

**ANALISIS KEDALAMAN GERUSAN LOKAL DI HILIR KOLAM OLAK
VLUGHTER DENGAN VARIASI GRADASI SEDIMEN
(UJI LABORATORIUM)**

(SKRIPSI)

Oleh

**AKBAR DIMASTIAR
NPM 2015011011**



**FAKULTAS TEKNIK
UNIVERSITAS LAMPUNG
BANDAR LAMPUNG
2024**

ABSTRAK

ANALISIS KEDALAMAN GERUSAN LOKAL DI HILIR KOLAM OLAK VLUGHTER DENGAN VARIASI GRADASI SEDIMEN (UJI LABORATORIUM)

Oleh

AKBAR DIMASTIAR

Konstruksi bendung dibangun untuk memenuhi kebutuhan sumber pengairan agar dapat disadap ke saluran pengambilan. Agar bendung tidak rusak akibat gerusan di hilirnya diperlukan kolam olak sebagai peredam energi. Tujuan penelitian adalah menganalisis perbandingan hasil gerusan dengan beberapa variabel seperti gradasi sedimen, debit dan waktu aliran sehingga terjadi keseimbangan. Penelitian menggunakan alat simulasi gerusan yang terdapat model bendung mercu ogee dilengkapi kolam olak vluhter dengan sedimen terdiri dari dua jenis gradasi yaitu S1 dan S2. Hasil gerusan digambarkan melalui *software* Surfer untuk dianalisis.

Dengan variasi debit didapatkan nilai gerusan yang semakin besar. Debit yang besar menghasilkan gerusan yang besar pula begitupun sebaliknya. Dengan variasi sedimen gerusan bergantung pada diameter rerata butiran. Gradasi butiran S2 yang lebih kecil daripada S1 menghasilkan gerusan yang lebih besar. Sedangkan dengan variasi waktu awal pengaliran menghasilkan pertambahan gerusan yang besar. Akan tetapi pertambahan gerusan nilainya mengecil setelah dialiri selama rentang waktu tertentu. Sehingga dapat disimpulkan bahwa gerusan memiliki hubungan nonlinier terhadap waktu aliran.

Kesimpulannya adalah gradasi butiran sangat mempengaruhi hasil gerusan yang memiliki hubungan berbanding lurus dengan debit. Tetapi hasil gerusan memiliki hubungan nonlinear terhadap waktu, dimana semakin lama waktu aliran pertambahan gerusan semakin mengecil atau bahkan stagnan. Hal tersebut menandakan bahwa gerusan sudah terjadi keseimbangan (equilibrium).

Kata Kunci : Alat Simulasi Gerusan, Hasil Gerusan, Keseimbangan, dan Surfer.

ABSTRACT

ANALYSIS OF LOCAL SCOUR DEPTH DOWNSTREAM OF THE VLUGHTER STILLING BASIN WITH VARYING SEDIMENT GRADATION (LABORATORY TEST)

By

AKBAR DIMASTIAR

Weir construction is built to meet the needs of irrigation sources to be tapped into the intake channel. In order for the weir not to be damaged due to scour downstream, a stilling pond is needed as an energy reducer. The purpose of the study was to analyze the comparison of scour results with several variables such as sediment gradation, discharge and flow time so that an equilibrium occurs. The study used a scour simulation tool that contained an ogee lighthouse weir model equipped with a stilling pool with sediment consisting of two types of gradations, namely S1 and S2. The scour results are described through Surfer software to be analyzed.

With the variation of discharge, the scour value is found to be getting bigger. Large discharges produce large scour and vice versa. With sediment variations scour depends on the average diameter of the grains. S2 grain gradation which is smaller than S1 produces greater scour. While with the variation of the initial time of flowing produces a large increase in scour. However, the scour increase decreases after being flowed for a certain period of time. So it can be concluded that scour has a nonlinear relationship to flow time.

The conclusion is that grain gradation greatly affects the scour results which have directly proportional relationship with the discharge. But the scour results have a nonlinear relationship to time, where the longer the flow time the scour increase is getting smaller or stagnant. This indicates that the scour has occurred balance (equilibrium).

Keywords : Scour Simulation Tool, Scour Results, Equilibrium, and Surfer.

**ANALISIS KEDALAMAN GERUSAN LOKAL DI HILIR KOLAM OLAK
VLUGHTER DENGAN VARIASI GRADASI SEDIMEN
(UJI EKSPERIMENTAL LABORATORIUM)**

Oleh:

AKBAR DIMASTIAR

Skripsi

**Sebagai Salah Satu Syarat untuk Mencapai Gelar
SARJANA TEKNIK**

Pada

**JURUSAN TEKNIK SIPIL
Fakultas Teknik Universitas Lampung**



**FAKULTAS TEKNIK
UNIVERSITAS LAMPUNG
BANDAR LAMPUNG
2024**

Judul Skripsi : **ANALISIS KEDALAMAN GERUSAN LOKAL
DI HILIR KOLAM OLAK VLUGHTER DENGAN
VARIASI GRADASI SEDIMEN
(UJI LABORATORIUM)**

Nama Mahasiswa : **Akbar Dimastiar**

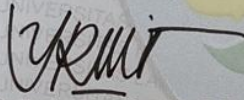
Nomor Pokok Mahasiswa : 2015011011


Program Studi : Teknik Sipil

Fakultas : Teknik



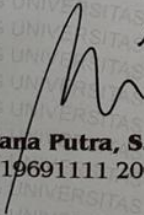
1. Komisi Pembimbing

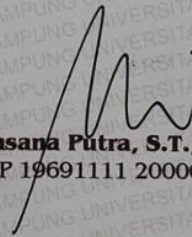

Dr. Hj. Yuda Romdanla, S.T., M.T.
NIP 19701107 200003 2 001


Dr. H. Endro Prasetyo Wahono, S.T., M.Sc.
NIP 19700129 199512 1 001

2. Ketua Jurusan Teknik Sipil

3. Penanggungjawab Program
Studi Teknik Sipil

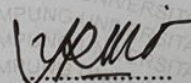

Sasana Putra, S.T., M.T.
NIP 19691111 200003 1 002


Sasana Putra, S.T., M.T.
NIP 19691111 200003 1 002

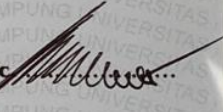
MENGESAHKAN

1. Tim Penguji

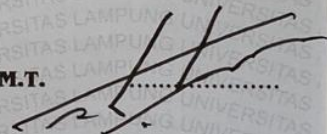
Ketua : Dr. Hj. Yuda Romdania, S.T., M.T.



Sekretaris : Dr. Ir. Endro Prasetyo Wahono, S.T., M.Sc.



**Penguji
Bukan Pembimbing : Dr. H. Ahmad Herison, S.T., M.T.**



2. Dekan Fakultas Teknik



Dr. Eng. Ir. Helmy Fitriawan, S.T., M.Sc.
NIP 19750928-200112 1 002



Tanggal Lulus Ujian Skripsi : 5 April 2024

LEMBAR PERNYATAAN

Dengan ini menyatakan sebenarnya bahwa:

1. Skripsi yang berjudul Analisis Kedalaman Gerusan Lokal pada Hilir Bendung Kolam Olak *Vlughter* dengan Variasi Gradasi Sedimen (Uji Eksperimental Laboratorium) adalah bagian dari penelitian lanjutan Mahasiswa Angkatan 2015 Jurusan Teknik Sipil Universitas Lampung yaitu Eko Adi Saputra 1515011054 berjudul Analisis Perbandingan Kedalaman Gerusan Lokal (*Local Scouring*) Di Hilir Bangunan Pelimpah (*Ogee and Stepped Spillway*) Dengan Model Fisik 2D. Akan tetapi dalam hal ini saya tidak melakukan penjiplakan atau pengutipan atas karya penulis lain dengan cara yang tidak sesuai tata etika ilmiah yang berlaku dalam masyarakat akademik atau yang disebut dengan plagiarisme.
2. Hak intelektual atas karya ilmiah tersebut diserahkan sepenuhnya kepada para dosen peneliti tersebut dan Universitas Lampung.

Atas pernyataan di atas, jika di kemudian hari ternyata ditemukan adanya ketidakbenaran, saya bersedia menanggung sanksi yang diberikan kepada saya dan saya sanggup dituntut sesuai hukum yang berlaku.

Bandar Lampung, 5 April 2024

Deklarasi Pernyataan


366F9AKX856931460
Akbar Dimastiar

RIWAYAT HIDUP



Penulis dilahirkan di Kota Pringsewu pada tanggal 26 Mei 2002. Penulis merupakan anak pertama dari Almarhum Bapak Suwarto dan Ibu Kentas Prahariawati. Penulis merupakan 2 bersaudara dengan memiliki 1 (satu) orang kakak bernama Alza Yulia Utari.

Penulis memulai pendidikan di TK Islamiyah Sukoharjo dan melanjutkan pendidikan sekolah dasar di SDN 3 Sukoharjo 3 Barat Pringsewu yang diselesaikan pada tahun 2014. Pada tahun 2017, penulis menyelesaikan pendidikan Sekolah Menengah Pertama di SMPN 1 Pringsewu dan melanjutkan Sekolah Menengah Atas di SMAN 1 Pringsewu yang diselesaikan pada tahun 2020. Penulis diterima sebagai mahasiswa Jurusan Teknik Sipil, Universitas Lampung pada tahun 2020.

Pada Juni 2023, penulis mengikuti Kerja Praktik pada Proyek Pembangunan Gedung Radioterapi Rumah Sakit Urip Sumoharjo Bandar Lampung. Sedangkan pada Januari – Februari 2023, penulis mengikuti Kuliah Kerja Nyata di Desa Bhakti Negara, Pakuan Ratu, Kabupaten Way Kanan. Penulis telah menyelesaikan tugas akhir penelitian dengan judul Analisis Kedalaman Gerusan Lokal di Hilir Bendung Kolam Olak *Vlughter* dengan Variasi Gradasi Sedimen (Uji Eksperimental Laboratorium). Selama menjadi mahasiswa, penulis juga aktif dalam Himpunan Mahasiswa Teknik Sipil (HIMATEKS) Universitas Lampung sebagai Kepala Departemen Usaha dan Karya dengan periode kepengurusan tahun 2022/2023.

PERSEMBAHAN

Alhamdulillahhirabbilalamin, Kuucapkan Syukur atas Karunia-Mu. Akhirnya saya dapat menyelesaikan karya yang semoga menjadikanku insan yang berguna, bermanfaat, dan bermartabat.

Aku Persembahkan karya sederhana ini Untuk Kedua orang tuaku yang sangat aku cintai. Untuk almarhum bapak dan ibuku yang telah merawat dan memberikan dukungan materi serta moril dan spiritual. Terimakasih untuk kesabarannya dalam membimbing dan memberikan arahan serta nasihat yang berguna.

Untuk kakak perempuanku yang selalu mensupport dan bersabar selama masa kuliah aku. Untuk sahabat-sahabatku yang telah mendukungku dan telah menjadi tempat untuk berbagi cerita dan tempat berkeluh kesah. Terima kasih untuk abang, mbak, dan adik-adik lingkungan Teknik Sipil Unila yang selalu ada di tiap harinya menemani waktu kuliah. Untuk para dosen yang tak hentinya memberikan ilmu pengetahuan, arahan serta bimbingannya. Terima kasih untuk teman-teman keluarga besar serta sahabatku angkatan 2020 atas dukungannya dalam proses yang sangat panjang ini. Menemani perjalanan kuliah dari awal hingga akhir studi. Banyak kenangan yang telah kita lalui bersama. Dan untuk mahasiswa lainnya khususnya Jurusan Teknik Sipil yang sedang mengalami proses ini untuk tetap optimis dan semangat dalam mengerjakan skripsi agar dapat membangun nusa bangsa dan menjadi generasi muda yang berpendidikan.

MOTTO

“Dan kehidupan dunia ini tidak lain hanyalah kesenangan dunia yang menipu.”

(Q.S. Al – Hadid: 20)

“Waktu bagaikan pedang. Jika tidak memanfaatkannya dengan baik, maka ia akan memanfaatkanmu.”

(HR Muslim)

**“Fortis Fortina Adiuvat
(Keberuntungan berpihak pada yang berani.)”**

(John Wick)

“Seseorang yang berani membuang satu jam waktunya, ia tidak mengetahui nilai dari kehidupan.”

(Charles Darwin)

SANWACANA

Atas berkat rahmat hidayat Allah S.W.T. dengan mengucapkan puja – puji syukur Alhamdulillah, penulis mampu menyelesaikan skripsi yang berjudul “Analisis Kedalaman Gerusan Lokal pada Hilir Bendung Kolam Olak *Vlughter* dengan Variasi Gradasi Sedimen (Uji Eksperimental Laboratorium)” sebagai salah satu syarat dalam mendapatkan gelar Sarjana Teknik Sipil di Universitas Lampung. Diharapkan dengan terselesainya skripsi ini, penulis mampu memberikan hasil mengenai kedalaman gerusan lokal pada hilir bendung sebagai referensi dan pengembangan ilmu pengetahuan di bidang hidroteknik. Pada penyusunan laporan, penulis mendapatkan banyak bantuan, dukungan, bimbingan, dan pengarahan dari berbagai pihak. Oleh karena itu, penulis mengucapkan banyak terima kasih kepada:

1. Prof. Dr. Ir. Lusmeilia Afriani, D.E.A., I.P.M, selaku Rektor Universitas Lampung sekaligus Dosen Teknik Sipil.
2. Dr. Eng. Helmy Fitriawan, S.T., M.Sc., selaku Dekan Fakultas Teknik, Universitas Lampung.
3. Sasana Putra, S.T., M.T., selaku Ketua Jurusan Teknik Sipil, Fakultas Teknik, Universitas Lampung.
4. Dr. Hj. Yuda Romdania, S.T., M.T., selaku Sekretaris Jurusan Teknik Sipil sekaligus Dosen Pembimbing Utama yang sudah meluangkan waktunya dalam memberikan bimbingan dan pengarahan dalam proses penyelesaian skripsi.
5. Dr. Ir. Endro Prasetyo Wahono, S.T., M.Sc., selaku Dosen Pembimbing Kedua yang sudah meluangkan waktunya dalam memberikan arahan, bimbingan, dan dukungannya dalam proses penyelesaian skripsi.
6. Dr. H. Ahmad Herison, S.T., M.T., selaku Dosen Penguji atas kesediaan waktunya dalam memberikan kritik, saran, dan masukan yang diberikan dalam proses penyelesaian skripsi.

7. Ashruri, S.T., M.T., selaku Dosen Pembimbing Akademik atas bimbingan dan pengarahan selama masa perkuliahan.
8. Seluruh Dosen Jurusan Teknik Sipil yang sudah memberikan ilmu dan wawasan yang bermanfaat dalam proses pembelajaran agar lebih baik kedepannya.
9. Seluruh staf dari Laboratorium Hidroteknik dan Laboratorium Bahan Konstruksi yang sudah memberikan fasilitas sarana prasarana dalam menunjang penelitian.
10. Kedua orang tuaku tercinta, Alm. Suwarto dan Kentas Prahariawati, serta keluarga besar dan kakakku yang sudah memberikan dorongan materil dan spiritual dalam menyelesaikan skripsi.
11. Ulfi Nurhasanah, pacarku tercinta yang selalu menemani dan menyemangati saya sejak tahun 2018, sekarang, dan masa yang akan datang.
12. Kosan Kentel, AKP, dan Keluarga Cemara yang selalu ada di lingkunganku dalam memberikan semangat dan motivasi dalam proses menyelesaikan skripsi.
13. Anisa Meidasari selaku teman kuliah yang siap membantu jika ada kesusahan, M. Khoirul Fikri selaku teman seperjuangan mengerjakan skripsi dan jurnal, Wijoyo Mensen selaku teman angkatan yang selalu siap membantu dalam proses penelitian dan Anugrah Ramos Imanuel selaku teman seperjuangan penelitian. Terima kasih atas bantuan dan kerja samanya selama menjalankan perkuliahan.
14. Keluarga besar angkatan 2020 yang menemani, memberikan semangat, dan dukungan yang luar biasa dalam proses penyelesaian skripsi.
15. Abang, mbak, dan adik di lingkungan Teknik Sipil Universitas Lampung yang sudah membantu dalam proses penyelesaian skripsi.

Penulis menyadari bahwa laporan masih jauh dari kata sempurna, sehingga saran dan masukan membangun diperlukan oleh penulis agar laporan sempurna di kemudian hari. Akhir kata, penulis berharap semoga skripsi ini dapat bermanfaat dan berguna.

Bandar Lampung, 5 April 2024

Penulis

A handwritten signature in black ink, appearing to be 'Akbar Dimastiar', with the name 'mast' written in smaller letters above the main signature.

Akbar Dimastiar

DAFTAR ISI

	Halaman
DAFTAR TABEL	iii
DAFTAR GAMBAR	v
I. PENDAHULUAN	1
1.1 Latar Belakang	1
1.2 Rumusan Masalah	2
1.3 Tujuan Penelitian	2
1.4 Manfaat Penelitian	3
1.4.1 Manfaat Umum	3
1.4.2 Manfaat Khusus	3
1.5 Batasan Masalah	3
1.6 Kerangka Pikir	4
II. TINJAUAN PUSTAKA	5
2.1 Penelitian Terdahulu	5
2.2 Saluran Terbuka	6
2.2.1 Definisi Saluran Terbuka	6
2.2.2 Pengelompokkan Aliran	6
2.2.3 Variasi Kecepatan	8
2.2.4 Kondisi Aliran	9
2.3 Kontinuitas Aliran	12
2.4 Bendung	13
2.4.1 Definisi Bendung	13
2.4.2 Mercu Bendung	13
2.4.3 Kolam Olak	14
2.4.4 Kolam Olak <i>Vlughter</i>	15
2.5 Gerusan	16
2.6 Mekanisme Gerusan	17
2.7 Awal Gerak Butiran	18
2.8 Kedalaman Gerusan	20
III. METODOLOGI PENELITIAN	22
3.1 Lokasi dan Waktu Penelitian	22
3.1.1 Lokasi Penelitian	22
3.1.2 Waktu Penelitian	22
3.2 Jenis Penelitian	22
3.3 Alat dan Bahan Penelitian	22

3.4	Data Penelitian	26
3.5	Pengambilan Data.....	27
3.5.1	Penotasian Data	27
3.5.2	Prosedur Pengambilan Data	27
3.6	Analisis Data	29
3.7	Diagram Alir.....	31
IV.	HASIL DAN PEMBAHASAN	34
4.1	Data Penelitian	34
4.1.1	Data Percobaan Sedimen Pertama (S1).....	33
4.1.2	Data Percobaan Sedimen Kedua (S2).....	37
4.1.3	Data Percobaan Analisis Saringan Sedimen Pasir.....	40
4.2	Analisis Data Penelitian	41
4.2.1	Debit Aliran	41
4.2.2	Kecepatan Aliran	42
4.2.3	Bilangan <i>Reynolds</i> (Re).....	44
4.2.4	Bilangan <i>Froude</i> (Fr).....	46
4.2.5	Kedalaman Gerusan Persamaan Lacey	48
4.3	Pembahasan Hasil Penelitian.....	51
4.3.1	Karakteristik Aliran	51
4.3.2	Analisis Gerusan pada Hilir Bendung	52
4.3.3	Pengaruh Debit Pengaliran terhadap Kedalaman Gerusan.....	73
4.3.4	Pengaruh Debit terhadap Rasio Panjang Kedalaman Gerusan.....	75
4.3.5	Pengaruh Waktu Pengaliran terhadap Kedalaman Gerusan	75
4.3.6	Pengaruh Gradasi Sedimen terhadap Kedalaman Gerusan	77
V.	KESIMPULAN DAN SARAN	79
5.1	Kesimpulan.....	79
5.2	Saran.....	80

DAFTAR PUSTAKA

LAMPIRAN A (Formulir Data Parameter Aliran dan Gerusan)

LAMPIRAN B (Formulir Data Kontur Gerusan 3 Dimensi)

LAMPIRAN C (Prosedur Pemodelan Gerusan dengan Surfer)

LAMPIRAN D (Surat Izin Penelitian Laboratorium Hidroteknik)

LAMPIRAN E (Lembar Asistensi Laporan)

DAFTAR TABEL

Tabel	Halaman
1. Matriks Pengambilan Data Penelitian.....	30
2. Hasil Percobaan A – S1	33
3. Hasil Percobaan B – S1.....	34
4. Hasil Percobaan C – S1.....	35
5. Hasil Percobaan D – S1	35
6. Hasil Percobaan E – S1	36
7. Hasil Percobaan A – S2.....	37
8. Hasil Percobaan B – S2.....	38
9. Hasil Percobaan C – S2.....	38
10. Hasil Percobaan D – S2	39
11. Hasil Percobaan E – S2.....	40
12. Hasil Analisis Saringan Sedimen S1	40
13. Hasil Analisis Saringan Sedimen S2.....	41
14. Hasil Perhitungan Debit Pengaliran pada Sedimen S1	42
15. Hasil Perhitungan Debit Pengaliran pada Sedimen S2	42
16. Rekapitulasi Kecepatan Aliran Kolam Olak Sedimen S1	43
17. Rekapitulasi Kecepatan Aliran Kolam Olak Sedimen S2.....	44
18. Rekapitulasi Kecepatan Aliran <i>End Sill</i> Sedimen S1	44
19. Rekapitulasi Kecepatan Aliran <i>End Sill</i> Sedimen S2.....	44
20. Rekapitulasi Bilangan <i>Reynolds</i> (Re) Sedimen S1	45
21. Rekapitulasi Bilangan <i>Reynolds</i> (Re) Sedimen S2	46
22. Rekapitulasi Bilangan <i>Froude</i> Kolam Olak Sedimen S1	47
23. Rekapitulasi Bilangan <i>Froude</i> Kolam Olak Sedimen S2.....	47
24. Rekapitulasi Bilangan <i>Froude End Sill</i> Sedimen S1.....	47
25. Rekapitulasi Bilangan <i>Froude End Sill</i> Sedimen S2.....	47

26. Hasil Analisis Saringan pada Sedimen S1	48
27. Hasil Analisis Saringan pada Sedimen S2	49
28. Rekapitulasi Kedalaman Gerusan Lacey pada S1.....	50
29. Rekapitulasi Kedalaman Gerusan Lacey pada S2.....	50

DAFTAR GAMBAR

Gambar	Halaman
1. Kerangka pikir penelitian.....	4
2. Variasi kecepatan saluran terbuka.....	8
3. Alat <i>current</i> meter.....	9
4. Pola cairan pada percobaan Osborne Reynolds.....	10
5. Tabung aliran persamaan kontinuitas.....	12
6. Bentuk mercu bendung.....	13
7. Kolam olak tipe <i>vlughter</i>	16
8. Keterkaitan kedalaman gerusan terhadap waktu.....	18
9. Diagram Shield.....	19
10. Laboratorium Hidroteknik Universitas Lampung.....	21
11. Alat simulasi gerusan.....	23
12. Model bendung dari kayu.....	23
13. Pasir.....	24
14. Saringan sedimen pasir.....	24
15. Gelas ukur.....	25
16. <i>Stopwatch</i>	25
17. Penggaris.....	26
18. Diagram alir metodologi penelitian.....	31
19. Penggambaran posisi data percobaan.....	33
20. Karakteristik aliran percobaan A – S1.....	34
21. Karakteristik aliran percobaan B – S1.....	34
22. Karakteristik aliran percobaan C – S1.....	35
23. Karakteristik aliran percobaan D – S1.....	36
24. Karakteristik aliran percobaan E – S1.....	36
25. Karakteristik aliran percobaan A – S2.....	37

26. Karakteristik aliran percobaan B – S2	38
27. Karakteristik aliran percobaan C – S2	39
28. Karakteristik aliran percobaan D – S2	39
29. Karakteristik aliran percobaan E – S2	40
30. Grafik logaritma d_{50} pada sedimen S1	48
31. Grafik logaritma d_{50} pada sedimen S2	49
32. Grafik logaritma d_{50} pada kedua jenis sedimen (S1 dan S2)	49
33. Hubungan bilangan <i>Reynolds</i> terhadap diameter butiran rata-rata (d_{50}) dengan menggunakan diagram <i>Shield</i>	51
34. Karakteristik hasil gerusan A – S1	53
35. Visual hasil gerusan A – S1	54
36. Karakteristik hasil gerusan B – S1	55
37. Visual hasil gerusan B – S1	56
38. Karakteristik hasil gerusan C – S1	57
39. Visual hasil gerusan C – S1	58
40. Karakteristik hasil gerusan D – S1	59
41. Visual hasil gerusan D – S1	60
42. Karakteristik hasil gerusan E – S1	61
43. Visual hasil gerusan E – S1	62
44. Karakteristik hasil gerusan A – S2	63
45. Visual hasil gerusan A – S2	64
46. Karakteristik hasil gerusan B – S2	65
47. Visual hasil gerusan B – S2	66
48. Karakteristik hasil gerusan C – S2	67
49. Visual hasil gerusan C – S2	68
50. Karakteristik hasil gerusan D – S2	69
51. Visual hasil gerusan D – S2	70
52. Karakteristik hasil gerusan E – S2	71
53. Visual hasil gerusan E – S2	72
54. Pengaruh debit pengaliran terhadap kedalaman gerusan pada jenis S1	73
55. Pengaruh debit pengaliran terhadap kedalaman gerusan pada jenis S2	73
56. Pengaruh debit aliran terhadap rasio kedalaman dan panjang gerusan	75

57. Pengaruh waktu aliran terhadap kedalaman gerusan visual pada S1.....	76
58. Pengaruh waktu aliran terhadap kedalaman gerusan visual pada S2.....	76
59. Perbandingan kedalaman gerusan secara visual antara S1 dengan S2.....	77
60. Perbandingan kedalaman gerusan metode Lacey antara S1 dengan S2.....	78

I. PENDAHULUAN

1.1 Latar Belakang

Bendung adalah bangunan air melintang sungai dalam memenuhi kebutuhan irigasi dengan cara mengubah karakteristik aliran sungai (Purwanto & Ikhsan, 2006). Dalam fungsi utamanya, elevasi muka air sungai ditinggikan agar aliran sungai dapat disadap dan dialirkan ke jaringan irigasi melalui bangunan pengambilan (Nubuwah *et al.*, 2021). Selain itu, bendung memiliki fungsi lain yaitu untuk mengendalikan aliran, angkutan sedimen, dan geometri sungai sehingga air tersebut dapat dimanfaatkan secara aman, efisien, dan optimal (Perencanaan Bagian Bangunan Utama, 2013)

Aliran yang dibendung akan memiliki perbedaan elevasi muka air yang cukup besar antara hulu dengan hilir sehingga menyebabkan terjadinya terjunan dengan perubahan energi yang besar saat air melewati mercu bendung (Suhudi & Pandawa, 2022). Akibatnya, aliran terjadi peristiwa loncatan hidrolik yaitu berubahnya kondisi aliran dari super kritis menjadi sub kritis (Prayudi *et al.*, 2022). Loncatan hidrolik tersebut dapat menyebabkan terjadinya gerusan di hilir bendung yang dapat menurunkan kestabilan konstruksinya (Abdurrosyid & Muttaqin, 2020). Oleh karena itu, perencanaan bendung dilengkapi dengan kolam olak sebagai peredam energi.

Kolam olak merupakan salah satu konstruksi bendung yang berfungsi sebagai peredam energi loncatan hidrolik dari aliran yang berkecepatan tinggi sehingga bendung yang dilindungi tidak terkikis (Riki Chandra, 2022). Penggunaan tipe dari kolam olak yang akan direncanakan didasarkan pada energi air masuk (dinyatakan oleh bilangan *Froude*) dan bahan konstruksi dari kolam olak (Saputra, 2019). Secara umum, kolam olak memiliki beberapa model meredam

energi pada bendung seperti model *vlughter*, USBR, *bucket* dan *schoklitch* (Wigati, 2017). Penggunaan dari beberapa model kolam olak bergantung pada jenis dan karakteristik dari aliran sungai setempat, tetapi penelitian menggunakan kolam olak *vlughter* untuk melihat pola dan kedalaman gerusan sedimen yang terjadi di hilir bendung.

Pengamatan gerusan dilakukan pada jenis sedimen yaitu pasir butiran seragam dengan gradasi yang divariasikan. Gradasi sedimen tersebut berupa pasir yang lolos saringan diameter lubang 2,36 mm dan tertahan saringan diameter lubang 0,60 mm serta sedimen pasir yang lolos saringan diameter lubang 0,60 mm dan tertahan saringan diameter lubang 0,15 mm. Sedimen dengan ukuran seragam bersifat tidak kohesif, sehingga mudah digerus oleh aliran yang deras (Liu & García, 2008). Hal ini memudahkan dalam mengamati gerusan yang terjadi.

Mungkin penelitian terkait gerusan sudah sering dilakukan, tetapi penelitian mengenai kedalaman gerusan lokal pada kolam olak *vlughter* di hilir bendung dengan variasi gradasi sedimen belum pernah dilakukan. Mengingat kompleks dan pentingnya permasalahan di atas, perlu dilakukan penelitian dengan judul “Analisis Kedalaman Gerusan Lokal di Hilir Kolam Olak *Vlughter* dengan Variasi Gradasi Sedimen (Uji Laboratorium)”. Dalam penelitian terdapat 3 variabel yang diteliti yaitu debit, waktu, dan gradasi sedimen.

1.2 Rumusan Masalah

Rumusan masalah pada penelitian sebagai berikut:

1. Bagaimana keterkaitan antara karakteristik aliran pada hilir kolam olak *vlughter* dengan terjadinya awal gerak butiran dari kedua sedimen?
2. Bagaimana keterkaitan antara kedalaman gerusan lokal yang terjadi pada hilir kolam olak *vlughter* dengan variasi debit pengaliran?
3. Bagaimana keterkaitan antara kedalaman gerusan lokal yang terjadi pada hilir kolam olak *vlughter* dengan variasi waktu pengaliran?
4. Bagaimana keterkaitan antara kedalaman gerusan lokal yang terjadi pada hilir kolam olak *vlughter* dengan variasi gradasi sedimen pasir?

1.3 Tujuan Penelitian

Berbagai tujuan yang terdapat di penelitian adalah sebagai berikut:

1. Mendapatkan keterkaitan antara karakteristik aliran pada hilir kolam olak *vlughter* dengan terjadinya awal gerak butiran dari kedua sedimen.
2. Mendapatkan keterkaitan antara kedalaman gerusan lokal yang terjadi pada hilir kolam olak *vlughter* dengan variasi debit pengaliran.
3. Mendapatkan keterkaitan antara kedalaman gerusan lokal yang terjadi pada hilir kolam olak *vlughter* dengan variasi waktu pengaliran.
4. Mendapatkan keterkaitan antara kedalaman gerusan lokal yang terjadi pada hilir kolam olak *vlughter* dengan variasi gradasi sedimen pasir.

1.4 Manfaat Penelitian

1.4.1 Manfaat Umum

1. Referensi pustaka literatur ketekniksipilan di bidang hidroteknik.
2. Mengembangkan pengetahuan mengenai gerusan sedimen sungai.
3. Bahan pertimbangan bagi perencanaan konstruksi bendung.

1.4.2 Manfaat Khusus

Bahan studi dalam perencanaan, pelaksanaan, dan pengamanan struktur bangunan air khususnya bendung dari kerusakan akibat kedalaman gerusan lokal di hilir bendung kolam olak *vlughter* oleh sedimen pasir.

1.5 Batasan Masalah

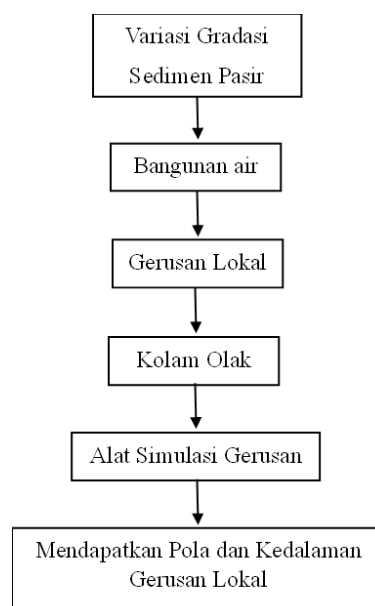
Batasan masalah diperlukan untuk mempermudah melaksanakan penelitian. Berikut merupakan batasan masalah dalam penelitian.

1. Penelitian dilaksanakan di Laboratorium Hidroteknik Jurusan Teknik Sipil, Fakultas Teknik, Universitas Lampung.
2. Semua fasilitas dan peralatan yang digunakan berasal dari laboratorium.
3. Penelitian menggunakan alat simulasi khusus gerusan pada hilir bendung.

4. Model bendung yang digunakan yaitu mercu ogee dengan dimensi bendung lebar 10 cm dan tinggi 25 cm, disertai kolam olak *vlughter* panjang 20 cm.
5. Variasi gradasi sedimen yang digunakan yaitu pasir yang lolos saringan diameter lubang 2,36 mm dan tertahan saringan diameter lubang 0,60 mm serta sedimen pasir yang lolos saringan diameter lubang 0,60 mm dan tertahan saringan diameter lubang 0,15 mm.
6. Digunakan jenis aliran dengan adanya kandungan sedimen (*live bed scour*).
7. Ketinggian muka air hulu yang digunakan dalam penelitian, yaitu sebesar 26 cm; 26,5 cm; 27 cm; 27,5 cm; dan 28 cm.
8. Pembuatan visualisasi hasil gerusan di hilir kolam olak model *vlughter* menggunakan *software* Surfer V25.1.229 – License #bc35-f6-SSO.

1.6 Kerangka Pikir

Penelitian mengenai gerusan bendung dibuat kerangka pikir. Lihat Gambar 1. Dalam gambar itu dijelaskan bahwa gerusan sedimen masih terus terjadi di hilir bendung meskipun sudah terdapat kolam olak. Oleh karena itu kajian mengenai gerusan di hilir bendung perlu mendapat perhatian serius sehingga proses gerusan yang terjadi dapat diketahui pola dan kedalamannya.



Gambar 1. Kerangka pikir penelitian.

II. TINJAUAN PUSTAKA

2.1 Penelitian Terdahulu

Penelitian yang telah dilakukan oleh peneliti terdahulu mengenai pola dan kedalaman gerusan di hilir bendung dan hal lainnya yang menyangkut pembahasan analisis gerusan hilir bendung kolam olak adalah sebagai berikut:

1. Hasil Penelitian Pandani (2022)

Penelitian (Pandani et al., 2022), berjudul “Analisis Pola Hidraulik Peredaman Energi Pada Kolam Olak Tipe *Vlughter* Di Hilir Pelimpah Bertangga dengan Model Fisik 2D”. Dalam penelitiannya digunakan pelimpah bertangga untuk menganalisis gerusan lokal pada hilir pelimpah. Tujuan dari penelitian tersebut adalah untuk mereduksi energi aliran penyebab gerusan yang masih terjadi pada hilir kolam olak. Penelitian tersebut bersifat eksperimen, sehingga memerlukan model pelimpah yang didesain dengan ukuran dan kapasitas yang diskalatisasi. Pelimpah juga dilengkapi dengan 2 model kolam olak (Model A dan B). Hasil yang didapat adalah Model B yang dimensinya lebih besar dari Model A, mampu meningkatkan debit aliran dengan ketinggian hulu pelimpah yang sama.

2. Hasil Penelitian Saputra (2021)

Penelitian (Saputra et al., 2021), berjudul “Analisis Perbandingan Kedalaman Gerusan Lokal (*Local Scouring*) di Hilir Bangunan Pelimpah (*Ogee* and *Stepped Spillway*) dengan Model Fisik 2D”. Penelitian menggunakan 2 jenis pelimpah, yaitu *ogee* dan *stepped spillway* yang dimodelkan asli dari pelimpah Bendungan Margatiga. Tujuan dari penelitian tersebut adalah untuk mengetahui perbandingan besarnya gerusan lokal yang terjadi di antara kedua pelimpah. Metode penelitian yang digunakan

adalah dengan percobaan di Laboratorium Hidroteknik Universitas Lampung. Hasil dari penelitian didapatkan volume gerusan yang terjadi di *Stepped Spillway* lebih baik dari pada volume gerusan pada *Ogee Spillway*.

3. Hasil Penelitian Pangestu (2020)

Penelitian (Daning Pangestu, 2020), berjudul “Studi Gerusan di Hilir Bendung Kolam Olak Tipe *Vlughter* dengan Perlindungan *Groundsill*”. Dalam penelitian dilakukan analisis pengaruh adanya perlindungan *groundsill* sebagai pengaman bendung terhadap gerusan. Dalam penelitian digunakan 2 jenis model, dengan model I tanpa memakai *groundsill* (M1) dan model II memakai *groundsill* (M2). Hasil yang didapat adalah dengan memakai *groundsill* (M2) menunjukkan adanya peredaman gerusan hilir bendung. Sedangkan pengujian tanpa memakai *groundsill* (M1) adalah semakin besar kecepatan aliran, semakin besar juga kedalaman gerusan.

2.2 Saluran Terbuka

2.2.1 Definisi Saluran Terbuka

Dalam saluran terbuka, aliran mengalir dengan permukaan air yang bebas, dimana terdapat tekanan atmosfer di sepanjang saluran tersebut. Terdapat 2 jenis saluran terbuka berdasarkan sumbernya, yaitu saluran alam dan buatan. Beberapa variabel dalam saluran terbuka memiliki nilai yang selalu berubah, seperti tampang melintang saluran, kekasaran dinding, kemiringan dasar saluran, belokan dan debit pengaliran.

2.2.2 Pengelompokan Aliran

Pada umumnya jenis aliran pada saluran yang terbuka adalah turbulen, karena kekasaran dinding dan kecepatan aliran yang bernilai besar. Karakteristik aliran tersebut terdiri dari beberapa kategori berdasarkan ruang dan waktu. Jika dilihat dari kategori ruang, terdapat jenis aliran seragam dan aliran tidak seragam. Akan tetapi, jika melihat dari kategori waktu, aliran dibedakan menjadi tetap dan tidak tetap.

Berbagai jenis aliran tersebut memiliki karakteristik yang berbeda-beda seperti kecepatan aliran, debit aliran, kedalaman aliran dan tampang basah. Penjelasan dari tipe karakteristik aliran tersebut sebagai berikut:

1. Jenis aliran menurut kategori ruang

a. Aliran seragam

$$\frac{dQ}{dx} = 0 ; \frac{dh}{dx} = 0 ; \frac{dA}{dx} = 0 \quad \dots (1)$$

Aliran seragam dapat terjadi ketika berbagai parameter aliran memiliki nilai yang konstan pada setiap penampang seperti debit pengaliran, kedalaman, tampang basah, dan kecepatan aliran.

b. Aliran tidak seragam

$$\frac{dQ}{dx} \neq 0 ; \frac{dh}{dx} \neq 0 ; \frac{dA}{dx} \neq 0 \quad \dots (2)$$

Aliran tidak seragam dapat terjadi ketika berbagai parameter aliran memiliki nilai yang berubah-ubah pada setiap penampang seperti debit, kedalaman, tampang basah, dan kecepatan aliran.

2. Jenis aliran menurut kategori waktu

a. Aliran tunak

$$\frac{dQ}{dt} = 0 ; \frac{dh}{dt} = 0 ; \frac{dA}{dt} = 0 \quad \dots (3)$$

Aliran tunak dapat terjadi ketika berbagai parameter aliran memiliki kondisi yang tetap terhadap waktu untuk semua titik di sepanjang aliran seperti debit, kedalaman, dan kecepatan aliran.

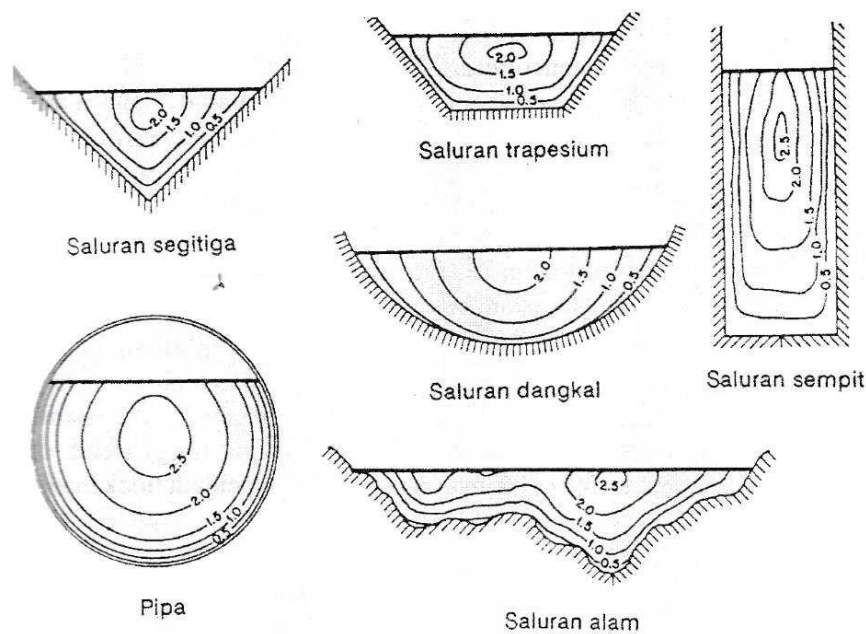
b. Aliran tidak tunak

$$\frac{dQ}{dt} \neq 0 ; \frac{dh}{dt} \neq 0 ; \frac{dA}{dt} \neq 0 \quad \dots (4)$$

Aliran tidak tunak dapat terjadi ketika berbagai parameter aliran memiliki kondisi yang berubah-ubah terhadap waktu untuk semua titik di sepanjang aliran seperti debit, kedalaman, tampang basah, dan kecepatan aliran.

2.2.3 Variasi Kecepatan

Distribusi kecepatan pengaliran dalam saluran terbuka bergantung pada beberapa faktor seperti bentuk saluran, debit aliran, dan kekasaran pada dinding. Distribusi kecepatan aliran tidak merata pada setiap titik di tampang melintang. Hal tersebut dikarenakan terdapat permukaan bebas pada aliran fluida. Saluran terbuka dan tertutup memiliki prinsip yang hampir sama, yaitu aliran yang berdekatan dengan dinding tampang saluran memiliki kecepatan yang minimum (Triatmodjo, 2015). Berikut merupakan distribusi kecepatan aliran di tampang melintang dengan beberapa macam saluran, kecepatan tersebut digambarkan sebagai garis kontur aliran.



Gambar 2. Variasi kecepatan saluran terbuka.

Sumber: (Triatmodjo, 2015)

Kecepatan terendah terjadi di sekitar batas dinding (tebing dan dasar) yang nilainya semakin besar terhadap jarak ke permukaan. Kecepatan maksimum garis kontur terjadi di dekat tengah lebar saluran dengan sedikit di bawah permukaan. Hal tersebut dikarenakan adanya gesekan antara aliran dengan dinding saluran dan udara permukaan. Jika saluran

tersebut cukup lebar, maka distribusi kecepatan di tengah lebar saluran adalah sama. Hal itu dikarenakan sisi pada saluran mampu dianggap 2 dimensi (vertikal). Kondisi tersebut dapat terjadi jika lebar saluran memiliki nilai yang lebih besar antara 5 sampai dengan 10 kali dari kedalaman aliran dengan bergantung pada kekasaran dinding saluran.

Saluran dianggap cukup lebar, jika lebarnya lebih besar 10 kali dari kedalaman aliran. Pengukuran dengan berbagai kedalaman diperlukan untuk menentukan distribusi kecepatan vertikal. Pengukuran tersebut juga dilakukan pada banyak titik untuk mendapatkan hasil pengukuran yang lebih baik. Pada umumnya, penggunaan alat *current meter* diperlukan untuk mengukur kecepatan di lapangan. Alat tersebut berupa baling – baling yang dapat berputar karena aliran.



Gambar 3. Alat *current meter*.

Sumber : (Carter & Anderson, 1963)

2.2.4 Kondisi Aliran

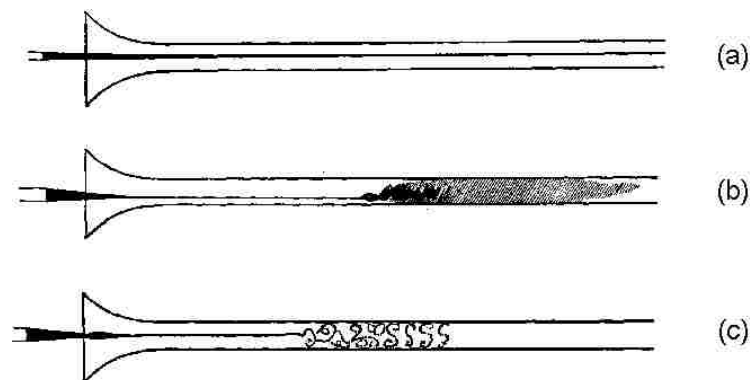
Pada saluran terbuka, aliran airnya memiliki sifat yang dipengaruhi oleh kekentalan (*viscosity*) dan gravitasi (*inertial force*). Berikut merupakan penjelasan dari kedua pengaruh sifat aliran air pada saluran terbuka:

1. Berdasarkan kekentalan, dinyatakan dengan bilangan *Reynolds*

Aliran viskos terdiri dari 2 jenis, yaitu aliran laminar dan turbulen. Aliran laminar memiliki kecepatan yang kecil dengan kekentalan yang besar. Selain itu, aliran tersebut partikelnya bergerak secara teratur dan sejajar sesuai alur lintasan (Triatmodjo, 2015).

Aliran laminar memiliki pengaruh kekentalan yang cukup besar sehingga mampu meredam gangguan aliran menjadi turbulen. Daya redam terhadap gangguan tersebut dapat berkurang jika kecepatan aliran bertambah dan kekentalan aliran berkurang. Hal tersebut jika terjadi terus menerus sampai batas tertentu, maka bisa menyebabkan terjadinya perubahan aliran dari laminar ke turbulen. Pada aliran turbulen, partikel zat cair bergerak secara tidak teratur. Aliran tersebut terjadi jika kecepatan besar dengan kekentalan zat cair kecil.

Pada tahun 1884, percobaan dilakukan oleh Osborne Reynolds untuk menunjukkan sifat-sifat aliran laminar dan turbulen dengan menggunakan peralatan yang cukup sederhana. Oleh karena itu, terdapat bilangan *Reynolds* yang merupakan bilangan tidak berdimensi sebagai pembeda antara aliran laminar dengan turbulen.



Gambar 4. Pola cairan tinta pada percobaan Osborne Reynolds.

Sumber: (Jackson & Launder, 2007)

Menurut Osborne Reynolds, keadaan aliran dipengaruhi oleh 3 faktor, yaitu kekentalan zat cair μ (mu), rapat massa zat cair ρ (rho),

dan diameter pipa D . Hubungan antara ketiganya memiliki dimensi sama dengan kecepatan adalah $\mu/\rho D$. Aliran dapat diklasifikasikan berdasarkan bilangan tertentu dengan membagi kecepatan di dalam pipa dengan nilai $\mu/\rho D$. Persamaan yang digunakan sebagai berikut:

$$Re = \frac{v R}{\nu} \quad \dots (5)$$

Dimana:

Re = bilangan *Reynolds*

v = kecepatan pengaliran rerata (m/s)

R = jari-jari hidrolis (m)

ν = kekentalan kinematik (m^2/s) = $1 \times 10^{-6} m^2/s$

Berikut merupakan kategori aliran yang digolongkan berdasarkan bilangan *Reynolds* menurut (Triatmodjo, 2015).

- a. Kondisi laminar memiliki bilangan *Reynolds* < 2000 ,
- b. Kondisi peralihan memiliki bilangan *Reynolds* $2000 < Re < 4000$,
- c. Kondisi turbulen memiliki bilangan *Reynolds* > 4000 .

2. Berdasarkan gravitasi, dinyatakan dengan bilangan *Froude*

Bilangan *Froude* (Fr) tidak memiliki dimensi dan berfungsi untuk mengetahui kondisi dari suatu aliran, dirumuskan sebagai berikut:

$$Fr = \frac{v}{\sqrt{g D}} \quad \dots (6)$$

Keterangan:

Fr = bilangan *Froude*

v = kecepatan pengaliran rata-rata (m/s)

g = percepatan gravitasi = $9,81 m/s^2$

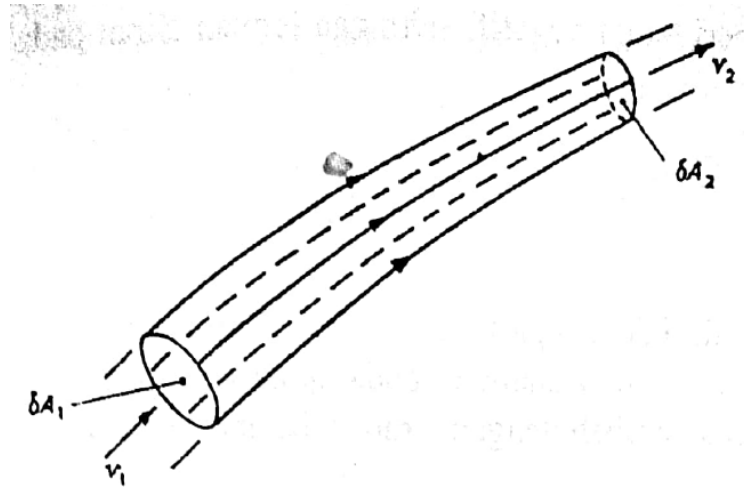
D = kedalaman hidraulik (m), perbandingan luas tampang dan lebar aliran berbatasan dengan udara bebas

Berikut merupakan aliran yang digolongkan berdasarkan persamaan perhitungan bilangan *Froude* menurut (Triatmodjo, 2015).

- a. Kondisi sub kritis memiliki bilangan *Froude* < 1 ,
- b. Kondisi kritis memiliki bilangan *Froude* = 1 ,
- c. Kondisi super kritis memiliki bilangan *Froude* > 1 .

2.3 Kontinuitas Aliran

Dalam saluran terbuka, jika zat inkompresibel mengalir secara *continue*, maka penampang aliran memiliki volume yang sama tiap satuan waktu. Hukum ini disebut dengan kontinuitas aliran zat cair (Triatmodjo, 2015).



Gambar 5. Tabung aliran persamaan kontinuitas.

Sumber: (Abidin & Wagiani, 2015)

Berdasarkan gambar di atas, untuk aliran tetap dan satu dimensi, kecepatan merata dan tampang melintang pada titik 1 dan 2 yaitu V_1 , dA_1 dan V_2 , dA_2 .

Volume zat cair masuk yang melalui tampang 1 tiap satuan waktu : $V_1 dA_1$

Volume zat cair keluar yang melalui tampang 2 tiap satuan waktu : $V_2 dA_2$

Dikarenakan zat cair di dalam tabung aliran tidak ada yang hilang, maka akan didapatkan persamaan sebagai berikut:

$$V_1 dA_1 = V_2 dA_2 \quad \dots (7)$$

Integrasi dari persamaan di atas pada seluruh tampang aliran sebagai berikut:

$$V_1 \int_{A_1} dA_1 = V_2 \int_{A_2} dA_2 \quad \dots (8)$$

atau

$$V_1 A_1 = V_2 A_2 \quad \dots (9)$$

atau

$$Q = A V = \text{konstan} \quad \dots (10)$$

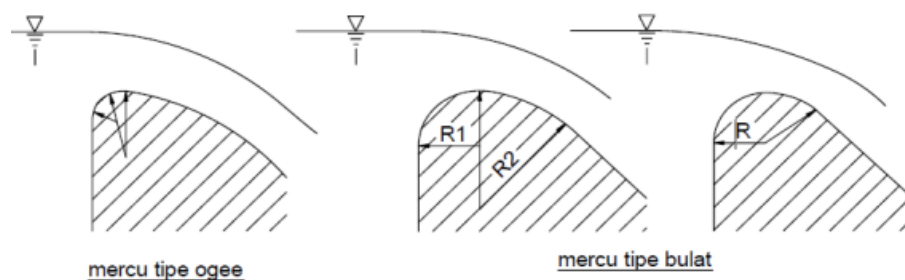
2.4 Bendung

2.4.1 Definisi Bendung

Bendung merupakan bangunan air yang letaknya melintang pada sungai dan bertujuan mengubah karakteristik aliran sungai dalam memenuhi kebutuhan irigasi. Bendung memiliki fungsi utama dalam meninggikan elevasi dari muka air sungai yang dibendung sehingga air dapat dialirkan dan disadap ke saluran melalui bangunan pengambilan serta untuk mengendalikan aliran dan geometri sungai, serta angkutan sedimen sehingga air tersebut mampu dimanfaatkan secara aman, efisien, dan optimal (Perencanaan Bagian Bangunan Utama, 2013). Beberapa komponen konstruksi bendung, seperti tubuh bendung, bangunan pembilas, *intake*, dan pelengkap lainnya (sayap bendung, tembok pangkal, dinding tirai, rantai udik, pengarah arus, dan tangga).

2.4.2 Mercu Bendung

Mercu pada bendung merupakan komponen konstruksi bendung yang terletak di bagian teratas dari tubuh bendung dan berfungsi sebagai pengatur tinggi muka air minimum hulu bendung agar aliran di atas mercu dapat melimpas dengan stabil. Pada umumnya, Indonesia memakai 2 (dua) jenis mercu bendung pelimpah, yaitu jenis bulat dan ogee (Umum & Pengairan, 2013).



Gambar 6. Bentuk mercu bendung.

Sumber: (Perencanaan Bagian Bangunan Utama, 2013)

1. Mercu Bulat

Bendung dengan mercu bulat memiliki koefisien debit lebih tinggi 44% dibandingkan dengan koefisien debit bendung ambang lebar. Hal tersebut dikarenakan lengkung *stream line* dan tekanan negatif mercu bendung. Keuntungan dari penggunaan mercu tipe bulat yaitu mengurangi tinggi muka air pada hulu bendung selama terjadi banjir.

2. Mercu Ogee

Bentuk dari mercu ogee, yaitu tirai luapan bawah dari bendung ambang tajam aerasi, sehingga mercu ogee tidak akan memberikan tekanan subatmosfir pada permukaan saat bendung mengalirkan air pada debit rencana. Air akan memberikan tekanan ke bawah pada mercu untuk debit aliran yang lebih rendah. Penggunaan mercu jenis ogee diperlukan karena kondisi tanah yang baik di sepanjang kolam olak. Lantai muka diperlukan dalam penggunaan mercu tersebut guna menahan gerusan. Oleh karena itu, dalam menghemat biaya perencanaan, kolam olak menggunakan tumpukan bebatuan.

2.4.3 Kolam Olak

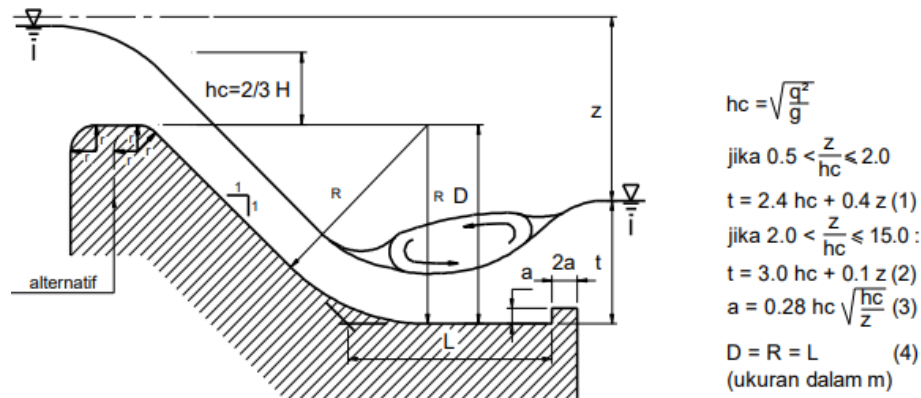
Kolam olak merupakan salah satu konstruksi bangunan air yang diperuntukkan dalam meredam energi loncatan hidraulis dari aliran yang berkecepatan tinggi seperti pada bendung dan bendungan, dengan tujuan agar bangunan air yang dilindungi oleh kolam olak tersebut tidak terkikis sehingga konstruksinya tetap berdiri dengan kokoh. Penggunaan tipe dari kolam olak yang akan direncanakan pada sebelah hilir bangunan bergantung dari energi air yang masuk (dinyatakan dengan bilangan Froude) dan bahan konstruksi dari kolam olak. Berikut merupakan pengelompokan perencanaan pada kolam olak berdasarkan bilangan Froude (Umum & Pengairan, 2013):

1. Jika $Fru \leq 1,7$ maka tidak diperlukan kolam olak; saluran tanah khususnya bagian hilir harus dilindungi dari bahaya erosi; saluran pasangan batu atau beton tidak memerlukan perlindungan khusus.

2. Jika $1,7 < Fru \leq 2,5$ maka kolam olak diperlukan dalam meredam energi secara efektif. Secara umum, kolam olak dengan ambang ujung dapat bekerja dengan baik. Sedangkan guna penurunan muka air $\Delta Z < 1,5$ m dapat digunakan bangunan terjun tegak.
3. Jika $2,5 < Fru \leq 4,5$ maka akan mengakibatkan kondisi tersulit untuk membangun kolam olak dengan tepat. Hal ini dikarenakan loncatan air buruk sehingga menyebabkan gelombang dengan jarak terjauh. Akan tetapi, hal ini dapat diatasi dengan mengusahakan agar kolam olak untuk bilangan *Froude* dapat menimbulkan olakan (turbulensi) yang tinggi dengan blok halang dan meningkatkan frekuensi pusaran melalui pemasangan blok depan. Blok tersebut harus memiliki ukuran yang besar (USBR jenis IV). Akan tetapi, jika $2,5 < Fru < 4,5$ lebih baik kolam olak tidak direncanakan. Oleh karena itu, dipakai kolam olak kategori lain dengan mengubah geometri sehingga bilangan *Froude* bisa diperbesar atau diperkecil.
4. Jika $Fru \geq 4,5$ maka kolam olak tersebut paling ekonomis, karena strukturnya yang tidak panjang. Salah satu jenis kolam olak yang dapat digunakan, yaitu USBR III dilengkapi blok halang dan depan. Struktur kolam olak juga harus lebih panjang pada bagian ujungnya, sehingga harus disertai dengan tangga dan pasangan batu.

2.4.4 Kolam Olak *Vlughter*

Kolam olak tipe tersebut khusus dikembangkan dalam bangunan terjun di saluran irigasi. Nilai batas yang diberikan untuk z/hc 0,5; 2,0 dan 15,0 dihubungkan dengan bilangan *Froude* 1,0; 2,8 dan 12,8. Bilangan *Froude* tersebut diambil melalui kedalaman z di bawah tinggi energi hulu, bukan melalui lantai kolam seperti pada kolam loncat air. Kolam *vlughter* dapat dipakai sampai beda tinggi energi z kurang dari 4,50 m dan/atau lantai ruang olak sampai mercu (D) tidak lebih dari 8 meter. Selain itu, diperlukan pertimbangan kondisi porositas tanah di lokasi bendung dalam rangka pekerjaan pengeringan. Dalam perencanaan kolam olak *vlughter*, diperlukan data yang disajikan gambar berikut.



Gambar 7. Kolam olak tipe vflgter.

Sumber: (Perencanaan Bagian Bangunan Utama, 2013)

2.5 Gerusan

Gerusan (*scouring*) merupakan dasar sungai yang mengalami penurunan akibat terjadi erosi pada bawah elevasi permukaan alami / datum yang diasumsikan (Fitriana, 2014). Pengertian lainnya tentang gerusan yaitu sungai yang dasar kedalamannya semakin besar akibat proses intraksi aliran terhadap material di dasar sungai (Wang, 1999). Gerusan dapat terjadi jika terdapat perubahan karakteristik aliran sungai. Hal tersebut mengakibatkan partikel pada dasar sungai akan tergerus selapis demi selapis secara menerus hingga dasar sungai yang baru keseimbangannya tercapai. Proses gerusan tersebut dapat dibedakan menjadi 3 (tiga) tipe menurut (Christine & Tallar, 2003) yaitu sebagai berikut:

1. Gerusan umum (*general scour*)

Tipe gerusan tersebut tidak memiliki kaitan terhadap bangunan di sungai. Hal tersebut dikarenakan energi gerusan hanya dari aliran sungai saja.

2. Gerusan terlokalisir (*localized/constriction scour*)

Tipe gerusan tersebut terjadi sebab adanya penyempitan pada alur sungai. Oleh karena itu, sungai tersebut alirannya menjadi lebih berpusat.

3. Gerusan lokal (*local scour*)

Tipe gerusan yang terjadi sebab karakteristik aliran lokal konstruksi sungai.

Ketiga jenis dari gerusan di atas bisa terjadi secara bersamaan, tetapi dengan lokasi yang berbeda antara satu dengan yang lainnya. Gerusan lokalisir dan gerusan lokal bisa dibedakan menjadi dua keadaan berdasarkan jernih atau tidaknya air, yaitu gerusan air jernih (*clear water scour*) dan gerusan air tidak jernih (*live bed scour*). Gerusan air jernih dapat terjadi saat material dasar pada hulu konstruksi dalam kondisi diam. Secara teoritis hal tersebut mengartikan bahwa tegangan geser dasar (τ_0) lebih kecil atau sama dengan tegangan geser dasar kritik (τ_c). Sedangkan *live bed scour* terjadi disertai dengan adanya angkutan sedimen dari material dasar, yaitu kondisi saat aliran dalam saluran menyebabkan material dasar sungai bergerak. Secara teoritis hal tersebut mengartikan bahwa tegangan geser (τ_0) pada dasar saluran lebih besar dari tegangan dasar kritiknya (τ_c).

Gerusan bersifat alami dengan fenomena berikut (Manes & Brocchini, 2015):

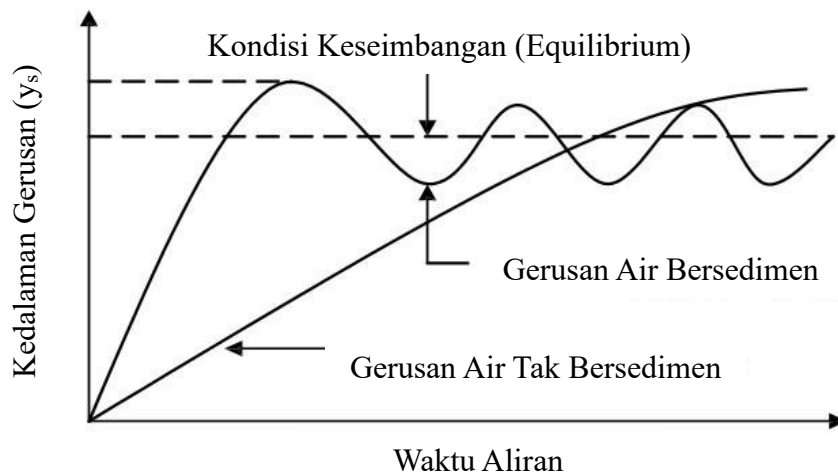
1. Gerusan memiliki nilai sama jika selisih antara jumlah material yang keluar dengan yang masuk ke dalam area gerusan adalah nol.
2. Gerusan nilainya akan berkurang jika penampang basah pada area gerusan tersebut bertambah sebab adanya erosi.
3. Terdapat gerusan batas, yaitu keadaan gerusan yang dalam kondisi aliran tertentu besarnya akan asimtotik terhadap waktu pengaliran.

2.6 Mekanisme Gerusan

Equilibrium atau kesetimbangan kedalaman gerusan akan tercapai jika jumlah material yang keluar dari lubang gerusan sama dengan jumlah material yang masuk ke lubang gerusan (Zanke *et al.*, 2011). Secara umum, inisial gerusan memiliki nilai rata-rata lebih besar ketika aliran *live bed scour* dibandingkan dengan *clear water scour* dan *equilibrium*. Hal tersebut mengakibatkan lebih cepat terjadi kedalaman gerusan. Dalam aliran *live bed scour*, sedimen yang terdapat di hulu bendung secara terus menerus akan terangkut ke lubang gerusan. Sedangkan *equilibrium* atau kesetimbangan kedalaman gerusan akan tercapai ketika sedimen yang masuk ke dalam lubang gerusan berjumlah sama dengan sedimen yang terbawa keluar oleh aliran. Meskipun kondisi tersebut

dapat terjadi, kedalaman gerusan pada sungai akan berubah sejalan dengan waktu pengaliran setelah keseimbangan atau *equilibrium* dapat tercapai.

Pada umumnya lubang gerusan pada sungai merupakan korelasi antara kedalaman gerusan dengan kecepatan yang merupakan fungsi terhadap waktu (Larsen & Fuhrman, 2023), seperti ditunjukkan pada gambar berikut.



Gambar 8. Keterkaitan kedalaman gerusan terhadap waktu.

Sumber: (Larsen & Fuhrman, 2023)

2.7 Awal Gerak Butiran

Dengan adanya aliran air, gaya yang bekerja pada material sedimen memiliki kemampuan dalam menggerakkan atau bahkan membawa butiran sedimen (Pratama & Sutikno, 2023). Dalam gerak butiran sedimen terdapat kondisi kritis, yaitu kondisi butiran sedimen dimana gaya-gaya yang bekerja mencapai harga tertentu yang dapat menyebabkan butiran sedimen tersebut bergerak.

Parameter awal gerak butiran sedimen tersebut dapat dilihat melalui diagram yang dinamakan diagram *Shield* (Guo, 2020). Awal gerak butiran sedimen dapat diketahui jika tegangan geser dasar (τ_0) lebih besar dari tegangan geser kritis (τ_c). Berikut merupakan persamaan *Shield* dalam menyatakan tegangan geser dasar (τ_0) dalam terjadinya awal gerak butiran sedimen.

$$\tau_0 = \rho \times g \times h \times I \quad \dots (11)$$

Persamaan dari kecepatan geser adalah sebagai berikut:

$$U_* = \left(\frac{\tau_0}{\rho}\right)^{0.5} \quad \dots (12)$$

Persamaan dari kecepatan geser kritis adalah sebagai berikut:

$$U_{*c} = \sqrt{\theta_c \cdot g \cdot \Delta \cdot d_{50}} \quad \dots (13)$$

Persamaan dari parameter mobilitas kritis (Shield) adalah sebagai berikut:

$$\theta_c = \frac{\tau_c}{\rho \cdot g \cdot \Delta \cdot d_{50}} = \frac{U_{*c}^2}{g \cdot \Delta \cdot d_{50}} \quad \dots (14)$$

Keterangan:

τ_0 = tegangan geser dasar (N/m^2),

τ_c = tegangan geser kritis (N/m^2),

θ_c = mobilitas kritis,

U_* = kecepatan geser (m/s),

U_{*c} = kecepatan geser kritis (m/s),

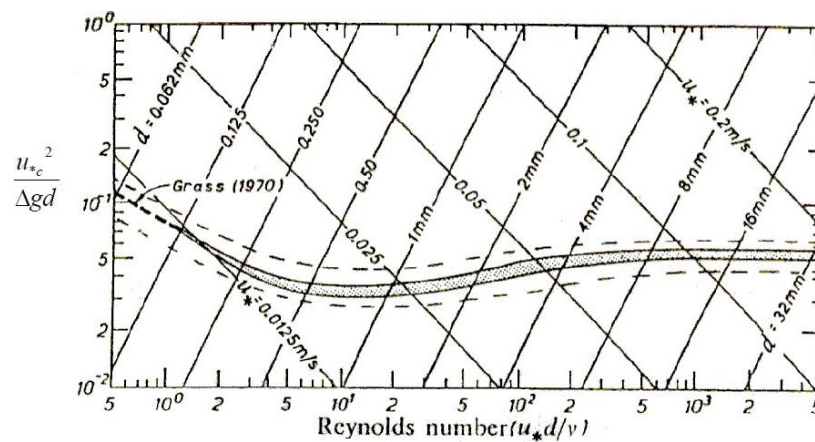
I = kemiringan dasar saluran,

g = percepatan gravitasi (m/s^2), dan

ρ = massa jenis aliran (kg/m^3),

Δ = kepadatan relatif,

d_{50} = diameter rerata sedimen.



Gambar 9. Diagram Shield.

Sumber: (Guo, 2020)

2.8 Kedalaman Gerusan

Dalam menghitung kedalaman gerusan di hilir kolam olak, dapat digunakan metode Lacey (Lacey, 2016), yang memiliki persamaan sebagai berikut:

$$R = 0,47 \left(\frac{Q}{f} \right)^{1/3} \quad \dots (15)$$

Keterangan:

R = kedalaman gerusan (m),

Q = debit aliran (m³/s),

f = faktor lumpur Lacey (1,76 d₅₀^{0,5}), dan

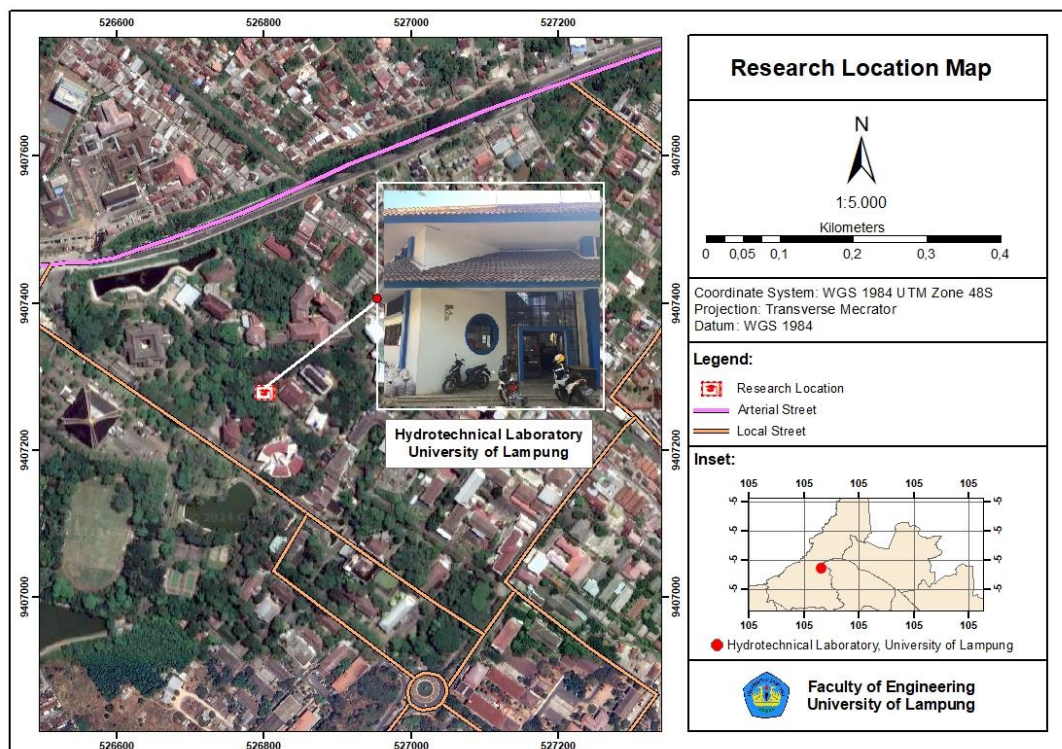
d₅₀ = diameter rata-rata material.

III. METODOLOGI PENELITIAN

3.1 Lokasi dan Waktu Penelitian

3.1.1 Lokasi Penelitian

Penelitian berlokasi di Laboratorium Hidroteknik Jurusan Teknik Sipil, Fakultas Teknik, Universitas Lampung. Laboratorium tersebut, digunakan untuk melakukan pengujian primer, yaitu analisis kedalaman gerusan sedimen di hilir bendung kolam olak *vlughter*. Sedimen pasir yang digunakan berasal dari Laboratorium Bahan dan Konstruksi Universitas Lampung yang terlebih dahulu sudah dicuci dan diayak.



Gambar 10. Laboratorium Hidroteknik Universitas Lampung.

3.1.1 Waktu Penelitian

Penelitian berlangsung selama 6 bulan, mulai dari pengajuan judul pada 1 September 2023 sampai seminar hasil penelitian pada 28 Maret 2024.

3.2 Jenis Penelitian

Penelitian yang berjudul “Analisis Kedalaman Gerusan Lokal di Hilir Bendung Kolam Olak *Vlughter* dengan Variasi Gradasi Sedimen (Uji Eksperimental Laboratorium)” bersifat eksperimen. Penelitian akan dilakukan di Laboratorium Hidroteknik Jurusan Teknik Sipil, Fakultas Teknik, Universitas Lampung. Dalam penelitian digunakan model bendung dengan dimensi yang disesuaikan dengan alat simulasi gerusan sedimen pasir yang terdapat pada laboratorium. Model bendung yang digunakan yaitu dengan mercu tipe ogee yang disertai dengan kolam olak tipe *vlughter*. Penelitian akan dilakukan dengan mengalirkan debit aliran pada alat simulasi gerusan dan diamati gerusan yang terjadi pada hilir bendung dengan dasar saluran yang terlebih dahulu sudah diisi oleh sedimen pasir dari variabel yang akan diteliti.

3.3 Alat dan Bahan Penelitian

Alat dan bahan yang akan digunakan untuk mendukung pelaksanaan penelitian sebagai berikut:

1. Alat Simulasi Gerusan

Alat yang digunakan tersebut berupa *hydraulic flume* yang merupakan permodelan dari gerusan sedimen pada hilir bendung kolam olak *vlughter*. Dalam satu set *hydraulic flume* di laboratorium tersebut, terdapat beberapa *tools* seperti pompa air sebagai tenaga pengaliran, wadah penampungan air, dan pembacaan ketinggian muka air hulu pada wadah penampung sebagai parameter pengukur debit pengaliran.



Gambar 11. Alat simulasi gerusan.

2. Bendung

Bendung dimodelkan dengan jenis mercu ogee yang disertai kolam olak jenis *vlughter* dari bahan kayu. Dimensi bendung memiliki ketinggian 25 cm dengan lebar 10 cm. Sedangkan kolam olak jenis *vlughter* berdimensi panjang 20 cm dengan tinggi *end sill* yaitu 5 cm.



Gambar 12. Model bendung dari kayu.

3. Sedimen Pasir

Penelitian menggunakan variasi gradasi dari sedimen berupa pasir yang lolos saringan diameter lubang 2,36 mm dan tertahan saringan diameter lubang 0,60 mm serta sedimen pasir yang lolos saringan diameter lubang

0,60 mm dan tertahan saringan diameter lubang 0,15 mm. Sedimen tersebut berasal dari Laboratorium Bahan dan Konstruksi Universitas Lampung.



Gambar 13. Pasir.

4. Saringan

Penggunaan saringan dalam penelitian digunakan sebagai alat penyaring sedimen pasir agar sesuai dengan ukuran yang diinginkan. Proses saringan tersebut dikenal sebagai pengujian *sieve analysis* dengan menggunakan alat yang bernama *sieve shaker*.



Gambar 14. Saringan sedimen pasir.

5. Gelas Ukur

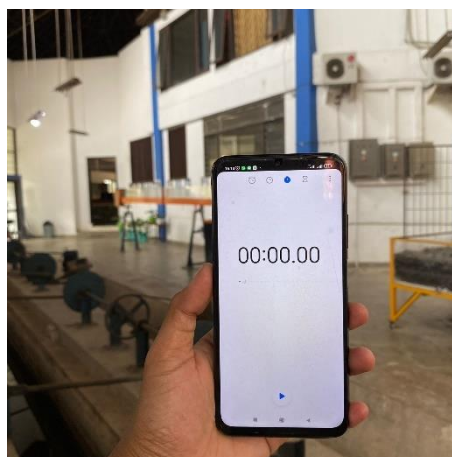
Alat laboratorium yang digunakan untuk mengukur volume aliran (1000 ml) dalam membantu menentukan debit pengaliran dari alat simulasi gerusan.



Gambar 15. Gelas ukur.

6. *Stopwatch*

Stopwatch menggunakan bantuan dari *handphone* dan diperuntukkan sebagai alat bantu untuk menghitung waktu pengaliran, waktu penampungan aliran, dan menghitung waktu pengamatan percobaan gerusan sedimen dalam menentukan debit pengaliran alat simulasi gerusan.



Gambar 16. *Stopwatch*.

7. Penggaris

Penggunaan penggaris dalam penelitian yaitu sebagai alat pengukur ketinggian aliran, kedalaman, dan panjang gerusan sedimen yang terjadi.



Gambar 17. Penggaris.

3.4 Data Penelitian

Data diperlukan untuk menggambarkan kondisi sebenarnya di lapangan, terlebih penelitian dengan jenis permodelan. Kebenaran terkait data akan menghasilkan penelitian yang sesuai dengan kondisi pada aslinya. Akan tetapi, data – data tersebut perlu keterkaitan dan saling membangun, agar permodelan tersebut dapat dibuat semirip mungkin dengan kondisi aslinya di lapangan.

Dalam melakukan penelitian, dibutuhkan data primer dan sekunder untuk mendukung penelitian. Data – data yang dibutuhkan tersebut sebagai berikut:

1. Dimensi model bendung beserta kolam olak yang akan digunakan.
2. Rata – rata diameter butiran sedimen yang digunakan (d_{50}).
3. Ketinggian air di hulu bendung (h_0).
4. Debit aliran (Q).
5. Kecepatan aliran (v).
6. Kedalaman gerusan (Y_m).
7. Panjang gerusan maksimum (L_{max}).

3.5 Pengambilan Data

3.5.1 Penotasian Data

Percobaan dilakukan dengan memberikan variasi ketinggian aliran pada hulu bendung dan variasi gradasi sedimen pasir di hilir bendung, yang diberikan notasi sebagai berikut agar memudahkan pengambilan data:

1. Tinggi aliran di hulu 26 cm, dengan sedimen pasir yang tertahan saringan diameter lubang 0,60 mm dinotasikan dengan (A – S1).
2. Tinggi aliran di hulu 26,5 cm, dengan sedimen pasir yang tertahan saringan diameter lubang 0,60 mm dinotasikan dengan (B – S1).
3. Tinggi aliran di hulu 27 cm, dengan sedimen pasir yang tertahan saringan diameter lubang 0,60 mm dinotasikan dengan (C – S1).
4. Tinggi aliran di hulu 27,5 cm, dengan sedimen pasir yang tertahan saringan diameter lubang 0,60 mm dinotasikan dengan (D – S1).
5. Tinggi aliran di hulu 28 cm, dengan sedimen pasir yang tertahan saringan diameter lubang 0,60 mm dinotasikan dengan (E – S1).
6. Tinggi aliran di hulu 26 cm, dengan sedimen pasir yang tertahan saringan diameter lubang 0,15 mm dinotasikan dengan (A – S2).
7. Tinggi aliran di hulu 26,5 cm, dengan sedimen pasir yang tertahan saringan diameter lubang 0,15 mm dinotasikan dengan (B – S2).
8. Tinggi aliran di hulu 27 cm, dengan sedimen pasir yang tertahan saringan diameter lubang 0,15 mm dinotasikan dengan (C – S2).
9. Tinggi aliran di hulu 27,5 cm, dengan sedimen pasir yang tertahan saringan diameter lubang 0,15 mm dinotasikan dengan (D – S2).
10. Tinggi aliran di hulu 28 cm, dengan sedimen pasir yang tertahan saringan diameter lubang 0,15 mm dinotasikan dengan (E – S2).

3.5.2 Prosedur Pengambilan Data

Data primer yang digunakan dalam penelitian berasal dari percobaan pada Laboratorium Hidroteknik. Prosedur pengambilan data primer pada percobaan tersebut adalah sebagai berikut:

1. Dilakukan pengujian analisis saringan terlebih dahulu dengan memakai sampel dari variasi gradasi sedimen pasir seberat 500 gram.
2. Meletakkan alat bendung kayu yang disertai dengan kolam olak *vlughter* pada *open flume* alat simulasi gerusan sedimen.
3. Meletakkan sedimen pasir yang sudah diayak pada hilir bendung, dengan terlebih dahulu menggunakan sedimen pasir yang tertahan saringan diameter lubang 0,60 mm (S1).
4. Mengalirkan air dari alat simulasi gerusan dengan menyalakan pompa air terlebih dahulu.
5. Ketinggian muka air di hulu bendung (h_0) diatur terlebih dahulu.
6. Mengamati kembali ketinggian muka air pada hulu bendung (h_0) setiap 10 menit guna memperoleh nilai debit rerata pengaliran.
7. Melakukan pengamatan terhadap beberapa parameter karakteristik aliran setelah ketinggian air di hulu bendung (h_0) dalam kondisi stabil.
 - a. Kedalaman aliran pada kolam olak (h_1).
 - b. Kedalaman aliran pada *end sill* (h_2).
 - c. Kedalaman aliran pada hilir (h_3).
 - d. Debit pengaliran (Q), terlebih dahulu air ditampung dalam wadah, lalu diamati waktu pengaliran setiap volume 1000 ml.
8. Mengamati transport sedimen yang terjadi selama pengaliran.
9. Mengamati panjang dan kedalaman gerusan maksimum setiap 10 menit pengaliran.
10. Jika pengamatan sudah selesai dilakukan, maka hentikan aliran dengan cara mengecilkan debit secara perlahan agar gerusan di hilir bendung yang sudah dialiri air selama 60 menit tidak terganggu oleh perubahan debit.
11. Setelah dialiri air selama 60 menit, dilakukan pengamatan terhadap pola dan kedalaman gerusan dengan penggaris untuk mendapatkan data kontur yang akan diolah. Data kontur diambil dengan mengukur secara 3 dimensi terhadap gerusan hilir bendung.
12. Mengulangi percobaan ke 2 – 11 dengan mengubah ketinggian air di hulu bendung (h_0).

13. Melakukan percobaan yang sama untuk sedimen pasir yang tertahan saringan diameter lubang 0,15 mm (S2).
14. Gerusan yang terjadi dengan panjang maksimal (L_{max}) hilir bendung, diukur untuk percobaan dengan debit yang besar dari kelima variasi h_0 untuk kedua variasi dari gradasi sedimen pasir.
15. Membersihkan peralatan dan bahan penelitian setelah selesai dilakukan percobaan, dengan mematikan terlebih dahulu alat simulasi gerusan. Hal ini bertujuan agar peralatan dan bahan penelitian yang digunakan tetap dalam kondisi baik serta tidak mengalami kerusakan.

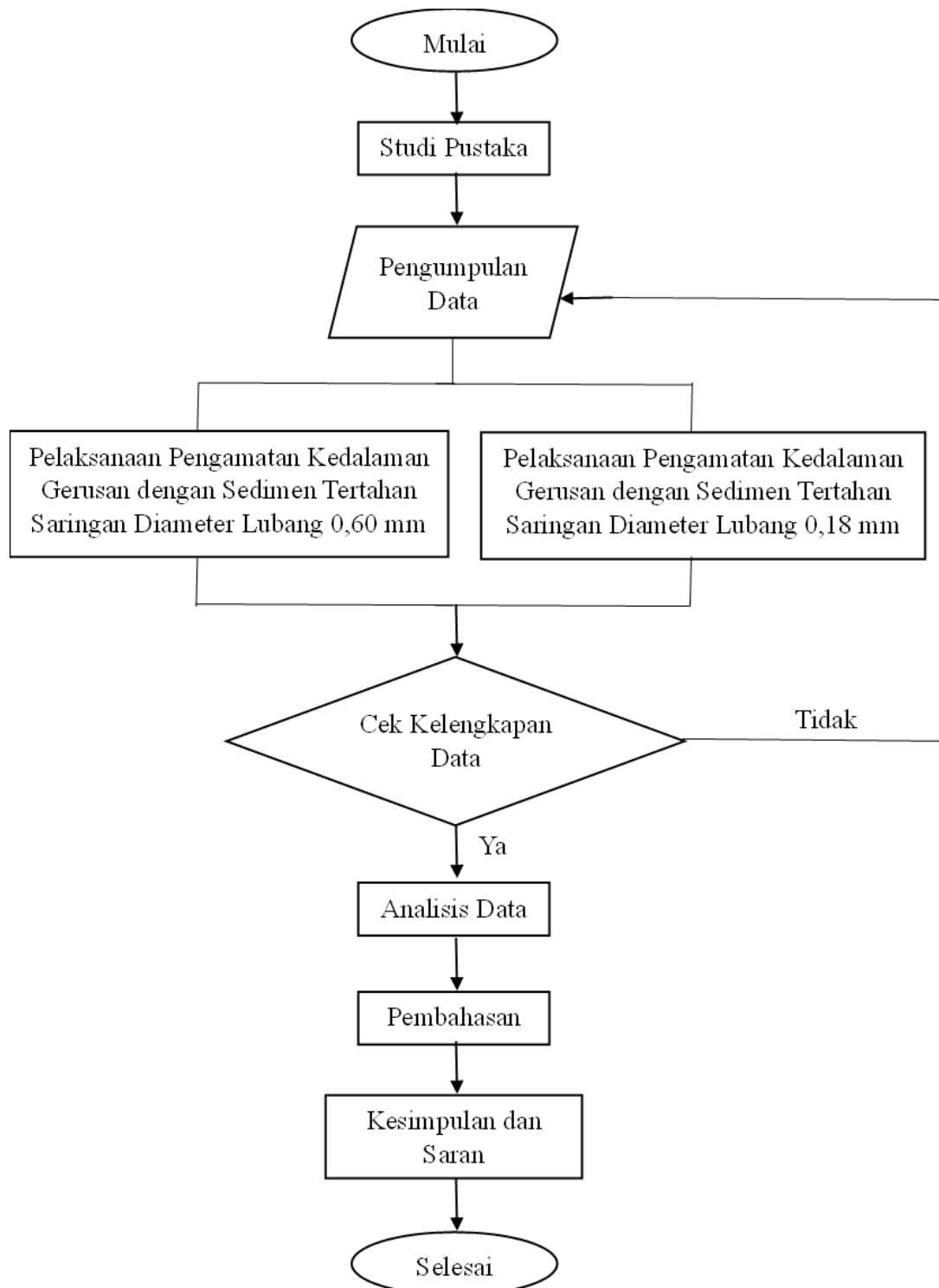
3.6 Analisis Data

Data percobaan didapatkan dengan matriks pengambilan data penelitian. Lihat Tabel 1. Dalam tabel itu ditunjukkan berbagai parameter aliran untuk dianalisis dalam memperoleh kesimpulan dari hubungan beberapa variabel penelitian. Prosedur yang diambil dalam menganalisis data penelitian sebagai berikut:

1. Debit pengaliran dari setiap variasi ketinggian muka air di atas mercu (h_0) dihitung terhadap volume (V) dan waktu (t) dari setiap 1 liter air tertampung.
2. Setelah perhitungan debit didapatkan, dilakukan perhitungan kecepatan aliran rata-rata.
3. Bilangan *Froude* dan *Reynolds* dihitung guna memperoleh karakteristik aliran dari setiap percobaan yang dilakukan.
4. Diameter rerata butiran sedimen (d_{50}) dicari nilainya dari analisis saringan yang sebelumnya sudah dilakukan di Laboratorium Bahan dan Konstruksi.
5. Menghitung dengan persamaan Lacey untuk memperoleh nilai kedalaman gerusan teoritis.
6. Membandingkan hasil perhitungan secara teoritis dengan pengamatan secara visual terhadap kedalaman gerusan (y_m).
7. Dari kedua metode pengukuran (teoritis Lacey dan pengamatan visual), dibuat grafik perbandingannya.
8. Hasil gerusan yang terjadi dapat dibuat gambar konturnya dengan memakai perangkat lunak *Surfer* untuk memperoleh *output* yang mudah dimengerti.

3.7 Diagram Alir

Berikut merupakan diagram alir metodologi dari penelitian yang dilakukan.



Gambar 18. Diagram alir metodologi penelitian.

V. KESIMPULAN DAN SARAN

5.1 Kesimpulan

Berikut merupakan kesimpulan yang dapat diambil dari hasil analisis data percobaan yang dilakukan di Laboratorium Hidroteknik Universitas Lampung.

1. Hasil perhitungan untuk kelima variasi debit dan sedimen, bilangan Froude pada kolam olak menunjukkan $Fr > 1$ sehingga termasuk dalam kategori aliran super kritis. Akan tetapi setelah aliran dari kolam olak menuju *end sill*, bilangan Froude pada *end sill* menunjukkan $Fr < 1$ sehingga termasuk dalam kategori aliran subkritis. Perubahan kondisi aliran dari super kritis pada kolam olak menjadi subkritis pada *end sill*, mengakibatkan terjadinya loncatan hidraulik yang menggerus hilir bendung. Sedangkan bilangan Reynolds pada *end sill* menunjukkan $Re > 2000 - 4000$, sehingga termasuk dalam kategori aliran transisi atau bahkan turbulen. Hasil analisis dari diagram *Shield* menunjukkan terjadinya awal gerak butiran kedua sedimen berdasarkan parameter bilangan Reynolds dan diameter rerata butiran (d_{50}). Berdasarkan diagram *Shield* disimpulkan bahwa nilai bilangan Reynolds terkecil yaitu 2200 sudah mampu menggerakkan butiran dari kedua sedimen yang memiliki nilai d_{50} yaitu 1,1 mm untuk S1 dan 0,39 mm untuk S2.
2. Panjang dan kedalaman gerusan yang terjadi di hilir bendung sangat dipengaruhi oleh variasi debit pengaliran karena nilainya berbanding lurus. Jika debit pengaliran nilainya semakin besar, maka kedalaman dan panjang gerusan juga akan semakin besar. Berdasarkan grafik regresi linier, terdapat hubungan yang erat di antara keduanya. Sedangkan dari kedua metode kedalaman gerusan, metode pengamatan visual hasilnya lebih besar dari metode perhitungan Lacey yang perbedaannya rata-rata di antara keduanya 20%.

3. Kedalaman gerusan juga dipengaruhi oleh variasi gradasi sedimen. Hal itu dibuktikan oleh panjang dan kedalaman gerusan sedimen kedua (S2) lebih besar daripada sedimen pertama (S1) untuk kedua metode perhitungan, baik visual maupun Lacey. Berdasarkan metode visual, diameter butiran yang lebih kecil menghasilkan panjang dan kedalaman gerusan yang lebih besar. Sedangkan menurut metode Lacey, faktor d50 menentukan nilai kedalaman gerusan sehingga sedimen kedua (S2) yang gradasi butirannya lebih kecil memiliki hasil perhitungan yang lebih besar daripada sedimen pertama (S1).
4. Setelah dilakukan percobaan dengan waktu pengaliran selama 60 menit, panjang dan kedalaman gerusan meningkat terus-menerus sampai terjadi kondisi keseimbangan (*equilibrium*) pada interval menit ke-50 waktu aliran.

5.2 Saran

Berikut merupakan beberapa saran yang dapat diambil berdasarkan percobaan yang sudah dilakukan di Laboratorium Hidroteknik Universitas Lampung.

1. Penelitian perlu dilanjutkan dengan memberikan variasi yang lain terhadap karakteristik sedimen dan jenis kolam olak yang digunakan.
2. Perlu dibuatnya rencana penelitian yang mendetail sebelum dilakukan pengambilan data agar penelitian tidak dilakukan secara berulang – ulang.
3. Perlu dibuatnya matriks penelitian secara lengkap untuk memudahkan pencatatan data dalam melakukan penelitian.

DAFTAR PUSTAKA

- Abdurrosyid, J. & Muttaqin, F. 2020. Kajian Pengaruh Bendung Bertangga Tipe Kolam Olak Roller Bucket Terhadap Panjang Loncatan Air dan Peredaman Energi. *Simposium Nasional RAPI XIX Tahun 2020 FT UMS*. (2013):70–81.
- Abidin, K. & Wagiani, S. 2015. Studi Analisis Perbandingan Kecepatan Aliran Air Melalui Pipa Venturi dengan Perbedaan Diameter Pipa. *Dinamika*. 4(1).
- Carter, R.W. & Anderson, I.E. 1963. Accuracy of Current Meter Measurements. *Journal of the Hydraulics Division*. 89(4):105–115.
- Christine, M. & Tallar, R.Y. 2003. Penggerusan Sedimen di Dasar Sungai Bagian Hilir Kolam Olak Suatu Bendung Tertentu. *Jurnal Teknik Sipil Maranatha*. 1(1):143252.
- Daning Pangestu, A. 2020. Studi Gerusan di Hilir Bendung Kolam Olak Tipe Vlughter dengan Perlindungan Groundsill. *Jurnal Teknisia*. XXIII(1):463–473.
- Fitriana, N. 2014. Analisis Gerusan di Hilir Bendung Tipe Vlughter (Uji Model Laboratorium). *Jurnal Teknik Sipil dan Lingkungan*. 2(3).
- Guo, J. 2020. Empirical Model for Shields Diagram and Its Applications. *Journal of Hydraulic Engineering*. 146(6):4020038.
- Jackson, D. & Launder, B. 2007. Osborne Reynolds and The Publication of His Papers on Turbulent Flow. *Annu. Rev. Fluid Mech*. 39:19–35.
- Lacey, R. 2016. The Characteristic Flow Equation: A Tool for Engineers and Scientists. *Geotextiles and Geomembranes*. 44(4):534–548.
- Larsen, B.E. & Fuhrman, D.R. 2023. Re-Parameterization of Equilibrium Scour Depths and Time Scales for Monopiles. *Coastal Engineering*. 185.
- Liu, X. & García, M.H. 2008. Three-Dimensional Numerical Model With Free Water Surface and Mesh Deformation for Local Sediment Scour. *Journal of Waterway, Port, Coastal, and Ocean Engineering*. 134(4):203–217.
- Manes, C. & Brocchini, M. 2015. Local Scour Around Structures and The Phenomenology of Turbulence. *Journal of Fluid Mechanics*. 779:309–324.
- Nubuwah, M.S., Haris, V.T. & Putri, L.D. 2021. Evaluasi Kinerja Jaringan Saluran Irigasi. *Jurnal Teknik Sipil Unaya*. 7(1):1–11.

- Perencanaan Bagian Bangunan Utama, K. 2013. *Kementerian Pekerjaan Umum Direktorat Jendral Sumber Daya Air Direktorat Irigasi dan Rawa : Standar Perencanaan Irigasi*.
- Pratama, F. & Sutikno, S. 2023. Analisis Awal Gerak Butiran pada Transport Sedimen Tanah Gambut Jenis Fibrik. *Jurnal Teknologi dan Rekayasa Sipil*. 2(1):15–27.
- Prayudi, A., Rizalihadi, M. & Fauzi, A. 2022. Studi Gerusan pada Hilir Kolam Olak Bendung. *Journal of The Civil Engineering Student*. 4(1):43–49.
- Purwanto, P. & Ikhsan, J. 2006. Analisis Kebutuhan Air Irigasi pada Daerah Irigasi Bendung Mrican1. *Semesta Teknika*. 9(1):83–93.
- Riki Chandra, R. 2022. Analisis Pola Hidraulik Peredaman Energi pada Kolam Olak Tipe Vlughter di Hilir Pelimpah Bertangga dengan Model Fisik 2D. *JRSDD*. 10(1):39–52.
- Saputra, D.T. 2019. Kajian Pemilihan Jenis Kolam Olak dari Segi Fisik Bendung pada Bendung di Dusun Darok. *Prosiding SENTIKUIN (Seminar Nasional Teknologi Industri, Lingkungan dan Infrastruktur)*. 2:D6-1.
- Suhudi, S. & Pandawa, A.P.A. 2022. Analisis Energi Spesifik pada Saluran Terbuka dengan Penambahan Variasi Panjang Ambang Lebar. *Jurnal Qua Teknika*. 12(01):25–44.
- Triatmodjo, B. 2015. Hidraulika II.
- Umum, D.P. & Pengairan, D.J. 2013. Standar Perencanaan Irigasi Kriteria Perencanaan Bagian Bangunan Utama KP-02. *Jakarta: Kementrian Pekerjaan Umum Direktorat Jendral Sumber Daya Air Direktorat Irigasi dan Rawa*.
- Wang, Z.-Y. 1999. Experimental Study on Scour Rate and River Bed Inertia. *Journal of Hydraulic Research*. 37(1):17–37.
- Wigati, R. 2017. Pengaruh Penggunaan Kolam Olak Sebagai Peredam Energi Loncat Air Terhadap Kedalaman Muka Air Hilir. *Fondasi: Jurnal Teknik Sipil*. 3(1).
- Zanke, U.C.E., Hsu, T.-W., Roland, A., Link, O. & Diab, R. 2011. Equilibrium Scour Depths Around Piles in Noncohesive Sediments Under Currents and Waves. *Coastal Engineering*. 58(10):986–991.