,092	0,097	0,0050	0,3132	0,3297	0,01
27		1,43	0,092		0,0050	0,3132	0,3297	0,01
28		1,45	0,092		0,0050	0,3132	0,3297	0,01
29		1,47	0,092		0,0050	0,3132	0,3297	0,01

Sumber: *Data hasil perhitungan*



Gambar 19. Hubungan antara kecepatan dan energi spesifik pada daerah setelah bangunan.

Pada gambar 18, diatas dapat dilihat bahwa energi spesifik akan tergantung pada besarnya kecepatan yang terjadi. Apabila kecepatannya besar maka energy spesifiknya akan tinggi. Dapat dilihat bahwa energy spesifik yang paling tinggi terdapat pada debit ( $Q_3=0.0025$  m/det).

Hasil perhitungan energi spesifik pada daerah hilir pada debit 0,0015 m<sup>3</sup>/det, 0,0020 m<sup>3</sup>/det, 0,0025 m<sup>3</sup>/det, pada debit 0,0015 m<sup>3</sup>/det dimana h = 0,081 m, V = 0,30 m/det, g = 9,81 m/det<sup>2</sup> dan dijabarkan sebagai berikut:

$$Es = 0,081 + \left( \frac{0,30^2}{2 \cdot 9,81} \right) = 0,0856 \text{ m}$$

Perhitungan selanjutnya diselesaikan dengan cara yang sama dan hasilnya dirangkum dalam table 33, sebagai berikut :

Tabel 33, Hasil perhitungan energi spesifik pada daerah hilir dengan debit 0,0015 m<sup>3</sup>/det, 0,0020 m<sup>3</sup>/det, 0,0025 m<sup>3</sup>/det.

No	Debit terbaca (m <sup>3</sup> /det)	Jarak (m)	Tinggi Muka Air (m)	V (m/det)	Fr	Es
1	0,0015	2	0,081	0,30	0,3365	0,0856
2		2,75	0,083	0,30	0,3325	0,0876
3		3,4	0,088	0,30	0,3229	0,0926
4		4,05	0,096	0,20	0,2061	0,0980
5		4,8	0,113	0,20	0,1900	0,1150
1	0,002	2	0,085	0,30	0,3285	0,0896
2		2,75	0,088	0,30	0,3229	0,0926
3		3,4	0,093	0,30	0,3141	0,0976
4		4,05	0,101	0,20	0,2009	0,1030
5		4,8	0,119	0,20	0,1851	0,1210
1	0,0025	2	0,097	0,40	0,4101	0,1052
2		2,75	0,101	0,40	0,4019	0,1092
3		3,4	0,102	0,40	0,3999	0,1102
4		4,05	0,112	0,30	0,2862	0,1166
5		4,8	0,121	0,30	0,2754	0,1256

Sumber: *Data hasil perhitungan*

### G. Kehilangan Energi

Kehilangan energi spesifik pada daerah hulu dan hilir pada debit 0,0015 m<sup>3</sup>/det dititik tinjauan dengan jarak 0,705 m sebelum pelimpah dan jarak 2.00 m pada daerah hilir adalah sebagai berikut :

$$\Delta E = 0,1516 - 0,0856 = 0,066 \text{ m}$$

Kehilangan energi spesifik pada daerah hulu dan hilir pada debit 0,002 m<sup>3</sup>/det dititik tinjauan dengan jarak 0,70 m sebelum pelimpah dan jarak 2.00 m pada daerah hilir adalah sebagai berikut :

$$\Delta E = 0,1567 - 0,0896 = 0,0671 \text{ m}$$

Kehilangan energi spesifik pada daerah hulu dan hilir pada debit 0,0025 m<sup>3</sup>/det dititik tinjauan dengan jarak 0,695 m sebelum pelimpah dan jarak 2.00 m pada daerah hilir adalah sebagai berikut :

$$\Delta E = 0,1694 - 0,1052 = 0,0642 \text{ m}$$

Kehilangan energi spesifik pada daerah setelah bangunan sebagai contoh pada debit 0,0015 m<sup>3</sup>/det dengan  $y_1 = 0,045 \text{ m}$ ,  $y_2 = 0,081 \text{ m}$  dihitung dan dijabarkan sbb :

$$\Delta y = y_2 - y_1 = 0,081 - 0,045 = 0,0360 \text{ m}$$

$$\Delta E = \frac{(y_2 - y_1)^3}{4xy_2y_1} = \frac{0,0360}{4 \times 0,81 \times 0,045} = 0,0018 \text{ m}$$

Perhitungan selanjutnya dihitung dengan cara yang sama dan dirangkum pada tabel 34, 35 dan 36.

Tabel 34. Hasil perhitungan Kehilangan Energi pada debit 0.0015 m<sup>3</sup>/det.

No	Debit terbaca (m <sup>3</sup> /det)	Jarak (m)	Tinggi Muka Air y1 (m)	y2 (m)	Δy (m)	V (m/det)	Fr	Es	ΔE (m)
1	0,0015	0,852	0,045	0,081	0,0360	0,8404	1,2649	0,072	0,0018
2		0,9	0,042		0,0390	0,8747	1,3628	0,078	0,0024
3		0,92	0,043		0,0380	0,8635	1,3295	0,076	0,0022
4		0,94	0,045		0,0360	0,8404	1,2649	0,072	0,0018
5		0,96	0,05		0,0310	0,7799	1,1136	0,062	0,0010
6		0,98	0,055		0,0260	0,7142	0,9723	0,052	0,0006
7		1	0,059		0,0220	0,6570	0,8636	0,044	0,0003
8		1,02	0,061		0,0200	0,6264	0,8098	0,04	0,0002
9		1,04	0,063		0,0180	0,5943	0,7559	0,036	0,0002
10		1,06	0,069		0,0120	0,4852	0,5898	0,024	0,0000
11		1,08	0,069		0,0120	0,4852	0,5898	0,024	0,0000
12		1,1	0,072		0,0090	0,4202	0,5000	0,018	0,0000
13		1,12	0,073		0,0080	0,3962	0,4682	0,016	0,0000
14		1,14	0,074		0,0070	0,3706	0,4350	0,014	0,0000
15		1,16	0,075		0,0060	0,3431	0,4000	0,012	0,0000
16		1,18	0,073		0,0080	0,3962	0,4682	0,016	0,0000
17		1,2	0,075		0,0060	0,3431	0,4000	0,012	0,0000
18		1,22	0,077		0,0040	0,2801	0,3223	0,008	0,0000
19		1,24	0,077		0,0040	0,2801	0,3223	0,008	0,0000
20		1,26	0,077		0,0040	0,2801	0,3223	0,008	0,0000
21		1,28	0,077		0,0040	0,2801	0,3223	0,008	0,0000
22		1,3	0,078		0,0030	0,2426	0,2774	0,006	0,0000
23		1,32	0,078		0,0030	0,2426	0,2774	0,006	0,0000
24		1,34	0,078		0,0030	0,2426	0,2774	0,006	0,0000
25		1,36	0,078		0,0030	0,2426	0,2774	0,006	0,0000
26		1,38	0,078		0,0030	0,2426	0,2774	0,006	0,0000
27		1,4	0,078		0,0030	0,2426	0,2774	0,006	0,0000
28		1,42	0,078		0,0030	0,2426	0,2774	0,006	0,0000
29		1,44	0,078		0,0030	0,2426	0,2774	0,006	0,0000

Tabel 35. Hasil perhitungan Kehilangan Energi pada debit 0.0020 m<sup>3</sup>/det.

No	Debit terbaca (m <sup>3</sup> /det)	Jarak (m)	Tinggi Muka Air y1 (m)	y2 (m)	$\Delta y$ (m)	V (m/det)	Fr	Es	$\Delta E$ (m)
1	0,0020	0,9	0,045	0,085	0,0400	0,8859	1,3333	0,08	0,0025
2		0,92	0,043		0,0420	0,9078	1,3977	0,084	0,0030
3		0,94	0,045		0,0400	0,8859	1,3333	0,08	0,0025
4		0,96	0,049		0,0360	0,8404	1,2122	0,072	0,0016
5		0,98	0,051		0,0340	0,8167	1,1547	0,068	0,0013
6		1	0,056		0,0290	0,7543	1,0177	0,058	0,0008
7		1,02	0,059		0,0260	0,7142	0,9388	0,052	0,0005
8		1,04	0,06		0,0250	0,7004	0,9129	0,05	0,0004
9		1,06	0,062		0,0230	0,6718	0,8614	0,046	0,0003
10		1,08	0,066		0,0190	0,6106	0,7588	0,038	0,0002
11		1,1	0,069		0,0160	0,5603	0,6810	0,032	0,0001
12		1,12	0,071		0,0140	0,5241	0,6280	0,028	0,0001
13		1,14	0,072		0,0130	0,5050	0,6009	0,026	0,0001
14		1,16	0,074		0,0110	0,4646	0,5452	0,022	0,0000
15		1,18	0,077		0,0080	0,3962	0,4558	0,016	0,0000
16		1,2	0,078		0,0070	0,3706	0,4237	0,014	0,0000
17		1,22	0,078		0,0070	0,3706	0,4237	0,014	0,0000
18		1,24	0,077		0,0080	0,3962	0,4558	0,016	0,0000
19		1,26	0,08		0,0050	0,3132	0,3536	0,01	0,0000
20		1,28	0,08		0,0050	0,3132	0,3536	0,01	0,0000
21		1,3	0,083		0,0020	0,1981	0,2195	0,004	0,0000
22		1,32	0,08		0,0050	0,3132	0,3536	0,01	0,0000
23		1,34	0,08		0,0050	0,3132	0,3536	0,01	0,0000
24		1,36	0,079		0,0060	0,3431	0,3897	0,012	0,0000
25		1,38	0,08		0,0050	0,3132	0,3536	0,01	0,0000
26		1,4	0,08		0,0050	0,3132	0,3536	0,01	0,0000
27		1,42	0,08		0,0050	0,3132	0,3536	0,01	0,0000
28		1,44	0,082		0,0030	0,2426	0,2705	0,006	0,0000
29		1,46	0,082		0,0030	0,2426	0,2705	0,006	0,0000

Tabel 36. Hasil perhitungan Kehilangan Energi pada debit 0.0025 m<sup>3</sup>/det.

No	Debit terbaca (m <sup>3</sup> /det)	Jarak (m)	Tinggi Muka Air y1 (m)	y2 (m)	Δy (m)	V (m/det)	Fr	Es	ΔE (m)
1	0,0025	0,92	0,045	0,097	0,0520	1,0101	1,5202	0,104	0,0054
2		0,93	0,042		0,0550	1,0388	1,6183	0,11	0,0068
3		0,95	0,049		0,0480	0,9704	1,3997	0,096	0,0039
4		0,97	0,055		0,0420	0,9078	1,2358	0,084	0,0023
5		0,99	0,059		0,0380	0,8635	1,1350	0,076	0,0016
6		1,01	0,064		0,0330	0,8046	1,0155	0,066	0,0010
7		1,03	0,069		0,0280	0,7412	0,9009	0,056	0,0005
8		1,05	0,072		0,0250	0,7004	0,8333	0,05	0,0004
9		1,07	0,073		0,0240	0,6862	0,8109	0,048	0,0003
10		1,09	0,075		0,0220	0,6570	0,7659	0,044	0,0002
11		1,11	0,078		0,0190	0,6106	0,6980	0,038	0,0002
12		1,13	0,08		0,0170	0,5775	0,6519	0,034	0,0001
13		1,15	0,082		0,0150	0,5425	0,6049	0,03	0,0001
14		1,17	0,083		0,0140	0,5241	0,5808	0,028	0,0001
15		1,19	0,085		0,0120	0,4852	0,5314	0,024	0,0000
16		1,21	0,089		0,0080	0,3962	0,4240	0,016	0,0000
17		1,23	0,092		0,0050	0,3132	0,3297	0,01	0,0000
18		1,25	0,089		0,0080	0,3962	0,4240	0,016	0,0000
19		1,27	0,09		0,0070	0,3706	0,3944	0,014	0,0000
20		1,29	0,089		0,0080	0,3962	0,4240	0,016	0,0000
21		1,31	0,092		0,0050	0,3132	0,3297	0,01	0,0000
22		1,33	0,092		0,0050	0,3132	0,3297	0,01	0,0000
23		1,35	0,092		0,0050	0,3132	0,3297	0,01	0,0000
24		1,37	0,092		0,0050	0,3132	0,3297	0,01	0,0000
25		1,39	0,092		0,0050	0,3132	0,3297	0,01	0,0000
26		1,41	0,092		0,0050	0,3132	0,3297	0,01	0,0000
27		1,43	0,092		0,0050	0,3132	0,3297	0,01	0,0000
28		1,45	0,092		0,0050	0,3132	0,3297	0,01	0,0000
29		1,47	0,092		0,0050	0,3132	0,3297	0,01	0,0000

## H. Pembahasan

### 1. Debit

Dalam penelitian ini digunakan tiga variasi debit yaitu 0,0015 m<sup>3</sup>/det, 0,0020 m<sup>3</sup>/det, dan 0,0025 m<sup>3</sup>/det.

### 2. Kecepatan Aliran

Dari hasil perhitungan pada tabel 15 diperoleh nilai kecepatan pada daerah hulu dengan menggunakan pelampung, dimana perbandingannya dapat dilihat pada gambar 13. Semakin tinggi muka air maka semakin besar kecepatan yang terjadi. Dari hasil perhitungan pada tabel 18, 19 dan 20 diperoleh nilai kecepatan pada daerah setelah bangunan dengan menggunakan rumus, dimana perbandingannya dapat dilihat pada gambar 14. Semakin tinggi muka air maka semakin rendah kecepatan yang terjadi. Dari hasil perhitungan pada tabel 21, diperoleh nilai kecepatan pada daerah hilir dengan menggunakan current meter, dimana perbandingannya dapat dilihat pada grafik gambar 15, 16, dan 17. Semua kecepatan sama pada beberapa titik tinjauan dibagian hilir. Dari hasil perhitungan kecepatan paling besar terjadi pada saat setelah air melewati bangunan pelimpah dan perlahan-lahan menurun ketika air menjauhi bangunan pelimpah.

### 3. Bilangan Froude

Dari hasil perhitungan diperoleh bilangan Froude yang cukup bervariasi dikarenakan pengambilan data dilakukan pada jarak tertentu tiap

titiknya. Dapat dilihat dalam tabel 22, pada daerah hulu diperoleh nilai bilangan Froude  $< 1$  yang artinya pada daerah hulu mengalami aliran subkritis. Pada tabel 23 dapat dilihat pada daerah diatas bangunan pelimpah diperoleh nilai Froude  $= 1$  yang artinya diatas bangunan pelimpah mengalami aliran kritis dan pada tabel 24, 25 dan 26 dapat dilihat pada daerah setelah bangunan pelimpah dengan debit  $0,0015 \text{ m}^3/\text{det}$  pada jarak  $0,852 \text{ m}$  sampai  $0,96 \text{ m}$  mengalami aliran superkritis dan aliran mengalami perubahan menjadi subkritis pada jarak  $0,98 \text{ m}$  sampai seterusnya, sedangkan untuk debit  $0,002 \text{ m}^3/\text{det}$  aliran superkritis terjadi pada jarak  $0,90 \text{ m}$  sampai jarak  $1,00 \text{ m}$  dan berubah menjadi aliran subkritis pada jarak  $1,02 \text{ m}$  sampai seterusnya, sementara untuk debit  $0,0025 \text{ m}^3/\text{det}$  aliran superkritis terjadi pada jarak  $0,92 \text{ m}$  sampai jarak  $1,01 \text{ m}$  dan berubah menjadi aliran subkritis pada jarak  $1,03 \text{ m}$  sampai seterusnya. Pada daerah hilir diperoleh bilangan Froude  $< 1$  seperti yang tercantum pada tabel 27 yang artinya pada daerah hilir mengalami aliran subkritis. Terlihat perbandingan bahwa semakin besar debit yang digunakan maka semakin jauh jarak perubahan aliran dari aliran superkritis ke aliran subkritis.

#### 4. Energi Spesifik

Dari hasil perhitungan energi spesifik pada daerah hulu dapat dilihat pada tabel 28 dan perbandingannya dapat dilihat pada gambar 23, dimana semakin besar kecepatan maka semakin besar pula energi spesifik



yang terjadi. Pada daerah setelah bangunan dapat dilihat pada tabel 30, 31 dan 32 dan perbandingannya dapat dilihat pada gambar 24, dimana semakin besar kecepatan maka semakin besar pula energi yang terjadi. Pada daerah hilir dapat dilihat pada tabel 33 dan perbandingannya dapat dilihat pada gambar 25, 26 dan 27, dimana semakin besar kecepatan maka semakin kecil energi yang terjadi.

#### 5. Kehilangan Energi

Dari hasil perhitungan kehilangan energi dapat dilihat pada daerah hulu dan hilir dimana semakin tinggi debit maka kehilangan energi semakin rendah. Kemudian pada saat setelah bangunan pelimpah, semakin tinggi muka air maka kehilangan energi juga semakin rendah.

## **BAB V**

### **PENUTUP**

#### **A. Kesimpulan**

Adapun kesimpulan pada penelitian pengaruh bangunan pelimpah tipe ogee 1:1 terhadap karakteristik aliran pada saluran terbuka adalah:

1. Aliran air dapat mengalami perubahan ketinggian karena adanya bangunan pelimpah dan berpengaruh pada karakteristik alirannya. Dimana semakin tinggi muka air maka semakin besar kecepatan yang terjadi.
2. Energi spesifik bergantung pada tinggi muka air dimana semakin tinggi muka air maka semakin rendah energi spesifik yang terjadi. Selain itu dapat disimpulkan bahwa semakin rendah energi spesifik yang terjadi maka semakin tinggi pula kecepatan alirannya.

#### **B. Saran**

Disadari bahwa penelitian ini jauh dari kesempurnaan, sehingga penelitian ini masih perlu dikaji untuk beberapa kondisi berikut.

1. Pengukuran kecepatan aliran dan tinggi muka air agar dilakukan dengan teliti lagi agar mendapatkan hasil yang lebih akurat.

2. Untuk penyempurnaan dan pengembangan, penelitian selanjutnya disarankan untuk memakai kolam olakan dan menggunakan saluran yang lebih lebar lagi dibanding saluran dari penelitian kami ini.

## DAFTAR PUSTAKA

- Canonica, Lucio. 2013. *Memahami Hidraulika Edisi Revisi*. CV Angkasa, Bandung.
- Chow, VT. 1985. Terjemahan Suyatman, Sugiharto, dan Rosalina. *Hidrolika Saluran Terbuka*. Penerbit Erlangga, Jakarta.
- Direktur Jenderal Pengairan. 1986. *Kriteria Perencanaan*. Direktorat Jenderal Pengairan, Jakarta.
- Ernandi, Rhidho. 2012. *Aliran Fluida*. 17 Mei 2012. Online dari <http://Ridho-Ernandi/aliran-fluida.html>. Diakses pada tanggal 9 Maret 2018.
- Gandakoesoema. 1983. *Hidrolika*. Penerbit Sumur Bandung, Bandung.
- Kodoatie, Robert J. 2002. *Hidrolika Terapan Edisi Revisi*. Penerbit Andi, Yogyakarta.
- Simanjuntak, Salomo. 2009. *Analisa Mercu Bendung Daerah Irigasi Namurambe*. Laporan Penelitian, Medan: Lembaga Penelitian Universitas HKBP Nommensen.
- SNI 8137. 2015. *Pengukuran Debit pada Saluran Terbuka Menggunakan Bangunan Ukur Tipe Pelimpah Atas*. Badan Standar Nasional, Jakarta.
- Triatmodjo, Bambang. 1993. *Hidrolika II*. Beta Offset, Yogyakarta.
- Yudah, G, S. 2014. *Analisa Kapasitas Sungai dalam Mengendalikan Banjir dengan Integrasi Antara Metode Rasiona dengan Program WIN-TR (Studi Kasus Daerah Aliran Sungai Air Bengkulu)*. Skripsi, Bengkulu: Fakultas Teknik Jurusan Sipil Universitas Bengkulu.
- Yuni, Cahya. S. D. 2012. *Kajian Perubahan Pola Gerusan Pada Tikungan Sungai Akibat Penambahan Debit*. Skripsi, Makassar: Fakultas Teknik Jurusan Sipil Universitas Hasanuddin.

# **DOKUMENTASI**



Gambar 1. Flume Yang Digunakan.



Gambar 2. Alat Ukur Debit Pada Flume.



Gambar 3. Alat-alat Yang Digunakan Dalam Penelitian.



Gambar 4. Pemasangan Mercu Pada Flume.



Gambar 5. Posisi Mercu Pada Flume.



Gambar 6. Pengukuran Tinggi Muka Air di Atas Bangunan.





Gambar 7. Pengukuran Tinggi Muka Air Setelah Bangunan.



Gambar 8. Pengukuran Kecepatan Aliran Sebelum Bangunan.



Gambar 9. Pengukuran Kecepatan Aliran Setelah Bangunan.



Gambar 10. Profil aliran air dalam flume.