

SKRIPSI

**PENGARUH MATRAKS BRONJONG PADA HILIR KOLAM OLAKAN
TIPE USBR II DAN TIPE USBR III TERHADAP PERUBAHAN DASAR
SUNGAI (UJI MODEL LABORATORIUM)**



EDI SUHEDI : 10581 01475 11

HAMSA : 10581 01531 11

FAKULTAS TEKNIK

JURUSAN TEKNIK SIPIL PENGAIRAN

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, e-mail : 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 : **PENGARUH MATRAS BRONJONG PADA HILIR KOLAM OLAKAN TIPE USBR II DAN TIPE USBR III TERHADAP PERUBAHAN DASAR SUNGAI (UJI MODEL LABORATORIUM)**

Nama : HAMSA

Stambuk : 10581 01531 11

Nama : EDI SUHEDI

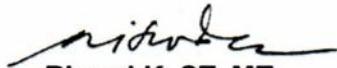
Stambuk : 10581 01475 11

Makassar, 06 Februari 2018

Telah Diperiksa dan Disetujui
Oleh Dosen Pembimbing;

Pembimbing I

Pembimbing II


Riswal K. ST., MT.


Dr. Ir. Nenny. ST., MT.

Mengetahui,


Ketua Jurusan Teknik Sipil
Muh. Syafaat S. Kuba, ST
NBM : 975 288



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, e-mail : unismuh@gmail.com

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

بِسْمِ اللَّهِ الرَّحْمَنِ الرَّحِيمِ

PENGESAHAN

Skripsi atas nama Hamsa dengan nomor induk Mahasiswa 10581 01531 11 dan Edi Suhedi dengan nomor induk Mahasiswa 10581 01475 11 dinyatakan diterima dan disahkan oleh Panitia Ujian Tugas Akhir/Skripsi sesuai dengan Surat Keputusan Dekan Fakultas Teknik Universitas Muhammadiyah Makassar Nomor : 0002/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 Sabtu tanggal 27 Januari 2018

Makassar, 20 Jumadil Awal 1439 H
06 Februari 2018 M

Panitia Ujian :

1. Pengawas Umum

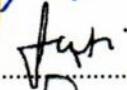
a. Rektor Universitas Muhammadiyah Makassar

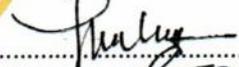
Dr. H. Abdul Rahman Rahim, SE., MM. : 

b. Dekan Fakultas Teknik Universitas Hasanuddin

Dr. -Ing. Ir. Wahyu H. Piarah, MSME. : 

2. Penguji

a. Ketua : Dr. Ir. Hj. Fenty Daud S, MT. : 

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

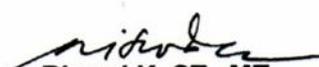
3. Anggota : 1. Dr. Ir. H. Muh. Idrus Ompo, SP., PSDA. : 

2. Amrullah Mansida, ST., MT. : 

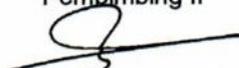
3. Dr. Ir. H. Abd. Rakhim Nanda, MT. : 

Mengetahui :

Pembimbing I


Riswal K, ST., MT.

Pembimbing II


Dr. Ir. Nenny, ST., MT.

Dekan


H. Hamzah Al Imran, ST., MT.
NBM: 855/500

PENGARUH MATRAKS BERONJONG PADA HILIR KOLAM OLAKAN TIPE USBR II DAN TIPE USBR III TERHADAP PERUBAHAN DASAR SUNGAI (UJI MODEL LABORATORIUM)

Hamsa
Edi Suhedi
Laboratorium Sungai
Jurusan Teknik Sipil Pengairan
Fakultas Teknik
Universitas Muhammadiyah Makassar
Korespondensi Penulis: hms.teknik92@gmail.com

Abstrak

Loncatan hidrolis terjadi apabila suatu aliran berubah dari kondisi superkritis ke kondisi subkritis. Loncatan hidraulik memiliki energi aliran yang tinggi, sehingga dapat menyebabkan penggerusan di hilir kolam olakan bendung. Untuk melindungi kolam olakan bendung dari bahaya penggerusan, diperlukan suatu desain yang mampu meredam energy dari loncatan hidraulik tersebut sehingga dasar sungai dapat terlindungi.

Pada penelitian ini dibuat suatu alat peraga berupa bendung dengan kolam olakan peredam energi untuk mengetahui karakteristik loncatan air dan pola gerusan dengan menggunakan dua model kolam olakan yang berbeda dimensi ukurannya, kemudian dilakukan eksperimental dengan model simulasi dan menggunakan dua sumber data yang terdiri dari data primer dan sekunder, dengan model saluran terbuka pada penampang model lurus dan belok, panjang saluran 9 m, lebar saluran 0,35 m dan tinggi saluran 0,20 m dari dasar saluran.

Hasil pengamatan pada bendung tipe USBR II dan bendung tipe USBR III, sifat aliran yang terjadi pada setiap pengamatan adalah aliran superkritis dan aliran subkritis, hasil pengamatan karakteristik aliran yang terjadi adalah aliran laminar (aliranseragam), dan hasil pengamatan kedalaman gerusan terbesar tanpa menggunakan bronjong terjadi pada kolam olakan tipe USBR II, dengan rata-rata ke'dalaman gerusan $Q_3 = -3,62$, hasil pengamatan kedalaman gerusan terbesar dengan menggunakan bronjong terjadi pada kolam olakan tipe USBR III, dengan rata-rata kedalaman gerusan $Q_3 = -3,36$.

Hasil dari simulasi pengaliran menunjukkan gerusan maksimum bergantung pada kecepatan aliran, tinggi aliran di hilir kolam olakan, serta angka Reynold dan angka Froude.

Kata Kunci : Bendung, Loncatan Hidraulik, Kolam Olak, Kedalaman Gerusan, Beronjong.

**THE INFLUENCE OF BRONJONG MATRAS ON FLOWER POLLS OLD
TYPE USBR II AND TYPE OF USBR III ON A RIVER BASIC CHANGE
(LABORATORY TEST MODEL)**

Hamsa
Edi Suhedi
Laboratorium Sungai
Jurusan Teknik Sipil Pengairan
Fakultas Teknik
Universitas Muhammadiyah Makassar
Korespondensi Penulis: hms.teknik92@gmail.com

Abstrak

Hydraulic jumps occur when a stream changes from supercritical to subcritical conditions. Hydraulic jumps have high flow energy, so it can cause scouring downstream of the dam pond. To protect the dam pond from the dredging hazard, a design that is capable of reducing the energy of the hydraulic spring is required so that the bottom of the river can be protected.

In this research, a prop of a weir with a pool of energy damper to know the characteristics of water spring and scour pattern using two models of different size dimensional pond ponds, then experimental with simulation model and using two data sources consisting of primary data and secondary, with an open channel model on straight and curved cross-section, 9m channel length, 0.35m channel width and 0.20m channel height from the channel bottom.

The observations on the weirs of the type of USBR II and the dam of the type of USBR III, the flow properties that occur in each observation are supercritical flow and subcritical flow, the observed flow characteristics are laminar flow, and the largest observation of scour depth without using bronjong in the type of USBR II aqueduct, with an average scouring depth of $Q_3 = -3.62$, the largest scour depth observation results by using a bronjong occurs in a USBR III type odor pond, with an average scour depth $Q_3 = -3.36$.

The results of the drain simulation show the maximum scour depending on the flow velocity, the flow height downstream of the olakan pond, as well as the Reynolds and Froude numbers.

Keywords: Bendung, Hydraulic Leaping, Olak Pond, Depth of Scour, Bronjong.

KATA PENGANTAR

Syukur Alhamdulillah penulis panjatkan kehadiran Allah SWT, karena berkat rahmat dan hidayahnyalah sehingga penulis dapat menyusun skripsi ini, dan dapat kami selesaikan dengan baik.

Tugas akhir ini di susun sebagai salah satu persyaratan akademik yang harus di tempuh dalam rangka menyelesaikan program studi pada Jurusan Teknik Sipil Pengairan Fakultas Teknik Universitas Muhammadiyah Makassar. Adapun judul tugas akhir kami adalah : **"PENGARUH MATRAKS BRONJONG PADA HILIR KOLAM OLAKAN TIPE USBR II DAN TIPE USBR III TERHADAP PERUBAHAN DASAR SUNGAI (UJI MODEL LABORATORIUM)"**. Penulis menyadari bahwa di dalam penulisan skripsi ini masih terdapat banyak kekurangan-kekurangan, hal ini disebabkan penulis sebagai manusia biasa tidak lepas dari kesalahan dan kekurangan baik itu di tinjau dari segi teknis penulisan maupun dari perhitungan-perhitungan. Oleh karena itu, penulis mengharapkan kritik dan sarang serta perbaikan guna untuk kesempurnaan dalam penulisan ini agar kelak bermanfaat terutama bagi penulis itu sendiri.

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, S.T., M.T. Dekan Fakultas Teknik Universitas Muhammadiyah Makassar.
2. Bapak Muh. Syafaat S. Kuba, ST. Ketua Jurusan Teknik Sipil Universitas Muhammadiyah Makassar.
3. Bapak selaku pembimbing I dan Ibu Dr. Ir. Nenny T Karim, ST., MT. selaku pembimbing II, yang telah banyak meluangkan waktu dalam membimbing kami.
4. Bapak dan Ibu Dosen serta staf pegawai Fakultas Teknik atas segala waktunya telah mendidik dan melayani penulis selama mengikuti proses belajar mengajar di Universitas Muhammadiyah Makassar.
5. Ayahanda dan Ibunda tercinta, penulis mengucapkan terimakasih yang sebesar-besarnya atas segala limpahan kasih sayang, doa dan pengorbananya terutama bentuk materi dalam menyelesaikan kuliah.
6. Saudara-saudaraku dan rekan-rekan mahasiswa Fakultas Teknik khususnya angkatan 2011 yang dengan keakraban dan persaudaraanya banyak membantu dalam menyelesaikan tugas akhir ini.

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

Makassar, Januari, 2018

Penulis

DAFTAR ISI

| | |
|------------------------------------|------|
| HALAMAN JUDUL | i |
| HALAMAN PENGESAHAN | ii |
| KETERANGAN PERBAIKAN | iii |
| KATA PENGANTAR | iv |
| DAFTAR ISI | vi |
| DAFTAR TABEL | x |
| DAFTAR GAMBAR | xiii |
| DAFTAR NOTASI DAN SINGKATAN | xvi |
| BAB I PENDAHULUAN | |
| A. Latar Belakang | 1 |
| B. Rumusan Masalah | 3 |
| C. Tujuan Penelitian | 3 |
| D. Batasan Masalah | 4 |
| E. Manfaat Penelitian | 5 |
| F. Sistematika Penulisan | 5 |
| BAB II KAJIAN PUSTAKA | |
| A. Bendung | 7 |
| 1. Pengertian Bendung | 7 |
| B. Kolam Olakan | 7 |
| 1. Kolam Olakan tipe USBR I | 7 |
| 2. Kolam Olakan tipe USBR II | 8 |

| | | |
|----|---|----|
| 3. | Kolam Olakan tipe USBR III..... | 9 |
| 4. | Kolam Olakan tipe USBR IV..... | 10 |
| C. | Bangunan Proteksi..... | 11 |
| 1. | Riprap..... | 11 |
| 2. | Bronjong..... | 12 |
| D. | Konsep Dasar Aliran..... | 13 |
| 1. | Karakteristik Aliran..... | 13 |
| 2. | Tipe Aliran..... | 15 |
| 3. | Sifat Aliran..... | 16 |
| E. | Gerusan..... | 22 |
| 1. | Tipe Dari Gerusan..... | 24 |
| 2. | Gerusan Dalam Perbedaan Kondisi Angkutan..... | 25 |
| 3. | Pola Gerusan Pada Hilir Kolam Olakan..... | 28 |

BAB III METODOLOGI PENELITIAN

| | | |
|----|---------------------------------------|----|
| A. | Tempat Dan Waktu Penelitian..... | 30 |
| 1. | Tempat Penelitian..... | 30 |
| 2. | Waktu Penelitian..... | 30 |
| B. | Jenis Penelitian dan Sumber Data..... | 30 |
| 1. | Jenis Penelitian..... | 30 |
| 2. | Sumber Data..... | 30 |
| C. | Alat dan Bahan..... | 31 |
| 1. | Alat..... | 31 |
| 2. | Bahan..... | 31 |

| | |
|---|----|
| D. Model Kolam Olakan..... | 32 |
| E. Model Beronjong..... | 33 |
| F. Variable Yang Diteliti..... | 34 |
| 1. Variabel Bebas..... | 35 |
| 2. Variable Terikat..... | 35 |
| G. Analisis Data..... | 35 |
| 1. Data Debit..... | 35 |
| 2. Kecepatan Aliran V (m/det)..... | 36 |
| 3. Energi Spesifik..... | 36 |
| 4. Perubahan Dasar Saluran Persamaan Exner..... | 37 |
| H. Prosedur/Langkah Penelitian..... | 38 |
| I. Flow Chart Penelitian/Bagan Alur Penelitian..... | 39 |

BAB IV ANALISIS HASIL DAN PEMBAHASAN

| | |
|--|----|
| A. Hasil Perhitungan..... | 40 |
| 1. Hasil Perhitungan Kolam Olak Type USBR II..... | 40 |
| a) Perhitungan Angka Froude (Fr)..... | 40 |
| b) Analisis Angka Reynold..... | 44 |
| c) Rekapitulasi Angka Froude dan Reynold..... | 48 |
| d) Analisis Energi Spesifik..... | 49 |
| e) Analisis Kedalaman Gerusan dengan Variasi Debit, Waktu dan Bronjong..... | 52 |
| 2. Hasil Perhitungan Kolam Olak Type USBR III..... | 56 |
| a) Perhitungan Angka Froude (Fr)..... | 56 |

| | |
|--|----|
| b) Analisis Angka Reynold..... | 60 |
| c) Rekapitulasi Angka Froude dan Reynold..... | 64 |
| d) Analisis Energi Spesifik..... | 65 |
| e) Analisis Kedalaman Gerusan dengan Variasi Debit, Waktu dan Bronjong..... | 68 |

BAB V PENUTUP

| | |
|--------------------|----|
| A. Kesimpulan..... | 73 |
| B. Saran..... | 73 |

DAFTAR PUSTAKA

DAFTAR TABEL

| Nomor | Halaman |
|---|---------|
| 1. Kriteria penggunaan kolam olakan | 17 |
| 2. Perhitungan angka Froude (Fr) Q1, Q2, Q3 kolam olakan tipe USBR II | 46 |
| 3. Perhitungan angka Froude (Fr) Q3 dengan panjang bronjong $\frac{1}{2}$ panjang maksimum dan L max kolam olakan tipe USBR II | 49 |
| 4. Perhitungan angka Reynold (Re) Q1, Q2, Q3 kolam olakan tipe USBR II..... | 51 |
| 5. Perhitungan angka Reynold (Re) Q3 dengan panjang bronjong $\frac{1}{2}$ panjang maksimum dan L max kolam olakan tipe USBR II | 54 |
| 6. Rekapitulasi angka Froude (Fr) dan angka Reynold (Re) kolam olak tipe USBR II..... | 56 |
| 7. Rekapitulasi angka Froude (Fr) dan angka Reynold (Re) untuk bronjong $\frac{1}{2}$ panjang kolam olakan dan bronjong panjang maksimum kolam olak tipe USBR II..... | 56 |
| 8. Perhitungan energy spesifik Q1, Q2, Q3 tipe USBR II..... | 57 |
| 9. Perhitungan energy spesifik dengan bronjong $\frac{1}{2}$ panjang maksimum dan L max kolam olak tipe USBR II..... | 60 |
| 10. Reta-rata kedalaman gerusan yang terjadi pada Q3 dan waktu yang bervariasi tanpa bronjong tipe USBR II..... | 63 |

| | |
|---|----|
| 11. Reta-rata kedalaman gerusan yang ada pada titik pengamatan pada Q3 dan waktu yang bervariasi tanpa bronjong $\frac{1}{2}$ panjang kolam olak tipe USBR II..... | 64 |
| 12. Reta-rata kedalaman gerusan yang ada pada titik pengamatan pada Q3 dan waktu yang bervariasi tanpa bronjong sama dengan panjang kolam olak tipe USBR II | 66 |
| 13. Perhitungan angka Froude (Fr) Q1, Q2, Q3 kolam olakan tipe USBR III..... | 67 |
| 14. Perhitungan angka Froude (Fr) Q3 dengan panjang bronjong $\frac{1}{2}$ panjang maksimum dan L max kolam olakan tipe USBR III..... | 70 |
| 15. Perhitungan angka Reynold (Re) Q1, Q2, Q3 kolam olakan tipe USBR III..... | 73 |
| 16. Perhitungan angka Reynold (Re) Q3 dengan panjang bronjong $\frac{1}{2}$ panjang maksimum dan L max kolam olakan tipe USBR III..... | 75 |
| 17. Rekapitulasi angka Froude (Fr) dan angka Reynold (Re) kolam olak tipe USBR III | 77 |
| 18. Rekapitulasi angka Froude (Fr) dan angka Reynold (Re) untuk bronjong $\frac{1}{2}$ panjang kolam olakan dan bronjong panjang maksimum kolam olak tipe USBR III..... | 77 |
| 19. Perhitungan energy spesifik Q1, Q2, Q3 tipe USBR III..... | 78 |
| 20. Perhitungan energy spesifik dengan bronjong $\frac{1}{2}$ panjang maksimum dan L max kolam olak tipe USBR III..... | 81 |
| 21. Reta-rata kedalaman gerusan yang terjadi pada Q3 dan waktu yang bervariasi tanpa bronjong tipe USBR III..... | 84 |

- 22. Reta-rata kedalaman gerusan yang ada pada titik pengamatan pada Q3 dan waktu yang bervariasi tanpa bronjong $\frac{1}{2}$ panjang kolam olak tipe USBR III.....85
- 23. Reta-rata kedalaman gerusan yang ada pada titik pengamatan pada Q3 dan waktu yang bervariasi tanpa bronjong sama dengan panjang kolam olak tipe USBR III87

DAFTAR GAMBAR

| Nomor. | Halaman |
|---|---------|
| Gambar 1. Kolam Olakan Tipe USBR-I..... | 15 |
| Gambar 2. Kolam Olakan Tipe USBR-II..... | 16 |
| Gambar 3. Kolam Olakan Tipe USBR-III..... | 16 |
| Gambar 4. Kolam Olakan Tipe USBR-IV..... | 17 |
| Gambar 5. Skema Riprap..... | 19 |
| Gambar 6. Bronjong..... | 20 |
| Gambar 7. Aliran Turbulen Dan Laminer..... | 25 |
| Gambar 8. Pola Penjalaran Gelombang Disaluran Terbuka..... | 27 |
| Gambar 9. Pola Gerusan Pada Hilir Kolam Olakan..... | 27 |
| Gambar 10. Denah Model Penelitian..... | 38 |
| Gambar 11. Bendung Dan Kolam Olakan Tipe USBR II Dan USBR III..... | 38 |
| Gambar 12. Titik Pengamatan Kecepatan Dan Tinggi Muka Air Pada Flume..... | 39 |
| Gambar 13. Model Bronjong..... | 40 |
| Gambar 14. Model Kolam Olakan dengan Proteksi Bronjong..... | 40 |
| Gambar 15. Diagram Alur Penelitian..... | 45 |

| | |
|--|----|
| Gambar 16. Hubungan Antara Titik Pengamatan dan Angka Froude (Fr) untuk Debit Pertama (Q1), (Q2) dan (Q3) Kolam Olak Tipe USBR II..... | 46 |
| Gambar 17. Hubungan antara titik pengamatan dan angka Froude (Fr) untuk debit ketiga (Q3) tanpa bronjong, dengan menggunakan bronjong $\frac{1}{2}$ L max dan L max kolam olak tipe USBR II..... | 47 |
| Gambar 18. Hubungan antara titik pengamatan dan Angka Reynold (Re) kolam olak tipe USBR II..... | 52 |
| Gambar 19. Hubungan antara titik pengamatan dan Angka Reynold (Re) kolam olak tipe USBR II..... | 52 |
| Gambar 20. Hubungan antara titik pengamatan dan energy spesifik kolam olak tipe USBR II..... | 57 |
| Gambar 21. Hubungan antara titik pengamatan dan energy spesifik kolam olak tipe USBR II..... | 58 |
| Gambar 22. Kedalaman gerusan rata-rata pada (Q ₃) dan waktu yang bervariasi tanpa beronjong, dengan bronjong $\frac{1}{2}$ L max dan bronjong L max kolam olak tipe USBR II..... | 63 |
| Gambar 23. Hubungan Antara Titik Pengamatan dan Angka Froude (Fr) untuk Debit (Q1), (Q2) dan (Q3) kolam olak tipe USBR III..... | 68 |
| Gambar 24. Hubungan antara titik pengamatan dan angka froude (Fr) untuk debit ketiga (Q3) dengan adanya bronjong kolam olak tipe USBR III..... | 69 |

| | |
|---|----|
| Gambar 25. Hubungan antara titik pengamatan dan Angka Reynold (Re) kolam olak tipe USBR III..... | 73 |
| Gambar 26. Hubungan antara titik pengamatan dan Angka Reynold (Re) kolam olak tipe USBR III..... | 74 |
| Gambar 27. Hubungan antara titik pengamatan dan energy spesifik kolam olak tipe USBR III..... | 78 |
| Gambar 28. Hubungan antara titik pengamatan dan energy spesifik kolam olak tipe USBR III..... | 79 |
| Gambar 29. Kedalaman gerusan rata-rata pada (Q_3) dan waktu yang bervariasi tanpa beronjong, dengan bronjong $\frac{1}{2}$ L max dan bronjong L max kolam olak tipe USBR III..... | 84 |

DAFTAR NOTASI DAN SINGKATAN

| | | |
|-----|---|----------------------------|
| Hr | = | Tinggi gelombang refleksi |
| Ht | = | Tinggi gelombang transmisi |
| Hi | = | Tinggi gelombang datang |
| L | = | Panjang gelombang |
| T | = | Periode gelombang |
| d | = | Kedalaman air |
| A | = | Amplitudo |
| C | = | Kecepatan rambat gelombang |
| Kr | = | Koefisien refleksi |
| Kt | = | Koefisien transmisi |
| Kd | = | Koefisien disipasi |
| HWL | = | High Water Level |
| LWL | = | Low Water Level |
| SWL | = | Silent Water Level |

H_{max} = Tinggi gelombang maksimum

H_{min} = Tinggi gelombang minimum

E_r = Energi gelombang refleksi

E_t = Energi gelombang transmisi

E_i = Energi gelombang datang

H_i/L = Kecuraman gelombang

P = Rapat massa zat cair

g = Percepatan gravitasi

BAB I

PENDAHULUAN

A. Latar Belakang

Dengan melakukan pembendungan untuk menaikkan tinggi muka air sehingga mengakibatkan terjadinya perbedaan tinggi energi antara hulu dengan hilir bendung, jika air dari hulu mengalir, bendung akan mempunyai energi yang besar sehingga kecepatan aliran yang mengalir menjadi besar akibat loncatan hidraulik, ini sering menimbulkan gulungan ombak atau pusaran (*vortex*) yang bisa menyebabkan gerusan pada dasar saluran, terutama bagian hilir yang tidak diberi perlindungan, sehingga menyebabkan bangunan air yang melintang pada alur sungai seperti ambang dasar, bendung, check dam, ground sill dan lain sebagainya mengalami kerusakan yang diakibatkan oleh gerusan setempat yang tepat terjadi pada hilir bangunan.

Gerusan yang terjadi pada hilir bangunan diakibatkan oleh aliran air yang melintas diatas ambang bangunan, karena aliran mempunyai energi cukup besar sehingga mampu menggerus dasar sungai dan mampu mengangkut material ke hilir bangunan sehingga bangunan air tersebut tergerus. Dengan terjadinya loncatan air di hilir bendung, dapat mengurangi energi aliran. Dengan adanya loncatan aliran maka diperlukan kolam olakan yang dapat melindungi dasar sungai. Beberapa model kolam olakan yang telah diperkenalkan oleh *United States Bureau Of Reclamation (USBR)* yang dapat meredam energi, akan tetapi

kenyataannya masih tetap terjadi gerusan pada hilir kolam olakan, hal ini dapat menyebabkan kerusakan pada bangunan tersebut.

Perubahan aliran dari superkritis kesubkritis menyebabkan terjadinya loncatan hidraulik (Raju, 1986). Loncatan hidraulik ini dapat menyebabkan gerusan di dasar saluran, terutama dasar saluran bagian hilir yang tidak terlindungi oleh bangunan peredam energi.

Untuk melindungi bendung dari bahaya penggerusan tersebut, diperlukan suatu desain kolam olakan yang mampu meredam energi dari loncatan hidraulik tersebut sehingga dasar sungai dapat terlindung.

Oleh karena itu perlu adanya penanggulangan gerusan disebelah hilir kolam olakan dengan menggunakan matrax/Bronjong batu (Rip-rap) yang diikat dengan anyaman kawat. Penggunaan bronjong ini merupakan yang paling mudah dan praktis bila diterapkan di lapangan, sehingga dijadikan model proteksi dalam penelitian ini. Demikian juga apabila tidak terdapat bangunan pengendalian gerusan maka dalamnya gerusan pada hilir kolam olakan dapat direduksi, sehingga kedalaman gerusan bisa mencapai maksimum, hal ini menyebabkan rusaknya kolam olakan bendung. Salah satu upaya pengendalian gerusan pada hilir kolam olakan yaitu dengan cara menempatkan *matrax/bronjong* pada hilir kolam olakan.

Pada penelitian ini yang dikaji adalah **Pengaruh Matraks Bronjong Pada Hilir Kolam Olakan Tipe USBR II dan Tipe USBR III Terhadap Perubahan Dasar Sungai (Uji Model Laboratorium)**

Bronjong adalah rangkaian kawat galvanis atau kawat pvc yang dianyam menjadi suatu bangunan ruang dengan ukuran volume dan lubang anyaman tertentu, sehingga menjadi sebuah media atau alat pengikat batu kali untuk mencegah erosi atau gerusan yang dipasang pada tebing, tepi dan didasar sungai yang proses pembuatannya menggunakan mesin dengan ukuran volume tertentu yang digunakan antara lain sebagai tambahan peredam energi di hilir bendung dan berfungsi pula sebagai lapisan perisai untuk mengurangi kedalaman gerusan setempat dan untuk melindungi dasar sungai di hilir kolam olakan bendung.

B. Rumusan Masalah

Rumusan Masalah dari penelitian ini adalah :

- 1) Bagaimana sifat aliran yang terjadi di hilir kolam olakan Bendung tipe USBR II dan tipe USBR III
- 2) Seberapa besar kedalaman gerusan yang terjadi di hilir kolam olakan tanpa bronjong dan menggunakan bronjong

C. Tujuan Penelitian

Tujuan dilakukan penelitian ini adalah sebagai berikut :

- 1) Untuk mengetahui sifat-sifat aliran yang terjadi pada hilir kolam olakan bendung tipe USBR II dan tipe USBR III
- 2) Untuk mengetahui kedalaman gerusan yang terjadi di hilir kolam olakan bendung tanpa beronjong dan dengan menggunakan beronjong.

D. Batasan Masalah

Untuk menciptakan penanggulangan gerusan di hilir kolam olakan bendung diperlukanm berbagai eksperimen dan penelitian yang dilakukan di laboratoriaum, perlu ditetapkan batasan masalah yang digunakan pada percobaan ini :

- 1) Penelitian ini dilakukan pada hilir kolam olakan tanpa bronjong dan dengan bronjong.
- 2) Mengamati kondisi aliran yang terjadi dengan adanya bronjong dan tanpa bronjong.
- 3) Mengamati gerusan yang terjadi di hilir kolam olakan tanpa bronjong dan dengan menggunakan bronjong.
- 4) Dilakukan pengamatan terhadap Variabel-variabel yang berpengaruh terhadap kedalaman gerusan (seperti kecepatan aliran, kedalaman aliran, angka Froud, angka Reynold dan energi spesifik).
- 5) Menggunakan bronjong dengan ukuran panjang yang disesuaikan dengan lebar saluran.
- 6) Menggunakan Beberapa kondisi debit air (Q) dan waktu yang ditentukan (tidak konstan).
- 7) Menggunakan pompa air, tando dan menggunakan saluran dengan lebar, tinggi dan kemiringan yang tersedia.
- 8) Mengukur elevasi kedalaman gerusan yang terjadi dihilir kolam olakan.

E. Manfaat Penelitian

Hasil penelitian ini diharapkan dapat memberikan manfaat diantaranya :

- 1) Sebagai referensi untuk membuat bangunan pelindung pada hilir kolam olakan bendung terhadap gerusan yang praktis dan efektif.
- 2) Sebagai sarana untuk menerapkan ilmu pengetahuan yang kami dapat dibangku perkuliahan.
- 3) Sebagai referensi untuk penelitian-penelitian lanjut dan yang serupa.

F. Sistematika Penulisan

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

BAB I PENDAHULUAN, bab ini berisi tentang latar belakang penelitian, Rumusan masalah, Tujuan penelitian, Batasan masalah, Manfaat penelitian dan Sistematika penulisan.

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

BAB III METODE PENELITIAN, bab ini berisi mengenai gambaran umum penelitian seperti lokasi penelitian, alat-alat yang digunakan dalam penelitian dan metode yang dipakai pada saat melakukan penelitian.

BAB IV HASIL DAN PEMBAHASAN, bab ini berisi tentang hasil kajian dari judul penelitian tugas akhir secara detail dan terperinci. Diantaranya sifat-sifat

aliran yang terjadi di hilir kolam olakan bendung, kedalaman gerusan pada saat menggunakan proteksi di hilir kolam olakan bendung tipe USBR II dan tipe USBR III.

BAB V PENUTUP, bab ini berisi tentang kesimpulan dan saran setelah melakukan penelitian tugas akhir.

BAB II

KAJIAN PUSTAKA

A. Bendung

1. Pengertian Bendung

Bendung adalah konstruksi bangunan air yang berfungsi untuk menahan laju aliran sehingga membentuk waduk, danau dan wadah reaksi. Beberapa bendung juga sering dimanfaatkan untuk mengalirkan air, menggerakkan turbin PLTA (Pembangkit Listrik Tenaga Air) dan lain sebagainya.

B. Kolam Olakan

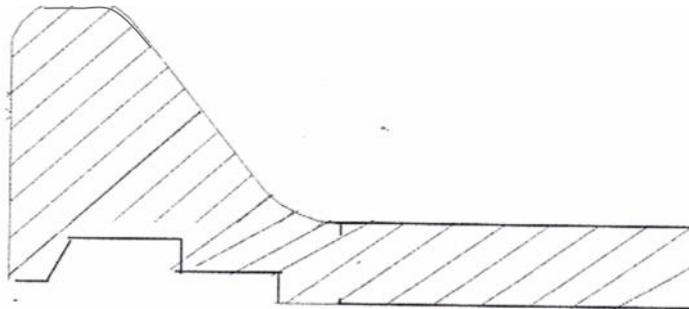
Kolam olakan adalah suatu konstruksi yang berfungsi sebagai peredam energi yang terkandung dalam aliran dengan memanfaatkan loncatan hidraulis dari suatu aliran yang berkecepatan tinggi. Kolam olakan sangat ditentukan oleh loncatan hidraulis yang terjadi di dalam aliran. Dimana loncatan air dapat menimbulkan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

Secara umum terdapat banyak bentuk kolam olakan yang digunakan oleh loncatan hidraulis untuk meredam energi. Ada beberapa rancangan umum dari kolam olakan yang menggunakan loncatan sebagai peredam energi kolam olak tipe USBR (*United State Biro Reclamation*), bentuk tersebut diantaranya :

1. Kolam olak tipe USBR-I,

Kolam olak tipe USBR-I adalah suatu kolam olakan dengan dasar yang datar dan terjadinya peredaman energi yang terkandung dalam aliran air dengan

benturan secara langsung aliran tersebut ke atas permukaan dasar kolam, karena penyempurnaan redaman terjadi akibat gesekan-gesekan yang terjadi antara molekul-molekul air di dalam kolam olakan, sehingga air yang meninggalkan kolam tersebut mengalir memasuki alur sungai dalam kondisi yang sudah tenang. Akan tetapi kolam olakan menjadi lebih panjang dan karenanya tipe USBR-I ini hanya sesuai untuk mengalirkan debit yang relatif kecil dengan kapasitas peredaman energi yang kecil pula dan kolam olakannyapun akan berdimensi kecil dengan angka Froude $< 2,5$.

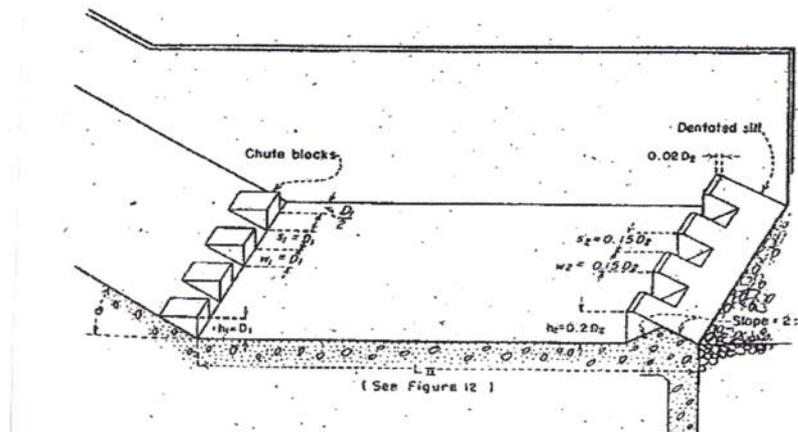


Gambar 1. Kolam olakan tipe USBR-I (Nika Purnomo, 09, 2014)

2. Kolam olak tipe USBR-II

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

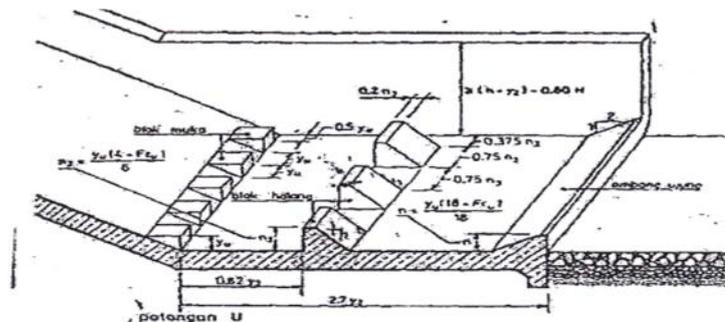
untuk menstabilkan loncatan hidrolis dalam kolam olakan tersebut. Kolam olakan tipe ini sangat sesuai untuk bendungan urugan dan penggunaannya pun cukup luas.



Gambar 2. Kolam olakan tipe USBR-II (Nika Purnomo, 09, 2014)

3. Kolam olak tipe USBR-III

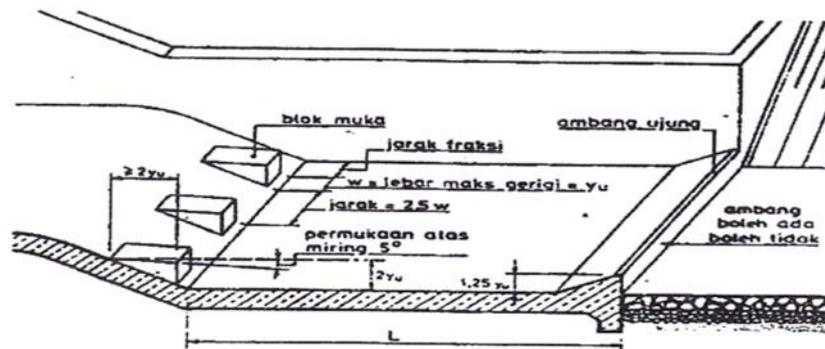
Kolam olak tipe USBR-III pada hakekatnya prinsip kerja dari kolam olakan ini sangat mirip dengan sistem dari kolam olakan tipe USBR-II, akan tetapi lebih sesuai untuk mengalirkan air dengan tekanan hidrostatik yang rendah dan debit yang kecil ($Q < 18,5 \text{ m}^3/\text{det}$, $V > 15 \text{ m}/\text{det}$,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



Gambar 3. Kolam olakan tipe USBR-III (Nika Purnomo, 09, 2014)

4. Kolam olak tipe USBR-IV.

Sistem kerja kolam olakan tipe ini sama dengan sistem kerja kolam olakan tipe USBR-III akan tetapi penggunaannya yang paling cocok adalah untuk aliran dengan tekanan hidrostatis yang rendah (tekanan hidrostatis < 60 m) dan debit yang besar per unit lebar ($Q > 18,5$ m³/det), serta aliran dalam kondisi super kritis dengan angka Froude antara 2,5-4,5. Biasanya kolam olakan tipe ini dipergunakan pada bangunan pelimpah suatu bendungan urugan yang sangat rendah atau pada bendung penyadap, bendung konsolidasi, bendung penyangga dan lain-lain (Prastumi).



Gambar 4. Kolam olakan tipe USBR-IV (Nika Purnomo, 09, 2014)

Tabel 1. Kriteria Penggunaan Kolam Olakan

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

Sumber : (Sosdarsono & Takeda, 1997)

C. Bangunan Proteksi

Bangunan proteksi merupakan bangunan yang didesain untuk melindungi kolom olakan dari gerusan yang terjadi akibat perubahan aliran. Beberapa bangunan proteksi yang sering digunakan diantaranya :

1. Riprap

Riprap yaitu susunan bongkahan batu alam atau blok-blok beton buatan dengan ukuran dan volume tertentu yang digunakan antara lain sebagai tambahan peredam energi di hilir bendung dan berfungsi pula sebagai lapisan perisai untuk mengurangi kedalaman gerusan setempat dan untuk melindungi dasar sungai di hilir kolam olak bendung.

Jenis riprap dapat dibedakan menjadi :

1. Timbunan bongkahan batu alam.
2. Susunan blok-blok beton berebentuk segi empat, segi panjang dan sebagainya.

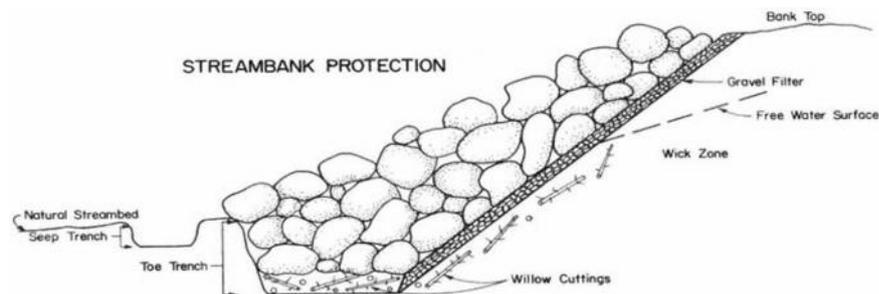
Untuk penerapannya sendiri yaitu sebagai tambahan fungsi peredaman energi bendung pada :

1. Sepanjang bagian hilir ambang akhir
2. Sepanjang bagian kaki tembok sayap hilir

Bentuk dan ukuran riprap bongkahan batu :

1. Bentuk batu relatif bulat, padat, keras dengan berat jenis $2,4 \text{ t/m}^3$
2. diameter batu berkisar 0,3 m
3. Volume batu yang cukup
4. Kedalaman sekitar 2 m untuk bagian hilir ambang akhir dan sekitar 1,5 m untuk bagian di kaki tembok sayap hilir

Jilid (1989, dalam Simon dan Senturk, 1992), mengemukakan bahwa riprap adalah melengkapi lantai apron secara menerus di bagian hilir yang berfungsi untuk melindungi terjadinya gerusan pada dasar saluran, karena terbukti bahwa gerusan disebabkan oleh perpindahan endapan sedimen atau akibat pusaran aliran sebagai kompensasi dari peredaman energi.



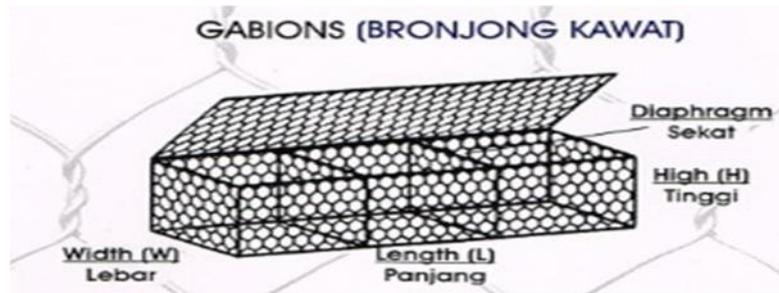
Gamba 5. Skema Riprap (Indra, 2016)

2. Bronjong

Bronjong atau Gabions adalah kotak yang terbuat dari anyaman kawat baja berlapis seng yang pada penggunaannya diisi batu-batu untuk mencegah erosi yang dipasang pada tebing-tebing, tepi-tepi sungai dan dasar sungai yang proses pembuatannya menggunakan mesin (Syahrin 2013).

Beberapa kondisi yang memerlukan beronjong antara lain yaitu pengaruh peredaman energi dan pencegahan gerusan lokal, terjadi kelukan (*Curvature*) karena adaptasi terhadap penurunan (*Settlement*), sebagai tahanan pelindung kemampuan sedimen melintas saluran dan menggerus.

Mays (1999), mengemukakan bahwa beronjong yang diletakkan di dasar dan tebing pada bagian hilir kolam olakan digunakan untuk melindungi erosi dan gerusan yang disebabkan oleh aliran air yang deras.



Gambar 6. Bronjong (By Syahrin, 05, 2013)

D. Konsep Dasar Aliran

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

1. Karakteristik Aliran

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

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

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

Aliran air dalam suatu saluran dapat berupa aliran dalam saluran terbuka, dan dapat pula berupa aliran dalam pipa. Kedua jenis aliran tersebut memiliki prinsip yang sangat berbeda. Aliran melalui saluran terbuka adalah aliran yang memiliki permukaan bebas sehingga memiliki tekanan udara walaupun berada dalam saluran tertutup. Adapun aliran dalam pipa merupakan aliran yang tidak memiliki permukaan bebas, karena aliran air mengisi saluran secara terus menerus, sehingga tidak dipengaruhi oleh tekanan udara dan hanya dipengaruhi oleh tekanan hidrostatis. Banyak faktor aliran yang berpengaruh terhadap pengendapan partikel dalam suatu aliran, tetapi yang terpenting adalah kecepatan endap dan karakteristik aliran (Takamatsu dan Naito, 1967). Simmon dan Senturk (1992) menekankan pentingnya turbulensi terhadap keberadaan sedimen di dalam suspensi. Turbulensi menjaga sedimen yang tersuspensi untuk tidak mengendap, bahkan mampu mengangkat sedimen yang sudah mengendap untuk tersuspensi lagi.

Karakter aliran yang paling sesuai untuk mengendapkan partikel sedimen adalah aliran laminar dengan kecepatan yang rendah. Banyak cara dilakukan untuk mendapatkan pola aliran yang seperti ini, atau yang lebih dikenal dengan

“*Plug-Flow*”, seperti merancang posisi *Inlet* dan *Outlet* (Pearson *et.al*, 1995), mencegah pembentukan gelombang dipermukaan dengan meminimalkan angin (Kim dan Kim, 2000), menggunakan *Baffle*/sekat (Muttamara dan Puetpaiboon, 1997), dan merancang bentuk atau geometri dari konstruksi (European Investment Bank, 1998).

2. Tipe Aliran

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

a. Tipe Aliran Berdasarkan Kriteria Waktu yaitu :

- 1) Aliran Tetap/mantap (*Steady Flow*) yaitu aliran di mana kedalaman air (h) tidak berubah menurut waktu atau dianggap tetap dalam suatu interval waktu, dengan demikian kecepatan aliran pada suatu titik tidak berubah terhadap waktu dan segala variabel disepanjang saluran sama.
- 2) Aliran tidak tetap/tidak Mantap (*Unsteady Flow*) yaitu apabila kedalaman air (h) berubah menurut waktu demikian pula kecepatannya berubah menurut waktu. Aliran ini terbagi dua yaitu aliran seragam tidak tetap (*Unsteady Uniform Flow*) dan aliran tidak tetap dan berubah-ubah (*Unsteady Varied Flow*). Aliran ini hampir tidak pernah terjadi.

- 3) Aliran Seragam (*Uniform Flow*) yaitu aliran dimana segala variabel seperti kedalaman, luas, debit dan konstan disepanjang saluran sama.
- 4) Aliran tidak seragam (*Un-Uniform Flow*) yaitu aliran berubah-ubah (*Varied Flow*) disepanjang saluran terhadap kedalaman, luas dan debit yang terdiri dari aliran tetap berubah lambat laun (*Gradually Varied Flow*) dan Aliran tetap berubah dengan cepat (*Rapidly Varied Flow*).

b. Tipe Aliran Berdasarkan Kriteria Tempat yaitu:

- 1) Aliran seragam (*Uniform Flow*) yaitu aliran dimana segala variabel seperti kedalaman, luas penampang dan debit konstan disepanjang saluran sama.
Aliran ini terbagi dua yaitu:
 - a). Aliran seragam tetap (*Steady Uniform Flow*) yaitu aliran seragam yang tidak berubah terhadap waktu.
 - b). Aliran seragam tidak tetap (*Unsteady Uniform Flow*) yaitu aliran yang dapat pula berubah terhadap waktu apabila fruktiasi muka air terjadi dari waktu ke waktu namun tetap paralel dengan dasar saluran.
- 2) Aliran Tidak seragam (*Non Uniform Flow*) yaitu aliran dimana segala variabel seperti kedalaman, luas penampang dan debit berubah di sepanjang saluran.
Aliran ini disebut juga aliran berubah-ubah (*Varied Flow*) yaitu aliran berubah lambat laun (*Gradually Varied Flow*) dan aliran berubah dengan cepat.

3. Sifat aliran

Sifat-sifat aliran saluran terbuka pada dasarnya ditentukan oleh adanya Pengaruh kekentalan (*Viscositas*) dan pengaruh gravitasi dalam perbandingannya

dengan gaya-gaya kelembaman (*Inersia*) dari aliran. Tegangan permukaan sebenarnya juga dapat berpengaruh pada sifat-sifat aliran, namun dalam kebanyakan aliran tegangan permukaan tidak memegang peranan penting, oleh karena itu tidak diperhitungkan. Selanjutnya apabila perbandingan antara pengaruh gaya-gaya kelembaman dengan gaya-gaya kekentalan yang dipertimbangkan maka aliran dapat dibedakan menjadi aliran laminar dan aliran turbulen serta aliran transisi. Parameter yang dipakai sebagai dasar untuk membedakan sifat aliran tersebut adalah suatu parameter tidak berdimensi yang dikenal dengan angka Reynold (Re) yaitu perbandingan (*Ratio*) dari gaya kelembaman (*Inersia*) terhadap gaya-gaya kekentalan (*Viscositas*) persatuan volume.

1. Sifat-sifat aliran berdasarkan pengaruh gaya kelembaman dengan gaya kekentalan yaitu :
 - a) Aliran Laminar yaitu suatu aliran dimana gaya-gaya kekentalan relatif lebih besar dibanding dengan gaya kelembaman sehingga kekentalan berpengaruh besar terhadap sifat aliran. Pada aliran ini partikel cairan seolah-olah bergerak secara teratur menurut lintasan tertentu.
 - b) Aliran Turbulen yaitu apabila kecepatan aliran lebih besar daripada kekentalan dalam hal ini butiran-butiran air bergerak menurut lintasan yang tidak teratur, tidak lancar dan tidak tetap, walaupun butiran bergerak maju dalam kesatuan aliran secara keseluruhan.
 - c) Aliran Transisi yaitu Aliran peralihan dari laminar ke aliran turbulen dimana kekentalan relatif terhadap kecepatan.

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

$$Re = \tilde{v}R/\mu \dots \dots \dots (1)$$

Dimana :

Re = Angka Reynold

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

R = Jari-jari Hidrolis (m)

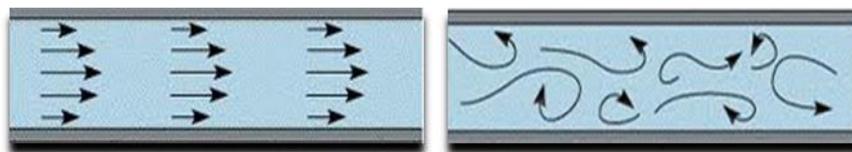
μ = kekentalan (*Viscositas*) kinematik cairan (m²/det)

Kemudian dari berbagai percobaan disimpulkan bahwa untuk saluran terbuka :

$Re < 500$ aliran laminar

$500 < Re < 12.500$ aliran transisi

$Re > 12.500$ aliran turbulen



a) Turbulen

b) Laminer

Gambar 7. Aliran Turbulen dan laminar (Bambang Triatmojo, 2008)

2. Sifat-sifat aliran berdasarkan Perbandingan gaya kelembaman dengan gaya Gravitasi.
- Aliran super kritis yaitu suatu aliran dimana kecepatan alirannya lebih besar daripada kecepatan gelombangnya.
 - Aliran kritis yaitu suatu aliran dimana kecepatan alirannya sama besar dengan kecepatan gelombangnya.
 - Aliran subkritis yaitu suatu aliran dimana kecepatan alirannya lebih kecil daripada kecepatan gelombangnya.

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

$$Fr = \tilde{v}/\sqrt{(g \cdot h)} \dots \dots \dots (2)$$

Dimana:

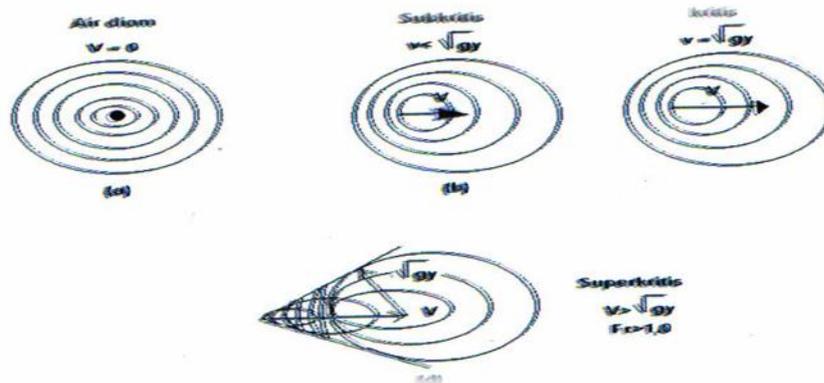
- Fr = Angka Froude
- \tilde{v} = Kecepatan rata-rata aliran (m/det)
- h = Kedalaman aliran (m)
- g = Gaya Gravitasi (m/det²)

Sehingga :

- Aliran bersifat Kritis apabila $Fr = 1$, dimana kecepatan aliran sama dengan kecepatan rambat gelombang.
- Aliran bersifat subkritis apabila $Fr < 1$, dimana kecepatan aliran lebih kecil daripada kecepatan rambat gelombang.

- c. Aliran bersifat superkritis apabila $Fr > 1$, dimana kecepatan aliran lebih besar daripada kecepatan rambat gelombang

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



Gambar 8. Pola penjarangan gelombang disaluran terbuka (Bambang Triatmojo, 2008)

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

- d. Energi Spesifik

Enrgi spesifik adalah energi relatif terhadap dasar saluran. Besarnya energi spesifik adalah :

$$E = V^2/2g + y \dots \dots \dots (3)$$

Dimana :

E = Energi spesifik

V = Kecepatan aliran (m/det)

Y = kedalaman air (m)

g = Gaya gravitasi (m/det)

e. Debit Aliran

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

$$Q = A \times V \dots\dots\dots(4)$$

Dengan :

Q = debit aliran (m^3/det)

A = luas penampang (m^2)

V = kecepatan aliran (m/det)

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

E. Gerusan

Masalah gerusan lokal (*Local Scouring*) yang terjadi di bagian hilir kolam olakan bendung sangat berpengaruh terhadap perencanaan suatu bendung. Gerusan terjadi disebabkan akibat dari adanya turbulensi tambahan yang terjadi di ruang kolam olakan dan terganggunya aliran sehingga menyebabkan hanyutnya material sedimen dasar yang dapat bergerak oleh aliran. Penggerusan terjadi karena kecepatan aliran sedemikian rupa sehingga daya tahan material dilampaui atau akibat adanya aliran yang mengocok di dasar sungai bagian hilir tepatnya di bagian ruang kolam olakan, gerusan dapat mengakibatkan terjadinya penurunan elevasi muka air hilir yang berpengaruh pada perhitungan gaya angkat (*Uplift*) dari perencanaan bendung dan bila terjadinya pada bagian pondasi tiang pondasi jembatan maka akan merusak pondasi tersebut. Disamping itu bila didekat bendung terdapat bangunan pengambilan bebas untuk jaringan irigasi maka turunnya elevasi muka air akibat gerusan akan menyulitkan pengadaan air untuk saluran irigasi tersebut.

Gerusan yang terjadi pada kolam olakan bendung dapat mengakibatkan kerusakan terhadap bendung, walaupun kolam olakan bendung tersebut menggunakan peredam energi yang dapat menahan dan mengurangi kecepatan aliran dari hulu bendung, tetapi pada kolam olakan tersebut masih terjadi gerusan yang cukup besar yang dapat merusak bendung tersebut. Maka dari itu perlu adanya pengendalian dan perlindungan gerusan agar ketahanan bendung akan lebih lama.

Gerusan adalah perubahan dari suatu aliran yang disertai pemindahan material melalui aksi gerakan fluida. Gerusan lokal (*Local Scouring*) terjadi pada suatu kecepatan aliran dimana sedimen diangkut lebih besar daripada sedimen disuplai. Angkutan sedimen bertambah dengan meningkatnya tegangan geser sedimen, gerusan terjadi ketika perubahan kondisi aliran menyebabkan peningkatan tegangan geser pada dasar saluran. Atau dapat dikatakan juga bahwa gerusan adalah merupakan erosi pada dasar dan tebing saluran alluvial (Hoffmans and Verheij, 1997). Gerusan (*Scouring*) merupakan suatu proses alamiah yang terjadi di sungai sebagai akibat pengaruh morfologi sungai (dapat berupa tikungan atau bagian penyempitan aliran sungai) atau adanya bangunan air (*Hydraulic Structur*) seperti jembatan, bendung, pintu air, dan lain-lain. Morfologi sungai merupakan salah satu faktor yang menentukan dalam proses terjadinya gerusan, hal ini disebabkan aliran saluran terbuka mempunyai permukaan bebas (*Free Surface*). Kondisi aliran saluran terbuka berdasarkan pada kedudukan permukaan bebasnya cenderung berubah sesuai waktu dan ruang, disamping itu ada hubungan ketergantungan antara kedalaman aliran, debit air, kemiringan dasar saluran dan permukaan saluran bebas itu sendiri. Laursen (1952) dalam Hanwar (1999:4) mendefinisikan gerusan sebagai pembesaran dari suatu aliran yang disertai pemindahan material melalui aksi gerakan fluida. Gerusan lokal (*Local Scouring*) terjadi pada suatu kecepatan aliran dimana sedimen yang diangkut lebih besar dari sedimen yang disuplai. Menurut Laursen (1952) dalam Sucipto (2004:34), sifat alami gerusan mempunyai fenomena sebagai berikut :

- 1) Besar gerusan akan sama selisihnya antara jumlah material yang diangkut keluar daerah gerusan dengan jumlah material yang diangkut masuk ke dalam daerah gerusan.
- 2) Besar gerusan akan berkurang apabila penampang basah di daerah gerusan bertambah (misal karena erosi). Untuk kondisi aliran bergerak akan terjadi suatu keadaan gerusan yang disebut gerusan batas, besarnya akan asimtotik terhadap waktu.

Bresuers dan Raudviki (1991) serta Agung Wiyono (2006) mendefinisikan gerusan yang terjadi pada suatu struktur dapat dibagi berdasarkan dua kategori yaitu :

1. Tipe dari gerusan

- a) Gerusan umum (*General Scour*) merupakan gerusan yang terjadi akibat dari proses alami dan tidak berkaitan sama sekali dengan adanya bangunan sungai.
- b) Gerusan di lokalisir (*Constriction Scour*) merupakan gerusan yang disebabkan oleh penyempitan alur sungai sehingga aliran menjadi terpusat.
- c) Gerusan lokal (*Local Scour*) merupakan gerusan akibat langsung dari struktur pada alur sungai. Proses terjadinya gerusan lokal biasanya dipicu oleh tertahannya angkutan sedimen yang dibawa bersama aliran oleh struktur bangunan dan peningkatan turbulensi aliran akibat adanya gangguan dari suatu struktur.

2. Gerusan dalam perbedaan kondisi angkutan

- a) Kondisi *Clear Water Scour* dimana gerusan dengan air bersih terjadi jika material dasar sungai di sebelah hulu gerusan dalam keadaan diam atau tidak terangkut.
- b) Kondisi *Live Bed Scour* dimana gerusan yang disertai dengan angkutan sedimen material dasar saluran.

Menurut Niel (1973), pengertian gerusan (*Scour*) adalah penurunan dasar sungai karena erosi di bawa elevasi permukaan alami atau datum yang diasumsikan. Menurut Legono (1990), gerusan adalah proses semakin dalamnya dasar sungai karena intraksi antara aliran dan material dasar sungai.

Gerusan lokal dan terlokalisir dapat terjadi dalam dua kondisi, yaitu kondisi gerusan dengan air jernih (*Clear-Water Scour*) dan kondisi gerusan air tidak jernih (*Live-Bed Scour*). Terjadi jika material di hulu bangunan dalam keadaan diam (tidak ada gerak material dasar), atau secara teoritik bahwa tegangan geser dasar (T_0) lebih kecil atau sama dengan tegangan geser dasar kritik (T_c). *Live Bad Scour* terjadi disertai dengan adanya angkutan sedimen dari material dasar, terjadi ketika kondisi aliran dalam saluran menyebabkan material dasar bergerak. Hal tersebut menunjukkan bahwa tegangan geser pada dasar saluran lebih besar dari tegangan dasar kritisnya. Keseimbangan kedalaman gerusan tercapai jika jumlah material yang bergerak dari lubang gerusan sama dengan material yang disuplai ke lubang gerusan (Raudkivi dan Ettema, 1983). Menurut Breusers dan Raudkivi (1991), gerusan lokal (*Local Scour*) pada struktur hidraulik harus ditambah dengan gerusan umum (*General Scour*) dan

gerusan terlokalisir (*Localized Scour/Constriction Scour*) untuk mendapatkan kedalaman gerusan maksimum yang akan digunakan dalam perencanaan. Pada analisis ini harus dibedakan antara clear-water scour dan live-bed scour, karena pada perkembangan selanjutnya hubungan antara kedalaman gerusan dengan waktu dan kecepatan sangat bergantung pada kondisi tersebut.

Chow (1985), mengklasifikasikan aliran berdasarkan pengaruh kekentalan dan gravitasi dibandingkan dengan gaya inertiannya. Karena pengaruh kekentalan kinetik aliran bersifat laminar dan turbulen. Pengaruh kinetik tersebut dinyatakan dalam bilangan Reynold. Pengaruh gravitasi menyebabkan aliran bersifat subkritik, kritik dan superkritik. Pengaruh gravitasi ini dinyatakan dalam bilangan Froude. Simon dan Senturk (1992), mengemukakan bahwa persamaan-persamaan untuk memprediksi kedalaman gerusan (*Scour Depth*) hampir semuanya berdasarkan data laboratorium ataupun pemikiran induktif dari persamaan-persamaan kontinuitas sedimen. Persamaan-persamaan untuk mengestimasi gerusan diturunkan melalui tiga metode, yaitu :

- 1) Tipe persamaan yang dibentuk dari Analisis dimensi beberapa variabel dan kajian hubungan antara parameter tak berdimensi, seperti perbandingan kedalaman gerusan terhadap kedalaman aliran, bilangan Froude dan lain-lain.
- 2) Tipe persamaan yang dibentuk dari penggunaan hubungan angkutan sedimen dan perubahan-perubahan dalam angkutan karena percepatan aliran.
- 3) Tipe persamaan yang dibentuk dengan Analisis regresi dari data yang ada.

Breusers dan Raudkivi (1991), mengemukakan hasil observasinya bahwa untuk aliran dangkal, kedalaman gerusan berkembang dan sangat tergantung

dengan kedalaman aliran, tetapi untuk kedalaman aliran besar, kedalaman gerusan hampir tidak tergantung kepada kedalaman aliran. Pengaruh kedalaman aliran diasumsikan tergantung kepada nilai perbandingan U^*/U_c dan Y/b . Pengaruh Y/b tidak dibedakan antara clear-water scour dan live-bed scour. Untuk U^*/U_c bernilai konstan, pengaruh kedalaman aliran dapat diabaikan jika $Y/b > 2$. Kedalaman gerusan tergantung dari beberapa variabel, yaitu karakteristik fluida, material dasar, aliran dalam saluran dapat ditulis:

$$Y_s = f(\rho, \nu, g, d, \rho_s, Y, U, U^*) \dots \dots \dots (5)$$

Dimana :

Y_s = kedalaman gerusan

ρ = rapat massa fluida,

ν = kekentalan kinematik fluida, dimana $\nu = \mu / \rho$,

μ = viskositas absolut fluida dinamis,

g = percepatan gravitasi,

d = diameter butiran sediment,

ρ_s = rapat massa sedimen,

Y = kedalaman aliran,

U = kecepatan aliran rata-rata,

U^* = kecepatan geser,

U^*c = kecepatan geser kritis,

b = lebar saluran.

dengan Δ = rapat massa relatif dari butiran terendam, $\Delta = \frac{\rho_s - \rho}{\rho}$

Menurut persamaan lacey kedalaman gerusan dapat ditulis :

$$R = 0.47 \times (Q/f)^{1/3} \dots\dots\dots(6)$$

$$F = 1.7Dm^{0.5}$$

Dimana :

R = kedalaman gerusan (m)

Q = debit aliran (m³/det)

F = faktor lumpur lacey

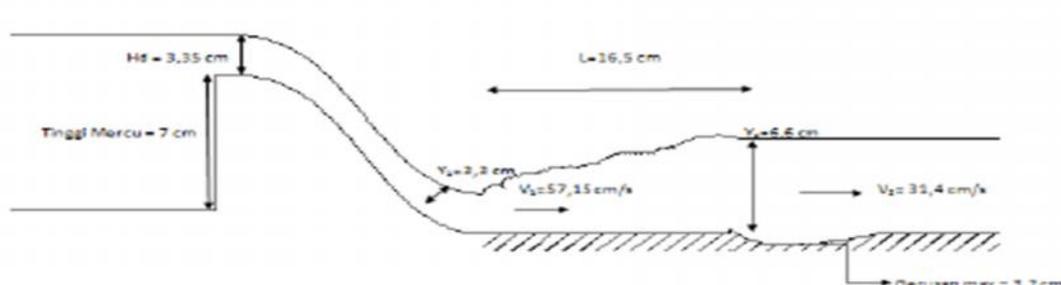
Dm = diameter rata-rata material dasar sungai (mm)

Menurut lacey kedalaman gerusan bersifat empiris sehingga di kurangi dengan angka keamanan sebesar 1.5, sehingga R = 1,5.

3. Pola Gerusan Dengan Menggunakan Model Kolam Olakan

- A. Meletakkan modul bendung dan kolam olakan dengan jarak 200 cm dari hulu tando kemudian meletakkan material pasir dengan ketinggian 5 cm.
- B. Menyetel knob alat pengatur debit dengan skala debit tertentu dan menunggu sampai mencapai kedalaman aliran yang konstan.
- C. Mengamati pola loncatan hidrolis dan pola gerusan yang terjadi pada saat simulasi pengaliran setiap 15 menit.
- D. Mengukur panjang loncatan hidrolis dan kedalaman gerusan setiap 15 menit pada setiap simulasi pengaliran sampai 3 kali simulasi pengaliran.
- E. Pengambilan data gerusan di sekitar kolam olakan bendung di ukur setelah simulasi pengaliran selesai dengan cara memperkecil debit aliran secara perlahan agar gerusan disekitar kolam olakan bendung tidak terganggu oleh adanya perubahan debit.

F. Setelah dilakukan pengukuran, pasir diratakan kembali untuk selanjutnya dilakukan simulasi pengaliran dengan variasi debit lainnya.



Gambar 9. Pola gerusan pada hilir kolam olakan tipe USBR.

BAB III

METODE PENELITIAN

A. Tempat Dan waktu Penelitian

1. Tempat Penelitian

Penelitian ini bertempat di laboratorium sungai Universitas Muhammadiyah Makassar.

2. Waktu Penelitian

Penelitian ini dilaksanakan pada bulan Juli–September dimana pada bulan pertama merupakan kajian literatur, pada bulan kedua merupakan tahap pengambilan data dan bulan ketiga merupakan pengolahan data.

B. Jenis Penelitian Dan Sumber Data

1. Jenis Penelitian

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

2. Sumber Data

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

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

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

C. Alat dan Bahan

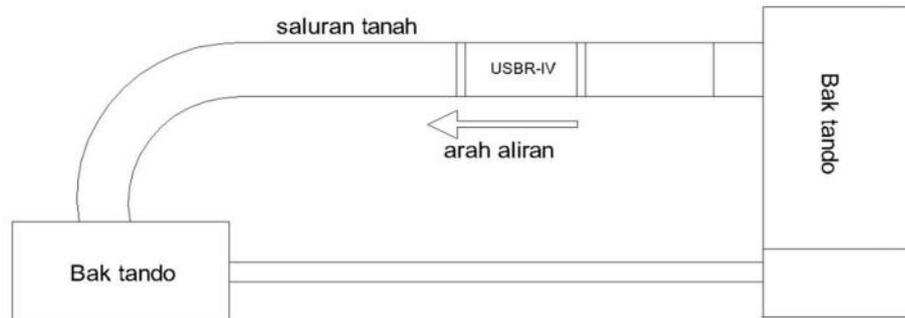
Adapun alat dan bahan yang digunakan dalam penelitian ini sebagai berikut :

1. Alat :

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

2. Bahan :

- a) Model saluran terbuka dengan penampang model lurus dan belok, panjang saluran 9 m, lebar saluran 0,35 m, dan tinggi saluran 0,20 m dari dasar saluran.

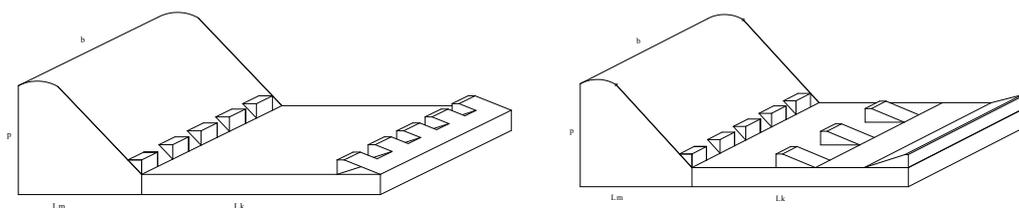


Gambar10. Denah model penelitian

- b) Tanah, sebagai lapisan bawah media/flume saluran penelitian.
- c) Air.

D. Model Kolam Olakan

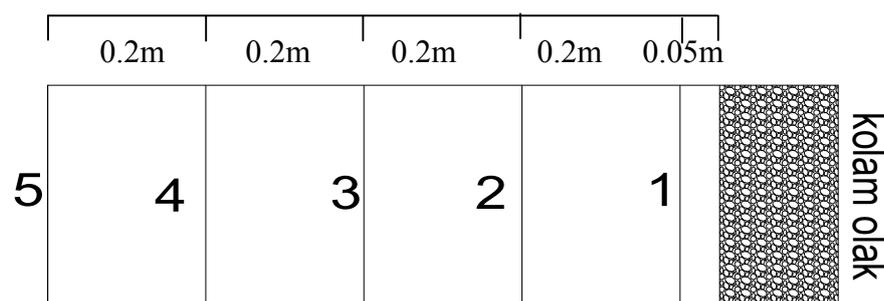
- a) Model bending dengan mercu tipe bulat dan kolam olakan tipe USBR-II sistem kerja kolam olakan tipe ini sangat mirip dengan sistem kerja kolam olakan tipe USBR-III, akan tetapi penggunaannya yang paling cocok adalah untuk aliran dengan tekanan hidrostatik yang tinggi dan debit yang besar ($Q < 45 \text{ m}^3/\text{det}$, $V < 15 \text{ m}/\text{det}$, tekanan hidrostatik $> 60 \text{ m}$ dan angka Froude $> 4,5$). Sedangkan tipe USBR-III lebih sesuai untuk mengalirkan air dengan tekanan hidrostatik yang rendah dan debit yang kecil ($Q < 18,5 \text{ m}^3/\text{det}$, $V > 15 \text{ m}/\text{det}$, tekanan hidrostatik $< 60 \text{ m}$ dan angka Froude $> 4,5$).



Gambar11. Bendung dan kolam Olakan tipe USBR II dan USBR III.

Penelitian ini dilakukan sebanyak 9 *running* dengan dua tahap pengukuran, tahap pertama 6 *running* dan tahap kedua 3 *running*, yaitu tahap pertama adalah *Running* untuk mengetahui variabel-variabel yang berpengaruh terhadap kedalaman gerusan (seperti kecepatan aliran, kecepatan gesek, kedalaman aliran, kedalaman gerusan, angka Froude dan angka Reynold), ini dilakukan tanpa menggunakan proteksi gerusan sebanyak tiga variasi debit dan tiga variasi waktu, tahap kedua adalah *Running* pengendalian/proteksi terhadap gerusan dengan debit konstan dipakai debit terbesar yaitu pada bukaan 3 cm dengan menggunakan *Bronjong* penelitian meliputi: pengukuran kedalaman gerusan terhadap *Bronjong* dari susunan batu yang dianyam dengan kawat dibagian hilir kolom olak dengan ukuran *Bronjong* $\frac{1}{2}$ panjang kolam olak. Dilakukan *running* 3 kali dengan debit konstan dan variasi waktu, hasil *running* dirata-rata untuk mendapatkan kedalaman gerusan.

Adapun pengukuran yang dilakukan pada beberapa titik pengamatan seperti yang Nampak pada Gambar 12.



Gambar 12. Titik pengamatan kecepatan dan tinggi muka air pada flume

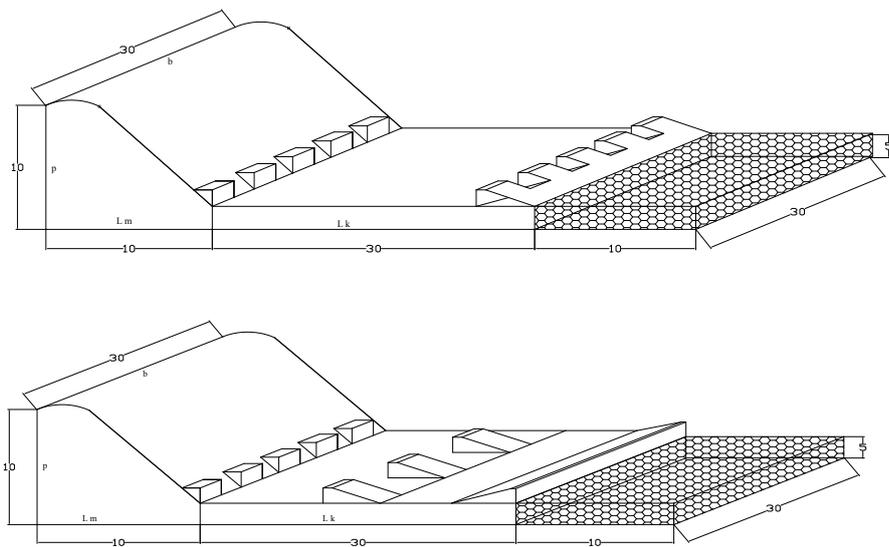
E. Model Bronjong

Susunan batu dengan anyaman kawat, dengan ukuran 10 cm x 30 cm x 5

cm posisi model bronjong ditempatkan di hilir kolam olakan seperti gambar 18.



Gambar 13 . Model Bronjong



Gambar 14. Model Kolam Olakan dengan Matras Bronjong

F. Variabel Yang Diteliti

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

Variabel yang akan digunakan adalah :

1. Variabel bebas :

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

2. Variabel terikat :

- a) Debit (Q)
- b) Angka Froude (Fr)
- c) Angka Reynold (Re)
- d) Kedalaman Gerusan (d_s)

G. Analisis Data

Dari data lapangan atau laboratorium kemudian diolah sebagai bahan. Analisis hasil kajian sesuai dengan tujuan dan sasaran penelitian. Data yang diolah adalah data yang relevan yang dapat mendukung dalam menganalisis hasil penelitian, antara lain :

a) Data debit Q (m^3/det)

$$Q = V \times A \dots\dots\dots(7)$$

Dengan :

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

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

$$V = \text{kecepatan aliran (m/det)}$$

b). Kecepatan aliran V (m/det)

$$V = \frac{Q}{A}$$

Dimana :

V = Kecepatan aliran (m/det)

Q = Debit aliran (m³/det)

A = Luas penampang (m²)

c). Energi spesifik

$$E = \frac{V^2}{2g} + y \dots\dots\dots(8)$$

Dimana :

E = energi spesifik

V = kecepatan aliran (m/det)

Y = kedalaman air (m)

g = gaya grafitasi (m/det)

d). Kedalaman gerusan, (m).

$$Y_s = f(\rho, \nu, g, d, \rho_s, Y, U,) \dots\dots\dots(9)$$

Dimana :

Y_s = kedalaman gerusan

ρ = rapat massa fluida,

ν = kekentalan kinematik fluida, dimana : ν = μ / ρ,

μ = viskositas absolut fluida dinamis,

g = percepatan gravitasi,

d = diameter butiran sediment,

ρ_s = rapat massa sedimen,

Y = kedalaman aliran,

U = kecepatan aliran rata-rata,

U^* = kecepatan geser,

U^*c = kecepatan geser kritis,

b = lebar saluran.

dengan Δ = rapat massa relatif dari butiran terendam, $\Delta = \frac{\rho_s - \rho}{\rho}$

Menurut persamaan lacey kedalaman gerusan dapat ditulis :

$$R = 0.47 \times (Q/f)^{1/3} \dots\dots\dots(10)$$

$$F = 1.7Dm^{0.5}$$

Dimana :

R = kedalaman gerusan (m)

Q = debit aliran (m³/det)

F = faktor lumpur lacey

Dm = diameter rata-rata material dasar sungai (mm)

Menurut lacey kedalaman gerusan bersifat empiris sehingga di kurangi dengan angka keamanan sebesar 1.5, sehingga R = 1,5.

e). Perubahan dasar saluran persamaan Exner

$$\frac{\partial G}{\partial X} + Bo \frac{\partial Y_s}{\partial (DD)} = 0 \dots\dots\dots(11)$$

Dimana:

G = angkutan sedimen

Bo = lebar dasar saluran yang bergerak

DD = lamanya tiap tahap waktu

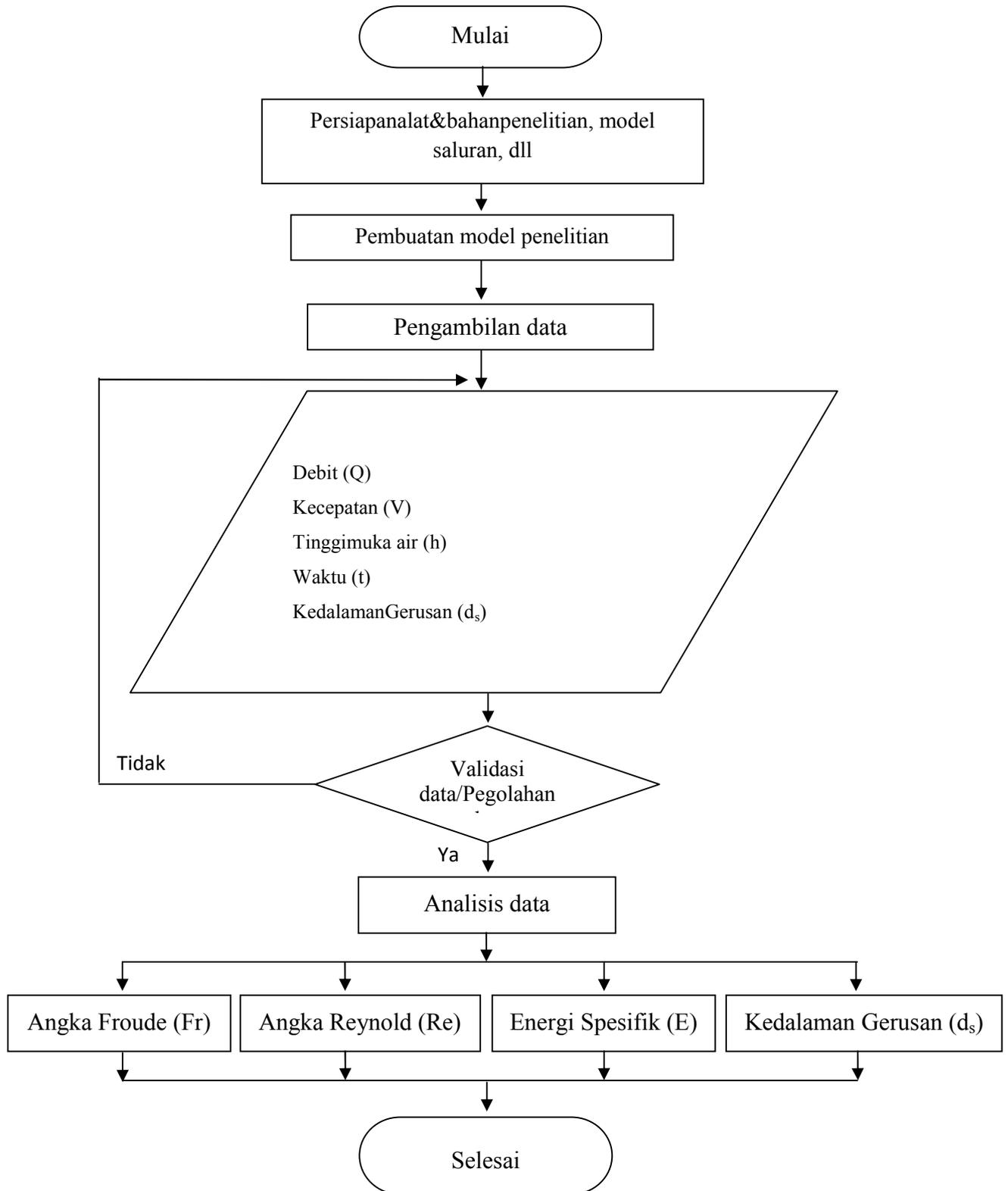
Y_s = kedalaman endapan sedimen pada waktu contro

H. Prosedur / Langkah Penelitian

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

- 1) Mempersiapkan peralatan di laboratorium termasuk membuat model fisik saluran terbuka.
- 2) Melakukan pengaliran awal untuk mengetahui layak atau tidaknya saluran yang akan digunakan dalam pengaliran (Running kosong).
- 3) Melakukan pengaliran dengan variasi debit (Q) dan waktu (T) tanpa menggunakan bronjong.
- 4) Melakukan pengaliran dengan menggunakan *bronjong* dengan debit konstan yaitu debit terbesar pada bukaan 3 dan variasi waktu.
- 5) Melakukan pengukuran pada saat pengaliran yaitu pengukuran kecepatan aliran (V) dengan menggunakan flowacht.
- 6) Mengukur kedalaman air pada setiap titik pengamatan gerusan yang telah ditentukan pada saluran.
- 7) Mencatat data-data penelitian yang diperlukan dalam perhitungan.
- 8) Analisis atau validasi data dari hasil pencatatan pengamatan uji laboratorium yang telah dilakukan.
- 9) Dari hasil penelitian sebelumnya pada kolam olakan tipe USBR IV kedalaman gerusan rata-rata tanpa menggunakan riprap $Q_3 = -3,52$ cm dan rata-rata kedalaman gerusan dengan menggunakan riprap $Q_3 = -3,26$.

I. Flow Chart Penelitian/ Baganalur penelitian



Gambar 15. Diagram Alur Penelitian

BAB IV

HASIL DAN PEMBAHASAN

A. Hasil Perhitungan

1. Hasil Perhitungan Kolam Olak Type USBR II

a) Perhitungan Angka Froude (Fr).

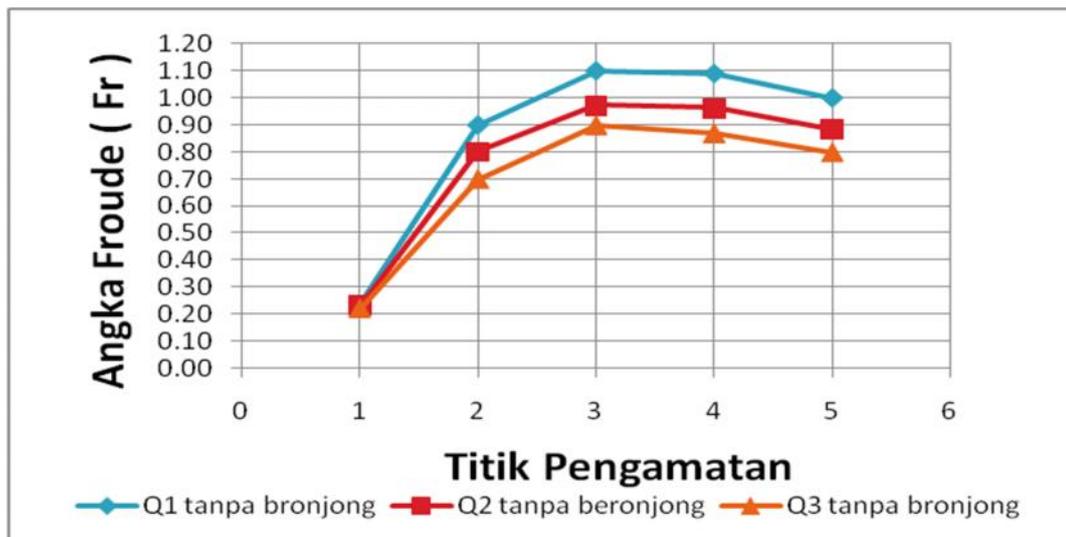
Angka Froude (Fr) didefinisikan sebagai kecepatan rata-rata dibagi akar dari gravitasi dan kedalaman air. Yang bertujuan untuk mengetahui dan menetapkan jenis aliran yang terjadi dalam saluran pada saat proses pengaliran.

Hasil perhitungan angka Froude (Fr) pada bagian debit dan waktu yang digunakan dalam penelitian dapat dilihat pada tabel berikut :

Tabel 2. Hasil Perhitungan Angka Froude (Fr) model kolam olakan tipe USBR II

| No Titik | Debit Aliran (Q) | t = 10 menit | | t = 15 menit | | t = 20 menit | |
|-----------|--------------------|------------------------|-----------------|------------------------|-----------------|------------------------|-----------------|
| | | V ₁ (m/det) | Fr ₁ | V ₂ (m/det) | Fr ₂ | V ₃ (m/det) | Fr ₃ |
| 1 | Q1 | 0.22 | 0.22 | 0.22 | 0.22 | 0.24 | 0.24 |
| 2 | | 0.82 | 0.98 | 0.68 | 0.79 | 0.86 | 0.90 |
| 3 | | 0.84 | 1.10 | 0.72 | 0.97 | 0.96 | 1.10 |
| 4 | | 0.72 | 1.13 | 0.64 | 0.88 | 0.82 | 1.09 |
| 5 | | 0.64 | 0.88 | 0.58 | 0.79 | 0.74 | 1.00 |
| 1 | Q2 | 0.24 | 0.24 | 0.28 | 0.27 | 0.30 | 0.23 |
| 2 | | 0.82 | 0.84 | 0.84 | 0.85 | 0.84 | 0.80 |
| 3 | | 0.86 | 1.02 | 0.82 | 0.98 | 0.82 | 0.97 |
| 4 | | 0.74 | 0.96 | 0.76 | 1.00 | 0.74 | 0.96 |
| 5 | | 0.66 | 0.89 | 0.68 | 0.86 | 0.72 | 0.88 |
| 1 | Q3 | 0.24 | 0.23 | 0.28 | 0.26 | 0.30 | 0.22 |
| 2 | | 0.84 | 0.86 | 0.86 | 0.90 | 0.84 | 0.70 |
| 3 | | 0.86 | 1.02 | 0.82 | 0.94 | 0.84 | 0.90 |
| 4 | | 0.76 | 1.03 | 0.80 | 1.03 | 0.78 | 0.87 |
| 5 | | 0.72 | 0.91 | 0.72 | 0.92 | 0.74 | 0.80 |
| rata-rata | | 0.67 | 0.82 | 0.68 | 0.82 | 0.70 | 0.78 |

Sumber : Hasil Perhitungan



Gambar 16: Hubungan Antara Titik Pengamatan dan Angka Froude (Fr) tanpa bronjong.

Dari hasil pengamatan untuk Q1 kecepatan aliran pada titik pengamatan 1 cenderung kecil sehingga aliran yang terjadi adalah aliran subkritis, setelah melewati titik pengamatan 1 kecepatan aliran bertambah besar sehingga kecepatan aliran menjadi aliran kritis. Dan hasil analisis untuk angka Froude (Fr) pada pengamatan untuk Q1 dapat diketahui bahwa angka Froude (Fr) yang paling besar yaitu 1,21 terdapat pada $t = 20$ menit, dengan kecepatan 0,96 m/detik dan tinggi muka air (H) = 0,06 m. Dapat disimpulkan bahwa aliran yang terjadi pada pengamatan Q1 adalah aliran subkritis menjadi aliran superkritis dan besar kecepatan aliran bukan faktor utama penentu besarnya angka Froude (Fr) karena apabila semakin besar kecepatan aliran dan semakin rendah tinggi muka air maka angka Froude (Fr) semakin besar.

Dari hasil pengamatan untuk Q2 kecepatan aliran pada titik pengamatan 1 cenderung kecil sehingga aliran yang terjadi adalah aliran subkritis setelah melewati titik pengamatan 1 kecepatan aliran bertambah besar sehingga kecepatan aliran mendekati aliran kritis. Dan hasil analisis untuk angka froude (Fr) pada

pengamatan untuk Q2 dapat diketahui bahwa angka froude (Fr) yang paling besar yaitu 1,02 terdapat pada $t = 10$ menit, dengan kecepatan (V) = 0,86 m/detik dan tinggi muka air (H) = 0,07 m. Dapat disimpulkan bahwa aliran yang terjadi pada pengamatan Q2 adalah aliran superkritis, dan besar kecepatan aliran bukanlah faktor utama penentu besarnya angka froude (Fr) karena apabila semakin besar kecepatan aliran dan semakin tinggi muka air maka angka froude (Fr) semakin besar.

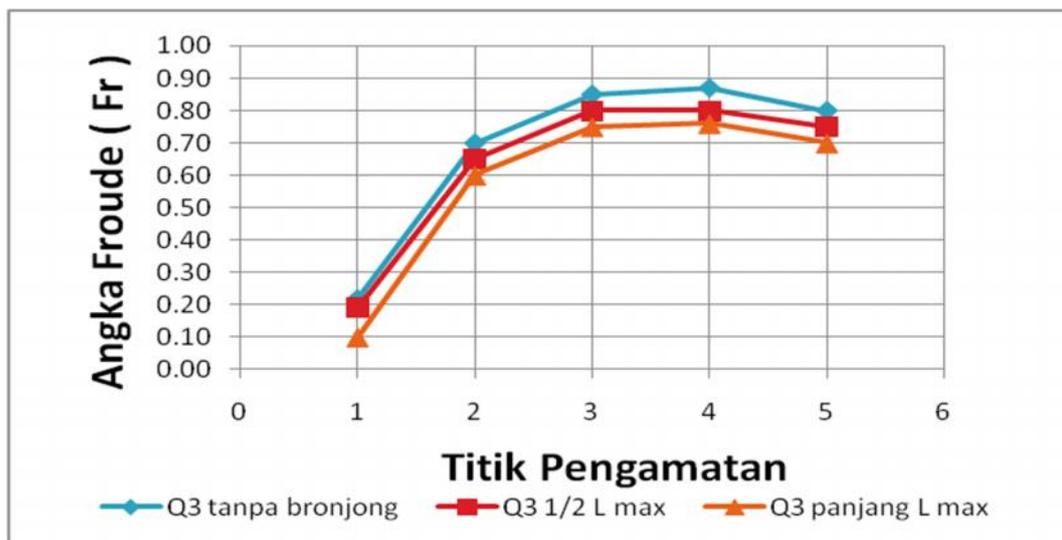
Dari hasil pengamatan untuk Q3 kecepatan aliran pada titik pengamatan 1 cenderung kecil sehingga aliran yang terjadi adalah aliran subkritis setelah melewati titik pengamatan 1 kecepatan aliran bertambah besar sehingga kecepatan aliran mendekati aliran kritis. Dan hasil analisis untuk angka froude (Fr) pada pengamatan untuk Q3 dapat diketahui bahwa angka froude (Fr) yang paling besar yaitu 1,03 terdapat pada $t = 10$ menit, dengan kecepatan (V) = 0,76 m/detik dan tinggi muka air (H) = 0,05 m. Dapat disimpulkan bahwa aliran yang terjadi pada pengamatan Q3 adalah aliran superkritis, dan besar kecepatan aliran bukanlah faktor utama penentu besarnya angka froude (Fr) karena apabila semakin besar kecepatan aliran dan semakin tinggi muka air maka angka froude (Fr) semakin besar. semakin besar.

Dari hasil pengamatan untuk Q3 kecepatan aliran pada titik pengamatan 1 cenderung kecil sehingga aliran yang terjadi adalah aliran subkritis setelah melewati titik pengamatan 1 kecepatan aliran bertambah besar sehingga kecepatan aliran mendekati aliran kritis.

Tabel 3. Hasil Perhitungan Angka Froude (Fr) model kolam olakan tipe USBR II

| No Titik | Debit Aliran (Q) | t = 10 menit | | t = 15 menit | | t = 20 menit | |
|-----------|--------------------|------------------------|-----------------|------------------------|-----------------|------------------------|-----------------|
| | | V ₁ (m/det) | Fr ₁ | V ₂ (m/det) | Fr ₂ | V ₃ (m/det) | Fr ₃ |
| 1 | Q3 | 0.24 | 0.23 | 0.28 | 0.26 | 0.30 | 0.22 |
| 2 | | 0.84 | 0.86 | 0.86 | 0.90 | 0.84 | 0.70 |
| 3 | | 0.86 | 1.02 | 0.82 | 0.94 | 0.84 | 0.85 |
| 4 | | 0.76 | 1.03 | 0.80 | 1.03 | 0.78 | 0.87 |
| 5 | | 0.72 | 0.91 | 0.72 | 0.92 | 0.74 | 0.80 |
| 1 | Q3 | 0.22 | 0.23 | 0.26 | 0.27 | 0.26 | 0.19 |
| 2 | | 0.76 | 0.82 | 0.80 | 0.86 | 0.84 | 0.65 |
| 3 | | 0.80 | 0.95 | 0.82 | 0.98 | 0.82 | 0.80 |
| 4 | | 0.74 | 0.89 | 0.76 | 0.90 | 0.80 | 0.80 |
| 5 | | 0.66 | 0.80 | 0.68 | 0.83 | 0.72 | 0.75 |
| 1 | Q3 | 0.20 | 0.24 | 0.24 | 0.28 | 0.24 | 0.10 |
| 2 | | 0.74 | 0.81 | 0.78 | 0.82 | 0.80 | 0.60 |
| 3 | | 0.78 | 0.90 | 0.78 | 0.92 | 0.80 | 0.75 |
| 4 | | 0.72 | 0.86 | 0.76 | 0.91 | 0.76 | 0.76 |
| 5 | | 0.64 | 0.79 | 0.68 | 0.79 | 0.70 | 0.70 |
| rata-rata | | 0.65 | 0.76 | 0.67 | 0.77 | 0.68 | 0.64 |

Sumber : Hasil Perhitungan



Gambar 17: Hubungan Antara Titik Pengamatan dan Angka Froude (Fr) tanpa bronjong.

Dari hasil pengamatan untuk Q3 kecepatan aliran pada titik pengamatan 1 cenderung kecil sehingga aliran yang terjadi adalah aliran subkritis setelah

melewati titik pengamatan 1 kecepatan aliran bertambah besar sehingga kecepatan aliran mendekati aliran kritis. Dan hasil analisis untuk angka froude (Fr) pada pengamatan untuk Q3 dapat diketahui bahwa angka froude (Fr) yang paling besar yaitu 0,98 terdapat pada $t = 15$ menit, dengan kecepatan (V) = 0,82 m/detik dan tinggi muka air (H) = 0,07 m. Dapat disimpulkan bahwa aliran yang terjadi pada pengamatan Q3 adalah aliran subkritis mendekati aliran kritis dan besar kecepatan aliran bukanlah faktor utama penentu besarnya angka froude (Fr) karena apabila semakin besar kecepatan aliran dan semakin tinggi muka air maka angka froude (Fr) semakin besar.

Dari hasil pengamatan untuk Q3 kecepatan aliran pada titik pengamatan 1 cenderung kecil sehingga aliran yang terjadi adalah aliran subkritis setelah melewati titik pengamatan 1 kecepatan aliran bertambah besar sehingga kecepatan aliran mendekati aliran kritis. Dan hasil analisis untuk angka froude (Fr) pada pengamatan untuk Q3 dapat diketahui bahwa angka froude (Fr) yang paling besar yaitu 0,92 terdapat pada $t = 15$ menit, dengan kecepatan (V) = 0,78 m/detik dan tinggi muka air (H) = 0,07 m. Dapat disimpulkan bahwa aliran yang terjadi pada pengamatan Q3 adalah aliran subkritis mendekati aliran kritis dan besar kecepatan aliran bukanlah faktor utama penentu besarnya angka froude (Fr) karena apabila semakin besar kecepatan aliran dan semakin tinggi muka air maka angka froude (Fr) semakin besar.

b) Analisis Angka Reynold.

Keadaan atau perilaku aliran pada saluran terbuka pada dasarnya ditentukan oleh pengaruh kekentalan dan gravitasi. Pengaruh kekentalan (viscosity) aliran

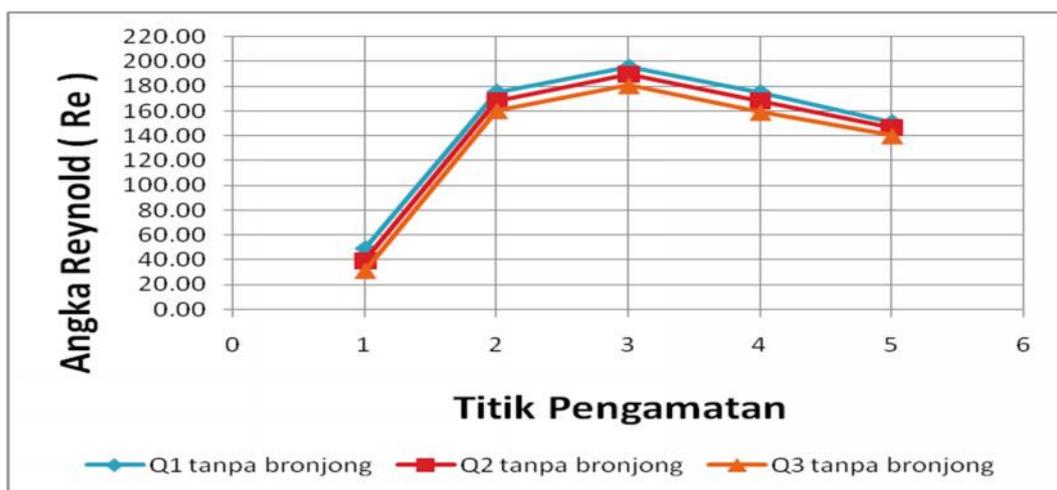
dapat bersifat laminar, turbulen dan peraliran yang tergantung pada pengaruh kekentalan relatif dapat dinyatakan dengan angka Reynold.

Hasil perhitungan angka Reynold (Re) pada berbagai debit dan waktu yang digunakan dalam penelitian dapat dilihat pada tabel berikut :

Tabel 4. Hasil Perhitungan Angka Froude (Fr) model kolam olakan tipe USBR II

| No Titik | Debit Aliran (Q) | t = 10 menit | | t = 15 menit | | t = 20 menit | |
|-----------|--------------------|------------------------|-----------------|------------------------|-----------------|------------------------|-----------------|
| | | V ₁ (m/det) | Re ₁ | V ₂ (m/det) | Re ₂ | V ₃ (m/det) | Re ₃ |
| 1 | Q1 | 0.22 | 44.87 | 0.22 | 44.87 | 0.24 | 48.95 |
| 2 | | 0.82 | 167.26 | 0.68 | 138.70 | 0.86 | 175.42 |
| 3 | | 0.84 | 171.34 | 0.72 | 146.86 | 0.96 | 195.82 |
| 4 | | 0.72 | 146.86 | 0.64 | 130.54 | 0.82 | 175.26 |
| 5 | | 0.64 | 130.54 | 0.58 | 118.31 | 0.74 | 150.94 |
| 1 | Q2 | 0.24 | 48.95 | 0.28 | 57.11 | 0.30 | 38.95 |
| 2 | | 0.82 | 167.26 | 0.84 | 171.34 | 0.84 | 168.34 |
| 3 | | 0.86 | 175.42 | 0.82 | 167.26 | 0.82 | 189.83 |
| 4 | | 0.74 | 150.94 | 0.76 | 155.02 | 0.74 | 168.27 |
| 5 | | 0.66 | 134.62 | 0.68 | 138.70 | 0.72 | 146.86 |
| 1 | Q3 | 0.24 | 48.95 | 0.28 | 57.11 | 0.30 | 30.95 |
| 2 | | 0.84 | 171.34 | 0.86 | 175.42 | 0.84 | 160.34 |
| 3 | | 0.86 | 175.42 | 0.82 | 167.26 | 0.84 | 180.70 |
| 4 | | 0.76 | 155.02 | 0.80 | 163.18 | 0.78 | 159.10 |
| 5 | | 0.72 | 146.86 | 0.72 | 146.86 | 0.74 | 140.10 |
| rata-rata | | 0.67 | 135.71 | 0.68 | 0.82 | 0.70 | 141.99 |

Sumber : Hasil Perhitungan



Gambar 18: Hubungan antara titik pengamatan dan Angka Reynold (Re).

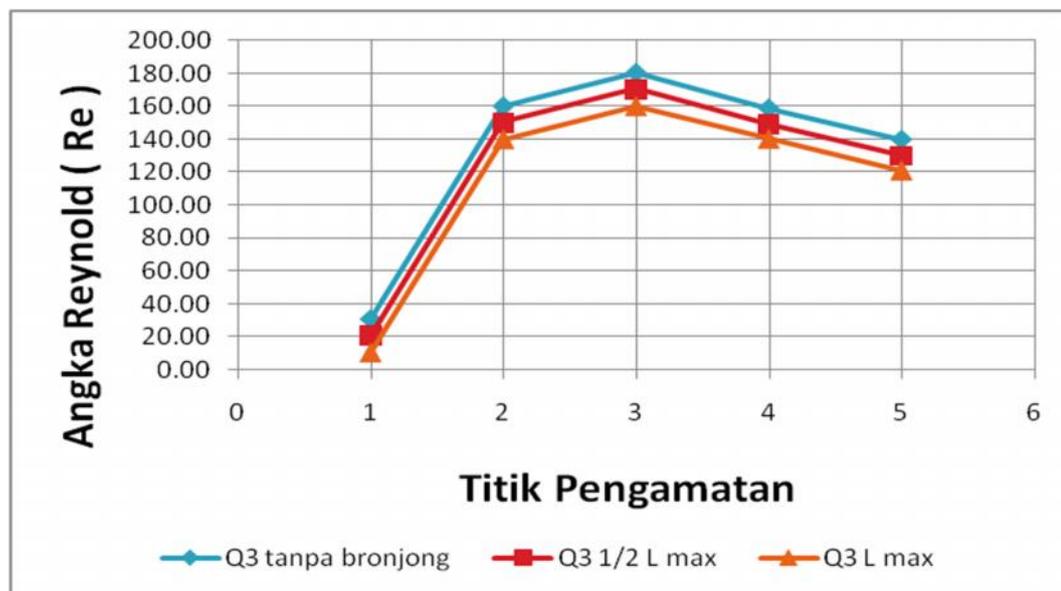
Dari hasil perhitungan jika kecepatan aliran semakin besar dan panjang karakteristik aliran juga bertambah besar maka angka Reynold akan semakin besar. Dan hasil analisis untuk angka Reynold (Re) dapat dilihat pada tabel 6 bahwa angka Reynold (Re) yang paling besar yaitu 195,82 terdapat pada $t = 20$ menit sehingga aliran yang terjadi pada pengamatan untuk Q1 adalah aliran laminar (aliran seragam).

Dari hasil perhitungan jika kecepatan aliran semakin besar dan panjang karakteristik aliran juga bertambah besar maka angka Reynold akan semakin besar. Dan hasil analisis untuk angka Reynold (Re) dapat dilihat pada tabel 7 bahwa angka Reynold (Re) yang paling besar yaitu 175,42 terdapat pada $t = 10$ menit sehingga aliran yang terjadi pada pengamatan untuk Q2 adalah aliran laminar (aliran seragam).

Tabel 5. Hasil Perhitungan Angka Froude (Fr) model kolam olakan tipe USBR II

| No Titik | Debit Aliran (Q) | t = 10 menit | | t = 15 menit | | t = 20 menit | |
|-----------|--------------------|------------------------|-----------------|------------------------|-----------------|------------------------|-----------------|
| | | V ₁ (m/det) | Re ₁ | V ₂ (m/det) | Re ₂ | V ₃ (m/det) | Re ₃ |
| 1 | Q3 | 0.24 | 48.95 | 0.28 | 57.11 | 0.30 | 30.95 |
| 2 | | 0.84 | 171.34 | 0.86 | 175.42 | 0.84 | 160.34 |
| 3 | | 0.86 | 175.42 | 0.82 | 167.26 | 0.84 | 180.70 |
| 4 | | 0.76 | 155.02 | 0.80 | 163.18 | 0.78 | 159.10 |
| 5 | | 0.72 | 146.86 | 0.72 | 146.86 | 0.74 | 140.10 |
| 1 | Q3 | 0.22 | 44.87 | 0.26 | 53.03 | 0.26 | 20.93 |
| 2 | | 0.76 | 155.02 | 0.80 | 163.18 | 0.84 | 150.33 |
| 3 | | 0.80 | 163.18 | 0.82 | 167.26 | 0.82 | 170.70 |
| 4 | | 0.74 | 150.94 | 0.76 | 155.02 | 0.80 | 149.20 |
| 5 | | 0.66 | 134.62 | 0.68 | 138.70 | 0.72 | 130.20 |
| 1 | Q3 | 0.20 | 40.79 | 0.24 | 48.95 | 0.24 | 10.80 |
| 2 | | 0.74 | 150.94 | 0.78 | 159.10 | 0.80 | 140.20 |
| 3 | | 0.78 | 159.10 | 0.78 | 159.10 | 0.80 | 160.28 |
| 4 | | 0.72 | 146.86 | 0.76 | 155.02 | 0.76 | 140.34 |
| 5 | | 0.64 | 130.54 | 0.68 | 138.70 | 0.70 | 121.30 |
| rata-rata | | 0.65 | 131.63 | 0.68 | 0.82 | 0.68 | 124.36 |

Sumber : Hasil Perhitungan



Gambar 19: Hubungan antara titik pengamatan dan Angka Reynold (Re).

Dari hasil perhitungan jika kecepatan aliran semakin besar dan panjang karakteristik aliran juga bertambah besar maka angka Reynold akan semakin besar. Dan hasil analisis untuk angka Reynold (Re) dapat dilihat pada tabel 8 bahwa angka Reynold (Re) yang paling besar yaitu 175,42 terdapat pada $t = 15$ menit sehingga aliran yang terjadi pada pengamatan untuk Q3 adalah aliran laminar (aliran seragam).

Dari hasil perhitungan jika kecepatan aliran semakin besar dan panjang karakteristik aliran juga bertambah besar maka angka Reynold akan semakin besar. Dan hasil analisis untuk angka Reynold (Re) dapat dilihat pada tabel 9 bahwa angka Reynold (Re) yang paling besar yaitu 171,34 terdapat pada $t = 20$ menit sehingga aliran yang terjadi pada pengamatan untuk Q3 adalah aliran laminar (aliran seragam).

Dari hasil perhitungan jika kecepatan aliran semakin besar dan panjang karakteristik aliran juga bertambah besar maka angka Reynold akan semakin

besar. Dan hasil analisis untuk angka Reynold (Re) dapat dilihat pada tabel 10 bahwa angka Reynold (Re) yang paling besar yaitu 163,18 terdapat pada $t = 20$ menit sehingga aliran yang terjadi pada pengamatan untuk Q3 adalah aliran laminar (aliran seragam).

c) Rekapitulasi Angka Froude dan Angka Reynold.

Tabel 6. Rekapitulasi Angka Froude (Rr) dan Angka Reynold (Re) tipe USBR II

| No | t | Q | H | V | Fr | Re | Keterangan | |
|----|-------|---------------------|------|-------|------|--------|--------------|---------|
| | menit | m ³ /det | m | m/det | - | - | | |
| 1 | 10 | 0,0025 | 0,07 | 0,65 | 0,86 | 132,18 | subkritis | laminar |
| 2 | 15 | | 0,07 | 0,57 | 0,73 | 115,86 | subkritis | laminar |
| 3 | 20 | | 0,07 | 0,72 | 0,91 | 147,68 | subkritis | laminar |
| 4 | 10 | 0,005262 | 0,08 | 0,66 | 0,79 | 135,44 | subkritis | laminar |
| 5 | 15 | | 0,08 | 0,68 | 0,79 | 137,89 | subkritis | laminar |
| 6 | 20 | | 0,08 | 0,68 | 0,79 | 139,52 | subkritis | laminar |
| 7 | 10 | 0,008112 | 0,08 | 0,68 | 1,81 | 139,52 | Super Kritis | laminar |
| 8 | 15 | | 0,08 | 0,70 | 1,81 | 141,97 | Super kritis | laminar |
| 9 | 20 | | 0,08 | 0,70 | 1,80 | 142,78 | Super kritis | laminar |

Sumber: Hasil Perhitungan

Tabel 7. Rekapitulasi Angka Froude (Rr) dan Angka Reynold (Re) untuk bronjong $\frac{1}{2}$ panjang kolam olakan dan bronjong panjang maksimum tipe USBR II.

| No | t | Q | H | V | Fr | Re | Keterangan | |
|----|-------|---------------------|------|-------|------|--------|--------------|---------|
| | menit | m ³ /det | m | m/det | - | - | | |
| 1 | 10 | 0,0081 | 0,08 | 0,64 | 1,74 | 129,73 | Super Kritis | laminar |
| 2 | 15 | | 0,08 | 0,66 | 1,77 | 135,44 | Super Kritis | laminar |
| 3 | 20 | | 0,08 | 0,69 | 1,79 | 140,33 | Super Kritis | laminar |
| 4 | 10 | 0,0081 | 0,08 | 0,62 | 1,72 | 125,65 | Super Kritis | laminar |
| 5 | 15 | | 0,08 | 0,65 | 1,74 | 132,18 | Super Kritis | laminar |
| 6 | 20 | | 0,08 | 0,66 | 1,76 | 134,62 | Super Kritis | laminar |

Sumber: Hasil Perhitungan

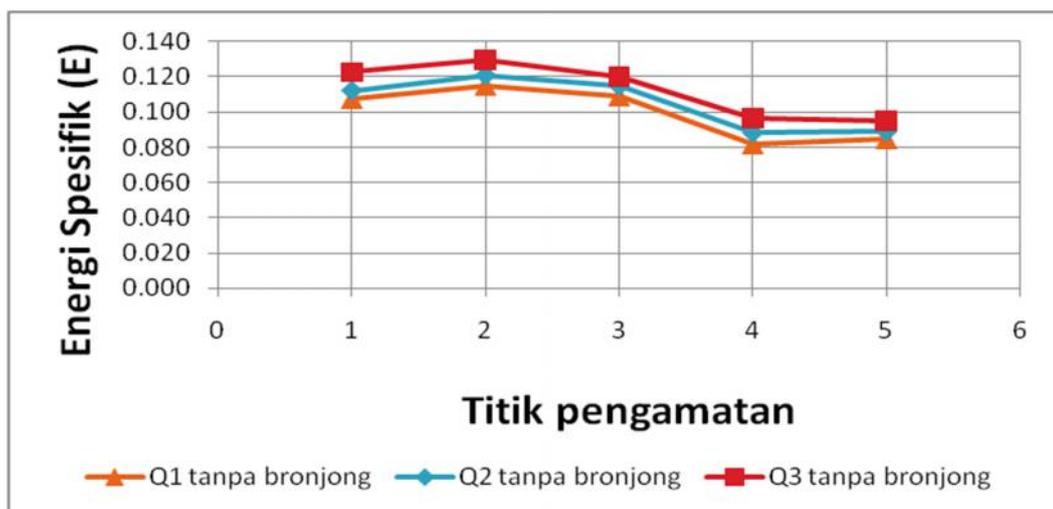
d) Analisis Energi Spesifik.

Energi spesifik adalah energi relatif terhadap dasar saluran. Hasil perhitungan Energi Spesifik (E) pada berbagai debit dan waktu yang digunakan dalam penelitian dapat dilihat pada tabel berikut :

Tabel 8. Perhitungan energi spesifik tipe USBR II

| No Titik | Debit Aliran (Q) | Jarak | Tinggi muka Air | | | Energi Spesifik | | |
|----------|------------------|------------|-----------------|----------|----------|-----------------|----------|----------|
| | | Pengamatan | Waktu | | | Waktu | | |
| | | | 10 menit | 15 menit | 20 menit | 10 menit | 15 menit | 20 menit |
| 1 | Q1 | 0.05 | 0.099 | 0.102 | 0.105 | 0.101 | 0.104 | 0.108 |
| 2 | | 0.2 | 0.072 | 0.076 | 0.079 | 0.106 | 0.100 | 0.115 |
| 3 | | 0.2 | 0.059 | 0.056 | 0.064 | 0.095 | 0.082 | 0.109 |
| 4 | | 0.2 | 0.042 | 0.054 | 0.051 | 0.068 | 0.075 | 0.082 |
| 5 | | 0.2 | 0.054 | 0.055 | 0.059 | 0.075 | 0.072 | 0.085 |
| 1 | Q2 | 0.05 | 0.105 | 0.108 | 0.108 | 0.108 | 0.112 | 0.112 |
| 2 | | 0.2 | 0.096 | 0.098 | 0.105 | 0.131 | 0.134 | 0.121 |
| 3 | | 0.2 | 0.072 | 0.072 | 0.072 | 0.110 | 0.106 | 0.115 |
| 4 | | 0.2 | 0.061 | 0.059 | 0.060 | 0.089 | 0.088 | 0.088 |
| 5 | | 0.2 | 0.056 | 0.064 | 0.068 | 0.078 | 0.088 | 0.089 |
| 1 | Q3 | 0.05 | 0.113 | 0.116 | 0.118 | 0.116 | 0.120 | 0.123 |
| 2 | | 0.2 | 0.097 | 0.094 | 0.094 | 0.133 | 0.132 | 0.130 |
| 3 | | 0.2 | 0.073 | 0.077 | 0.082 | 0.110 | 0.111 | 0.120 |
| 4 | | 0.2 | 0.055 | 0.062 | 0.065 | 0.085 | 0.095 | 0.096 |
| 5 | | 0.2 | 0.064 | 0.063 | 0.065 | 0.090 | 0.089 | 0.095 |

Sumber: Hasil Perhitungan



Gambar 20: Hubungan antara titik pengamatan dan energi spesifik

Dari hasil analisis apabila semakin tinggi muka air dan semakin besar pula kecepatan aliran, maka energi spesifiknya akan semakin besar. Energi spesifik yang paling besar yaitu 0,1169 terdapat pada $t = 20$ menit dengan tinggi muka air $(H) = 0,079$ m dan kecepatan $(V) = 0,860$ m/det, tinggi muka air yang terbesar yaitu 0,105 m terdapat pada $t = 20$ menit. Dari hasil pengamatan Q1 dapat disimpulkan bahwa tinggi muka air bukanlah faktor utama penentu besarnya.

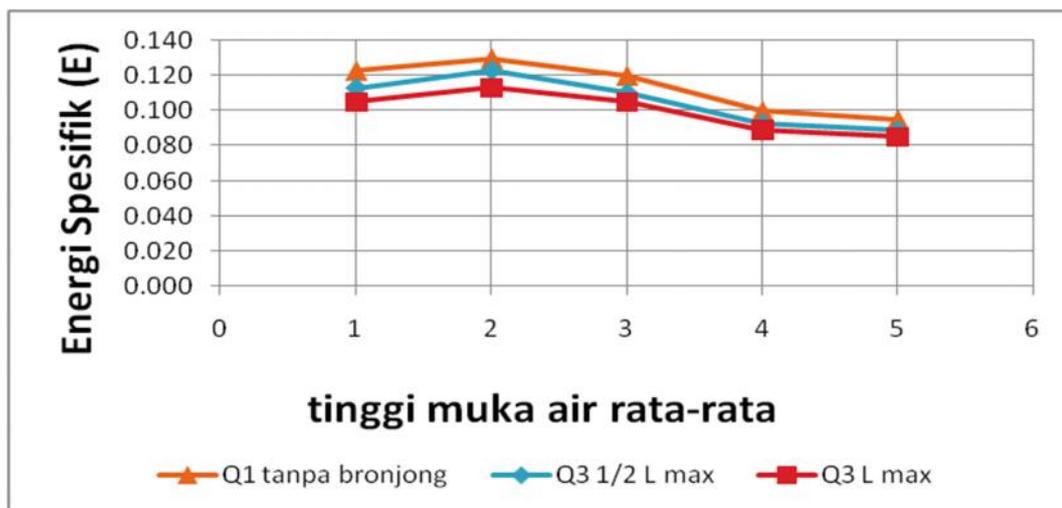
Dari hasil analisis apabila semakin tinggi muka air dan semakin besar pula kecepatan aliran, maka energi spesifiknya akan semakin besar. Energi spesifik yang paling besar yaitu 0,1414 terdapat pada $t = 20$ menit dengan tinggi muka air $(H) = 0,105$ m dan kecepatan $(V) = 0,840$ m/det, tinggi muka air yang terbesar yaitu 0,108 m terdapat pada $t = 20$ menit. Dari hasil pengamatan Q2 dapat disimpulkan bahwa tinggi muka air bukanlah faktor utama penentu besarnya energi spesifik.

Dari hasil analisis apabila semakin tinggi muka air dan semakin besar pula kecepatan aliran, maka energi spesifiknya akan semakin besar. Energi spesifik yang paling besar yaitu 0,1326 terdapat pada $t = 10$ menit dengan tinggi muka air $(H) = 0,097$ m dan kecepatan $(V) = 0,840$ m/det, tinggi muka air yang terbesar yaitu 0,118 m terdapat pada $t = 20$ menit. Dari hasil pengamatan Q3 dapat disimpulkan bahwa tinggi muka air bukanlah faktor utama penentu besarnya energi spesifik. Dari hasil analisis apabila semakin tinggi muka air dan semakin besar pula kecepatan aliran, maka energi spesifiknya akan semakin besar. Energi spesifik yang paling besar yaitu 0,1326 terdapat pada $t = 10$ menit.

Tabel 9. Perhitungan energi spesifik tipe USBR II

| No Titik | Debit Aliran (Q) | Jarak Pengamatan | Tinggi muka Air | | | Energi Spesifik | | |
|----------|------------------|------------------|-----------------|----------|----------|-----------------|----------|----------|
| | | | Waktu | | | Waktu | | |
| | | | 10 menit | 15 menit | 20 menit | 10 menit | 15 menit | 20 menit |
| 1 | Q3 | 0.05 | 0.113 | 0.116 | 0.118 | 0.116 | 0.120 | 0.123 |
| 2 | | 0.2 | 0.097 | 0.094 | 0.094 | 0.133 | 0.132 | 0.130 |
| 3 | | 0.2 | 0.073 | 0.077 | 0.082 | 0.110 | 0.111 | 0.120 |
| 4 | | 0.2 | 0.055 | 0.062 | 0.065 | 0.085 | 0.095 | 0.100 |
| 5 | | 0.2 | 0.064 | 0.063 | 0.065 | 0.090 | 0.089 | 0.095 |
| 1 | Q3 | 0.05 | 0.091 | 0.096 | 0.097 | 0.093 | 0.099 | 0.113 |
| 2 | | 0.2 | 0.087 | 0.089 | 0.090 | 0.117 | 0.122 | 0.123 |
| 3 | | 0.2 | 0.073 | 0.071 | 0.076 | 0.105 | 0.106 | 0.110 |
| 4 | | 0.2 | 0.070 | 0.073 | 0.069 | 0.098 | 0.102 | 0.093 |
| 5 | | 0.2 | 0.069 | 0.068 | 0.067 | 0.091 | 0.092 | 0.089 |
| 1 | Q3 | 0.05 | 0.073 | 0.077 | 0.080 | 0.075 | 0.080 | 0.105 |
| 2 | | 0.2 | 0.086 | 0.093 | 0.090 | 0.114 | 0.124 | 0.113 |
| 3 | | 0.2 | 0.077 | 0.073 | 0.078 | 0.108 | 0.104 | 0.105 |
| 4 | | 0.2 | 0.072 | 0.070 | 0.074 | 0.098 | 0.100 | 0.089 |
| 5 | | 0.2 | 0.068 | 0.076 | 0.065 | 0.088 | 0.100 | 0.085 |

Sumber: Hasil Perhitungan



Gambar 21: Hubungan antara titik pengamatan dan energi spesifik.

Dari hasil analisis apabila semakin tinggi muka air dan semakin besar pula kecepatan aliran, maka energi spesifiknya akan semakin besar. Energi spesifik yang paling besar yaitu 0,1262 terdapat pada $t = 20$ menit dengan tinggi muka air (H) = 0,090 m dan kecepatan (V) = 0,840 m/det, tinggi muka air yang terbesar yaitu 0,097 m terdapat pada $t = 20$ menit. Dari hasil pengamatan ini dapat

disimpulkan bahwa tinggi muka air bukanlah faktor utama penentu besarnya energi spesifik.

Dari hasil analisis apabila semakin tinggi muka air dan semakin besar pula kecepatan aliran, maka energi spesifiknya akan semakin besar. Energi spesifik yang paling besar yaitu 0,1238 terdapat pada $t = 15$ menit dengan tinggi muka air (H) = 0,093 m dan kecepatan (V) = 0,780 m/det, tinggi muka air yang terbesar yaitu 0,093 m terdapat pada $t = 25$ menit.

e) Analisis Kedalaman Gerusan Dengan Variasi Debit, Waktu Dan Bronjong.

Penelitian ini dilakukan di laboratorium Universitas Muhammadiyah Makassar dan penelitian ini dibagi menjadi dua running yaitu running pertama tanpa menggunakan bronjong dengan Q1, Q2 dan Q3 dengan variasi waktu yaitu 10, 15 dan 20 menit, kemudian pada running kedua dengan menggunakan bronjong $\frac{1}{2}$ panjang kolam olakan dan panjang maksimum kolam olakan dengan menggunakan debit konstan (Q3) dengan variasi waktu 10, 15 dan 20 menit.

Pada running pertama dilakukan untuk mengetahui variabel-variabel yang mempengaruhi gerusan seperti kecepatan aliran (V), angka Froude (Fr), angka Reynold (Re), tinggi muka air (H) dan energi spesifik (E), cara mengamati kedalaman gerusan yaitu dengan mencatat kedalaman gerusan yang ada pada titik pengamatan sesuai debit dan waktu yang telah ditentukan misalnya, untuk Q3 digunakan variasi waktu yaitu 10, 15 dan 20 menit tanpa menggunakan bronjong dan menggunakan bronjong $\frac{1}{2}$ panjang kolam olakan dan panjang maksimum kolam olakan dengan variasi debit Q1, Q2 dan Q3 dengan variasi model bronjong yang berbeda.

Tabel 10. Rata-Rata Kedalaman Gerusan yang terjadi pada (Q3) dan waktu yang bervariasi tanpa beronjong tipe USBR II.

| no titik | titik pengamatan | | | | | | | rata-rata |
|----------|-------------------|---------------------|------|------|------|------|------|------------------------|
| | Potongan Vertikal | Potongan horisontal | | | | | | Kedalaman Gerusan (cm) |
| | | 1 | 2 | 3 | 4 | 5 | 6 | |
| 1 | 1 | -9.4 | -8.5 | -8.7 | -9.7 | -9.2 | -7.7 | -8.87 |
| 2 | 2 | -8.9 | -8.1 | -8.1 | -8.0 | -7.9 | -7.4 | -8.07 |
| 3 | 3 | -8.1 | -7.3 | -7.2 | -7.6 | -6.4 | -6.7 | -7.22 |
| 4 | 4 | -6.6 | -7.1 | -6.1 | -4.8 | -5.9 | -6.0 | -6.08 |
| 5 | 5 | -4.8 | -4.4 | -4.1 | -3.7 | -3.6 | -2.8 | -4.90 |
| 6 | 6 | -2.6 | -2.0 | -2.5 | -2.5 | -2.3 | -1.1 | -4.87 |
| 7 | 7 | -3.3 | -2.0 | -2.9 | -2.2 | -1.4 | -2.4 | -4.93 |
| 8 | 8 | -4.3 | -1.9 | -2.1 | -2.4 | -1.6 | -2.5 | -4.80 |
| 9 | 9 | -4.1 | -2.0 | -1.3 | -2.0 | -1.8 | -2.6 | -4.50 |
| 10 | 10 | -3.7 | -1.9 | -1.2 | -2.2 | -1.9 | -2.4 | -4.10 |
| 11 | 11 | -3.2 | -1.2 | -1.3 | -1.6 | -2.1 | -2.8 | -4.30 |
| 12 | 12 | -2.6 | -0.6 | -0.5 | 1.0 | -2.5 | -2.3 | -4.35 |
| 13 | 13 | -2.7 | -1.9 | -1.1 | -1.3 | -1.9 | -2.8 | -4.37 |
| 14 | 14 | -3.3 | -2.0 | -0.5 | -1.2 | -1.9 | -3.4 | -4.38 |
| 15 | 15 | -3.5 | -2.1 | -1.4 | -1.8 | -2.6 | -3.7 | -4.39 |
| 16 | 16 | -3.2 | -2.2 | -1.7 | -1.5 | -2.5 | -3.5 | -4.40 |

Sumber: Data Pengamatan

Dari gambar 27 dapat dilihat bahwa kedalaman gerusan (d_s) yang terbesar yaitu -9,7 cm terdapat pada titik pengamatan 4 dan kedalaman gerusan (d_s) yang terkecil yaitu -0,5 yang terdapat pada titik pengamatan 3.

Dari tabel 18 dapat dilihat bahwa kedalaman gerusan (d_s) rata-rata terbesar yaitu -8,87 cm yang terdapat pada grid 1 dan kedalaman gerusan yang terkecil yaitu -1,25 cm terdapat pada grid 12, dan kedalaman gerusan (d_s) rata-rata pada debit Q_3 tanpa menggunakan beronjong = -3,62 cm.

Untuk hasil perhitungan Q_1 dan Q_2 dapat dilihat pada lampiran.

Tabel 11. Rata-Rata Kedalaman Gerusan yang ada pada titik pengamatan pada (Q_3) dan waktu yang bervariasi dengan beronjong $\frac{1}{2}$ panjang kolam olakan tipe USBR II.

| no titik | titik pengamatan | | | | | | | rata-rata |
|----------|-------------------|---------------------|------|------|------|------|------|--------------------------|
| | Potongan Vertikal | Potongan horisontal | | | | | | Kedalaman Gerusan (cm) |
| | | 1 | 2 | 3 | 4 | 5 | 6 | |
| 1 | 1 | -6.9 | -6.0 | -6.3 | -6.2 | -6.3 | -6.8 | -6.42 |
| 2 | 2 | -6.0 | -4.5 | -4.5 | -4.4 | -4.4 | -5.1 | -4.85 |
| 3 | 3 | -4.6 | -2.6 | -4.0 | -3.4 | -3.4 | -4.6 | -3.80 |
| 4 | 4 | -4.5 | -4.1 | -3.6 | -2.8 | -4.3 | -4.2 | -3.50 |
| 5 | 5 | -4.6 | -3.5 | -3.0 | -2.5 | -3.0 | -3.2 | -3.60 |
| 6 | 6 | -3.7 | -1.0 | -2.0 | -2.5 | -2.7 | -2.4 | -3.65 |
| 7 | 7 | -3.8 | -1.8 | -3.6 | -2.4 | -2.8 | -5.0 | -3.23 |
| 8 | 8 | -4.1 | -1.9 | -2.5 | -3.6 | -2.9 | -3.9 | -3.20 |
| 9 | 9 | -3.2 | -2.0 | -0.8 | -2.9 | -2.6 | -4.3 | -3.31 |
| 10 | 10 | -3.4 | -2.8 | -2.1 | -2.8 | -2.8 | -3.7 | -3.35 |
| 11 | 11 | -2.8 | -2.1 | -2.0 | -2.6 | -2.8 | -2.9 | -3.30 |
| 12 | 12 | -4.6 | -2.3 | -2.1 | 0.4 | -2.1 | -3.6 | -3.38 |
| 13 | 13 | -3.1 | -2.8 | -3.0 | -2.0 | -2.9 | -3.5 | -3.40 |
| 14 | 14 | -3.0 | -2.2 | -1.7 | -2.9 | -3.4 | -4.3 | -3.43 |
| 15 | 15 | -3.7 | -2.4 | -3.6 | -2.9 | -4.0 | -4.4 | -3.50 |
| 16 | 16 | -3.3 | -2.9 | -2.4 | -3.1 | -2.5 | -3.5 | -3.55 |

Sumber: Data Pengamatan

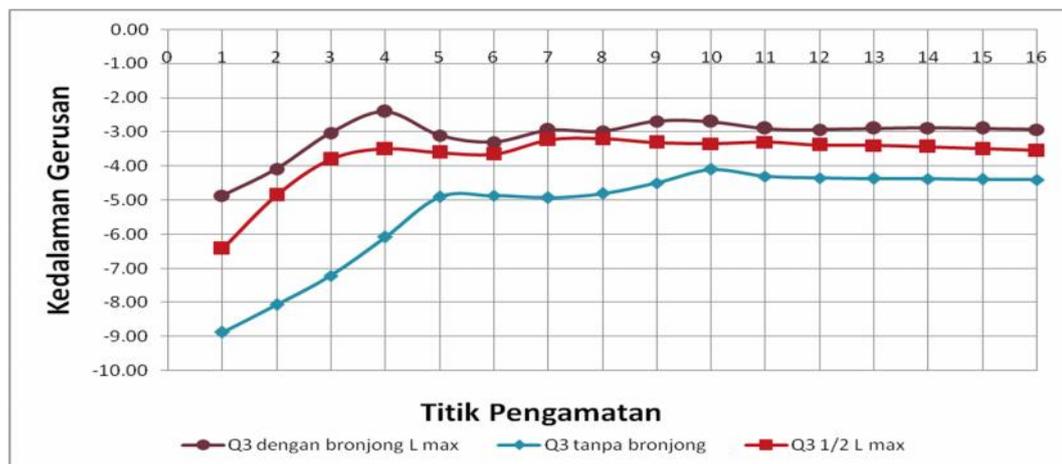
Dari gambar 28 dapat dilihat bahwa kedalaman gerusan (d_s) yang terbesar yaitu -9,7 cm terdapat pada titik pengamatan 1 dan kedalaman gerusan (d_s) yang terkecil yaitu -0,4 yang terdapat pada titik pengamatan 4.

Dari tabel 19 dapat dilihat bahwa kedalaman gerusan (d_s) rata-rata terbesar yaitu -6,42 cm yang terdapat pada grid 1 dan kedalaman gerusan yang terkecil yaitu -2,38 cm terdapat pada grid 6, dan kedalaman gerusan (d_s) rata-rata yang terjadi pada debit Q_3 dengan menggunakan brinjong $\frac{1}{2}$ panjang kolam olakan yaitu = -3,36 cm`

Tabel 12. Rata-Rata Kedalaman Gerusan yang ada pada titik pengamatan pada (Q_3) dan waktu yang bervariasi dengan beranjong sama dengan panjang kolam olakan tipe USBR II.

| no titik | titik pengamatan | | | | | | | rata-rata |
|----------|-------------------|---------------------|------|------|------|------|------|--------------------------|
| | Potongan Vertikal | Potongan horisontal | | | | | | Kedalaman Gerusan (cm) |
| | | 1 | 2 | 3 | 4 | 5 | 6 | |
| 1 | 1 | -6.6 | -4.4 | -4.4 | -4.7 | -3.4 | -5.7 | -4.87 |
| 2 | 2 | -6.1 | -5.5 | -3.6 | -2.8 | -2.6 | -3.9 | -4.08 |
| 3 | 3 | -4.3 | -4.2 | -2.1 | -2.1 | -1.9 | -3.6 | -3.03 |
| 4 | 4 | -4.9 | -1.3 | -2.5 | -0.8 | -1.3 | -3.6 | -2.40 |
| 5 | 5 | -5.0 | -3.3 | -3.3 | -2.1 | -2.8 | -3.4 | -3.10 |
| 6 | 6 | -4.1 | -4.6 | -2.1 | -4.3 | -2.5 | -3.8 | -3.30 |
| 7 | 7 | -4.2 | -4.5 | -1.9 | -1.6 | -2.8 | -2.7 | -2.95 |
| 8 | 8 | -3.1 | -4.5 | -2.5 | -3.0 | -2.1 | -2.7 | -2.98 |
| 9 | 9 | -3.3 | -3.0 | -2.2 | -2.1 | -2.7 | -2.8 | -2.68 |
| 10 | 10 | -3.5 | -3.0 | -2.3 | 0.8 | -2.0 | -2.6 | -2.70 |
| 11 | 11 | -3.3 | -4.1 | -2.9 | -1.7 | -3.0 | -3.8 | -2.90 |
| 12 | 12 | -2.9 | -3.3 | -2.1 | -1.5 | -4.2 | -3.6 | -2.93 |
| 13 | 13 | -3.2 | -3.6 | -2.8 | -2.8 | -2.2 | -2.8 | -2.90 |
| 14 | 14 | -2.9 | -3.5 | -3.7 | -2.5 | -2.6 | -2.1 | -2.88 |
| 15 | 15 | -1.5 | -2.5 | -3.4 | -2.8 | -1.9 | -1.7 | -2.90 |
| 16 | 16 | -2.7 | -3.8 | -3.1 | -3.7 | -1.5 | -1.0 | -2.93 |

Sumber: Data Pengamatan



Gambar 22: Kedalaman gerusan rata-rata pada (Q_3) dan waktu yang bervariasi tanpa bronjong, bronjong $\frac{1}{2}$ L max dan bronjong L max.

Dari gambar 29 dapat dilihat bahwa kedalaman gerusan (d_s) yang terbesar yaitu -6,6 cm terdapat pada titik pengamatan 1 dan kedalaman gerusan (d_s) yang terkecil yaitu -0,8 yang terdapat pada titik pengamatan 4. Dari tabel 20 dapat

dilihat bahwa kedalaman gerusan (d_s) rata-rata terbesar yaitu -4,87 cm yang terdapat pada grid 1 dan kedalaman gerusan yang terkecil yaitu -2,10 cm terdapat pada grid 10, dan kedalaman gerusan (d_s) rata-rata yang terjadi pada debit Q_3 dengan menggunakan brinjong sama dengan panjang kolam olakan yaitu = -3,05 cm.

2. Hasil Perhitungan Kolam Olak Type USBR III

a) Perhitungan Angka Froude (Fr).

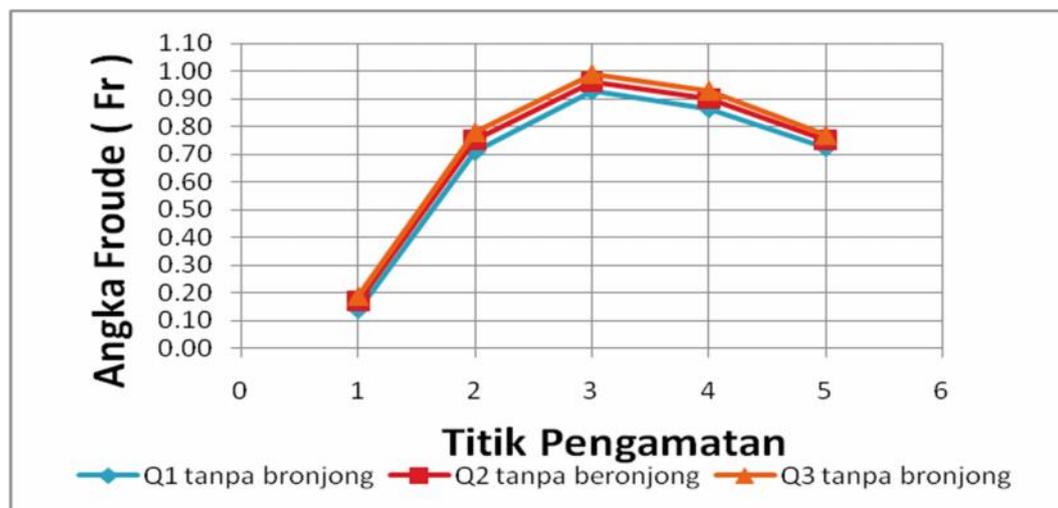
Angka Froude (Fr) didefinisikan sebagai kecepatan rata-rata dibagi akar dari gravitasi dan kedalaman air. Yang bertujuan untuk mengetahui dan menetapkan jenis aliran yang terjadi dalam saluran pada saat proses pengaliran.

Hasil perhitungan angka Froude (Fr) pada bagian debit dan waktu yang digunakan dalam penelitian dapat dilihat pada tabel berikut :

Tabel 13. Hasil Perhitungan Angka Froude (Fr) model kolam olakan tipe USBR III.

| No Titik | Debit Aliran (Q) | t = 10 menit | | t = 15 menit | | t = 20 menit | |
|-----------|--------------------|------------------------|-----------------|------------------------|-----------------|------------------------|-----------------|
| | | V ₁ (m/det) | Fr ₁ | V ₂ (m/det) | Fr ₂ | V ₃ (m/det) | Fr ₃ |
| 1 | Q1 | 0.12 | 0.12 | 0.14 | 0.14 | 0.14 | 0.14 |
| 2 | | 0.62 | 0.75 | 0.52 | 0.61 | 0.62 | 0.71 |
| 3 | | 0.64 | 0.86 | 0.56 | 0.77 | 0.76 | 0.93 |
| 4 | | 0.52 | 0.83 | 0.48 | 0.67 | 0.60 | 0.87 |
| 5 | | 0.44 | 0.61 | 0.42 | 0.58 | 0.54 | 0.72 |
| 1 | Q2 | 0.12 | 0.12 | 0.14 | 0.14 | 0.16 | 0.17 |
| 2 | | 0.62 | 0.64 | 0.64 | 0.66 | 0.64 | 0.75 |
| 3 | | 0.66 | 0.79 | 0.62 | 0.75 | 0.62 | 0.96 |
| 4 | | 0.54 | 0.71 | 0.56 | 0.75 | 0.54 | 0.90 |
| 5 | | 0.46 | 0.63 | 0.48 | 0.69 | 0.52 | 0.75 |
| 1 | Q3 | 0.14 | 0.13 | 0.18 | 0.17 | 0.18 | 0.19 |
| 2 | | 0.64 | 0.66 | 0.66 | 0.69 | 0.64 | 0.78 |
| 3 | | 0.66 | 0.79 | 0.64 | 0.75 | 0.64 | 0.99 |
| 4 | | 0.56 | 0.78 | 0.62 | 0.81 | 0.58 | 0.93 |
| 5 | | 0.52 | 0.67 | 0.54 | 0.70 | 0.54 | 0.77 |
| rata-rata | | 0.48 | 0.61 | 0.68 | 0.82 | 0.51 | 0.70 |

Sumber : Hasil Perhitungan



Gambar 23: Hubungan Antara Titik Pengamatan dan Angka Froude (Fr) untuk Debit Pertama (Q1), debit kedua (Q2) dan debit ketiga (Q3) tanpa bronjong.

Dari hasil pengamatan untuk Q1 kecepatan aliran pada titik pengamatan 1 cenderung kecil sehingga aliran yang terjadi adalah aliran subkritis, setelah melewati titik pengamatan 1 kecepatan aliran bertambah besar sehingga kecepatan aliran menjadi aliran kritis. Dan hasil analisis untuk angka Froude (Fr) pada pengamatan untuk Q1 dapat diketahui bahwa angka Froude (Fr) yang paling besar yaitu 0,97 terdapat pada $t = 20$ menit, dengan kecepatan 0,76 m/detik dan tinggi muka air (H) = 0,06 m. Dapat disimpulkan bahwa aliran yang terjadi pada pengamatan Q1 adalah aliran subkritis menjadi aliran superkritis dan besar kecepatan aliran bukan faktor utama penentu besarnya angka Froude (Fr) karena apabila semakin besar kecepatan aliran dan semakin rendah tinggi muka air maka angka Froude (Fr) semakin besar.

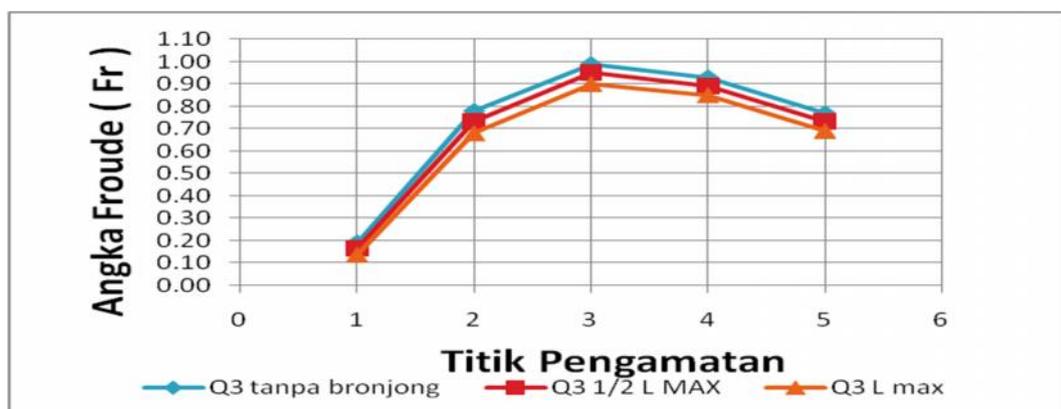
Dari hasil pengamatan untuk Q2 kecepatan aliran pada titik pengamatan 1 cenderung kecil sehingga aliran yang terjadi adalah aliran subkritis setelah melewati titik pengamatan 1 kecepatan aliran bertambah besar sehingga kecepatan

aliran mendekati aliran kritis. Dan hasil analisis untuk angka froude (Fr) pada pengamatan untuk Q2 dapat diketahui bahwa angka froude (Fr) yang paling besar yaitu 0,79 terdapat pada $t = 10$ menit, dengan kecepatan (V) = 0,66 m/detik dan tinggi muka air (H) = 0,07 m. Dapat disimpulkan bahwa aliran yang terjadi pada pengamatan Q2 adalah aliran superkritis, dan besar kecepatan aliran bukanlah faktor utama penentu besarnya angka froude (Fr) karena apabila semakin besar kecepatan aliran dan semakin tinggi muka air maka angka froude (Fr) semakin besar.

Tabel 14. Hasil Perhitungan Angka Froude (Fr) model kolam olakan tipe USBR III.

| No Titik | Debit Aliran (Q) | t = 10 menit | | t = 15 menit | | t = 20 menit | |
|-----------|----------------------|---------------|--------|---------------|--------|---------------|--------|
| | | V_1 (m/det) | Fr_1 | V_2 (m/det) | Fr_2 | V_3 (m/det) | Fr_3 |
| 1 | Q3 | 0.14 | 0.13 | 0.18 | 0.17 | 0.18 | 0.19 |
| 2 | | 0.64 | 0.66 | 0.66 | 0.69 | 0.64 | 0.78 |
| 3 | | 0.66 | 0.79 | 0.64 | 0.75 | 0.64 | 0.99 |
| 4 | | 0.56 | 0.78 | 0.62 | 0.81 | 0.58 | 0.93 |
| 5 | | 0.52 | 0.67 | 0.54 | 0.70 | 0.54 | 0.77 |
| 1 | Q3 | 0.12 | 0.13 | 0.16 | 0.17 | 0.16 | 0.17 |
| 2 | | 0.56 | 0.61 | 0.60 | 0.65 | 0.64 | 0.73 |
| 3 | | 0.60 | 0.72 | 0.62 | 0.75 | 0.62 | 0.95 |
| 4 | | 0.54 | 0.66 | 0.56 | 0.67 | 0.60 | 0.89 |
| 5 | | 0.46 | 0.57 | 0.48 | 0.59 | 0.52 | 0.73 |
| 1 | Q3 | 0.10 | 0.12 | 0.14 | 0.16 | 0.12 | 0.14 |
| 2 | | 0.54 | 0.60 | 0.58 | 0.61 | 0.60 | 0.68 |
| 3 | | 0.58 | 0.68 | 0.60 | 0.72 | 0.60 | 0.90 |
| 4 | | 0.52 | 0.63 | 0.56 | 0.68 | 0.56 | 0.85 |
| 5 | | 0.44 | 0.55 | 0.48 | 0.56 | 0.50 | 0.69 |
| rata-rata | | 0.47 | 0.55 | 0.49 | 0.58 | 0.50 | 0.69 |

Sumber : Hasil Perhitungan



Gambar 24: Hubungan antara titik pengamatan dan angka froude (Fr) untuk debit ketiga ($Q3$).

Dari hasil pengamatan untuk Q3 kecepatan aliran pada titik pengamatan 1 cenderung kecil sehingga aliran yang terjadi adalah aliran subkritis setelah melewati titik pengamatan 1 kecepatan aliran bertambah besar sehingga kecepatan aliran mendekati aliran kritis. Dan hasil analisis untuk angka froude (Fr) pada pengamatan untuk Q3 dapat diketahui bahwa angka froude (Fr) yang paling besar yaitu 0,81 terdapat pada $t = 15$ menit, dengan kecepatan (V) = 0,62 m/detik dan tinggi muka air (H) = 0,06 m. Dapat disimpulkan bahwa aliran yang terjadi pada pengamatan Q3 adalah aliran superkritis, dan besar kecepatan aliran bukanlah faktor utama penentu besarnya angka froude (Fr) karena apabila semakin besar kecepatan aliran dan semakin tinggi muka air maka angka froude (Fr) semakin besar.

Dari hasil pengamatan untuk Q3 kecepatan aliran pada titik pengamatan 1 cenderung kecil sehingga aliran yang terjadi adalah aliran subkritis setelah melewati titik pengamatan 1 kecepatan aliran bertambah besar sehingga kecepatan aliran mendekati aliran kritis. Dan hasil analisis untuk angka froude (Fr) pada pengamatan untuk Q3 dapat diketahui bahwa angka froude (Fr) yang paling besar yaitu 0,75 terdapat pada $t = 15$ menit, dengan kecepatan (V) = 0,62 m/detik dan tinggi muka air (H) = 0,07 m. Dapat disimpulkan bahwa aliran yang terjadi pada pengamatan Q3 adalah aliran subkritis mendekati aliran kritis dan besar kecepatan aliran bukanlah faktor utama penentu besarnya angka froude (Fr) karena apabila semakin besar kecepatan aliran dan semakin tinggi muka air maka angka froude (Fr) semakin besar. Dari hasil pengamatan untuk Q3 kecepatan aliran pada titik pengamatan 1 cenderung kecil sehingga aliran yang terjadi adalah

airan subkritis setelah melewati titik pengamatan 1 kecepatan aliran bertambah besar sehingga kecepatan aliran mendekati aliran kritis. Dan hasil analisis untuk angka froude (Fr) pada pengamatan untuk Q3 dapat diketahui bahwa angka froude (Fr) yang paling besar yaitu 0,72 terdapat pada $t = 15$ menit, dengan kecepatan (V) = 0,60 m/detik dan tinggi muka air (H) = 0,07 m. Dapat disimpulkan bahwa aliran yang terjadi pada pengamatan Q3 adalah aliran subkritis mendekati aliran kritis dan besar kecepatan aliran bukanlah faktor utama penentu besarnya angka froude (Fr) karena apabila semakin besar kecepatan aliran dan semakin tinggi muka air maka angka froude (Fr) semakin besar.

b) Analisis Angka Reynold.

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

Hasil perhitungan angka Reynold (Re) pada berbagai debit dan waktu yang digunakan dalam penelitian dapat dilihat pada tabel berikut :

Dari hasil perhitungan jika kecepatan aliran semakin besar dan panjang karakteristik aliran juga bertambah besar maka angka Reynold akan semakin besar. Dan hasil analisis untuk angka Reynold (Re) dapat dilihat pada tabel 6 bahwa angka Reynold (Re) yang paling besar yaitu 155,02 terdapat pada $t = 20$

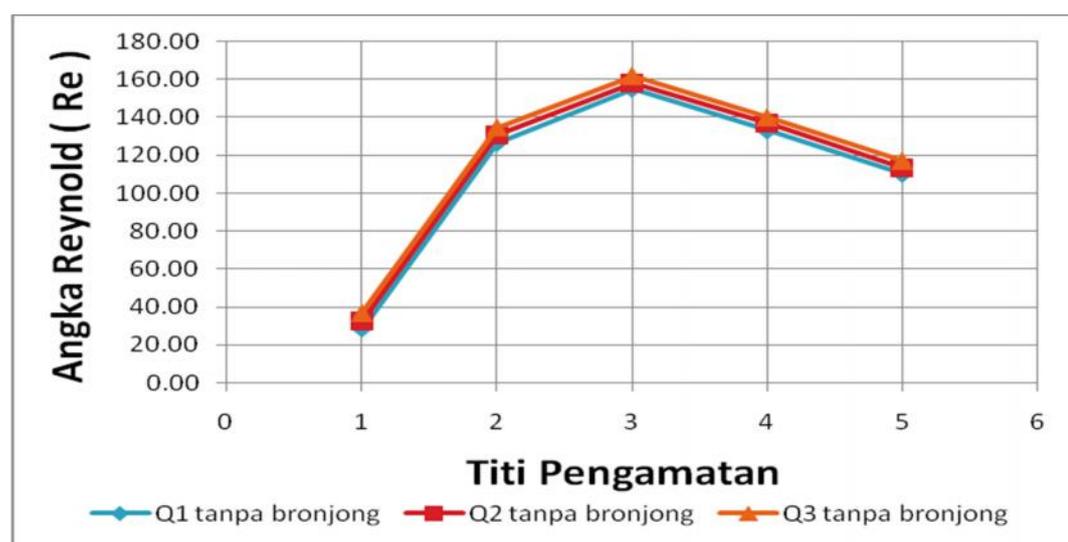
Dari hasil perhitungan jika kecepatan aliran semakin besar dan panjang karakteristik aliran juga bertambah besar maka angka Reynold akan semakin besar. Dan hasil analisis untuk angka Reynold (Re) dapat dilihat pada

tabel 6 bahwa angka Reynold (Re) yang paling besar yaitu 155,02 terdapat pada t = 20.

Tabel 15. Perhitungan Angka Reynold (Re) model kolam olakan tipe USBR III

| No Titik | Debit Aliran (Q) | t = 10 menit | | t = 15 menit | | t = 20 menit | |
|-----------|------------------|------------------------|-----------------|------------------------|-----------------|------------------------|-----------------|
| | | V ₁ (m/det) | Re ₁ | V ₂ (m/det) | Re ₂ | V ₃ (m/det) | Re ₃ |
| 1 | Q1 | 0.12 | 24.48 | 0.14 | 28.56 | 0.14 | 28.56 |
| 2 | | 0.62 | 126.46 | 0.52 | 106.07 | 0.62 | 126.46 |
| 3 | | 0.64 | 130.54 | 0.56 | 114.23 | 0.76 | 155.02 |
| 4 | | 0.52 | 106.07 | 0.48 | 97.91 | 0.60 | 133.04 |
| 5 | | 0.44 | 89.75 | 0.42 | 85.67 | 0.54 | 110.15 |
| 1 | Q2 | 0.12 | 24.48 | 0.14 | 28.56 | 0.16 | 32.64 |
| 2 | | 0.62 | 126.46 | 0.64 | 130.54 | 0.64 | 130.54 |
| 3 | | 0.66 | 134.62 | 0.62 | 126.46 | 0.62 | 158.03 |
| 4 | | 0.54 | 110.15 | 0.56 | 114.23 | 0.54 | 137.02 |
| 5 | | 0.46 | 93.83 | 0.48 | 97.91 | 0.52 | 113.15 |
| 1 | Q3 | 0.14 | 28.56 | 0.18 | 36.72 | 0.18 | 36.72 |
| 2 | | 0.64 | 130.54 | 0.66 | 134.62 | 0.64 | 134.72 |
| 3 | | 0.66 | 134.62 | 0.64 | 130.54 | 0.64 | 162.04 |
| 4 | | 0.56 | 114.23 | 0.62 | 126.46 | 0.58 | 140.02 |
| 5 | | 0.52 | 106.07 | 0.54 | 110.15 | 0.54 | 117.13 |
| rata-rata | | 0.48 | 98.72 | 0.48 | 97.91 | 0.51 | 114.35 |

Sumber: Hasil Perhitungan



Gambar 25: Hubungan antara titik pengamatan dan Angka Reynold (Re).

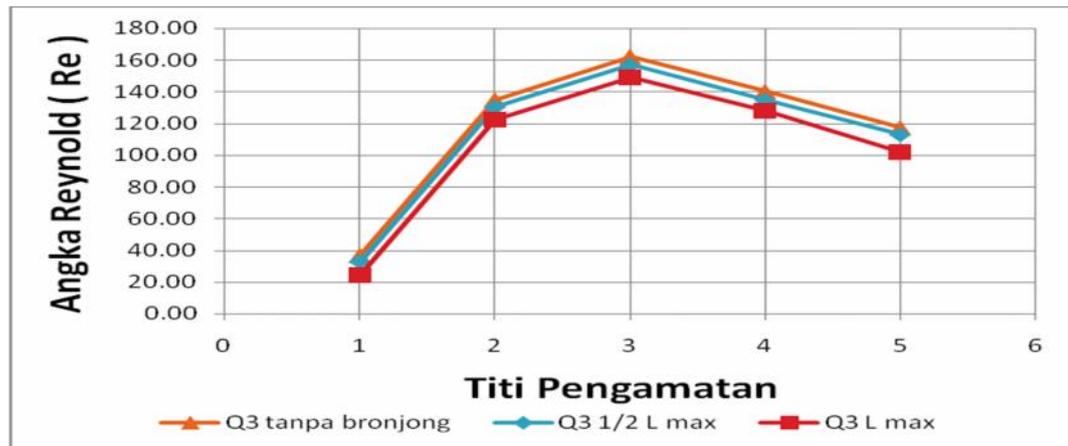
Dari hasil perhitungan jika kecepatan aliran semakin besar dan panjang karakteristik aliran juga bertambah besar maka angka Reynold akan semakin besar. Dan hasil analisis untuk angka Reynold (Re) dapat dilihat pada tabel 6 bahwa angka Reynold (Re) yang paling besar yaitu 155,02 terdapat pada $t = 20$ menit sehingga aliran yang terjadi pada pengamatan untuk Q1 adalah aliran laminar (aliran seragam).

Dari hasil perhitungan jika kecepatan aliran semakin besar dan panjang karakteristik aliran juga bertambah besar maka angka Reynold akan semakin besar. Dan hasil analisis untuk angka Reynold (Re) dapat dilihat pada tabel 7 bahwa angka Reynold (Re) yang paling besar yaitu 134,62 terdapat pada $t = 10$ menit sehingga aliran yang terjadi pada pengamatan untuk Q2 adalah aliran laminar (aliran seragam).

Tabel 16. Perhitungan Angka Reynold (Re) model kolam olakan tipe USBR I

| No Titik | Debit Aliran (Q) | t = 10 menit | | t = 15 menit | | t = 20 menit | |
|-----------|--------------------|------------------------|-----------------|------------------------|-----------------|------------------------|-----------------|
| | | V ₁ (m/det) | Re ₁ | V ₂ (m/det) | Re ₂ | V ₃ (m/det) | Re ₃ |
| 1 | Q1 | 0.14 | 28.56 | 0.18 | 36.72 | 0.18 | 36.72 |
| 2 | | 0.64 | 130.54 | 0.66 | 134.62 | 0.64 | 134.72 |
| 3 | | 0.66 | 134.62 | 0.64 | 130.54 | 0.64 | 162.04 |
| 4 | | 0.56 | 114.23 | 0.62 | 126.46 | 0.58 | 140.02 |
| 5 | | 0.52 | 106.07 | 0.54 | 110.15 | 0.54 | 117.13 |
| 1 | Q2 | 0.12 | 24.48 | 0.16 | 32.64 | 0.16 | 32.64 |
| 2 | | 0.56 | 114.23 | 0.60 | 122.38 | 0.64 | 130.54 |
| 3 | | 0.60 | 122.38 | 0.62 | 126.46 | 0.62 | 157.01 |
| 4 | | 0.54 | 110.15 | 0.56 | 114.23 | 0.60 | 135.02 |
| 5 | | 0.46 | 93.83 | 0.48 | 97.91 | 0.52 | 113.12 |
| 1 | Q3 | 0.10 | 20.40 | 0.14 | 28.56 | 0.12 | 24.48 |
| 2 | | 0.54 | 110.15 | 0.58 | 118.31 | 0.60 | 122.38 |
| 3 | | 0.58 | 118.31 | 0.60 | 122.38 | 0.60 | 149.01 |
| 4 | | 0.52 | 106.07 | 0.56 | 114.23 | 0.56 | 128.05 |
| 5 | | 0.44 | 89.75 | 0.48 | 97.91 | 0.50 | 101.99 |
| rata-rata | | 0.47 | 94.92 | 0.49 | 100.90 | 0.50 | 112.32 |

Sumber: Hasil Perhitungan



Gambar 26: Hubungan antara titik pengamatan dan Angka Reynold (Re).

Dari hasil perhitungan jika kecepatan aliran semakin besar dan panjang karakteristik aliran juga bertambah besar maka angka Reynold akan semakin besar. Dan hasil analisis untuk angka Reynold (Re) dapat dilihat pada tabel 8 bahwa angka Reynold (Re) yang paling besar yaitu 134,62 terdapat pada $t = 15$ menit sehingga aliran yang terjadi pada pengamatan untuk Q3 adalah aliran laminar (aliran seragam).

Dari hasil perhitungan jika kecepatan aliran semakin besar dan panjang karakteristik aliran juga bertambah besar maka angka Reynold akan semakin besar. Dan hasil analisis untuk angka Reynold (Re) dapat dilihat pada tabel 9 bahwa angka Reynold (Re) yang paling besar yaitu 130,54 terdapat pada $t = 20$ menit sehingga aliran yang terjadi pada pengamatan untuk Q3 adalah aliran laminar (aliran seragam).

Dari hasil perhitungan jika kecepatan aliran semakin besar dan panjang karakteristik aliran juga bertambah besar maka angka Reynold akan semakin besar. Dan hasil analisis untuk angka Reynold (Re) dapat dilihat pada tabel 10 bahwa angka Reynold (Re) yang paling besar yaitu 122,38 terdapat pada $t = 20$

menit sehingga aliran yang terjadi pada pengamatan untuk Q3 adalah aliran laminer (aliran seragam).

c) Rekapitulasi Angka Froude dan Angka Reynold.

Tabel 17. Rekapitulasi Angka Froude (Rr) dan Angka Reynold (Re) Tipe USBR III

| No | t | Q | H | V | Fr | Re | Keterangan | |
|----|-------|---------------------|------|-------|------|--------|------------|---------|
| | menit | m ³ /det | m | m/det | - | - | | |
| 1 | 10 | 0,0019 | 0,06 | 0,47 | 0,64 | 95,46 | subkritis | laminar |
| 2 | 15 | | 0,07 | 0,42 | 0,56 | 86,49 | subkritis | laminar |
| 3 | 20 | | 0,07 | 0,53 | 0,68 | 108,51 | subkritis | laminar |
| 4 | 10 | 0,003806 | 0,08 | 0,48 | 0,58 | 97,91 | subkritis | laminar |
| 5 | 15 | | 0,08 | 0,49 | 0,60 | 99,54 | subkritis | laminar |
| 6 | 20 | | 0,08 | 0,50 | 0,58 | 101,17 | subkritis | laminar |
| 7 | 10 | 0,006037 | 0,08 | 0,50 | 0,61 | 102,80 | subkritis | laminar |
| 8 | 15 | | 0,08 | 0,53 | 0,62 | 107,70 | subkritis | laminar |
| 9 | 20 | | 0,08 | 0,52 | 0,60 | 105,25 | subkritis | laminar |

Sumber: Hasil Perhitungan

Tabel 18. Rekapitulasi Angka Froude (Rr) dan Angka Reynold (Re) untuk bronjong ½ panjang kolam olakan dan bronjong panjang maksimum tipe USBR III

| No | t | Q | H | V | Fr | Re | Keterangan | |
|----|-------|---------------------|------|-------|------|--------|------------|---------|
| | menit | m ³ /det | m | m/det | - | - | | |
| 1 | 10 | 0,0060 | 0,08 | 0,46 | 0,54 | 93,01 | subkritis | laminar |
| 2 | 15 | | 0,08 | 0,48 | 0,57 | 98,72 | subkritis | laminar |
| 3 | 20 | | 0,08 | 0,51 | 0,59 | 103,62 | subkritis | laminar |
| 4 | 10 | 0,0060 | 0,07 | 0,44 | 0,51 | 88,93 | subkritis | laminar |
| 5 | 15 | | 0,08 | 0,47 | 0,55 | 96,28 | subkritis | laminar |
| 6 | 20 | | 0,08 | 0,48 | 0,55 | 97,09 | subkritis | laminar |

Sumber: Hasil Perhitungan

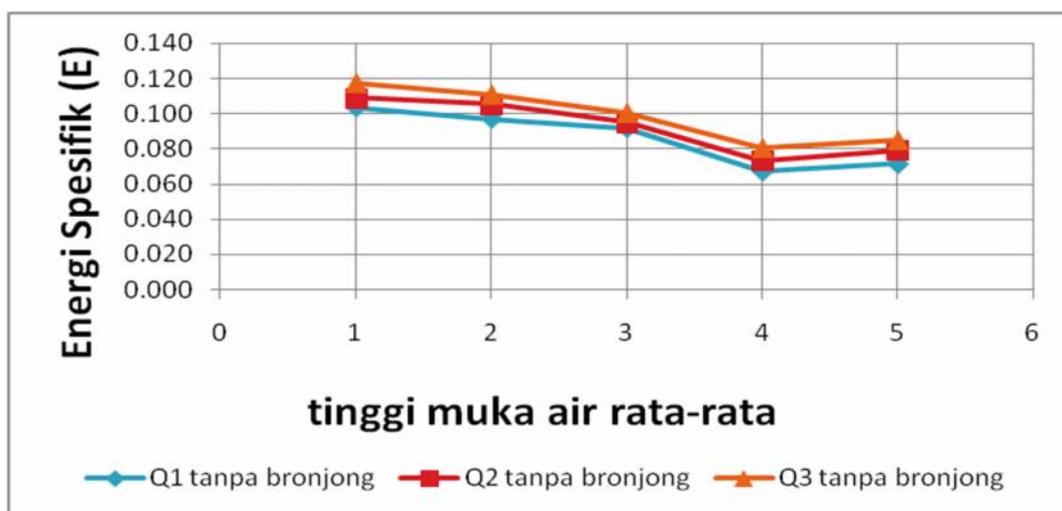
d) Analisis Energi Spesifik

Energi spesifik adalah energi relatif terhadap dasar saluran. Hasil perhitungan Energi Spesifik (E) pada berbagai debit dan waktu yang digunakan dalam penelitian dapat dilihat pada tabel berikut :

Tabel 19. Perhitungan energi spesifik tipe USBR III

| No Titik | Debit Aliran (Q) | Jarak Pengamata | Tinggi muka Air | | | Energi Spesifik | | |
|----------|--------------------|-----------------|-----------------|----------|----------|-----------------|----------|----------|
| | | | Waktu | | | Waktu | | |
| | | | 10 menit | 15 menit | 20 menit | 10 menit | 15 menit | 20 menit |
| 1 | Q1 | 0.05 | 0.097 | 0.098 | 0.103 | 0.097 | 0.099 | 0.104 |
| 2 | | 0.2 | 0.070 | 0.075 | 0.078 | 0.090 | 0.088 | 0.097 |
| 3 | | 0.2 | 0.057 | 0.054 | 0.062 | 0.078 | 0.070 | 0.092 |
| 4 | | 0.2 | 0.040 | 0.052 | 0.049 | 0.053 | 0.064 | 0.067 |
| 5 | | 0.2 | 0.052 | 0.053 | 0.057 | 0.062 | 0.062 | 0.071 |
| 1 | Q2 | 0.05 | 0.103 | 0.106 | 0.106 | 0.104 | 0.107 | 0.109 |
| 2 | | 0.2 | 0.094 | 0.096 | 0.103 | 0.114 | 0.117 | 0.105 |
| 3 | | 0.2 | 0.070 | 0.070 | 0.070 | 0.093 | 0.089 | 0.095 |
| 4 | | 0.2 | 0.059 | 0.056 | 0.058 | 0.073 | 0.072 | 0.073 |
| 5 | | 0.2 | 0.054 | 0.050 | 0.066 | 0.065 | 0.062 | 0.079 |
| 1 | Q3 | 0.05 | 0.111 | 0.114 | 0.116 | 0.112 | 0.115 | 0.117 |
| 2 | | 0.2 | 0.095 | 0.092 | 0.090 | 0.115 | 0.114 | 0.111 |
| 3 | | 0.2 | 0.071 | 0.075 | 0.080 | 0.093 | 0.096 | 0.100 |
| 4 | | 0.2 | 0.053 | 0.060 | 0.063 | 0.069 | 0.080 | 0.081 |
| 5 | | 0.2 | 0.062 | 0.061 | 0.063 | 0.076 | 0.076 | 0.085 |

Sumber: Hasil Perhitungan



Gambar 27: Hubungan antara titik pengamatan dan energi spesifik

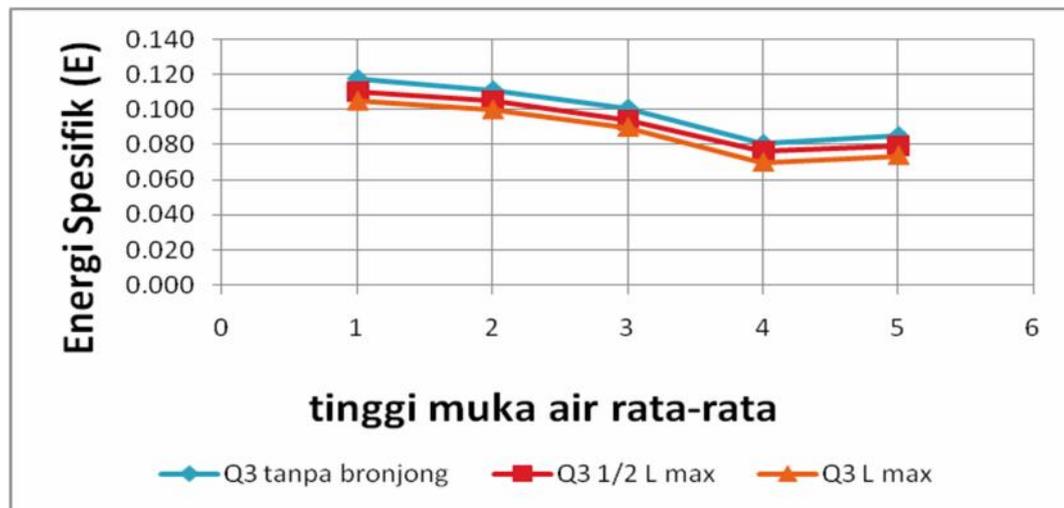
Dari hasil analisis apabila semakin tinggi muka air dan semakin besar pula kecepatan aliran, maka energi spesifiknya akan semakin besar. Energi spesifik yang paling besar yaitu 0,1036 terdapat pada $t = 20$ menit dengan tinggi muka air (H) = 0,103 m dan kecepatan (V) = 0,140 m/det, tinggi muka air yang terbesar yaitu 0,103 m terdapat pada $t = 20$ menit. Dari hasil pengamatan Q1 dapat disimpulkan bahwa tinggi muka air bukanlah faktor utama penentu besarnya energi spesifik.

Dari hasil analisis apabila semakin tinggi muka air dan semakin besar pula kecepatan aliran, maka energi spesifiknya akan semakin besar. Energi spesifik yang paling besar yaitu 0,1234 terdapat pada $t = 20$ menit dengan tinggi muka air (H) = 0,103 m dan kecepatan (V) = 0,640 m/det, tinggi muka air yang terbesar yaitu 0,106 m terdapat pada $t = 20$ menit. Dari hasil pengamatan Q2 dapat disimpulkan bahwa tinggi muka air bukanlah faktor utama penentu besarnya energi spesifik.

Tabel 20. Perhitungan energi spesifik tipe USBR III

| No Titik | Debit Aliran (Q) | Jarak Pengamatan | Tinggi muka Air | | | Energi Spesifik | | |
|----------|------------------|------------------|-----------------|----------|----------|-----------------|----------|----------|
| | | | Waktu | | | Waktu | | |
| | | | 10 menit | 15 menit | 20 menit | 10 menit | 15 menit | 20 menit |
| 1 | Q3 | 0.05 | 0.111 | 0.114 | 0.116 | 0.112 | 0.115 | 0.117 |
| 2 | | 0.2 | 0.095 | 0.092 | 0.090 | 0.115 | 0.114 | 0.111 |
| 3 | | 0.2 | 0.071 | 0.075 | 0.080 | 0.093 | 0.096 | 0.100 |
| 4 | | 0.2 | 0.053 | 0.060 | 0.063 | 0.069 | 0.080 | 0.081 |
| 5 | | 0.2 | 0.062 | 0.061 | 0.063 | 0.076 | 0.076 | 0.085 |
| 1 | Q3 | 0.05 | 0.089 | 0.094 | 0.095 | 0.089 | 0.096 | 0.110 |
| 2 | | 0.2 | 0.085 | 0.087 | 0.088 | 0.101 | 0.106 | 0.105 |
| 3 | | 0.2 | 0.071 | 0.069 | 0.074 | 0.089 | 0.089 | 0.094 |
| 4 | | 0.2 | 0.068 | 0.071 | 0.067 | 0.083 | 0.087 | 0.076 |
| 5 | | 0.2 | 0.067 | 0.066 | 0.065 | 0.077 | 0.078 | 0.079 |
| 1 | Q3 | 0.05 | 0.071 | 0.075 | 0.078 | 0.072 | 0.076 | 0.105 |
| 2 | | 0.2 | 0.084 | 0.091 | 0.088 | 0.099 | 0.108 | 0.100 |
| 3 | | 0.2 | 0.075 | 0.071 | 0.076 | 0.092 | 0.089 | 0.090 |
| 4 | | 0.2 | 0.070 | 0.068 | 0.072 | 0.084 | 0.084 | 0.070 |
| 5 | | 0.2 | 0.066 | 0.074 | 0.063 | 0.075 | 0.086 | 0.074 |

Sumber: Hasil Perhitungan



Gambar 28: Hubungan antara titik pengamatan dan energi spesifik

Dari hasil analisis apabila semakin tinggi muka air dan semakin besar pula kecepatan aliran, maka energi spesifiknya akan semakin besar. Energi spesifik yang paling besar yaitu 0,1175 terdapat pada $t = 20$ menit dengan tinggi muka air (H) = 0,116 m dan kecepatan (V) = 0,180 m/det, tinggi muka air yang terbesar yaitu 0,116 m terdapat pada $t = 20$ menit. Dari hasil pengamatan Q3 dapat disimpulkan bahwa tinggi muka air bukanlah faktor utama penentu besarnya energi spesifik.

Dari hasil analisis apabila semakin tinggi muka air dan semakin besar pula kecepatan aliran, maka energi spesifiknya akan semakin besar. Energi spesifik yang paling besar yaitu 0,1091 terdapat pada $t = 20$ menit dengan tinggi muka air (H) = 0,088 m dan kecepatan (V) = 0,640 m/det, tinggi muka air yang terbesar yaitu 0,095 m terdapat pada $t = 20$ menit. Dari hasil pengamatan ini dapat disimpulkan bahwa tinggi muka air bukanlah faktor utama penentu besarnya energi spesifik. Dari hasil analisis apabila semakin tinggi muka air dan semakin besar pula kecepatan aliran, maka energi spesifiknya akan semakin besar. Energi

spesifik yang paling besar yaitu 0,1079 terdapat pada $t = 15$ menit dengan tinggi muka air (H) = 0,091 m dan kecepatan (V) = 0,580 m/det, tinggi muka air yang terbesar yaitu 0,091 m terdapat pada $t = 15$ menit.

e) Analisis Kedalaman Gerusan Dengan Variasi Debit, Waktu Dan Bronjong.

Penelitian ini dilakukan di laboratorium Universitas Muhammadiyah Makassar dan penelitian ini dibagi menjadi dua running yaitu running pertama tanpa menggunakan bronjong dengan Q1, Q2 dan Q3 dengan variasi waktu yaitu 10, 15 dan 20 menit, kemudian pada running kedua dengan menggunakan bronjong $\frac{1}{2}$ panjang kolam olakan dan panjang maksimum kolam olakan dengan menggunakan debit konstan (Q3) dengan variasi waktu 10, 15 dan 20 menit.

Pada running pertama dilakukan untuk mengetahui variabel-variabel yang mempengaruhi gerusan seperti kecepatan aliran (V), angka Froude (Fr), angka Reynold (Re), tinggi muka air (H) dan energi spesifik (E), cara mengamati kedalaman gerusan yaitu dengan mencatat kedalaman gerusan yang ada pada titik pengamatan sesuai debit dan waktu yang telah ditentukan misalnya, untuk Q3 digunakan variasi waktu yaitu 10, 15 dan 20 menit tanpa menggunakan bronjong dan menggunakan bronjong $\frac{1}{2}$ panjang kolam olakan dan panjang maksimum kolam olakan. Pada running pertama dilakukan untuk mengetahui variabel-variabel yang mempengaruhi gerusan seperti kecepatan aliran (V), angka Froude (Fr), angka Reynold (Re), tinggi muka air (H) dan energi spesifik (E), cara mengamati kedalaman gerusan yaitu dengan mencatat kedalaman gerusan yang ada pada titik pengamatan sesuai debit dan waktu yang telah ditentukan misalnya, untuk Q3 digunakan variasi waktu yaitu 10, 15 dan 20 menit.

Tabel 21. Rata-Rata Kedalaman Gerusan yang terjadi pada (Q3) dan waktu yang bervariasi tanpa beronjong tipe USBR III.

| no titik | Potongan Vertikal | titik pengamatan | | | | | | rata-rata |
|----------|-------------------|---------------------|------|------|------|------|------|--------------------------|
| | | Potongan horisontal | | | | | | Kedalaman Gerusan (cm) |
| | | 1 | 2 | 3 | 4 | 5 | 6 | |
| 1 | 1 | -9.2 | -8.3 | -8.5 | -9.5 | -9 | -7.5 | -8.67 |
| 2 | 2 | -8.7 | -7.9 | -7.9 | -7.8 | -7.7 | -7.2 | -7.87 |
| 3 | 3 | -7.9 | -7.1 | -7 | -7.4 | -6.2 | -6.5 | -7.02 |
| 4 | 4 | -6.4 | -6.9 | -5.9 | -4.6 | -5.7 | -5.8 | -5.88 |
| 5 | 5 | -4.6 | -4.2 | -3.9 | -3.5 | -3.4 | -2.6 | -4.70 |
| 6 | 6 | -2.4 | -1.8 | -2.3 | -2.3 | -2.1 | -0.9 | -4.60 |
| 7 | 7 | -3.1 | -1.8 | -2.7 | -2 | -1.2 | -2.2 | -4.53 |
| 8 | 8 | -4.1 | -1.7 | -1.9 | -2.2 | -1.4 | -2.3 | -4.48 |
| 9 | 9 | -3.9 | -1.8 | -1.1 | -1.8 | -1.6 | -2.4 | -4.45 |
| 10 | 10 | -3.5 | -1.7 | -1 | -2 | -1.7 | -2.2 | -4.49 |
| 11 | 11 | -3 | -1 | -1.1 | -1.4 | -1.9 | -2.6 | -4.40 |
| 12 | 12 | -2.4 | -0.4 | -0.3 | 0.8 | -2.3 | -2.1 | -4.30 |
| 13 | 13 | -2.5 | -1.7 | -0.9 | -1.1 | -1.7 | -2.6 | -4.10 |
| 14 | 14 | -3.1 | -1.8 | -0.3 | -1 | -1.7 | -3.2 | -4.04 |
| 15 | 15 | -3.3 | -1.9 | -1.2 | -1.6 | -2.4 | -3.5 | -3.97 |
| 16 | 16 | -3 | -2 | -1.5 | -1.3 | -2.3 | -3.3 | -3.93 |

Sumber: Data Pengamatan

Dari gambar 27 dapat dilihat bahwa kedalaman gerusan (d_s) yang terbesar yaitu -9,5 cm terdapat pada titik pengamatan 4 dan kedalaman gerusan (d_s) yang terkecil yaitu -0,3 yang terdapat pada titik pengamatan 3.

Dari tabel 18 dapat dilihat bahwa kedalaman gerusan (d_s) rata-rata terbesar yaitu -8,67 cm yang terdapat pada grid 1 dan kedalaman gerusan yang terkecil yaitu -1,12 cm terdapat pada grid 12, dan kedalaman gerusan (d_s) rata-rata pada debit Q_3 tanpa menggunakan beronjong = -3,42 cm.

Untuk hasil perhitungan Q_1 dan Q_2 dapat dilihat pada lampiran.

Tabel 22. Rata-Rata Kedalaman Gerusan yang ada pada titik pengamatan pada (Q_3) dan waktu yang bervariasi dengan beronjong $\frac{1}{2}$ panjang kolam olakan tipe USBR III.

| no titik | Potongan Vertikal | titik pengamatan | | | | | | rata-rata |
|----------|-------------------|---------------------|------|------|------|------|------|--------------------------|
| | | Potongan horisontal | | | | | | Kedalaman Gerusan (cm) |
| | | 1 | 2 | 3 | 4 | 5 | 6 | |
| 1 | 1 | -6.7 | -5.8 | -6.1 | -6 | -6.1 | -6.6 | -6.22 |
| 2 | 2 | -5.8 | -4.3 | -4.3 | -4.2 | -4.2 | -4.9 | -5.52 |
| 3 | 3 | -4.4 | -2.4 | -3.8 | -3.2 | -3.2 | -4.4 | -4.54 |
| 4 | 4 | -4.3 | -3.9 | -3.4 | -2.6 | -4.1 | -4 | -3.72 |
| 5 | 5 | -4.4 | -3.3 | -2.8 | -2.3 | -2.8 | -3 | -3.52 |
| 6 | 6 | -3.5 | -0.8 | -1.8 | -2.3 | -2.5 | -2.2 | -3.60 |
| 7 | 7 | -3.6 | -1.6 | -3.4 | -2.2 | -2.6 | -4.8 | -3.54 |
| 8 | 8 | -3.9 | -1.7 | -2.3 | -3.4 | -2.7 | -3.7 | -3.32 |
| 9 | 9 | -3 | -1.8 | -0.6 | -2.7 | -2.4 | -4.1 | -3.55 |
| 10 | 10 | -3.2 | -2.6 | -1.9 | -2.6 | -2.6 | -3.5 | -3.62 |
| 11 | 11 | -2.6 | -1.9 | -1.8 | -2.4 | -2.6 | -2.7 | -3.53 |
| 12 | 12 | -4.4 | -2.1 | -1.9 | 0.2 | -1.9 | -3.4 | -3.35 |
| 13 | 13 | -2.9 | -2.6 | -2.8 | -1.8 | -2.7 | -3.3 | -3.45 |
| 14 | 14 | -2.8 | -2 | -1.5 | -2.7 | -3.2 | -4.1 | -3.40 |
| 15 | 15 | -3.5 | -2.2 | -3.4 | -2.7 | -3.8 | -4.2 | -3.30 |
| 16 | 16 | -3.1 | -2.7 | -2.2 | -2.9 | -2.3 | -3.3 | -3.35 |

Sumber: Data Pengamatan

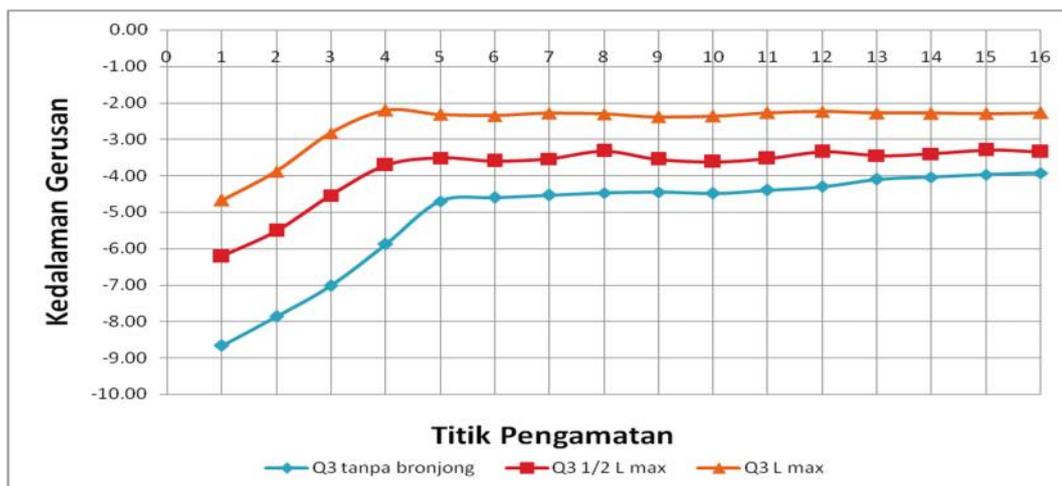
Dari gambar 28 dapat dilihat bahwa kedalaman gerusan (d_s) yang terbesar yaitu -6,7 cm terdapat pada titik pengamatan 1 dan kedalaman gerusan (d_s) yang terkecil yaitu -0,2 yang terdapat pada titik pengamatan 4.

Dari tabel 19 dapat dilihat bahwa kedalaman gerusan (d_s) rata-rata terbesar yaitu -6,22 cm yang terdapat pada grid 1 dan kedalaman gerusan yang terkecil yaitu -2,18 cm terdapat pada grid 6, dan kedalaman gerusan (d_s) rata-rata yang terjadi pada debit Q_3 dengan menggunakan brinjong $\frac{1}{2}$ panjang kolam olakan yaitu = -3,16 cm. Dari tabel 19 dapat dilihat bahwa kedalaman gerusan (d_s) rata-rata terbesar yaitu -6,22 cm yang terdapat pada grid 1 dan kedalaman gerusan yang terkecil yaitu -2,18 cm terdapat pada grid 6, dan kedalaman gerusan (d_s) rata-rata yang terjadi pada debit Q_3 dengan menggunakan brinjong $\frac{1}{2}$.

Tabel 23. Rata-Rata Kedalaman Gerusan yang ada pada titik pengamatan pada (Q₃) dan waktu yang bervariasi dengan beronjong sama dengan panjang kolam olakan tipe USBR III.

| no titik | Potongan Vertikal | titik pengamatan | | | | | | rata-rata Kedalaman Gerusan (cm) |
|----------|-------------------|---------------------|------|------|------|------|------|-------------------------------------|
| | | Potongan horisontal | | | | | | |
| | | 1 | 2 | 3 | 4 | 5 | 6 | |
| 1 | 1 | -6.4 | -4.2 | -4.2 | -4.5 | -3.2 | -5.5 | -4.67 |
| 2 | 2 | -5.9 | -5.3 | -3.4 | -2.6 | -2.4 | -3.7 | -3.88 |
| 3 | 3 | -4.1 | -4 | -1.9 | -1.9 | -1.7 | -3.4 | -2.83 |
| 4 | 4 | -4.7 | -1.1 | -2.3 | -0.6 | -1.1 | -3.4 | -2.20 |
| 5 | 5 | -4.8 | -3.1 | -3.1 | -1.9 | -2.6 | -3.2 | -2.32 |
| 6 | 6 | -3.9 | -4.4 | -1.9 | -4.1 | -2.3 | -3.6 | -2.35 |
| 7 | 7 | -4 | -4.3 | -1.7 | -1.4 | -2.6 | -2.5 | -2.28 |
| 8 | 8 | -2.9 | -4.3 | -2.3 | -2.8 | -1.9 | -2.5 | -2.31 |
| 9 | 9 | -3.1 | -2.8 | -2 | -1.9 | -2.5 | -2.6 | -2.39 |
| 10 | 10 | -3.3 | -2.8 | -2.1 | 0.6 | -1.8 | -2.4 | -2.36 |
| 11 | 11 | -3.1 | -3.9 | -2.7 | -1.5 | -2.8 | -3.6 | -2.27 |
| 12 | 12 | -2.7 | -3.1 | -1.9 | -1.3 | -4 | -3.4 | -2.24 |
| 13 | 13 | -3 | -3.4 | -2.6 | -2.6 | -2 | -2.6 | -2.28 |
| 14 | 14 | -2.7 | -3.3 | -3.5 | -2.3 | -2.4 | -1.9 | -2.29 |
| 15 | 15 | -1.3 | -2.3 | -3.2 | -2.6 | -1.7 | -1.5 | -2.30 |
| 16 | 16 | -2.5 | -3.6 | -2.9 | -3.5 | -1.3 | -0.8 | -2.27 |

Sumber: Data Pengamatan



Gambar 29: Kedalaman gerusan rata-rata pada (Q₃) dan waktu yang bervariasi tanpa bronjong, dengan bronjong $\frac{1}{2}$ L max dan bronjong sama dengan panjang kolam olakan.

Dari gambar 29 dapat dilihat bahwa kedalaman gerusan (d_s) yang terbesar yaitu -6,4 cm terdapat pada titik pengamatan 1 dan kedalaman gerusan (d_s) yang terkecil yaitu -0,6 yang terdapat pada titik pengamatan 4.

Dari tabel 20 dapat dilihat bahwa kedalaman gerusan (d_s) rata-rata terbesar yaitu -4,67 cm yang terdapat pada grid 1 dan kedalaman gerusan yang terkecil yaitu -1,97 cm terdapat pada grid 10, dan kedalaman gerusan (d_s) rata-rata yang terjadi pada debit Q_3 dengan menggunakan brinjong sama dengan panjang kolam olakan yaitu = -2,85 cm.

BABV

PENUTUP

A. Kesimpulan

Berdasarkan hasil penelitian yang telah dilakukan, maka dapat disimpulkan bahwa :

1. Berdasarkan hasil pengamatan pada bending tipe USBR II dan bending tipe USBR III, sifat aliran yang terjadi pada setiap pengamatan adalah aliran subkritis dan aliran superkritis. Berdasarkan hasil pengamatan karakteristik aliran yang terjadi adalah aliran laminar (aliranseragam)
2. Berdasarkan hasil pengamatan kedalaman gerusan terbesar tanpa menggunakan bronjong terjadi pada kolam olakan tipe USBR II, dengan rata-rata kedalaman gerusan $Q3 = -3,62$. Berdasarkan hasil pengamatan kedalaman gerusan terbesar dengan menggunakan bronjong terjadi pada kolam olakan tipe USBR II, dengan rata-rata kedalaman gerusan $Q3 = -3,36$.

B. Saran

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

1. Penelitian tentang pengaruh bronjong terhadap gerusan pada hilir kolam olakan ini perlu dikembangkan lagi dengan menambahkan variasi debit.

2. Untuk penelitian selanjutya titik pengambilan data (pias) harus lebih rapat dan lebih banyak agar data yang diperoleh lebih jelas dan akurat.
3. Dalam penelitian ini sebaiknya menggunakan current meter yang tingkat ketelitiannya lebih tinggi sehingga data yang dihasilkan lebih akurat.

DAFTAR PUSTAKA

- Abdurrosyid Jaji. 2009. *Studi Gerusan dan Perlindungan di Hilir Kolam Olakan Bendung Tipe USBR-I*. *Dinamika Teknik Sipil*, IX (1): 27-37.
- Abdurrosyid, Jaji. 2005. *Gerusan di Hilir Kolam Olak bending*. *Jurnal Ilmiah Jurusan Teknik Sipil Universitas Muhammadiyah Surakarta*, Surakarta.
- Anonim, 2014. *Laporan Akhir Uji Model Fisik Bendung PLTM Bantaeng-1 Kabupaten Bantaeng Provinsi Sulawesi Selatan*. Malang: jurusan Pengairan Fakultas Teknik Universitas Brawijaya.
- Bangunan Pelimpah. (By Agus Suprianto 01, 2015). *Blogspot.com*.
- Chow, Ven Te. 1992. *Hidrolika Saluran Terbuka (Open Channel Hidraulik)*. Erlangga, Jakarta.
- Maraden, Sutyas Aji. 2008. *Loncatan Air Pada Saluran Miring Terbuka Dengan Variasi Panjang Kolam Olakan*.
- Mekanika Fluida, *macam-macam aliran*. *Learning fluidmechanics.blogspot.com*.
- Maraden, Sutyas Aji. 2008. *Loncatan Air Pada Saluran Miring Terbuka Dengan Variasi Panjang Kolam Olakan*.
- Neil. C. R. 1973. *Guid to Bridge Hidraulik*. *Project Committee on bridge Hydraulik – Road and Transportation Association of Canada*, Canada.
- Pamungkas, E.J.W. *Analisis Gerusan di Hilir bendung Tipe USBR-IV*. *Jurnal Teknik Sipil dan Lingkungan* Vol.2.No.3, September 2014.
- Prastumi. *Pengaruh Variasi Tipe Peredam Energi Terhadap Karakteristik Hidrolika Saluran Pelimpah Bendung*. *Jurnal Rekayasa Sipil/ volume 3, No.2-2009 ISSN 1978-5658*.
- Pamungkas, E.J.W. *Analisis Gerusan di Hilir Bendung Tipe USBR-IV*. *Jurnal Teknik Sipil dan Lingkungan* Vol.2.No.3, September 2014.
- Raju, Ranga K. G 1986. *Aliran Melalui Saluran Terbuka*, Erlangga, Jakarta.
- Raudkivi, A.J. and Ettema, R.. 1983. *Clear – Water Scour at Cylindrical Piers*, *Journal of Hydraulic Engineering*, Vol 109. No. 3, Am. Soc. Civ. Engrs., pp. 338-350.
- Triatmodjo, Bambang, 2008. *Hidrolika II*. Beta Offset, Yogyakarta.