

TUGAS AKHIR

**PERBANDINGAN GERUSAN PADA BENDUNG DI
HILIR KOLAM OLAK TIPE *VLUGHTER* DENGAN
PROTEKSI RIPRAP DAN *GROUNDSILL*
(*COMPARISON OF EROSION AT DOWNSTREAM OF
VLUGHTER TYPE WEIR POND WITH RIPRAP AND
GROUNDSILL PROTECTION*)**

**Diajukan Kepada Universitas Islam Indonesia Yogyakarta Untuk Memenuhi
Persyaratan Memperoleh Derajat Sarjana Teknik Sipil**



**IHLASUL MUBASIR MAS'AD
18511034**

**PROGRAM STUDI TEKNIK SIPIL
FAKULTAS TEKNIK SIPIL DAN PERENCANAAN
UNIVERSITAS ISLAM INDONESIA
2023**

TUGAS AKHIR

**PERBANDINGAN GERUSAN DI HILIR KOLAM
OLAK PADA BENDUNG TIPE *VLUGHTER* DENGAN
PROTEKSI RIPRAP DAN *GROUNDSILL*
(*COMPARISON OF EROSION AT DOWNSTREAM OF
VLUGHTER TYPE WEIR POND WITH RIPRAP AND
GROUNDSILL PROTECTION*)**

Disusun Oleh:

Ihlasul Mubasir Mas'ad

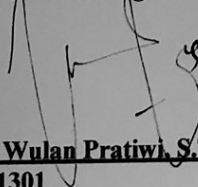
18511034

Telah diterima sebagai salah satu persyaratan
untuk memperoleh derajat Sarjana Teknik Sipil

Diuji pada tanggal 15 Agustus 2023

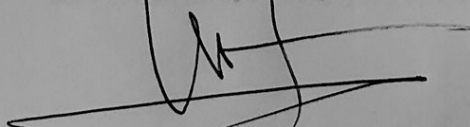
Oleh Dewan Penguji:

Pembimbing 1



D.A Wahyu Wulan Pratiwi, S.T., M.T.
NIK: 155111301

Penguji 1



Dr. Ir. Lalu Makrup, M.T.
NIK: 885110106

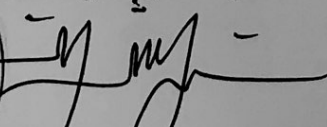
Penguji 2



Shofwatul Fadilah, S.T.P., M. Eng
NIK: 215111308

Mengesahkan,
Ketua Program Teknik Sipil



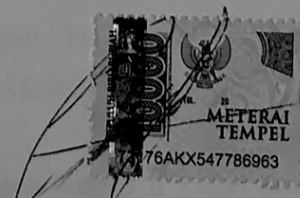

Nuralla Muntafi, S.T., M.T., Ph.D.(Eng).
NIK: 095110101

PERNYATAN BEBAS PLAGIASI

Saya menyatakan dengan sesungguhnya bahwa Tugas Akhir yang saya susun sebagai syarat untuk penyelesaian program Sarjana di Program Studi Teknik Sipil, Fakultas Teknik Sipil dan Perencanaan, Universitas Islam Indonesia merupakan hasil karya saya sendiri. Adapun bagian-bagian tertentu dalam penulisan Tugas Akhir yang saya kutip dari hasil karya orang lain telah dituliskan dalam sumbernya secara jelas sesuai dengan norma, kaidah dan etika penulisan karya ilmiah. Apabila di kemudian hari ditemukan seluruh atau sebagian Tugas Akhir ini bukan hasil karya saya sendiri atau adanya plagiasi dalam bagian-bagian tertentu, saya bersedia menerima sanksi, termasuk pencabutan gelar akademik yang saya sandang sesuai dengan perundang-undangan yang berlaku.

Yogyakarta, 5 Agustus 2023

Yang membuat pernyataan,



Ihlasul Mubasir Mas'ad

(18511034)

KATA PENGANTAR

Puji syukur penulis panjatkan kepada ALLAH SWT, sehingga penulis dapat menyelesaikan Tugas Akhir yang berjudul *Perbandingan Gerusan di Hilir Kolam Olak Pada Bendung Tipe Vlughter Dengan Proteksi Riprap dan Groundsill*. Tugas Akhir ini merupakan salah satu syarat akademik dalam menyelesaikan studi tingkat sarjana di Program Studi Teknik Sipil, Fakultas Teknik Sipil dan Perencanaan, Universitas Islam Indonesia, Yogyakarta.

Dalam penyusunan Tugas Akhir ini banyak hambatan yang dihadapi penulis, namun berkat saran, kritik, serta dorongan semangat dari berbagai pihak, alhamdulillah Tugas Akhir ini dapat diselesaikan. Maka dari itu, penulis ingin mengucapkan terima kasih kepada:

1. Ibu Ir. Yunalia Muntafi, S.T., M.T., Ph.D.(Eng). Selaku Ketua Program Studi Teknik Sipil, Fakultas Teknik Sipil dan Perencanaan, Universitas Islam Indonesia yang telah banyak memberikan banyak bantuan selama masa perkuliahan.
2. Ibu DA Wahyu Wulan Pratiwi, S.T., M.T. selaku dosen pembimbing yang telah membimbing penulis dan memberikan ilmu-ilmu yang bermanfaat serta selalu memberikan motivasi kepada penulis, sehingga penulis dapat menyelesaikan Tugas Akhir ini.
3. Bapak Dr. Ir. Lalu Makrup, M.T. selaku dosen Penguji I Tugas Akhir yang telah memberikan masukan dan koreksi sehingga Tugas Akhir ini menjadi lebih baik, serta memberikan nasihat kepada penulis.
4. Ibu Shofwatul Fadilah, S.T.P., M.Eng. Selaku dosen Penguji II Tugas Akhir yang telah memberikan masukan dan koreksi sehingga membuat Tugas Akhir ini menjadi lebih baik, serta memberikan nasihat dan motivasi kepada penulis.
5. Orang tua yang sangat penulis cintai, Bapak Mas'ad Muawan, S.Si. selaku ayahanda dan Ibu Istu Fajari selaku ibunda penulis yang telah berkorban, memberikan kasih sayang, doa, serta dukungan baik moral maupun material.
6. Kakak-kakak dan adik-adik penulis yang telah memberikan dukungan serta doa.

7. Ibu Astriana Hardawati, S.T., M.Eng. selaku Dosen Pembimbing Akademik yang senantiasa memberikan bimbingan serta motivasi kepada penulis selama masa perkuliahan.
8. Teman-teman jurusan Teknik Sipil 2018 yang telah memberikan masukan, dukungan serta motivasi dalam pengerjaan Tugas Akhir ini.

Penulis menyadari sepenuhnya bahwa Tugas Akhir ini masih banyak kekurangan dan jauh dari kata sempurna, dikarenakan keterbatasan pengetahuan dan pengalaman. Akhir kata Penulis berharap agar Tugas Akhir ini dapat bermanfaat bagi pihak yang membacanya.

Yogyakarta, 5 Agustus 2023

Penulis,



Ihlusul Mubasir Mas'ad

(18511034)

DAFTAR ISI

HALAMAN JUDUL	i
HALAMAN PENGESAHAN	ii
PERNYATAN BEBAS PLAGIASI	iii
KATA PENGANTAR	iv
DAFTAR ISI	vi
DAFTAR TABEL	viii
DAFTAR GAMBAR	ix
DAFTAR LAMPIRAN	xii
DAFTAR NOTASI	xiii
ABSTRAK	xv
ABSTRACT	xvi
BAB I PENDAHULUAN	1
1.1 Latar Belakang	1
1.2 Rumusan Masalah	2
1.3 Tujuan Penelitian	2
1.4 Manfaat Penelitian	3
1.5 Batasan Penelitian	3
BAB II TINJAUAN PUSTAKA	4
2.1 Tinjauan Umum	4
2.2 Penelitian Terdahulu	4
2.3 Perbandingan dengan Penelitian Terdahulu	7
2.4 Keaslian Penelitian	11
BAB III LANDASAN TEORI	12
3.1 Saluran Terbuka	12
3.1.1 Distribusi Kecepatan	13
3.1.2 Keadaan Aliran	14
3.2 Persamaan Kontinuitas	17
3.3 Bendung	18
3.3.1 Mercu Bendung	18
3.3.2 Bangunan Peredam Energi	19
3.3.3 Kolam Olak Tipe <i>Vlughter</i>	21

3.4	Gerusan	22
3.5	Mekanisme Gerusan	23
3.6	Permulaan Gerak Butiran	24
3.7	Kedalaman Gerusan	26
3.8	Perlindungan Gerusan	27
3.9	Aplikasi Golden Surfer v13.6.618	29
BAB IV METODOLOGI PENELITIAN		30
4.1	Jenis Penelitian	30
4.2	Alat dan Bahan Penelitian	30
4.3	Data Penelitian	34
4.4	Pembuatan Model	34
4.5	Metode pengambilan data	35
4.6	Metode Analisis Data	39
4.7	<i>Flowchart</i> Metodologi Penelitian	41
BAB V ANALISIS DAN PEMBAHASAN		42
5.1	Tinjauan Umum	42
5.2	Hasil Penelitian	42
5.3	Pembahasan	68
5.3.1	Pola Gerusan Pada Hilir Bendung	68
5.3.2	Perbandingan Pola Gerusan	80
5.3.3	Hubungan Kedalaman Gerusan Terhadap Waktu	81
5.3.4	Hubungan Kedalaman Gerusan dengan Variasi Debit	82
5.1.2	Hubungan Kedalaman Gerusan dengan Panjang Gerusan Terhadap Debit	83
5.3.5	Pengaruh Proteksi Groundsill Terhadap Pola Gerusan	84
5.3.6	Pengaruh Proteksi Riprap terhadap Pola Gerusan	89
5.3.7	Angka Reynold (Re)	91
5.3.8	Perbandingan Bilangan Froude	93
BAB VI KESIMPULAN DAN SARAN		96
6.1	Kesimpulan	96
6.2	Saran	97
DAFTAR PUSTAKA		98

DAFTAR TABEL

Tabel 2.1 Matriks Penelitian Terdahulu dan Penelitian Sekarang	8
Tabel 4.1 Tabel Notasi Yang digunakan dalam Pengujian	36
Tabel 5.1 Hasil Analisis Saringan Agregat Halus	43
Tabel 5.2 Pengamatan Percobaan Tanpa Proteksi h_0 0,175	44
Tabel 5.3 Pengamatan Percobaan Tanpa Proteksi h_0 0,180	48
Tabel 5.4 Pengamatan Percobaan Tanpa Proteksi h_0 0,185	49
Tabel 5.5 Rekapitulasi Perhitungan pada Pengamatan Gerusan Tanpa Proteksi	50
Tabel 5.6 Pengamatan Percobaan Pada Proteksi Groundsill h_0 0,175	51
Tabel 5.7 Pengamatan Percobaan Pada Proteksi Groundsill h_0 0,180	52
Tabel 5.8 Pengamatan Percobaan Pada Proteksi Groundsill h_0 0,185	54
Tabel 5.9 Pengamatan Percobaan Pada Proteksi Groundsill h_0 0,185 $\frac{1}{2} L_{maks}$	55
Tabel 5.10 Rekapitulasi Perhitungan pada Pengamatan Gerusan dengan Proteksi <i>Grondsill</i>	57
Tabel 5.11 Hasil Analisis Saringan d_{50} untuk riprap	58
Tabel 5.12 Pengamatan Percobaan Pada Proteksi Riprap h_0 0,175	60
Tabel 5.13 Pengamatan Percobaan Pada Proteksi Riprap h_0 0,180	61
Tabel 5.14 Pengamatan Percobaan Pada Proteksi Riprap h_0 0,185	62
Tabel 5.15 Pengamatan Percobaan Pada Proteksi Riprap h_0 0,185 $\frac{1}{2} L_{maks}$	64
Tabel 5.16 Rekapitulasi Perhitungan pada Pengamatan Gerusan dengan Proteksi Riprap	66
Tabel 5.17 Rekap Hasil Perhitungan Kedalaman Gerusan Metode Lacey	67
Tabel 5.18 Perbandingan Gerusan Metode Lacey dengan Percobaan	83
Tabel 5.19 Reduksi Kedalaman Gerusan dengan Proteksi <i>Groundsill</i>	87
Tabel 5.20 Reduksi Panjang Gerusan dengan Proteksi <i>Groundsill</i>	88
Tabel 5.21 Reduksi Kedalaman Gerusan dengan Proteksi Riprap	91
Tabel 5.22 Reduksi Panjang Gerusan dengan Proteksi Riprap	91
Tabel 5.23 Rekapitulasi Angka Reynold	91
Tabel 5.24 Bilangan Froude di Kolam Olak	94
Tabel 5.25 Bilangan Froude di <i>Endsill</i>	94

DAFTAR GAMBAR

Gambar 3.1	Aliran Seragam dan Berubah	12
Gambar 3.2	Distribusi Kecepatan Pada Saluran Terbuka	13
Gambar 3.3	Tabung Aliran Untuk Menurunkan Persamaan Kontinuitas	17
Gambar 3.4	Tipe Mercu Bendung	18
Gambar 3.5	Tekanan Pada Mercu Bulat Sebagai Fungsi Perbandingan $H1/r$	19
Gambar 3.6	Diagram Untuk Memperkirakan Tipe Bangunan Yang Digunakan Untuk Perencanaan Detail	21
Gambar 3.7	Kolam Olak Menurut Vlughter	21
Gambar 3.8	Ilustrasi Gerusan di Hilir Bendung	24
Gambar 3.9	Diagram Shields	26
Gambar 4.1	Set Hydraulic Flume	31
Gambar 4.2	Riprap	31
Gambar 4.3	Model Groundsill	32
Gambar 4.4	Model Bendung	32
Gambar 4.5	Penggaris	33
Gambar 4.6	Saringan Ukuran 4,75 mm	33
Gambar 4.7	Rencana Desain Bendung Dalam Satuan mm	35
Gambar 4.8	Rencana Penempatan Groundsill	38
Gambar 4.9	Rencana Penempatan Riprap sejauh $1/2 L_{maxs}$	39
Gambar 4.10	Rencana Penempatan Riprap Sejauh L_{maxs}	39
Gambar 4.11	Flowchart Penelitian	41
Gambar 5.1	Letak Pengukuran Untuk Pengambilan Data	43
Gambar 5.2	Penentuan Ukuran Diameter Rata-rata Butiran Sedimen (d_{50})	44
Gambar 5.3	Pola Aliran Pada Percobaan Tanpa proteksi h_0 0,175	45
Gambar 5.4	Percobaan Pengamatan Gerusan Tanpa Proteksi h_0 0,175	45
Gambar 5.5	Pola Aliran Pada Percobaan Tanpa proteksi h_0 0,180	48
Gambar 5.6	Percobaan Pengamatan Gerusan Tanpa Proteksi h_0 0,180	49
Gambar 5.7	Pola Aliran Pada Percobaan Tanpa proteksi h_0 0,185	50

Gambar 5.8	Percobaan Pengamatan Gerusan Tanpa Proteksi h_0 0,185	50
Gambar 5.9	Pola Aliran Pada Percobaan Groundsill h_0 0,175	51
Gambar 5.10	Percobaan Pengamatan Gerusan dengan Groundsill h_0 0,175	52
Gambar 5.11	Pola Aliran Pada Percobaan Groundsill h_0 0,180	53
Gambar 5.12	Percobaan Pengamatan Gerusan dengan Groundsill h_0 0,180	53
Gambar 5.13	Pola Aliran Pada Percobaan Tanpa proteksi h_0 0,185 m	54
Gambar 5.14	Percobaan Pengamatan Gerusan dengan Groundsill h_0 0,185 m	54
Gambar 5.15	Pola Aliran Pada Percobaan $\frac{1}{2} L_{maks}$ Groundsill h_0 0,185 m	55
Gambar 5.16	Percobaan Pengamatan Gerusan dengan $\frac{1}{2} L_{maks}$ Groundsill h_0 0,185 m	56
Gambar 5.17	Penentuan Ukuran Diameter Rata-rata Batuan Riprap (d_{50})	58
Gambar 5.18	Pola Aliran Pada Percobaan L_{maks} Riprap h_0 0,175 m	60
Gambar 5.19	Percobaan Pengamatan Gerusan dengan L_{maks} Riprap h_0 0,175 m	61
Gambar 5.20	Pola Aliran Pada Percobaan L_{maks} Riprap h_0 0,180 m	62
Gambar 5.21	Percobaan Pengamatan Gerusan dengan L_{maks} Riprap h_0 0,180 m	62
Gambar 5.22	Pola Aliran Pada Percobaan L_{maks} Riprap h_0 0,185 m	63
Gambar 5.23	Percobaan Pengamatan Gerusan dengan L_{maks} Riprap h_0 0,185 m	63
Gambar 5.24	Pola Aliran Pada Percobaan $\frac{1}{2} L_{maks}$ Riprap h_0 0,185	64
Gambar 5.25	Percobaan Pengamatan Gerusan dengan $\frac{1}{2} L_{maks}$ Riprap h_0 0,185	64
Gambar 5.26	Kontur Gerusan pada Percobaan Tanpa Proteksi 1	69
Gambar 5.27	Pola Gerusan Tiga Dimensi pada Percobaan 1 Tanpa Proteksi	69
Gambar 5.28	Kontur Gerusan pada Percobaan Tanpa Proteksi 2	70
Gambar 5.29	Pola Gerusan Tiga Dimensi pada Percobaan Tanpa Proteksi 2	70
Gambar 5.30	Kontur Gerusan pada Percobaan Tanpa Proteksi 3	71
Gambar 5.31	Pola Gerusan Tiga Dimensi pada Percobaan Tanpa Proteksi 2	71
Gambar 5.32	Rekapitulasi Pola Gerusan Pada Berbagai Variasi Tanpa Proteksi	72
Gambar 5.33	Kontur Gerusan pada Percobaan Proteksi Groundsill L_{maks} 1	73
Gambar 5.34	Pola Gerusan pada Percobaan Proteksi Groundsill L_{maks} 1	73
Gambar 5.35	Kontur Gerusan pada Percobaan Proteksi Groundsill L_{maks} 2	74
Gambar 5.36	Pola Gerusan pada Percobaan Proteksi Groundsill L_{maks} 2	74
Gambar 5.37	Kontur Gerusan pada Percobaan Proteksi Groundsill L_{maks} 3	75

Gambar 5.38	Pola Gerusan pada Percobaan Proteksi <i>Groundsill</i> $L_{maks} 3$	75
Gambar 5.39	Pola Gerusan pada Percobaan Proteksi <i>Groundsill</i> $\frac{1}{2} L_{maks}$	76
Gambar 5.40	Pola Gerusan pada Percobaan Proteksi <i>Groundsill</i> $\frac{1}{2} L_{maks}$	77
Gambar 5.41	Rekapitulasi Pola Gerusan Pada Berbagai Variasi Proteksi <i>Groundsill</i>	78
Gambar 5.42	Kontur Gerusan pada Percobaan Proteksi Riprap $\frac{1}{2} L_{maks}$	79
Gambar 5.43	Pola Gerusan pada Percobaan Proteksi Riprap $\frac{1}{2} L_{maks}$	79
Gambar 5.44	Perbandingan Pola Gerusan	80
Gambar 5.45	Grafik Hubungan Kedalaman Gerusan Terhadap Waktu	81
Gambar 5.46	Hubungan Kedalaman Gerusan dengan Debit Aliran	82
Gambar 5.47	Hubungan Panjang Gerusan dengan Kedalaman Gerusan Terhadap Debit	84
Gambar 5.48	Perbandingan Kedalaman Gerusan Sebelum dan Sesudah Ada proteksi <i>Groundsill</i>	85
Gambar 5.49	Perbandingan Panjang Gerusan Sebelum dan Sesudah Ada proteksi <i>Groundsill</i>	86
Gambar 5.50	Perbandingan Kedalaman Gerusan Sebelum dan Sesudah Ada Proteksi Riprap	89
Gambar 5.51	Perbandingan Panjang Gerusan Sebelum dan Sesudah Ada Proteksi Riprap	90
Gambar 5.52	Letak Pengambilan Data Angka Reynold dan Angka Froude	92
Gambar 5.53	Hubungan Angka Reynold dengan Diameter Butiran pada Diagram Shield	92
Gambar 5.54	Hubungan Kedalaman Gerusan dengan Kedalaman Aliran dan Angka Froude	93
Gambar 5.55	Perbandingan Bilangan Froude di Kolam Olak	95
Gambar 5.56	Perbandingan Bilangan Froude di Endsill	95

DAFTAR LAMPIRAN

Lampiran 1 Tahapan Membuat Kontur Gerusan dengan Software surfer v13.6.618	100
Lampiran 2 Form Data Karakteristik Aliran dan Data Gerusan	106
Lampiran 3 Form Data Kontur Kedalaman Gerusan	110
Lampiran 4 Surat Penggunaan Laboratorium	120

DAFTAR NOTASI

Re	= Bilangan Reynolds
Fr	= Bilangan Froude
h_0	= Tinggi aliran di hulu
h_1	= Tinggi air di kolam olak
h_2	= Tinggi air di <i>endsill</i>
h_3	= Tinggi air di hilir
t	= waktu pengukuran volume tertampung (s)
T	= Waktu pengaliran (menit)
ν	= Kekentalan kinematic m^2/s
v	= Kecepatan aliran (m/s)
V	= Volume tertampung aliran (m^3)
Q	= Debit aliran (m^3/s)
A	= Luas penampang saluran (m^2)
g	= Percepatan gravitasi (m/s^2)
R	= Kedalaman gerusan metode Lacey (m)
F	= Faktor lumpur Lacey ($1,76 d_{50}^{0,5}$)
d_{50}	= Diameter rata-rata material (m)
Y_m	= Kedalaman gerusan percobaan (m)
L_m	= Panjang gerusan percobaan (m)
Y_{maks}	= Kedalaman gerusan percobaan maksimal (m)
L_{maks}	= Panjang gerusan percobaan maksimal (m)
y	= Kedalaman aliran diatas partikel (m)
Sf	= Faktor keamanan (must be >1)
Cs	= Koefisien distribusi kecepatan
CT	= Koefisien ketebalan selimut
V_{des}	= Kecepatan karakteristik untuk disain (m/s)
V_{avg}	= Kecepatan rata-rata penampang saluran (m/s)

- K1 = Faktor koreksi kemiringan sisi
Rc = Jari-jari hidraulik (m)
W = Lebar muka air (m)
Sg = Berat jenis riprap (biasanya diambil 2,65)

ABSTRAK

Loncat hidraulik merupakan fenomena yang terjadi di saluran akibat perubahan aliran dari superkritis menjadi subkritis. Fenomena loncat hidraulik dapat ditemui di bangunan bendung, sehingga kolam olak menjadi bagian bendung yang perlu didesain dengan baik agar mampu untuk meredam energi akibat loncat hidraulik tersebut. Akan tetapi permasalahan di hilir tubuh bendung juga kerap kali muncul berupa gerusan di bagian hilir kolam *endsill* bendung. Oleh karena itu, pada penelitian ini dilakukan kajian mengenai proteksi gerusan yang ada di hilir bendung dengan tujuan untuk mengetahui jenis proteksi yang optimal untuk mengurangi gerusan di hilir bendung.

Penelitian mengenai gerusan ini dilakukan di Laboratorium Hidrolika, Jurusan Teknik Sipil, Universitas Islam Indonesia menggunakan model bendung dengan kolam olak jenis *vlughter* yang dialiri dengan 3 variasi ketinggian h_0 . Waktu pengaliran tiap variasi dilakukan selama 60 menit. Penelitian ini dilakukan dengan dua variasi percobaan, antara lain percobaan tanpa proteksi dan percobaan dengan proteksi berupa riprap dan groundsill. Proteksi diletakkan dengan dua variasi jarak, yaitu jarak sejauh L_{maks} dan $\frac{1}{2} L_{maks}$. Material dasar yang digunakan adalah pasir halus (diameter ayakan 7mm) dengan ketebalan 5 cm di sepanjang saluran.

Hasil percobaan ini menunjukkan bahwa besar nilai gerusan dipengaruhi kecepatan aliran dan tinggi aliran di hulu (h_0), serta dipengaruhi oleh gravitasi (bilangan Froude) dan bilangan Reynold. Dari hasil pengamatan pada percobaan gerusan di hilir kolam olak dapat disimpulkan bahwa percobaan dengan proteksi groundsill L_{maks} saat h_0 0,185 m dapat mereduksi kedalaman gerusan sebesar 3,25% dan mereduksi panjang gerusan sebesar 37,35%, serta dengan proteksi groundsill $\frac{1}{2} L_{maks}$ saat h_0 0,185 m dapat mereduksi kedalaman gerusan sebesar 22,5% dan mereduksi panjang gerusan sebesar 55,88%. Sementara itu pada percobaan dengan proteksi riprap L_{maks} dapat mereduksi mencegah terjadinya gerusan sehingga tidak terdapat gerusan pada hilir kolam olak, akan tetapi pada percobaan dengan proteksi riprap $\frac{1}{2} L_{maks}$ saat h_0 0,185 m dapat mereduksi kedalaman gerusan sebesar 91,25% dan mereduksi panjang gerusan sebesar 73,53%. Sehingga dapat disimpulkan bahwa dengan menggunakan proteksi riprap sebagai perlindungan gerusan dapat mereduksi gerusan lebih baik jika dibandingkan dengan proteksi groundsill.

Kata kunci: Gerusan, Bendung, *Vlughter*, Riprap, Groundsill

ABSTRACT

Hydraulic jump is a phenomenon that occurs in channels due to a change in flow from supercritical to subcritical. The hydraulic jump phenomenon can be found in dam structures, where the stilling basin becomes a crucial part of the dam that needs to be well-designed to dissipate the energy resulting from the hydraulic jump. However, downstream issues in dam bodies also often arise in the form of erosion in the downstream part of the dam's stilling basin (endsill). Therefore, this study focuses on the investigation of erosion protection downstream of the dam with the aim of determining the optimal protection type to reduce erosion in the downstream area.

The erosion study was conducted at the Hydraulics Laboratory, Department of Civil Engineering, Universitas Islam Indonesia, using a sluice gate model with a vluhter-type stilling basin subjected to three variations of the upstream flow depth (h_0). The flow was allowed to run for 60 minutes in each variation. The study involved two experimental conditions: one without any protection and the other with protection using riprap and groundsill. The protection was placed at two different distances, namely L_{maks} and $\frac{1}{2} L_{maks}$. The channel bed material used was fine sand (with a sieve diameter of 7mm) with a thickness of 5 cm along the channel.

The experimental results indicate that the magnitude of erosion is influenced by the flow velocity and upstream flow depth (h_0) and is also affected by gravity (Froude number) and Reynolds number. Based on the observations of erosion experiments in the downstream stilling basin, it can be concluded that the experiment with L_{maks} groundsill protection at h_0 of 0.185 m can reduce the depth of erosion by 3.25% and the length of erosion by 37.35%, while the experiment with $\frac{1}{2} L_{maks}$ groundsill protection at h_0 of 0.185 m can reduce the depth of erosion by 22.5% and the length of erosion by 55.88%. Meanwhile, in the experiment with L_{maks} riprap protection, erosion is completely prevented, so there is no erosion in the downstream stilling basin. However, in the experiment with $\frac{1}{2} L_{maks}$ riprap protection at h_0 of 0.185 m, it can reduce the depth of erosion by 91.25% and the length of erosion by 73.53%. Thus, it can be concluded that using riprap protection is more effective in reducing erosion compared to groundsill protection.

Keyword: Scour, Dam, Vluhter, Riprap, Groundsill

BAB I

PENDAHULUAN

1.1 Latar Belakang

Kolam olak adalah salah satu bagian utama dari tubuh bendung yang berfungsi untuk meredam energi pada aliran sungai. Energi yang diredam oleh kolam olak adalah energi yang diakibatkan oleh perubahan aliran pada saluran. Perubahan aliran tersebut dapat terjadi karena perbedaan besar energi yang terdapat pada hulu bendung dengan hilir bendung. Air yang melintas diatas bendung memiliki energi yang lebih besar dibandingkan dengan energi yang ada di hilir, sehingga kecepatan alirannya meningkat. Kondisi tersebut dapat terjadi karena perubahan aliran dari superkritis menjadi subkritis. Aliran pada permukaan miring bendung adalah superkritis, sedangkan aliran pada hilir bendung yang landai adalah subkritis.

Perubahan jenis aliran dari superkritis menjadi subkritis menyebabkan terjadinya loncatan hidraulik (Raju, 1986). Terdapat kehilangan energi yang besar dan suatu kenaikan yang mendadak pada permukaan air. Loncatan hidraulik akan membentuk pusaran turbulen yang berukuran besar pada hilir bendung. Pusaran turbulen tersebut dapat menyebabkan terjadinya gerusan pada dasar saluran.

Dampak dari gerusan pada saluran dapat diantisipasi dengan membuat kolam olakan pada hilir bendung. Beberapa jenis kolam olakan yang bisa digunakan antara lain adalah kolam olak tipe USBR, Bucket, Vlughter, Schoklitch. Dalam pemilihan jenis kolam olak yang digunakan untuk menangani gerusan pada dasar saluran tergantung pada jenis aliran yang terjadi pada saluran. Dalam beberapa kasus di lapangan masih banyak terjadi gerusan meskipun telah diberikan kolam olakan pada saluran yang terjadi di hilir. Oleh karena itu diperlukan proteksi pada hilir kolam olakan untuk mengatasi gerusan tersebut. Pada penelitian laporan tugas akhir ini digunakan jenis kolam olak vlughter dengan membandingkan proteksi riprap dengan alternatif lain, yaitu *groundsill* (Ambang) untuk melihat pola gerusan yang terjadi pada hilir bendung.

Analisis terhadap gerusan sangat diperlukan, karena pada beberapa kasus yang terjadi di lapangan terdapat kerusakan pada badan bendung yang disebabkan oleh gerusan. Menurut data yang didapat dari Kementerian PU (2012) salah satu contoh kerusakan pada badan bendung terjadi pada bendung Air Pangi, Sumatra Selatan. Kerusakan tersebut diakibatkan penggerusan lokal sehingga menyebabkan pengikisan pada permukaan tubuh bendung dan lantai peredam hancur.

Oleh karena itu, diperlukan penelitian lebih lanjut mengenai pola gerusan di hilir bendung beserta solusi penanganannya, mengingat permasalahan yang terjadi di lapangan seperti yang telah dijelaskan di atas. Tujuan yang ingin dicapai penulis dari penelitian ini adalah untuk mengetahui perbandingan penggunaan riprap dan *groundsill* sebagai proteksi terhadap gerusan yang terjadi pada hilir bendung. Penelitian ini dilakukan dengan permodelan fisik laboratorium dengan menggunakan alat *Hidraulic flume* yang ada di Laboratorium Hidraulika, Jurusan Teknik Sipil, Fakultas Teknik Sipil dan Perencanaan, Universitas Islam Indonesia.

1.2 Rumusan Masalah

Berdasarkan latar belakang yang sudah dijelaskan, didapatkan rumusan masalah sebagai berikut:

1. Bagaimana karakteristik aliran yang terjadi di hilir bendung dengan kolam olakan tipe *vlughter* pada beberapa pengujian?
2. Bagaimana perbandingan pola gerusan tanpa menggunakan proteksi riprap dan *groundsill* dan dengan menggunakan proteksi riprap dan *groundsill*?
3. Bagaimana perbandingan pola gerusan dengan menggunakan proteksi riprap dan dengan menggunakan proteksi *groundsill*?

1.3 Tujuan Penelitian

Tujuan yang ingin dicapai dalam penelitian ini adalah sebagai berikut:

1. Mengetahui karakteristik aliran yang terjadi di hilir bendung dengan kolam olakan tipe *vlughter* pada beberapa kali pengujian.
2. Mengetahui perbandingan pola gerusan tanpa menggunakan proteksi riprap dan *groundsill* dan dengan menggunakan proteksi riprap dan *groundsill*.

3. Mengetahui perbandingan pola gerusan dengan menggunakan proteksi riprap dan dengan menggunakan proteksi *groundsill*.

1.4 Manfaat Penelitian

Diharapkan penelitian ini dapat bermanfaat untuk studi dalam pengamanan struktur bendung dari kerusakan maupun kegagalan struktur yang diakibatkan oleh gerusan serta dijadikan referensi untuk penelitian mengenai pengamanan struktur bendung selanjutnya.

1.5 Batasan Penelitian

1. Karakteristik yang diamati dalam penelitian ini adalah tipe aliran yang terjadi yang dapat diketahui melalui perhitungan angka Reynold (Re) dan angka Froude (Fr).
2. Pola gerusan yang diamati dalam penelitian ini adalah panjang dan kedalaman dari gerusan yang terjadi.
3. Pengujian dilaksanakan di Laboratorium Hidraulika Jurusan Teknik Sipil Fakultas Teknik Sipil Universitas Islam Indonesia.
4. Alat Flume yang digunakan memiliki ukuran lebar saluran 10 cm.
5. Model bendung menggunakan mercu bulat satu jari-jari dengan ukuran jari-jari 2cm.
6. Model bendung yang digunakan memiliki ukuran tinggi 16 cm dan lebar 10 cm serta kolam olakan tipe vluhter.
7. Riprap yang digunakan berupa batu kerikil. Dimensi dari Riprap mengacu pada persamaan EM1601.
8. *Groundsill* yang digunakan memiliki ukuran tinggi 5 cm dengan panjang 3,3 cm dan lebar 10 cm.
9. Aliran yang digunakan berupa aliran tanpa adanya kandungan sedimen (*clear water scour*).
10. Jarak penempatan *groundsill* sepanjang setengah L_{max} dan sepanjang L_{max} .
11. Penempatan riprap sepanjang setengah L_{max} dan sepanjang L_{max} .
12. Pengujian menggunakan variasi ketinggian air hulu 17,5 cm, 18 cm dan 18,5 cm.

BAB II

TINJAUAN PUSTAKA

2.1 Tinjauan Umum

Studi Pustaka merupakan kegiatan yang memiliki kaitan yang erat dengan suatu penelitian. Teori yang mendasari suatu masalah yang akan diteiti dapat diperoleh dengan melakukan studi kepustakaan. Seorang peneliti juga dapat memperoleh informasi tentang penelitian-penelitian terdahulu yang berkaitan dengan penelitiannya.

2.2 Penelitian Terdahulu

Berikut ini merupakan penelitian yang sudah pernah dilakukan dan memiliki keterkaitan dengan penelitian yang akan dilakukan sehingga dapat dijadikan sebagai studi Pustaka dan perbandingan dengan penelitian Tugas Akhir yang akan dilakukan.

2.2.1 Perlindungan Bendung Tipe *Vlughter* dengan *Groundsill*

Pangestu, (2018) melakukan penelitian dengan membuat model bendung dengan kolam olak tipe *vlughter* di laboratorium menggunakan alat *flume* dan menggunakan perlindungan *groundsill*. Tujuan dari penelitian yang dilakukan adalah untuk mengetahui pola gerusan dan kedalaman gerusan yang terjadi pada hilir bendung dengan menggunakan pengendalian gerusan berupa *groundsill* dengan jarak per-letakan *groundsill* yang paling efektif. Penelitian ini dilakukan dengan cara membuat model bendung mercu bulat dan kolam olak tipe *vlughter* dengan perlindungan *groundsill*. Dilakukan pengujian sebanyak 3 kali dengan ketinggian h_0 yang berbeda-beda dan tanpa digunakan perlindungan *groundsill*. Tujuannya adalah untuk mengetahui panjang gerusan maksimum (L_{max}). Kemudian dilakukan pengujian dengan meletakkan perlindungan *groundsill* pada jarak $1/2 L_{max}$ dan L_{max} . Hasil dari penelitian ini menyatakan bahwa hubungan antara kedalaman gerusan dan debit mempunyai hubungan yang sangat erat. Dengan adanya perlindungan *groundsill* dengan jarak L_{max} didapatkan reduksi kedalaman gerusan

sebesar 13,1579% dan reduksi panjang gerusan sebesar 17,6471%, sedangkan *groundsill* dengan jarak $\frac{1}{2} L_{\max}$ diperoleh reduksi kedalaman gerusan sebesar 9,2105% dan reduksi panjang gerusan sebesar 9,8039%. Kedalaman gerusan dari semua variasi debit terus meningkat seiring berjalannya waktu dan gerusan mulai masuk dalam keadaan seimbang ketika menit ke 50.

2.2.2 Studi Gerusan dan Perlindungannya

Abdurrosyid, dkk. (2009) melakukan penelitian mengenai gerusan yang terjadi di sebelah hilir kolam olakan dengan memodelkan bendung tipe USBR dengan perlindungan menggunakan bronjong batu (*riprap*) yang diikat dengan anyaman kawat. Pada dasarnya kolam olakan tipe USBR sudah dapat meredam loncatan energi yang diakibatkan oleh perubahan aliran dari super-kritis menjadi sub-kritis. Tetapi kenyataannya masih terjadi gerusan pada dasar saluran di sebelah hilir kolam olakan yang dapat menyebabkan kerusakan pada bangunan air tersebut. Pengambilan data dalam Penelitian tersebut dilakukan sebanyak 17 kali percobaan yang dibagi dalam dua kali pengukuran. Pengukuran pertama dilakukan 8 kali percobaan dengan variasi debit yang berbeda-beda dan dilakukan tanpa menggunakan perlindungan untuk mendapatkan panjang gerusan maksimum (L_{\max}). Pengukuran yang kedua dilakukan 9 kali percobaan dengan meletakkan *riprap* di bagian hilir sejauh $\frac{1}{4} L_{\max}$, $\frac{1}{2} L_{\max}$, dan sejauh L_{\max} . Masing-masing variasi dilakukan pengukuran sebanyak 3 kali. Hasil dari penelitian ini didapatkan kesimpulan pengujian tanpa perlindungan *riprap*, gerusan yang terjadi memiliki hubungan yang erat dengan angka *Froude*, dan angka *Reynold*. Pengujian dengan perlindungan *riprap* didapatkan reduksi kedalaman gerusan dengan *riprap* $\frac{1}{4} L_{\max}$ 46,69% dan reduksi panjang gerusan 15,53%. Reduksi kedalaman gerusan dengan *riprap* $\frac{1}{2} L_{\max}$ 80,75% dan reduksi panjang gerusan 26,21%. Reduksi kedalaman gerusan dengan *riprap* L_{\max} 86,96% dan reduksi panjang gerusan 47,32%.

2.2.3 Permodelan Gerusan Pada Hilir Bendung

Fitriana, (2014) melakukan penelitian permodelan bendung pada *flume* menggunakan kolam olak tipe *vlughter*. Penelitian ini berfungsi untuk mengetahui karakteristik aliran dan pola gerusan pada hilir bendung beserta variabel yang memengaruhi keduanya. Penelitian ini dilakukan dengan membandingkan dua

permodelan bendung dengan kolam olak tipe *vlughter*. Penelitian gerusan dilaksanakan sebanyak 3 kali pada masing-masing tipe bendung dengan variasi debit yang berbeda-beda. Hasil yang didapat dari pengamatan dalam penelitian ini adalah semakin besar debit maka loncatan hidraulik yang dihasilkan semakin panjang, panjang dari loncatan hidraulik tersebut dapat memengaruhi kedalaman gerusan yang terjadi pada hilir bendung.

2.2.4 Optimasi Hidraulik Penanganan Gerusan di Hilir Bendung

Zulfan, (2017) melakukan studi kasus pada Bendung Rengrang yang berada di Jawa Barat. Pada lokasi studi kasus tersebut memiliki potensi gerusan pada hilir bendung, sehingga diperlukan perkuatan pada dasar sungai di hilir bendung sebagaimana yang diinformasikan dalam laporan *Review* Desain Bendung Rengrang (BBWS Cimanuk Cisanggarung, 2013). Pengujian ini dilakukan dengan cara permodelan 3 dimensi yang dilaksanakan di laboratorium Hidraulika Puslitbang SDA. Model bendung dibuat dengan skala $1:33\frac{1}{3}$ dan luas bidang model 5×20 meter. Pengujian yang dilakukan di laboratorium adalah pengujian pengaliran dengan variasi desian debit $Q_{2\text{thn}}$, $Q_{20\text{thn}}$, dan $Q_{100\text{thn}}$ dengan 3 alternatif perkuatan dasar sungai. Alternatif 1 menggunakan perkuatan tanah dasar riprap dengan balok beton ukuran $1,0 \times 1,0$ meter dipasang merata mengikuti lebar bendung dengan panjang 15 meter dan diujung susunan riprap dipasang ambang balok menerus sebagai pembatas balok beton dengan tanah asli. Alternatif 2 penanganannya sama dengan alternatif 1, akan tetapi bahan material balok riprap diganti dengan batu-batuan $\geq 0,4$ meter. Alternatif 3 menggunakan pengamanan dasar sungai dengan batuan riprap yang membentuk huruf U yang diletakkan pada kaki ambang hilir dan tembok sayap kanan dan kiri, masing-masing sepanjang 5 meter. Alternatif ini tidak menggunakan ambang balok menerus, sehingga riprap langsung berbatasan dengan tanah asli tanpa ada penghalang. Hasil dari pengujian ini menunjukkan bahwa perkuatan dengan memasang ambang balok pada hilir tidak direkomendasikan karena dapat mengganggu kinerja peredam energi yang ada. Perkuatan dengan menggunakan alternatif 1 efektif untuk mengurangi panjang lubang gerusan (L_s) namun kedalaman gerusan (d_s) yang terjadi cukup tinggi. Pada alternatif 3 efektif untuk mengurangi kedalaman gerusan (d_s) akan tetapi panjang

lubang gerusan (L_s) cukup tinggi. Alternatif 3 dipilih menjadi perkuatan hilir yang paling optimum karena memiliki dampak kedalaman gerusan yang paling kecil dan ketersediaan material mudah didapatkan di lapangan.

2.3 Perbandingan dengan Penelitian Terdahulu

Berdasarkan kajian dari penelitian-penelitian sebelumnya, penelitian yang berjudul “Perbandingan Gerusan Pada Bendung Di Hilir Kolam Olak Tipe *Vlughter* Dengan Proteksi Riprap dan *Groundsill*” akan dilakukan dengan beberapa variasi dan metode yang berbeda dengan penelitian terdahulu, antara lain adalah:

1. Membandingkan dua proteksi bendung, yaitu riprap dan *groundsill*.
2. Penelitian akan digunakan kolam olak tipe *vlughter*, yang pada analisisnya akan membandingkan antara gerusan dengan proteksi riprap, gerusan dengan proteksi *groundsill*, dan gerusan tanpa ada proteksi.

Berikut ini adalah rangkuman persamaan dan perbedaan antara penelitian sebelumnya dengan penelitian sekarang yang dapat dilihat pada Tabel 2.1 berikut ini.

Tabel 2.1 Matriks Penelitian Terdahulu dan Penelitian Sekarang

No	Peneliti	Judul Penelitian	Metode Penelitian	Hasil Penelitian
1	Pangestu, (2018)	Studi Gerusan Di Hilir Bendung Kolam Olak Tipe <i>Vlughter</i> Dengan Perlindungan <i>Groundsill</i>	Melakukan pengujian gerusan di laboratorium JTS UII menggunakan permodelan bendung dengan kolam olak tipe <i>vlughter</i> menggunakan perlindungan <i>groundsill</i> .	<ul style="list-style-type: none"> - Jenis aliran adalah sub kritis - Didapatkan hasil penempatan perlindungan <i>groundsill</i> sepanjang L_{maks} lebih efektif untuk mereduksi gerusan - Kedalaman gerusan mencapai <i>equilibrium</i> saat menit ke-50
2	Abdurrosyid, dkk. (2009)	Studi Gerusan Dan Perlindungannya Di Hilir Kolam Olakan Bendung Tipe USBR-I	Melakukan pengujian gerusan di Laboratorium Hidraulika Balai Sungai PUSLITBANG SDA Surakarta dengan permodelan bendung tipe USBR-I menggunakan perlindungan tipe Riprap	<ul style="list-style-type: none"> - Terjadi reduksi gerusan untuk Riprap $\frac{1}{4} L_{maks}$: 46% dan 15%, Riprap $\frac{1}{2} L_{maks}$: 80% dan 26%, serta Riprap sepanjang L_{maks}: 87% dan 47% untuk masing-masing kedalaman dan panjang gerusan.

No	Peneliti	Judul Penelitian	Metode Penelitian	Hasil Penelitian
3	Fitriana, (2014)	Analisis Gerusan Di Hilir Bendung Tipe Vlughter (Uji Model Laboratorium)	Analisis gerusan dihilir bendung tipe <i>vlughter</i> dengan uji permodelan Laboratorium Hidro JTS Universitas Sriwijaya Inderalaya menggunakan alat saluran terbuka (HM 140 <i>Sediment Transport Channel</i>)	<ul style="list-style-type: none"> - Didapatkan jenis aliran turbulen dan sub kritis pada dua kali percobaan yang dilakukan. - Didapatkan kedalaman gerusan sedalam 2,9 cm dengan debit sebesar $2,099 \times 10^{-3} \text{ m}^3/\text{s}$, dan 1,8 dengan debit $1,302 \times 10^{-3} \text{ m}^3/\text{s}$
4	Zulfan, (2017)	Optimasi Hidraulik Penanganan Gerusan Di Hilir Bendung (Studi kasus: Bendung Rengrang, Jawa Barat)	Penelitian penanganan gerusan di hilir bendung menggunakan perlindungan Riprap dengan permodelan fisik 3 dimensi, studi kasus: Bendung rengrang, Jawa Barat. Penelitian dilakukan di Laboratorium Hidraulika Puslitbang SDA.	<ul style="list-style-type: none"> - Didapatkan perkuatan hilir bendung yang paling efektif menggunakan riprap batu dengan konfigurasi berbentuk huruf U selebar 5 meter dari sayap kiri dan kanan.

No	Peneliti	Judul Penelitian	Metode Penelitian	Hasil Penelitian
5	Ihlasul Mubasir Mas'ad (2021)	Perbandingan Gerusan Pada Bendung Di Hilir Kolam Olak Tipe <i>Vlughter</i> Dengan Proteksi Riprap Dan <i>Groundsill</i>	Menggunakan permodelan bendung untuk melakukan analisis perbandingan gerusan pada hilir kolam olak tipe <i>vlughter</i> menggunakan proteksi riprap dan groundsill. Pengujian dilakukan di Laboratorium Hidraulika Jurusan Teknik Sipil Fakultas Teknik Sipil dan Perencanaan UII.	(-)

2.4 Keaslian Penelitian

Berdasarkan studi pustaka yang telah dijelaskan di atas, penelitian dengan judul “Perbandingan Gerusan di Hilir Kolam Olak Pada Bendung Tipe *Vlughter* Dengan Proteksi Riprap dan *Groundsill*” ini berbeda dengan penelitian-penelitian sebelumnya. Penelitian sebelumnya tentang studi gerusan belum pernah dilakukan perbandingan gerusan dengan perlindungan riprap dan *groundsill*.

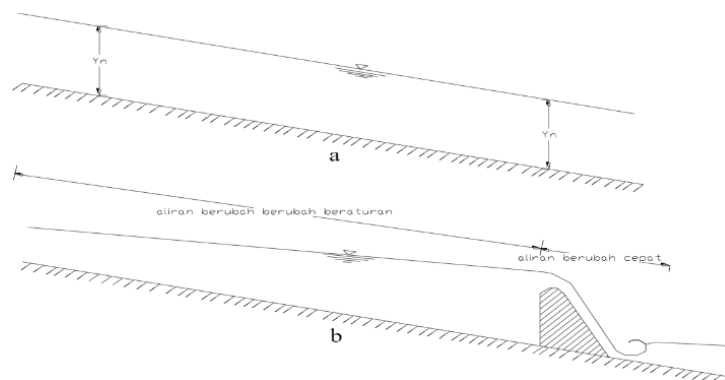
BAB III LANDASAN TEORI

3.1 Saluran Terbuka

Chow (1984) memaparkan saluran terbuka adalah saluran yang memiliki permukaan bebas (*free surface*) dan dipengaruhi secara langsung oleh tekanan udara atau atmosfer. Kondisi aliran pada saluran terbuka cenderung mengalami perubahan sesuai dengan waktu dan ruang. Selain itu pada saluran terbuka memiliki keterkaitan antara satu sama lain kedalaman aliran, debit, kemiringan dasar saluran, dan permukaan. Triatmodjo (1993) menjelaskan klasifikasi aliran melalui saluran terbuka memiliki tipe aliran turbulen. Hal tersebut dikarenakan kecepatan aliran dan kekerasan dinding saluran relatif besar. Terdapat beberapa kategori berdasarkan karakteristik ruang terdapat aliran seragam (*uniform flow*) dan aliran tidak seragam (*non-uniform flow*). Apabila berdasarkan karakteristik waktu terdapat aliran tetap (*steady flow*) dan aliran tidak tetap (*unsteady flow*).

Berikut ini penjelasan tentang aliran pada saluran terbuka,

1. Tipe aliran berdasarkan karakteristik ruang



Gambar 3.1 Aliran Seragam dan Berubah
(Sumber: Triatmojo, 1993)

a. Aliran seragam (*Uniform Flow*)

Suatu aliran dapat disebut seragam apabila variabel aliran seperti kedalaman, tampang basah, kecepatan, dan debit setiap tampang di sepanjang aliran memiliki nilai yang konstan.

b. Aliran tidak seragam (*Non-uniform Flow*)

Suatu aliran dapat disebut tidak seragam apabila variabel aliran seperti kedalaman, tampang basah, dan kecepatan setiap tampang di sepanjang aliran memiliki nilai yang tidak konstan.

2. Tipe aliran berdasarkan karakteristik waktu

a. Aliran tetap (*Steady Flow*)

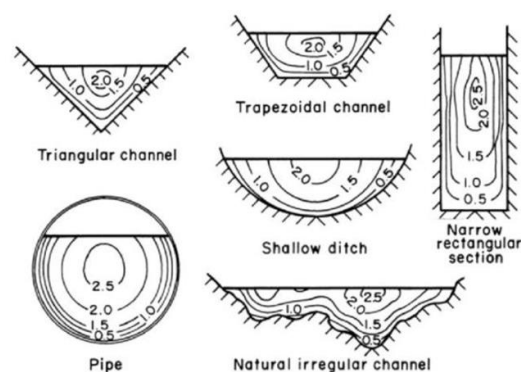
Aliran pada saluran terbuka dikatakan tetap (*steady*) apabila kedalaman aliran tidak berubah atau konstan selama jangka waktu tertentu.

b. Aliran tidak tetap (*Unsteady Flow*)

Aliran dikatakan tidak tetap (*unsteady flow*) apabila kedalamannya berubah atau tidak konstan sesuai dengan waktu.

3.1.1 Distribusi Kecepatan

Triatmojo (1993) memaparkan bahwa dalam aliran melalui saluran terbuka distribusi kecepatan aliran dipengaruhi oleh bentuk saluran, kekasaran dinding, dan juga debit aliran. Distribusi kecepatan terjadi secara tidak merata di setiap titik tampang melintang. Hal tersebut disebabkan karena adanya suatu permukaan bebas dan gesekan pada dinding saluran. Kecepatan minimum pada saluran terjadi di dekat dinding batas (tepi dan dasar) saluran dan semakin besar seiring dengan jarak menuju ke permukaan. Pola distribusi kecepatan pada tampang lintang saluran dengan berbagai bentuk penampang yang digambarkan dengan garis kontur kecepatan seperti pada Gambar 3.2.



Gambar 3.2 Distribusi Kecepatan Pada Saluran Terbuka
(Sumber: Triatmojo, 1993)

Pada Gambar 3.2 dapat dilihat bahwa pola kecepatan sesuai dengan bentuk penampang saluran. Garis kurva distribusi kecepatan pada saluran terbuka menunjukkan bahwa distribusi kecepatan maksimum yang terjadi di Tengah saluran dan di bawah permukaan. Hal tersebut dikarenakan tidak terdapat gesekan antara zat cair dengan dinding saluran. Disisi lain, distribusi kecepatan minimum terjadi di dasar saluran dan di sisi samping saluran. Distribusi kecepatan aliran untuk saluran dengan lebar yang cukup besar seperti Gambar 3.2 terjadi di sekitar bagian tengah saluran bernilai sama. Hal tersebut dikarenakan sisi-sisi dari saluran tersebut tidak berpengaruh pada daerah tersebut, sehingga saluran tersebut dapat dianggap 2 dimensi (vertikal) dalam analisa hidrolisnya. Keadaan tersebut hanya terjadi bila saluran memiliki ukuran 5-10 kali lebih besar dari pada kedalaman aliran, tergantung pada tingkat kekasaran dinding saluran. Dalam praktiknya, lebar saluran dapat dianggap sangat lebar (lebar tak terhingga) apabila memiliki lebar yang lebih besar 10 kali dari kedalaman.

Pengukuran arus distribusi kecepatan dapat dilakukan dengan membagi penampang melintang saluran menjadi beberapa garis vertikal berurutan. Semakin banyak titik pengukuran akan memberikan hasil yang lebih teliti. Pengukuran kecepatan yang dilakukan di lapangan dapat menggunakan alat *current meter*. Alat ini berupa baling-baling yang berputar karena ada aliran dan menghasilkan hubungan antara kecepatan sudut baling-baling dengan kecepatan aliran.

3.1.2 Keadaan Aliran

Chow (1984) membagi aliran berdasarkan pengaruh kekentalan (*viscosity*) dan gravitasi (*interial force*) yang dibandingkan dengan gaya-gaya inersia aliran. Pengaruh dari kekentalan membuat sifat aliran menjadi turbulen atau laminar. Pengaruh kekentalan tersebut dapat dinyatakan dalam bilangan *Reynold*, sedangkan pengaruh gravitasi dapat menyebabkan aliran bersifat kritik, sub-kritik, dan super-kritik. Pengaruh gravitasi tersebut dapat dinyatakan dalam bilangan *Froude*.

1. Kekentalan (*viscosity*)

Pada umumnya klasifikasi aliran bergantung pada gangguan-gangguan yang terjadi pada suatu aliran yang dapat mempengaruhi gerak dari partikel fluida. Salah satu gangguan yang mungkin dialami oleh aliran adalah pengaruh dari kekentalan terhadap kelembaman yang dapat membuat aliran bersifat laminar dan turbulen. Aliran dapat disebut laminar apabila memiliki gaya kekentalan yang relatif lebih besar dibandingkan dengan gaya kelembaman, sehingga pengaruh kekentalan terhadap sifat aliran besar. Butiran air pada aliran laminar bergerak seolah-olah terdapat suatu lintasan yang tertentu dengan satu lapisan yang sangat tipis mengalir di atas lapisan lainnya, sedangkan aliran dapat disebut turbulen apabila memiliki gaya kekentalan yang relatif lebih lemah dibandingkan dengan gaya kelembamannya. Pada aliran yang turbulen, butiran air bergerak pada lintasan yang tidak teratur dan tidak tetap, akan tetapi butir-butir tersebut masih bergerak maju dalam aliran. Pada keadaan laminar dan turbulen terdapat suatu keadaan campuran atau keadaan peralihan (transisi). Untuk menyatakan pengaruh kekentalan terhadap kelembaman dapat dinyatakan dalam bilangan *Reynold*. *Reynold number* (Re) adalah bilangan tanpa dimensi yang dapat menganalisis gaya inersia pada cairan, sehingga dapat ditentukan sifat suatu aliran tersebut, apakah aliran tersebut laminar, turbulen, atau transisi. Pada tahun 1883, Osborne Reynolds menunjukkan parameter yang mempengaruhi keadaan aliran adalah kekentalan fluida (μ), rapat massa fluida (ρ), dan diameter pipa (D). Bilangan Reynold dapat menunjukkan bahwa suatu aliran dapat diklasifikasikan berdasarkan angka tertentu. Angka tersebut diturunkan dengan kecepatan aliran di dalam pipa yang bernilai $\frac{\mu}{\rho D}$. Angka Reynold dapat dicari menggunakan persamaan berikut ini:

$$Re = \frac{vD}{\nu} \quad (3.1)$$

Dengan:

Re = angka Reynolds

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

D = diameter pipa (m)

ν = kekentalan kinematik (m^2/s)

Menurut Triatmojo (1993) dalam bukunya hidraulika II penggolongan aliran berdasarkan bilangan Reynolds yang berhubungan dengan karakteristik aliran pada saluran terbuka adalah sebagai berikut:

- a. Aliran disebut laminar bila $Re < 500$,
- b. Aliran disebut turbulen bila $Re > 1000$, dan
- c. Aliran disebut peralihan bila $500 < Re < 1000$.

2. Gravitasi (*inertial force*)

Pengaruh gravitasi bumi terhadap keadaan aliran dapat dinyatakan dengan perbandingan gaya inersia dengan gaya gravitasi. perbandingan tersebut dapat dinyatakan dengan bilangan Froude (Fr). Bilangan Froude dapat dinyatakan dengan rumus berikut ini:

$$Fr = \frac{V}{\sqrt{gD}} \quad (3.2)$$

Dengan:

Fr = bilangan Froude

V = kecepatan aliran rata-rata (m/s)

G = gaya gravitasi bumi $9,81 \text{ m/s}^2$

D = kedalaman hidrolis (m), luas penampang melintang air dalam arah tegak lurus aliran dibagi dengan lebar permukaan bebas.

Menurut Triatmojo (1993) dalam bukunya hidraulika II penggolongan jenis aliran dari hasil perhitungan dengan menggunakan persamaan di atas adalah sebagai berikut:

- a. Aliran disebut sub kritis bila $Fr < 1$,
- b. Aliran disebut super kritis bila $Fr > 1$,
- c. Aliran disebut kritis bila $Fr = 1$.

3.2 Persamaan Kontinuitas

Menurut Triatmodjo (2012) dalam Pangestu, (2018), apabila zat tak kompresibel mengalir secara kontinu melalui pipa atau saluran terbuka, dengan tampang aliran konstan ataupun tidak konstan, maka volume zat cair yang lewat tiap satuan waktu adalah sama di semua tampang. Kondisi seperti ini disebut dengan hukum kontinuitas aliran zat cair. Dilihat pada Gambar 3.3. Untuk aliran satu dimensi dan tetap, kecepatan rata-rata dan tampang lintang pada titik 1 dan 2 adalah v_1 , dA_1 dan v_2 , dA_2 . Volume zat cair yang masuk melalui tampang 1 tiap satuan waktu adalah $v_1 dA_1$, sedangkan volume zat cair yang keluar melalui tampang 2 tiap satuan waktu adalah $v_2 dA_2$. Karena tidak ada kehilangan zat cair di dalam tabung aliran, maka:

$$v_1 dA_1 = v_2 dA_2 \quad (3.3)$$

Integrasi dari persamaan tersebut pada seluruh tampang aliran, akan didapat volume zat cair yang melalui medan aliran, seperti berikut ini:

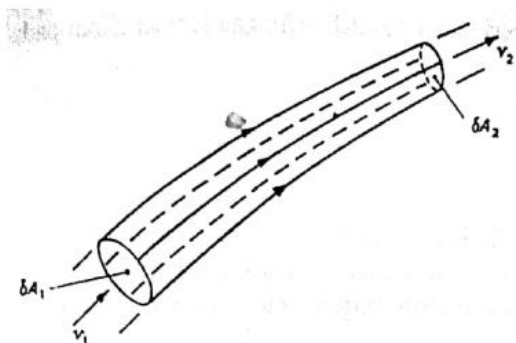
$$v_1 \int_{A_1} dA_1 = v_2 \int_{A_2} dA_2 \quad (3.4)$$

$$v_1 dA_1 = v_2 dA_2 \quad (3.5)$$

Atau

$$Q = A \cdot v = \text{Konstan} \quad (3.6)$$

Kedua persamaan tersebut adalah persamaan kontinuitas untuk zat cair tak kompresibel.



Gambar 3.3 Tabung Aliran Untuk Menurunkan Persamaan Kontinuitas

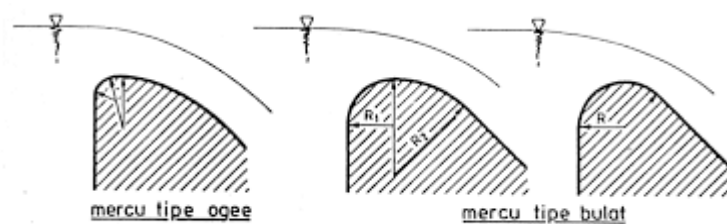
(Sumber: Triatmojo 2012)

3.3 Bendung

Bendung adalah bangunan air yang dibangun melintang untuk meninggikan muka air sungai dan atau membendung suatu aliran sungai, sehingga air tersebut dapat dialirkan ke daerah yang membutuhkan, contohnya seperti irigasi sawah. Menurut panduan KP 01 (Kriteria Perencanaan 01 1986), definisi dari bendung (*weir*) adalah bangunan yang digunakan untuk meninggikan muka air pada sungai hingga ketinggian tertentu yang dibutuhkan supaya air dapat dialirkan melalui saluran irigasi dan petak tersier. Bendung memiliki beberapa bagian yaitu, tubuh bendung, bangunan *intake*, bangunan pembilas, dan bangunan pelengkap lainnya (peredam energi, tembok sayap, tembok pangkal, pengarah arus, lantai udik, tangga, dan lain sebagainya).

3.3.1 Mercu Bendung

Salah satu bagian dari bendung yaitu mercu bendung berfungsi untuk mengatur ketinggian minimum air untuk mencegah meninggi atau menurunnya muka air pada saluran, sehingga aliran yang melimpas di atas mercu dapat stabil. Menurut KP 02 (1986), di Indonesia umumnya menggunakan dua jenis mercu, yaitu mercu tipe Ogee dan tipe bulat seperti yang ditunjukkan oleh Gambar 3.4.



Gambar 3.4 Tipe Mercu Bendung

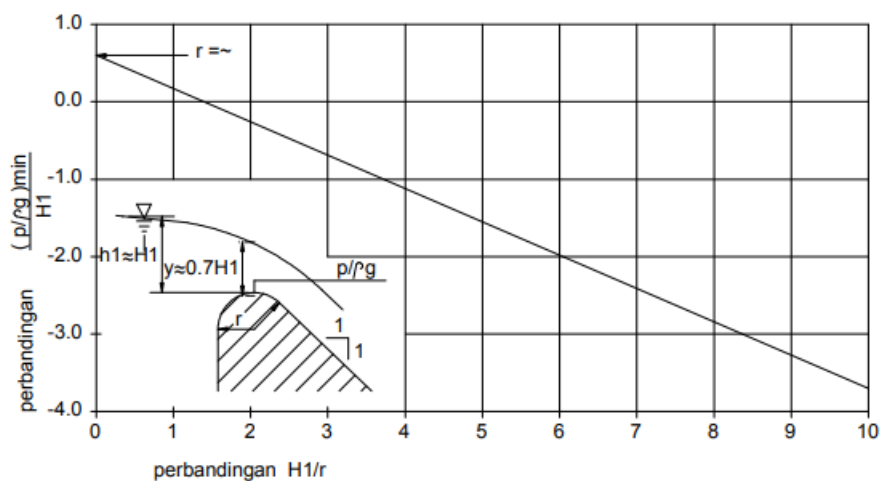
(Sumber: KP 02, 1986)

1. Mercu Ogee

Mercu Ogee berbentuk tirai luapan bawah dari bendung ambang tajam aerasi, yang membuat mercu ini tidak akan memberikan tekanan *subatmosfer* di permukaan mercu saat bendung mengairkan air pada debit rencana. Pada debit yang lebih rendah, air akan memberikan tekanan ke bawah mercu.

2. Mercu Bulat

Mercu bulat memiliki nilai koefisien debit yang lebih tinggi 44% jika dibandingkan dengan nilai koefisien dari bendung ambang lebar. Pada sungai, hal ini banyak memberikan keuntungan karena mercu bulat ini akan mengurangi tinggi muka air di hulu pada saat terjadi banjir pada sungai. Nilai koefisien yang lebih tinggi disebabkan karena lengkung *streamline* dan tekanan negatif di mercu. Tekanan yang terjadi pada mercu adalah fungsi dari perbandingan antara H_1 dan r (H_1/r) seperti pada Gambar 3.5. Untuk mercu yang menggunakan 2 jari-jari (R_2), jari-jari hilir akan digunakan untuk menentukan nilai dari koefisien debit.



Gambar 3.5 Tekanan Pada Mercu Bulat Sebagai Fungsi Perbandingan H_1/r

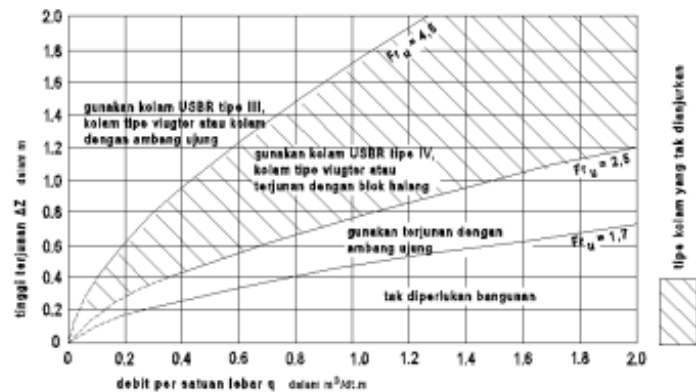
(sumber: KP 02, 1986)

3.3.2 Bangunan Peredam Energi

Bangunan peredam energi atau kolam olak merupakan salah satu bagian dari bendung yang berfungsi untuk meredam energi air akibat pembendungan. Dalam mendesain kolam olak harus diperhitungkan energi potensial, kinetik dan kemungkinan terjadinya perubahan morfologi hilir dasar saluran. Besar energi pada aliran air dapat dinyatakan dengan bilangan Froude, selain itu hal yang perlu diperhitungkan adalah material atau bahan konstruksi yang digunakan untuk kolam

olak. Pada kriteria perencanaan 04 (KP 04 1986), pengelompokan berdasarkan bilangan Froude untuk perencanaan kolam adalah sebagai berikut:

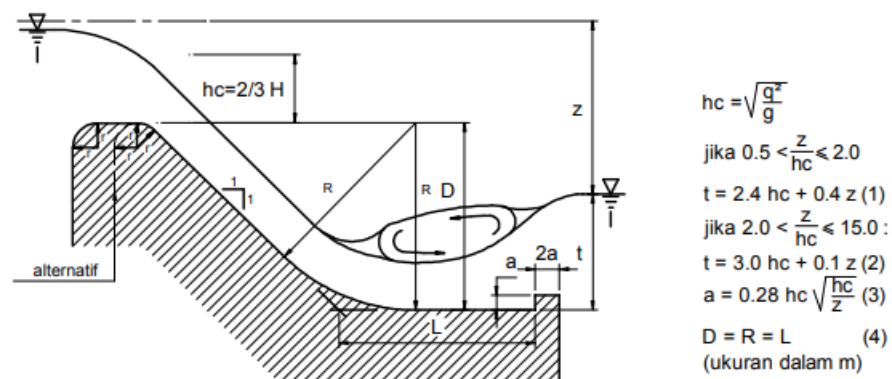
1. Untuk $Fr_u \leq 1,7$ tidak diperlukan kolam olak, pada saluran tanah, bagian hilir harus dilindungi dari bahaya erosi, saluran pasangan batu atau beton tidak memerlukan lindungan khusus.
2. Bila $1,7 < Fr_u \leq 2,5$ maka kolam olak diperlukan untuk meredam energi secara efektif. Pada umumnya kolam olak dengan ambang ujung mampu bekerja dengan baik. Untuk penurunan muka air $\Delta Z < 1,5$ m dapat dipakai bangunan terjun tegak.
3. Jika $2,5 < Fr_u \leq 4,5$ maka akan timbul situasi yang paling sulit dalam memilih kolam olak yang tepat. Loncatan air tidak terbentuk dengan baik dan menimbulkan gelombang sampai jarak yang jauh di saluran. Cara mengatasinya adalah mengusahakan agar kolam olak untuk bilangan Froude ini mampu menimbulkan olakan (turbulensi) yang tinggi dengan blok halangnya atau menambah intensitas pusaran dengan pemasangan blok depan kolam. Blok ini harus berukuran besar (USBR tipe IV). Tetapi pada praktiknya akan lebih baik untuk tidak merencanakan kolam olak jika $2,5 < Fr_u < 4,5$. Sebaiknya geometrinya diubah untuk memperbesar atau memperkecil bilangan Froude dan memakai kolam dari kategori lain.
4. Jika $Fr_u \geq 4,5$ ini akan merupakan kolam yang paling ekonomis. karena kolam ini pendek. Tipe ini, termasuk kolam olak USBR tipe III yang dilengkapi dengan blok depan dan blok halang. Kolam loncat air yang sama dengan tangga di bagian ujungnya akan jauh lebih panjang dan mungkin harus digunakan dengan pasangan batu.



Gambar 3.6 Diagram Untuk Memperkirakan Tipe Bangunan Yang Digunakan Untuk Perencanaan Detail
(sumber: KP 04, 1986)

3.3.3 Kolam Olak Tipe *Vlugter*

Pada kriteria Perencanaan 04 (KP 04 1986) menjelaskan bahwa kolam olak tipe *vlugter* adalah bangunan yang khusus dikembangkan sebagai bangunan terjun pada saluran irigasi. Kolam olak tipe ini hanya dapat digunakan pada apabila nilai z atau beda tinggi energi tidak lebih dari 4,5 m dan atau panjang ruang olak tidak melebihi 8 m dengan mempertimbangkan kondisi porositas tanah di lokasi bendung dalam rangka pekerjaan pengeringan. Untuk detail perencanaan yang dibutuhkan untuk kolam olak tipe *vlugter* dapat dilihat pada Gambar 3.7 dan persamaan 3.7 sampai dengan 3.12.



Gambar 3.7 Kolam Olak Menurut *Vlugter*
(sumber: KP 04, 1986)

$$q = \frac{Q}{B_{eff}} \quad (3.7)$$

$$hc = \sqrt{\frac{q^2}{g}} \quad (3.8)$$

$$\text{Jika } 0,5 < \frac{z}{hc} \leq 2,0$$

$$t = 2,4 hc + 0,4 z \quad (3.9)$$

$$\text{Jika } 2,0 < \frac{z}{hc} \leq 15,0$$

$$t = 3,0 hc + 0,1 z \quad (3.10)$$

$$a = 0,28 hc \sqrt{\frac{hc}{z}} \quad (3.11)$$

$$D = R = L \text{ (ukuran dalam meter)} \quad (3.12)$$

3.4 Gerusan

Neil (1973) menjelaskan bahwa gerusan (*scour*) adalah peristiwa penurunan dasar sungai yang diakibatkan karena terjadi erosi di bawah elevasi permukaan alami atau datum yang diasumsikan. Menurut Legono (1990), gerusan adalah sebuah proses semakin dalamnya dasar sungai dikarenakan adanya interaksi antara aliran dengan material yang ada di sungai. Fenomena gerusan dapat terjadi karena adanya perubahan pola aliran yang berubah saat melewati penampang sungai yang mengakibatkan material-material yang terdapat di dasar sungai akan terangkut dan ditransportasikan dari daerah asalnya sedikit demi sedikit. Proses pengangkutan material dasar sungai tersebut terjadi secara berulang-ulang hingga mencapai suatu keseimbangan dasar sungai yang baru.

Raudkivi dan Eltema (1982) dalam Abdurrosyid, Dkk. (2009) menjelaskan bahwa gerusan dapat diklasifikasikan menjadi tiga jenis, yaitu:

1. Gerusan umum (*general scour*), yaitu gerusan yang tidak berkaitan sama sekali dengan ada atau tidaknya bangunan hidraulik. Gerusan ini dapat terjadi dikarenakan oleh energi dari aliran air itu sendiri.

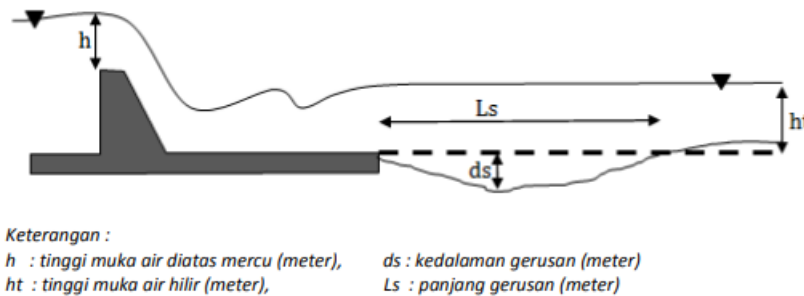
2. Gerusan terlokalisir (*localized scour/constriction scour*), yaitu gerusan yang terjadi di alur sungai, penyebabnya yaitu penyempitan alur sungai sehingga aliran menjadi lebih terpusat.
3. Gerusan lokal (*local scour*), yaitu gerusan yang terjadi di sekitar bangunan, penyebabnya yaitu pola aliran lokal yang terjadi di sekitar bangunan sungai.

Gerusan-gerusan di atas dapat terjadi secara bersamaan akan tetapi lokasi terjadinya berbeda-beda. Terdapat dua kondisi yang dapat menyebabkan terjadinya gerusan lokal dan gerusan terlokalisir, kedua kondisi tersebut adalah gerusan dengan air jernih (*clean-water scour*) dan kondisi gerusan dengan air tidak jernih (*live-bed scour*). Gerusan dengan air jernih adalah gerusan yang terjadi apabila material dasar di hulu tidak mengalami pergerakan (dalam keadaan diam). Secara teoritik, tegangan geser dasar (τ_0) bernilai lebih kecil atau sama dengan tegangan geser dasar kritik (τ_c). Gerusan dengan air tidak jernih adalah gerusan yang terjadi apabila kondisi dalam aliran menyebabkan material dasar terangkut (bergerak). Hal tersebut terjadi ketika tegangan geser dasar saluran memiliki nilai yang lebih besar jika dibandingkan dengan tegangan geser dasar kritiknya. Breusers dan Raudkivi (1991) dalam Zulfan (2017) menjelaskan bahwa 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.

3.5 Mekanisme Gerusan

Raudkivi dan Ettema, (1983) menyatakan dalam Abdurrosyid, dkk. (2009) menjelaskan kedalaman gerusan dapat dikatakan mencapai kondisi kesetimbangan apabila jumlah material yang bergerak dari lubang gerusan sama dengan material yang disuplai ke lubang gerusan. Melville (2015) dan Pilarczyk (2012) dalam Zulfan (2017) menyatakan gerusan sebagai fenomena alam yang disebabkan oleh aliran sungai oleh karena perbuatan manusia. Perubahan dinamik morfologi sungai di hilir bendung sangat dipengaruhi oleh proses degradasi dan aggradasi dasar sungai dan penanggulangan gerusan lokal akan sangat tergantung dari dalamnya gerusan

sungai tersebut. Ilustrasi gerusan yang terjadi di hilir bendung dapat dilihat pada Gambar 3.8 berikut ini.



Gambar 3.8 Ilustrasi Gerusan di Hilir Bendung

(Sumber: Jurnal Teknik Sipil Vol.8 No.1)

Pada kondisi *live-bed scour*, sedimen yang ada di hulu saluran terus menerus terbawa aliran menuju lubang gerusan yang menyebabkan kondisi kesetimbangan (*equilibrium*) dari kedalaman gerusan dapat tercapai pada saat jumlah sedimen yang masuk ke dalam lubang gerusan mencapai jumlah yang setara dengan jumlah sedimen yang terangkut oleh aliran air. Pada umumnya kondisi *live-bed scour* memiliki rata-rata inisial gerusan yang lebih besar apabila dibandingkan dengan *clear water scour* dan *equilibrium*. Meskipun demikian kedalaman gerusan akan terus berubah-ubah seiring dengan berjalannya waktu meskipun kondisi *equilibrium* telah tercapai.

3.6 Permulaan Gerak Butiran

Pada dasarnya setiap butiran sedimen mempunyai gaya yang bekerja dengan besaran nilai tertentu. Untuk membuat butiran-butiran sedimen pada saluran bergerak melintasi jarak yang cukup jauh dibutuhkan gaya yang bernilai lebih besar dari pada gaya yang bekerja pada butiran sedimen. Apabila gaya yang bekerja memiliki nilai yang kecil maka gaya tersebut hanya akan berlangsung sesaat saja dan butiran sedimen akan kembali kepada posisi semula. Pada kondisi aliran yang memiliki gaya yang dapat membuat butiran sedimen bergerak dapat dinamakan kondisi kritik.

Breuser dan Raudkivi (1991) dalam Affandi (2007) parameter permulaan gerak butiran sedimen dapat dilihat pada diagram yang dinamakan diagram Shield. Sesuai Gambar 3.9 terjadinya awal gerak butiran dapat diketahui apabila tegangan geser dasar (τ_0) bernilai lebih besar dari pada tegangan geser kritik (τ_c). Shield menyatakan bahwa tegangan geser dasar (τ_0) dapat dicari menggunakan persamaan 3.13.

$$\tau_0 = \rho \times g \times h \times I \quad (3.13)$$

Kecepatan geser dapat dicari dengan persamaan 3.14.

$$U_* = \left(\frac{\tau_0}{\rho}\right)^{0,5} \quad (3.14)$$

Kecepatan geser kritik dapat dicari dengan persamaan 3.15

$$U_{*c} = \sqrt{\theta_c \cdot g \cdot \Delta d_{50}} \quad (3.15)$$

Parameter mobilitas kritik atau parameter Shield dapat dicari dengan persamaan 3.16.

$$\theta_c = \frac{\tau_c}{\rho \cdot g \cdot \Delta d_{50}} = \frac{U_{*c}^2}{g \cdot \Delta d_{50}} \quad (3.16)$$

Dengan:

τ_0 = tegangan geser dasar (N/m²)

τ_c = tegangan geser kritik (N/m²)

θ_c = parameter mobilitas kritik

U_* = kecepatan geser (m/s)

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

ρ = massa jenis air (kg/m³)

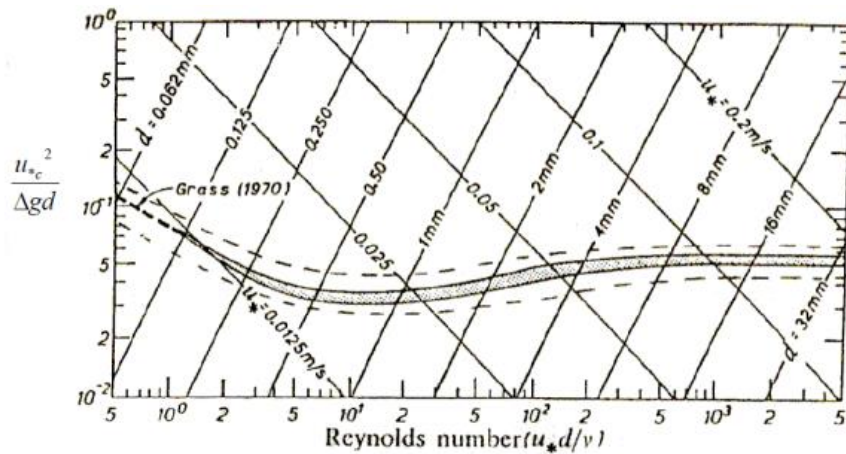
Δ = relatif *density*

I = kemiringan saluran

h = kedalaman air (m)

g = percepatan gravitasi (m/s²)

d_{50} = diameter rata-rata material.



Gambar 3.9 Diagram Shields
(Sumber: Affandy, M.R., 2007)

3.7 Kedalaman Gerusan

Pada proses terjadinya gerusan diawali pada satu atau dua titik gerusan. Kemudian gerusan tersebut akan semakin dalam dan semakin membesar. Pada aliran yang seragam dan permanen (*uniform and steady flow*), proses perkembangan gerusan terjadi sangat cepat pada awal pembentukan gerusan, dan akan melambat setelahnya. Untuk mengetahui kedalaman gerusan yang terjadi terdapat beberapa persamaan yang dapat digunakan, di antaranya yaitu.

1. Metode Lacey

Metode Lacey digunakan untuk menghitung kedalaman gerusan umum (*general scour*). Metode Lacey yang digunakan dalam menghitung kedalaman gerusan memiliki persamaan 3.17.

$$R = 0,47 \left(\frac{Q}{f} \right)^{1/3} \quad (3.17)$$

Dengan:

R = kedalaman gerusan (m)

Q = debit *outflow* (m³/s)

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

d₅₀ = diameter rata-rata material (mm).

2. Metode Blench

Pada saat kondisi aliran air normal terbatas. *Indian codes* mengusulkan untuk mengubah nilai R didapatkan dari persamaan yang dikemukakan oleh Blench (1957) dapat dilihat pada persamaan 3.18 dan 3.19.

$$R = 1,34 \left(\frac{q^2}{f} \right)^{\frac{1}{3}} \quad (3.18)$$

$$q = \frac{Q}{W} = V \cdot Y \quad (3.19)$$

Dengan:

- R = kedalaman gerusan (m)
- q = intensitas debit dibawah jembatan (m^3/s)
- f = faktor lumpur Lacey ($1,76 d_{50}^{0,5}$) dan
- d_{50} = diameter rata-rata material (mm)
- Q = debit aliran (m^3/s)
- W = panjang efektif aliran (m)
- V = kecepatan aliran (*velocity of flow*) (m/s)
- Y = kedalaman aliran di bawah jembatan (m).

3.8 Perlindungan Gerusan

1. Riprap

Riprap merupakan susunan bongkahan batu alam atau blok-blok buatan dengan dimensi dan volume tertentu yang digunakan sebagai peredam energi di hilir kolam olak bendung dan berfungsi juga untuk mengurangi kedalaman penggerusan tanah dasar di hilir saluran. Aliran pada hilir bangunan peredam energi bendung memiliki kecepatan yang besarnya bervariasi, riprap yang terdiri dari susunan batu lepas akan menyebar ketika terkena aliran yang deras. Sehingga riprap tersebut dapat menjadi pelindung dasar saluran dari bahaya penggerusan.

Menurut Erman dan Memed (2002), jenis riprap dapat dibedakan menjadi dua, yaitu:

- a. Timbunan bongkah batu alam

b. Susunan blok-blok beton berbentuk segi empat, segi panjang, dan lain sebagainya.

Pada penelitian ini akan menggunakan proteksi riprap jenis timbunan bongkahan batu alam. Ukuran atau diameter bongkahan batu alam yang digunakan dapat dihitung menggunakan persamaan EM 1601 dari *National Cooperation Highway Reaserch Program* (NCHRP) seperti pada persamaan 3.20.

$$d_{30} = y(S_f C_s C_v C_T) \left[\frac{(V_{des})}{\sqrt{k_1(S_g - 1)gy}} \right]^{2.5} \quad (3.20)$$

Dengan :

d_{30} = diameter rata-rata butiran

y = kedalaman aliran rata-rata

S_f = faktor kemanan ($>1,0$)

C_s = koefisien stabilitas

C_v = koefisien distribusi kecepatan

C_T = koefisien ketebalan selimut

V_{des} = kecepatan karakteristik disain

V_{avg} = kecepatan rata-rata

K_1 = faktor kemiringan koreksi

R_c = jari-jari hidraulis

W = lebar permukaan aliran

S_g = berat jenis riprap (biasanya diambil 2,65)

g = gaya gravitasi

2. Ambang Dasar (*Groundsill*)

Groundsill adalah struktur ambang melintang yang digunakan untuk mengendalikan ketinggian dan kemiringan dasar sungai agar dapat mengurangi degradasi pada sungai. *Groundsill* diletakan pada alur sungai untuk menjaga agar elevasi lapisan endapan tidak cepat mengalami penurunan, sehingga struktur pada bagian hulu saluran seperti jembatan tetap aman walaupun terjadi penambangan pasir pada dasar sungai.

Terdapat dua tipe bentuk ambang yaitu:

a. Ambang Datar (*Bed Gindle Work*)

Ambang jenis ini memiliki bentuk yang hampir tidak memiliki terjunan serta ketinggian mercunya hampir sama dengan elevasi dasar sungai. Ambang datar ini memiliki fungsi untuk menjaga agar elevasi permukaan dasar sungai tidak mudah mengalami penurunan.

b. Ambang Pelimpah (*Head Work*)

Ambang jenis ini memiliki terjunan yang membuat elevasi permukaan dasar pada hulu ambang memiliki elevasi yang lebih tinggi dibandingkan dengan elevasi permukaan dasar di bagian hilir ambang. Fungsi dari ambang jenis ini adalah untuk melandaikan kemiringan dasar sungai.

Pada penelitian kali ini ambang yang digunakan adalah ambang datar. Jadi elevasi mercu ambang datar akan disamakan dengan permukaan dasar sungai. Tinggi elevasi permukaan dasar sungai pada penelitian ini direncanakan setinggi 5 cm. Jadi desain *groundsill* yang digunakan memiliki tinggi 5 cm, panjang 3,3 cm dan lebar 10 cm mengikuti lebar dari flume yang akan digunakan untuk pengujian.

3.9 Aplikasi Golden Surfer v13.6.618

Golden Software Surfer v13.6.618 adalah salah satu perangkat lunak yang digunakan untuk pembuatan peta kontur dan permodelan tiga dimensi dengan mendasarkan pada grid. Perangkat lunak ini melakukan plotting data tabular XYZ tak beraturan menjadi lembaran titik-titik segi empat (*grid*) yang beraturan. Perangkat lunak yang digunakan pada penelitian ini adalah versi ke 13. Perangkat lunak ini digunakan untuk membantu merefleksikan gerusan yang terjadi pada hilir bendung sehingga dapat lebih mudah untuk divisualisasikan dan dipahami.

BAB IV METODOLOGI PENELITIAN

4.1 Jenis Penelitian

Jenis penelitian yang akan dilakukan adalah jenis penelitian kuantitatif berupa eksperimental (*experimental research*). Penelitian akan dilakukan di Laboratorium Hidraulika Jurusan Teknik Sipil Fakultas Teknik Sipil dan Perencanaan Universitas Islam Indonesia. Penelitian kuantitatif merupakan penelitian yang menghasilkan angka. Tujuan dari penelitian eksperimental adalah untuk mendapatkan data ataupun informasi melalui percobaan secara langsung dengan variabel yang relevan tanpa manipulasi. Penelitian dilakukan dengan membuat model bendung dengan dimensi yang disesuaikan dengan dimensi *flume*. Untuk mendapatkan data yang akurat diperlukan ketelitian yang tinggi pada saat melaksanakan penelitian.

4.2 Alat dan Bahan Penelitian

Peralatan yang digunakan untuk mendukung penelitian ini adalah sebagai berikut ini.

1. Hydraulic flume

Satu set *Hydraulic flume* besar dengan lebar 10 cm yang berada di Laboratorium Hidraulika Jurusan Teknik Sipil Universitas Islam Indonesia. Alat tersebut dilengkapi dengan pompa air pengaliran air, bak penampung untuk menampung air, dan parameter pembacaan ketinggian air pada bak penampungan yang berfungsi untuk mengukur debit aliran air. Satu set *hydraulic flume* dapat dilihat pada Gambar 4.1.



Gambar 4.1 Set Hydraulic Flume

2. Riprap

Model riprap menggunakan batu kerikil yang didapatkan dari Laboratorium Bahan Konstruksi Teknik, Jurusan Teknik Sipil, Universitas Islam Indonesia. Model riprap yang digunakan dapat dilihat pada Gambar 4.2.



Gambar 4.2 Riprap

3. Model *groundsill* tipe ambang datar (*bed gindle work*)

Digunakan model sederhana *groundsill* tipe ambang datar berbentuk balok dengan panjang 10 cm, lebar 3,3 cm, dan tinggi 5,5 cm. Model *groundsill* dapat dilihat pada gambar 4.3.



Gambar 4.3 Model Groundsill

4. Model Bendung

Disain model bendung dibuat dari bahan akrilik, digunakan tipe mercu bulat satu jari-jari dan kolam olak tipe vluhter. Model bendung memiliki dimensi ketinggian 15 cm dan lebar 10 cm yang menyesuaikan dengan lebar *hydraulic flume*. Model bendung dapat dilihat pada Gambar 4.4.



Gambar 4.4 Model Bendung

5. Sedimen pasir

Sedimen yang digunakan dalam penelitian merupakan sedimen pasir yang telah lolos saringan ukuran 4,75 mm dengan ketebalan dasar 5 cm yang didapatkan

dari Laboratorium Bahan Konstruksi Teknik, Jurusan Teknik Sipil, Universitas Islam Indonesia.

6. Penggaris

Penggaris yang digunakan dalam penelitian ini berfungsi untuk mengukur kedalaman gerusan, ketinggian air, dan panjang gerusan. Penggaris yang digunakan dapat dilihat pada Gambar 4.5.



Gambar 4.5 Penggaris

7. Stopwatch

Stopwatch digunakan untuk menghitung waktu pengamatan percobaan gerusan, waktu pengaliran, dan waktu panampungan aliran.

8. Saringan ukuran 4,75 mm (No.4)

Saringan ukuran 4,75 mm dalam penelitian ini digunakan untuk mendapatkan butiran sedimen pasir yang sesuai. Saringan yang digunakan dapat dilihat pada Gambar 4.6.



Gambar 4.6 Saringan Ukuran 4,75 mm

4.3 Data Penelitian

Sebelum melakukan penelitian permodelan diperlukan data yang dapat memberikan gambaran kondisi sebenarnya yang ada di lapangan. Untuk mendapatkan pemodelan yang menyerupai kondisi asli di lapangan data yang dibutuhkan tidak hanya satu, akan tetapi serangkaian data yang dapat saling membangun permodelan. Pada penelitian ini digunakan data primer untuk menunjang penelitian. Data primer yang didapatkan dari penelitian langsung di Laboratorium Jurusan Teknik Sipil Fakultas Teknik Sipil dan Perencanaan Universitas Islam Indonesia.

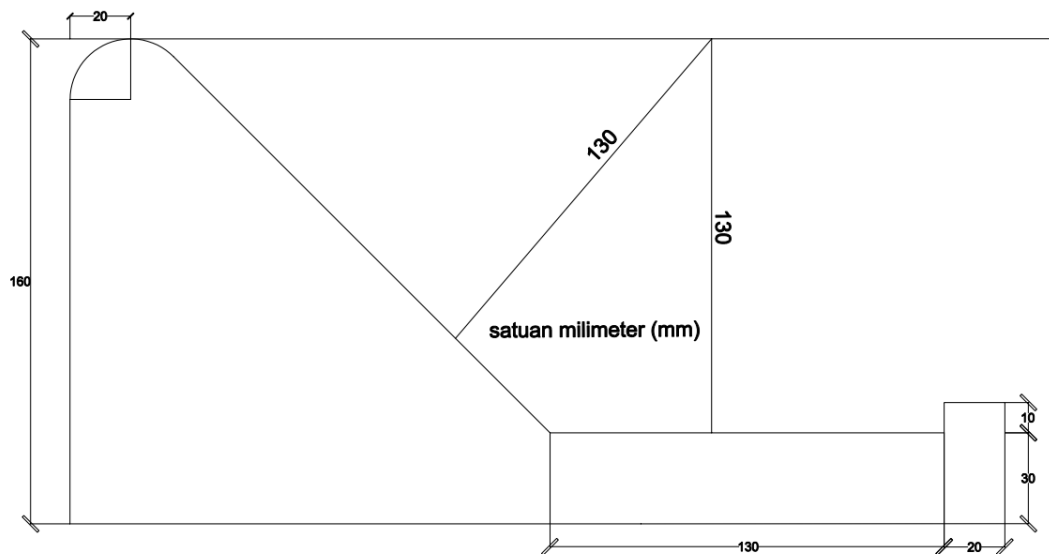
Data yang dicatat adalah:

1. Dimensi *flume*
2. Dimensi bendung yang akan digunakan
3. Ketinggian air di hulu bendung (h_0)
4. Kecepatan aliran (v)
5. Kedalaman gerusan yang terjadi (diamati secara visual) (Y_m)
6. Rata-rata dimensi butiran sedimen yang digunakan (d_{50})
7. Panjang gerusan maksimum yang terjadi (L_{max}).

4.4 Pembuatan Model

Penelitian ini menggunakan model dalam pelaksanaannya, karena penelitian ini bersifat eksperimental. Pada penelitian ini akan digunakan model sebagai berikut ini.

1. Membuat benda uji berupa model bendung dengan ukuran yang disesuaikan dengan alat *flume* yang digunakan. Model bendung yang telah direncanakan dapat dilihat pada Gambar 4.7.



Gambar 4.7 Rencana Desain Bendung Dalam Satuan mm

2. Menyiapkan bahan yang akan digunakan sebagai sedimen pada dasar saluran berupa pasir yang lolos saringan nomor 4 (4,75 mm). Pasir yang telah lolos saringan akan dihamparkan pada hilir bendung sejauh 1,6 meter dari kolam olak dengan ketebalan 5 cm.
3. Model riprap dibuat dengan menggunakan kerikil yang didapatkan dari laboratorium Konstruksi Teknik. Kerikil yang lolos saringan akan di susun di sepanjang $1/2 L_{max}$ dan sepanjang L_{max} .
4. Model *groundsill* dibuat sebanyak satu buah dengan dimensi panjang 3,3 cm, tinggi 5 cm dan lebar 10 cm.

4.5 Metode pengambilan data

Langkah-langkah yang akan dilakukan dalam pengambilan data pada penelitian ini adalah sebagai berikut.

1. Variasi Data Penelitian

Penelitian ini akan dilakukan dengan memberikan dua variasi proteksi untuk mengetahui perbandingan dari kedua variasi tersebut. Variasi tersebut adalah proteksi riprap dan *groundsill*. Untuk memudahkan dalam pengambilan data

pada penelitian ini maka akan dibuat sebuah notasi pada variasi-variasi tersebut.

Notasi yang akan digunakan dapat dilihat pada Tabel 4.1.

- a. DPR : Dengan Proteksi Riprap
- b. DPG : Dengan Proteksi *Groundsill*
- c. TP : Tanpa Proteksi

Tabel 4.1 Tabel Notasi Yang digunakan dalam Pengujian

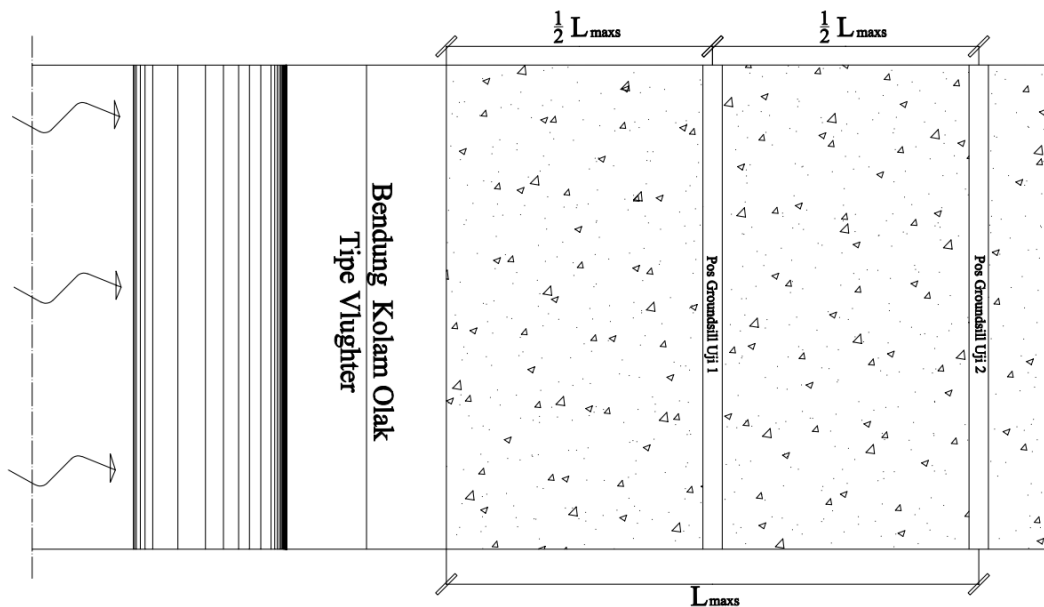
Tinggi Aliran Hulu (m)	Jenis Proteksi	Jarak Proteksi (m)	Notasi
0,175	Tanpa Proteksi	-	TP1
	Riprap	L_{\max}	DPR1 L_{\max}
	<i>Groundsill</i>	L_{\max}	DPG1 L_{\max}
0,18	Tanpa Proteksi	-	TP2
	Riprap	L_{\max}	DPR2 L_{\max}
	<i>Groundsill</i>	L_{\max}	DPG2 L_{\max}
0,185	Tanpa Proteksi	-	TP3
	Riprap	$\frac{1}{2} L_{\max}$	DPR3 $\frac{1}{2} L_{\max}$
		L_{\max}	DPR3 L_{\max}
	<i>Groundsill</i>	$\frac{1}{2} L_{\max}$	DPG3 $\frac{1}{2} L_{\max}$
L_{\max}		DPG3 L_{\max}	

2. Langkah-langkah Pengambilan Data Penelitian

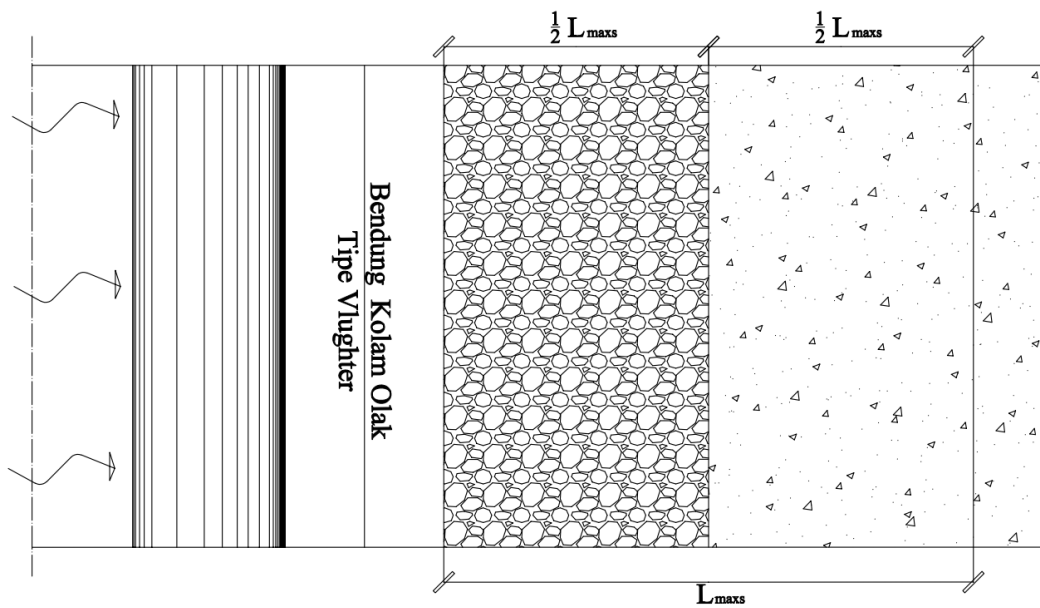
- a. Mempersiapkan alat dan bahan yang dibutuhkan dalam penelitian. Pada tahap ini dilakukan persiapan alat dan bahan serta mengecek kinerja dari pompa air, pastikan kolam pemasok air yang ada di bawah dan atas telah terisi air.
- b. Mempersiapkan bahan yang digunakan yaitu sampel sedimen yang berupa pasir dengan cara melakukan uji saringan nomor 4 (4,75 mm) seberat 1,5 kg.
- c. Mempersiapkan model bendung dan diletakan pada *flume*. Kemudian pasir yang lolos uji penyaringan diamparkan pada hilir bendung sepanjang *flume* dengan ketebalan 5 cm.
- d. Ketinggian air hulu bendung (h_0) diatur pada ketinggian 0,175 m, kemudian dilakukan pengaliran selama 60 menit. Untuk mendapatkan debit rata-rata dalam satu pengaliran dilakukan pengamatan pada ketinggian hulu bendung yang dilakukan tiap 10 menit pengaliran.
- e. Setelah didapatkan ketinggian aliran hulu bendung dan ketinggian aliran sudah stabil, kemudian dilakukan pengamatan pada beberapa parameter karakteristik aliran, parameter karakteristik aliran yang diamati adalah sebagai berikut.
 - 1) Tinggi kedalaman air di kolam olak (h_1).
 - 2) Tinggi kedalaman air di *endsill* (h_2).
 - 3) Tinggi kedalaman air di hilir (h_3).
- a. Debit aliran (Q) diukur dengan cara menampung air di bak penampung dan mengamati waktu tampungan setiap 10 liter air.
- f. Mengamati proses pergerakan sedimen yang terjadi selama pengaliran dengan mengamati kedalaman dan panjang gerusan maksimum pada periode waktu 10 menit.
- g. Setelah dilakukan pengaliran selama 60 menit, pengaliran air dihentikan dengan cara mengecilkan debit air secara perlahan agar gerusan yang terjadi di sekitar bendung tidak berubah akibat perubahan debit.
- h. Untuk mendapatkan data kontur setelah pengaliran selama 60 menit dilakukan dengan cara mengamati pola gerusan dan kedalaman gerusan dengan menggunakan mistar sehingga didapatkan data perubahan elevasi

dasar (gerusan) di sekitar bendung. Pengukuran data kontur ini dilakukan dengan cara pengukuran tiga dimensi.

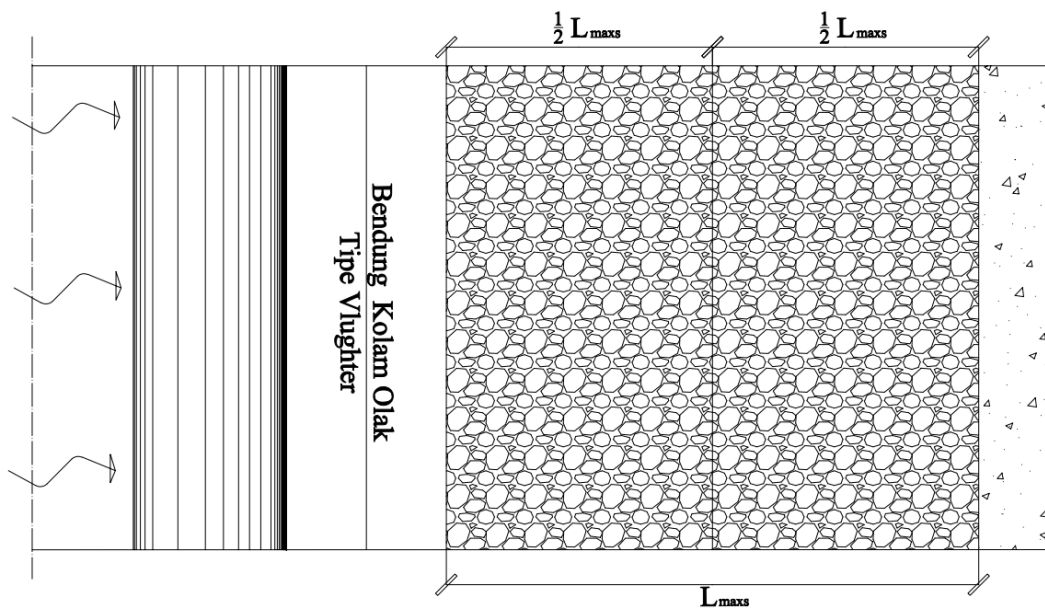
- i. Percobaan dari nomer-2 sampai nomer-7 diulang dengan mengganti ketinggian air hulu (h_0) menjadi 0,18 m, dan 0,185 m.
- j. Panjang gerusan maksimum (L_{max}) pada hilir bendung tanpa proteksi yang didapat dari percobaan debit terbesar pada tiap variasi h_0 diukur.
- k. Melakukan pengujian dengan menempatkan proteksi riprap. Pengujian dilakukan dengan dua variasi percobaan, percobaan pertama riprap disusun sepanjang $1/2 L_{max}$ dan percobaan kedua dilakukan sepanjang jarak L_{max} . semuanya dilakukan percobaan sebanyak 3 kali dengan ketinggian aliran 0,175 m, 0,18 m, dan 0,185 m. Hasil percobaan akan dirata-rata untuk mendapatkan kedalaman gerusan dan panjang gerusan rata-rata.
- l. Percobaan poin ke-11 dilakukan kembali dengan mengganti variasi proteksi menjadi *groundsill* untuk mendapatkan kedalaman dan panjang gerusan. Posisi penempatan proteksi dapat dilihat pada Gambar 4.8, 4.9, 4.10.



Gambar 4.8 Rencana Penempatan *Groundsill*



Gambar 4.9 Rencana Penempatan Riprap sejauh $\frac{1}{2} L_{max}$



Gambar 4.10 Rencana Penempatan Riprap Sejauh L_{max}

4.6 Metode Analisis Data

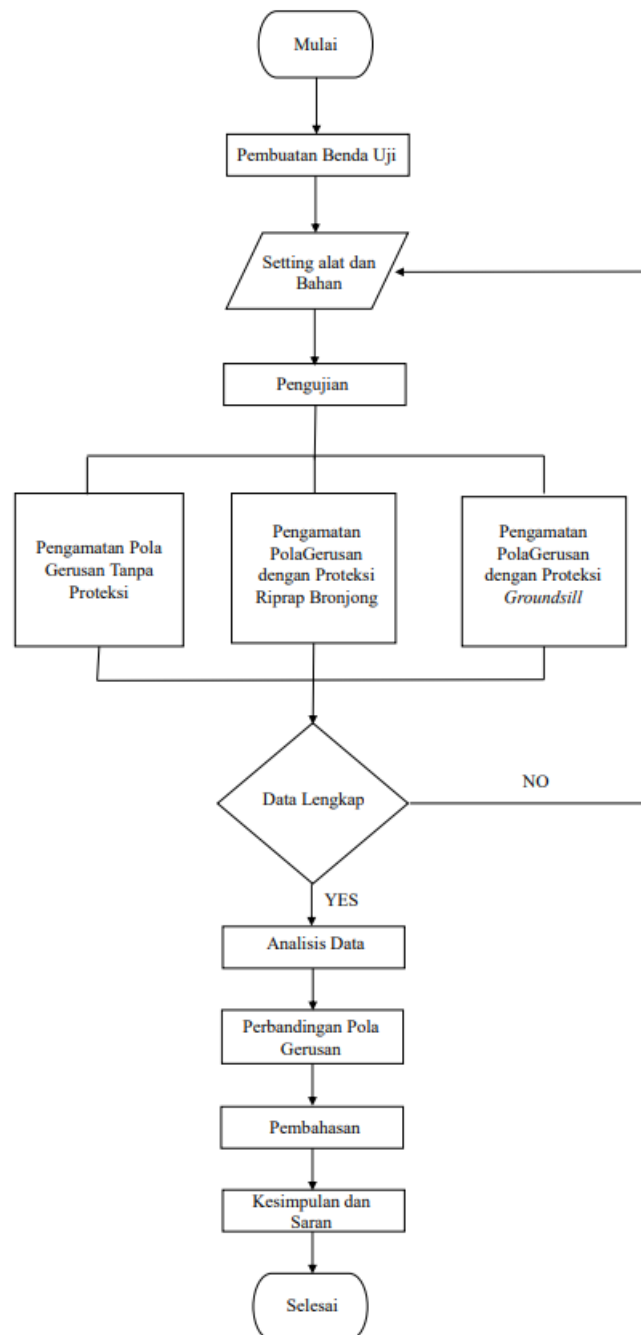
Setelah mendapatkan data dari hasil penelitian, selanjutnya akan dilakukan analisis untuk mendapatkan kesimpulan hubungan antara variabel-variabel dalam

penelitian ini. Langkah-langkah untuk analisis data pada penelitian ini dilakukan sebagai berikut.

1. Menghitung debit dari setiap variasi h_0 . Perhitungan ini dilakukan dengan memperhitungkan nilai dari volume (V) dan waktu penampungan (t) setiap 10 liter.
2. Menghitung kecepatan aliran rata-rata yang dapat diperoleh dari hasil perhitungan debit.
3. Menentukan karakteristik aliran pada setiap pengujian yang dilakukan dengan cara mencari angka Froude dan angka Reynolds.
4. Mencari diameter rata-rata butiran sedimen (d_{50}) yang didapatkan dari hasil analisis saringan.
5. Membuat grafik perbandingan gerusan dari perhitungan secara teoritis dan pengamatan secara langsung (visual).
6. Membuat gambar kontur gerusan menggunakan aplikasi *surfer* agar hasil dari gerusan dapat lebih mudah dipahami.
7. Menghitung besarnya nilai reduksi kedalaman gerusan dan panjang gerusan yang terjadi setelah diberi proteksi riprap dan proteksi *groundsill* pada hilir bendung untuk mengetahui perbandingan menggunakan proteksi riprap, *groundsill*, dan tanpa proteksi terhadap gerusan.

4.7 Flowchart Metodologi Penelitian

Berikut adalah *flowchart* penelitian yang dapat dilihat pada Gambar 4.11.



Gambar 4.11 Flowchart Penelitian

BAB V

ANALISIS DAN PEMBAHASAN

5.1 Tinjauan Umum

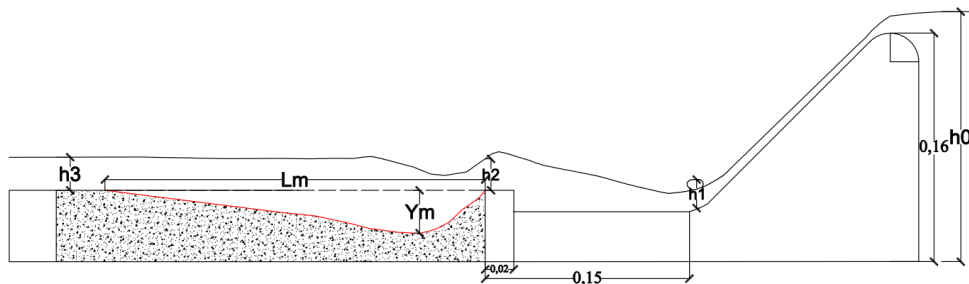
Pada bab ini dijelaskan hasil dari penelitian yang dilakukan, mulai dari pemeriksaan data, pengolahan data, hingga analisis pembahasannya. Hasil yang didapatkan dari pengolahan data dianalisis hingga didapatkan hasil perbandingan gerusan yang terjadi dengan perlindungan riprap dan perlindungan *groundsill*. Untuk mendapatkan data perbandingan gerusan, dilakukan percobaan di Laboratorium Hidraulika Fakultas Teknik Sipil dan Perencanaan Universitas Islam Indonesia.

5.2 Hasil Penelitian

Data penelitian didapatkan dengan melakukan simulasi aliran pada model bendung yang diletakkan pada *flume* yang memiliki lebar 10 cm dengan agregat halus di bagian hilirnya. Data yang diperoleh dari hasil percobaan yang dilakukan adalah sebagai berikut.

1. Data aliran
 - a. Tinggi aliran di hulu (h_0)
 - b. Tinggi air di kolam olak (h_1)
 - c. Tinggi air di *endsill* (h_2)
 - d. Tinggi air di hilir (h_3)
 - e. Waktu penampungan air dengan volume 0.005 m^3 (t)
2. Data gerusan
 - a. Kontur gerusan
 - b. Kedalaman gerusan maksimum (y_{maks})
 - c. Panjang gerusan maksimum (L_{maks})
 - d. Analisis saringan d_{50}

Gambar sketsa letak pengukuran untuk pengambilan data ditunjukkan oleh Gambar 5.1.



Gambar 5.1 Letak Pengukuran Untuk Pengambilan Data

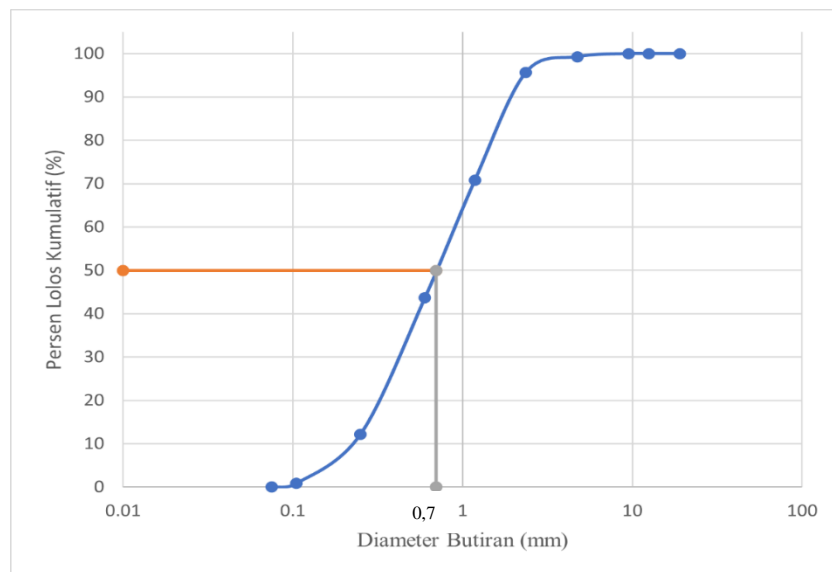
Penelitian ini dilakukan dengan melakukan beberapa variasi, percobaan dan parameter yang divariasikan adalah ketinggian hulu (h_0) dan variasi proteksi pada bagian hilir saluran, sehingga didapatkan data percobaan sebagai berikut.

5.2.1 Data Percobaan Analisis Saringan Agregat Halus

Analisis saringan agregat halus dilakukan untuk mengetahui diameter rata-rata (d_{50}) agregat yang digunakan sebagai sedimen pada percobaan ini. Digunakan diameter rata-rata (d_{50}) karena merupakan nilai tengah yang mewakili distribusi ukuran partikel yang digunakan sebagai sampel sedimen dasar saluran. Penentuan ukuran diameter rata-rata butiran sedimen (d_{50}) ditampilkan pada Tabel 5.1 dan Gambar 5.2.

Tabel 5.1 Hasil Analisis Saringan Agregat Halus

no	inch (No)	Berat Tertinggal (gram)	Berat tanah lolos (gram)	Persen tertahan (%)	Persen lolos (%)
1	3/4	0	1494,69	0	100
2	1/2	0	1494,69	0	100
3	3/8	0	1494,69	0	100
4	No. 4	10,69	1484	0,715	99,285
5	No. 8	53,61	1430,39	3,587	95,698
6	No. 16	371,96	1058,43	24,885	70,813
7	No. 30	404,88	653,55	27,088	43,725
8	No. 60	471,26	182,29	31,529	12,196
9	No. 140	168,96	13,33	11,304	0,892
10	No. 200	13,33	0,00	0,892	0,00
total		1494,69		100	
Berat tanah mula-mula				1494,69	gram



Gambar 5.2 Penentuan Ukuran Diameter Rata-rata Butiran Sedimen (d_{50})

Berdasarkan Gambar 5.2 didapatkan besarnya nilai d_{50} dari agregat halus yang digunakan pada penelitian ini adalah sebesar 0,7 mm.

5.2.2 Data Percobaan Tanpa Proteksi

Percobaan tanpa proteksi dilakukan dengan memberikan variasi ketinggian air di hulu (h_0). Ketinggian air hulu yang digunakan sebesar 0,175 m; 0,180 m; dan 0,185 m. Sehingga didapatkan data percobaan sebagai berikut.

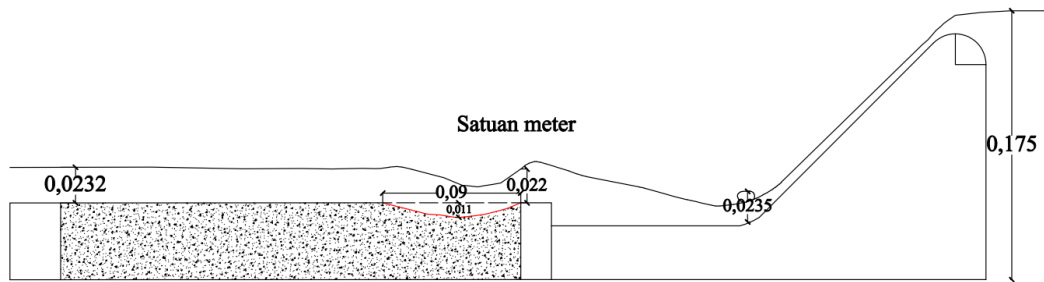
1. Ketinggian air hulu (h_0) sebesar 0,175 m

Data hasil percobaan pada ketinggian h_0 0,175 m dapat dilihat pada Tabel 5.2.

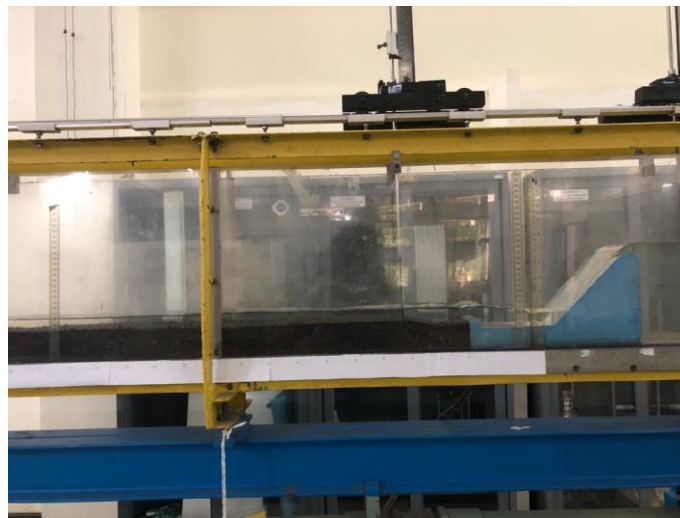
Tabel 5.2 Pengamatan Percobaan Tanpa Proteksi h_0 0,175

V	t	Q	h_1	h_2	h_3	T	Y_m	L_m
m^3	detik	m^3/det	m	m	m	menit	m	m
0,005	11,1	0,000442	0,0235	0,027	0,0232	10	0,007	0,068
						20	0,009	0,077
	11,2					30	0,01	0,082
						40	0,011	0,088
						50	0,011	0,09
						60	0,011	0,09

Sketsa gambar pola aliran dan gambar pengamatan yang dilakukan di Laboratorium dengan h_0 0,175 m dapat dilihat pada Gambar 5.3 dan Gambar 5.4.



Gambar 5.3 Pola Aliran Pada Percobaan Tanpa proteksi h_0 0,175



Gambar 5.4 Percobaan Pengamatan Gerusan Tanpa Proteksi h_0 0,175

Berdasarkan Tabel 5.3 hasil pengamatan gerusan tanpa proteksi menunjukkan nilai kedalaman gerusan maksimal dan panjang gerusan maksimal masing-masing 0,011 m dan 0,09 m. Debit aliran dihitung menggunakan fungsi antara volume tertampung (V) dengan waktu penampungan (t). Waktu penampungan (t) diambil sebanyak tiga kali, sehingga perhitungan debit akan dirata-rata dari ketiga waktu penampungan tersebut. Perhitungan debit aliran pada $h_0 = 0,175$ m adalah sebagai berikut.

$$Q = \frac{\frac{V}{t_1} + \frac{V}{t_2} + \frac{V}{t_3}}{3}$$

$$Q = \frac{\frac{0,005}{11,2} + \frac{0,005}{11,6} + \frac{0,005}{11,1}}{3}$$

$$Q = 4,4237 \times 10^{-4} \text{ m}^3/\text{det}$$

Selanjutnya hasil perhitungan debit digunakan untuk menghitung kecepatan aliran. Perhitungan kecepatan aliran (v) dihitung menggunakan persamaan dari debit dengan membandingkan nilai debit (Q) dengan luas penampang aliran (A). Berikut ini adalah perhitungan kecepatan aliran berdasarkan data yang telah diperoleh.

a. Kecepatan aliran di kolam olak

$$Q = A_1 \times v_1$$

$$v_1 = \frac{Q}{A_1}$$

$$v_1 = \frac{Q}{b \times h_1}$$

Diketahui saluran memiliki lebar (b) = 0,1 m

$$v_1 = \frac{4,4237 \times 10^{-4}}{0,1 \times 0,0235}$$

$$v_1 = 0,1882 \text{ m/det}$$

b. Kecepatan aliran di *endsill*

$$Q = A_2 \times v_2$$

$$v_2 = \frac{Q}{A_2}$$

$$v_2 = \frac{Q}{b \times h_2}$$

Diketahui saluran memiliki lebar (b) = 0,1 m

$$v_2 = \frac{4,4237 \times 10^{-4}}{0,1 \times 0,027}$$

$$v_2 = 0,1638 \text{ m/det}$$

Hasil kecepatan di atas *endsill* selanjutnya digunakan untuk menghitung angka Reynold (Re). Perhitungan angka Reynold (Re) sangat dipengaruhi oleh nilai kecepatan aliran yang terdapat di daerah yang terjadi gerusan yang terletak di *endsill* (v_2), dan dimensi penampang basah di hilir. Persamaan untuk menghitung nilai angka Reynold (Re) dapat dilihat pada persamaan (3.1). Berikut ini adalah perhitungan angka Reynold pada saat h_0 0,175 m.

$$Re = \frac{v \times R}{\nu}$$

- a. Mencari nilai R:

$$R = \frac{A}{P}$$

$$R = \frac{b \times h_2}{b + (2h_2)}$$

$$R = \frac{0,1 \times 0,027}{0,1 + (2 \times 0,027)}$$

$$R = 0,0175 \text{ m}$$

- b. Bila besar nilai ν untuk air yang bersuhu 20°C adalah $1 \times 10^{-6} \text{ m}^2/\text{det}$ maka nilai Re:

$$Re = \frac{v \times R}{\nu}$$

$$Re = \frac{0,1638 \times 0,0175}{1 \times 10^{-6}}$$

$$Re = 2872,549$$

Selain melakukan perhitungan angka Reynold (Re), dalam penelitian ini juga menghitung angka Froude (Fr). Perhitungan angka Froude (Fr) dilakukan pada bagian yang berpengaruh terhadap gerusan, yaitu pada bagian kolam olak dan *endsill*. Besarnya nilai angka Froude sangat dipengaruhi oleh nilai kecepatan aliran di kolam olak (v_1) dan *endsill* (v_2), serta kedalaman aliran di kolam olak (h_1) dan *endsill* (h_2). Persamaan yang digunakan untuk mendapatkan angka Froude dapat dilihat pada persamaan (3.2). Berikut ini adalah perhitungan angka Froude (Fr) pada saat $h_0 = 0,175$.

- a. Angka Froude pada kolam olak

$$Fr = \frac{v_1}{\sqrt{g \times D_1}}$$

Dalam saluran berbentuk persegi, nilai dari D_1 itu sama dengan h_1

$$Fr_1 = \frac{0,1882}{\sqrt{9,81 \times 0,0235}}$$

$$Fr_1 = 0,3921$$

- b. Angka Froude pada *endsill*

$$Fr = \frac{v_1}{\sqrt{g \times D_2}}$$

Dalam saluran berbentuk persegi, nilai dari D_2 itu sama dengan h_2

$$Fr_2 = \frac{0,1638}{\sqrt{9,81 \times 0,027}}$$

$$Fr_2 = 0,3184$$

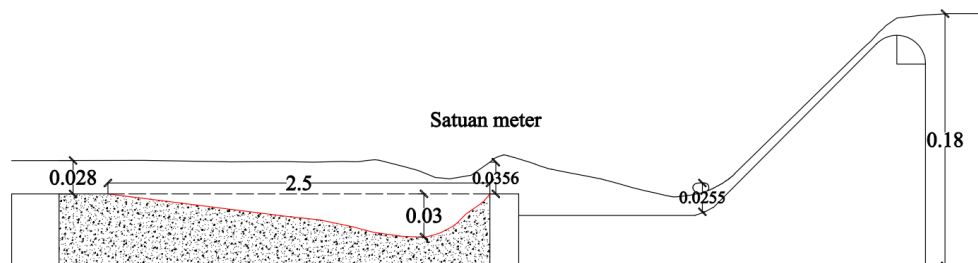
2. Ketinggian air hulu (h_0) sebesar 0,180 m

Data hasil percobaan pada ketinggian h_0 0,180 m dapat dilihat pada Tabel 5.3.

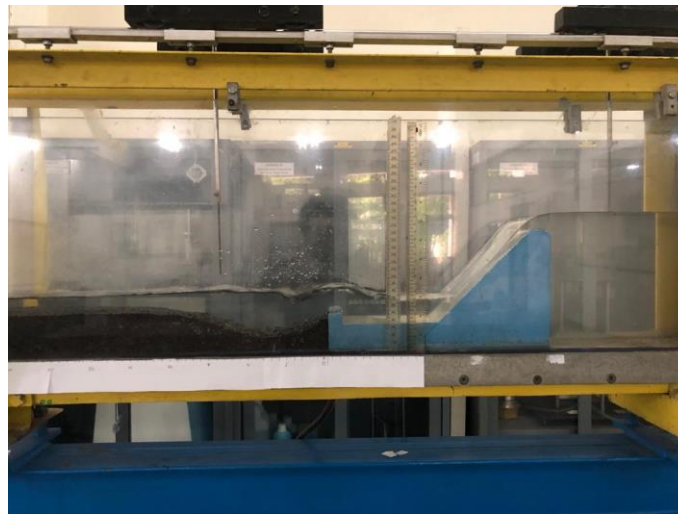
Tabel 5.3 Pengamatan Percobaan Tanpa Proteksi h_0 0,180

V m ³	t detik	Q m ³ /det	h_1 m	h_2 m	h_3 m	T menit	Y_m m	L_m m
0,005	6,63	0,000757	0,0255	0,0356	0,028	10	0,026	0,178
						20	0,028	0,184
	30					0,029	0,228	
	40					0,0295	0,24	
	50					0,03	0,24	
	60					0,03	0,25	

Sketsa gambar pola aliran dan gambar pengamatan yang dilakukan di Laboratorium dengan h_0 0,180 m dapat dilihat pada Gambar 5.5 dan Gambar 5.6.



Gambar 5.5 Pola Aliran Pada Percobaan Tanpa proteksi h_0 0,180



Gambar 5.6 Percobaan Pengamatan Gerusan Tanpa Proteksi h_0 0,180

Dari Tabel 5.3 hasil pengamatan gerusan tanpa proteksi menunjukkan nilai kedalaman gerusan maksimal dan panjang gerusan maksimal masing-masing 0,03 m dan 0,25 m.

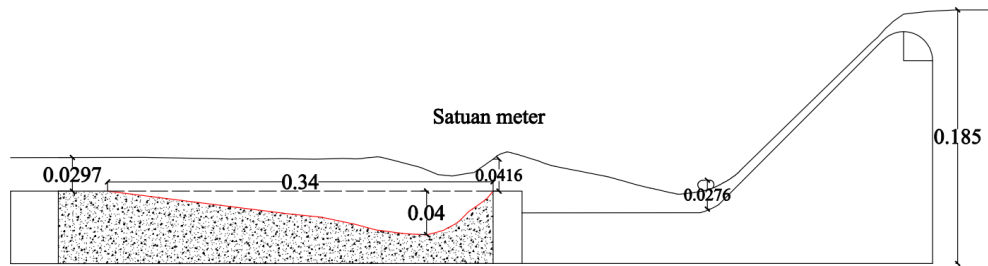
3. Ketinggian air hulu (h_0) sebesar 0,185 m

Data hasil percobaan pada ketinggian h_0 0,180 m dapat dilihat pada Tabel 5.4.

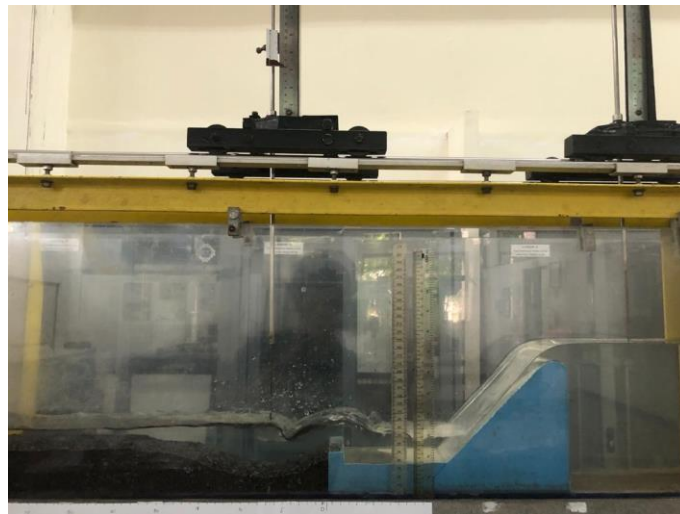
Tabel 5.4 Pengamatan Percobaan Tanpa Proteksi h_0 0,185

V m ³	t detik	Q m ³ /det	h_1 m	h_2 m	h_3 m	T menit	Y_m m	L_m M
0,005	5,04	0,0010008	0,0276	0,0416	0,297	10	0,032	0,18
						20	0,035	0,22
	4,91					30	0,038	0,24
						40	0,039	0,28
	5,04					50	0,04	0,31
						60	0,04	0,34

Sketsa gambar pola aliran dan gambar pengamatan yang dilakukan di Laboratorium dengan h_0 0,185 m dapat dilihat pada Gambar 5.7 dan Gambar 5.8.



Gambar 5.7 Pola Aliran Pada Percobaan Tanpa proteksi h_0 0,185



Gambar 5.8 Percobaan Pengamatan Gerusan Tanpa Proteksi h_0 0,185

Dari Tabel 5.4 hasil pengamatan gerusan tanpa proteksi menunjukkan nilai kedalaman gerusan maksimal dan panjang gerusan maksimal masing-masing 0,04 m dan 0,34 m.

Untuk hasil perhitungan analisis data dari ketinggian air hulu 0,180 m dan 0,185 m dapat dilihat pada Tabel 5.5.

Tabel 5.5 Rekapitulasi Perhitungan pada Pengamatan Gerusan Tanpa Proteksi

h_0 m	Q m^3/det	v_1 m/s	v_2 m/s	Re	Fr_1	Fr_2
0,180	$7,569 \times 10^{-4}$	0,2968	0,2126			
0,185	$1,001 \times 10^{-3}$	0,3626	0,2405	5462,986	0,6969	0,3766



Gambar 5.10 Percobaan Pengamatan Gerusan dengan *Groundsill* h_0 0,175

Dari Tabel 5.6 hasil pengamatan gerusan h_0 0,175 m dengan proteksi *groundsill* menunjukkan nilai kedalaman gerusan maksimal dan panjang gerusan maksimal masing-masing 0,005 m dan 0,08 m.

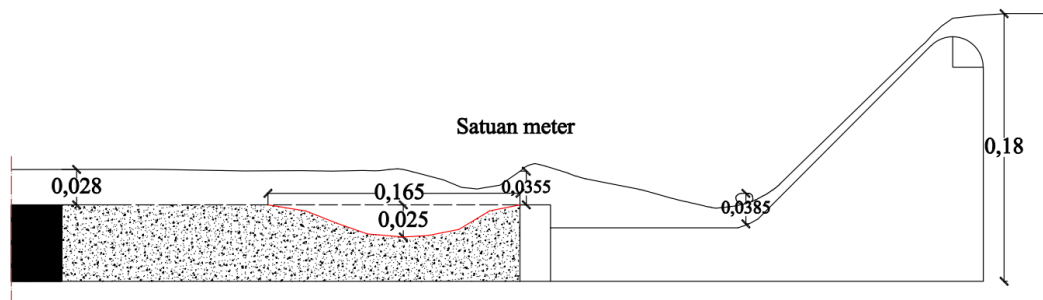
2. Ketinggian air hulu (h_0) sebesar 0,180 m dengan proteksi *groundisll* L_{maks}

Data hasil percobaan pada ketinggian air hulu (h_0) sebesar 0,180 m dengan perletakan proteksi *groundisll* sejauh L_{maks} dapat dilihat pada Tabel 5.7.

Tabel 5.7 Pengamatan Percobaan Pada Proteksi *Groundsill* h_0 0,180

V	t	Q	h_1	h_2	h_3	T	Y_m	L_m
m^3	detik	m^3/det	m	m	m	menit	m	m
0,005	6,63	0,000757	0,0385	0,0355	0,028	10	0,019	0,145
						20	0,022	0,148
	30					0,023	0,151	
	40					0,025	0,158	
	50					0,025	0,165	
	60					0,025	0,165	

Sketsa gambar pola aliran dan gambar pengamatan yang dilakukan di Laboratorium dengan h_0 0,180 m dapat dilihat pada Gambar 5.11 dan Gambar 5.12.



Gambar 5.11 Pola Aliran Pada Percobaan *Groundsill* h_0 0,180



Gambar 5.12 Percobaan Pengamatan Gerusan dengan *Groundsill* h_0 0,180

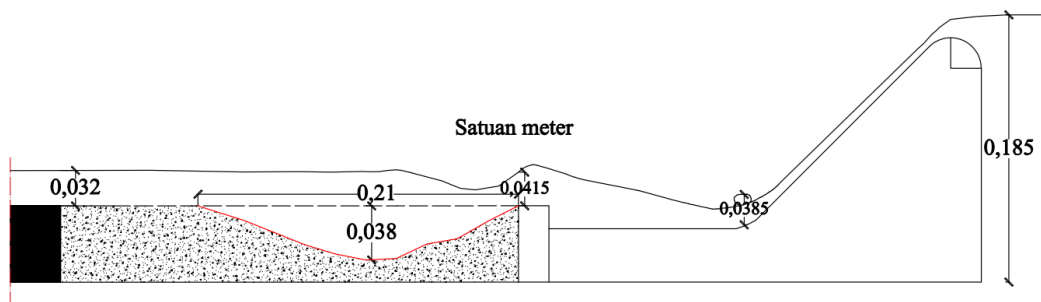
Dari Tabel 5.7 hasil pengamatan gerusan h_0 0,180 m dengan proteksi *groundsill* menunjukkan nilai kedalaman gerusan maksimal dan panjang gerusan maksimal masing-masing 0,025 m dan 0,165 m.

3. Ketinggian air hulu (h_0) sebesar 0,185 m dengan proteksi *groundisll* L_{maks} .
Data hasil percobaan pada ketinggian air hulu (h_0) sebesar 0,185 m dengan perletakkan proteksi *groundisll* sejauh L_{maks} dapat dilihat pada Tabel 5.8.

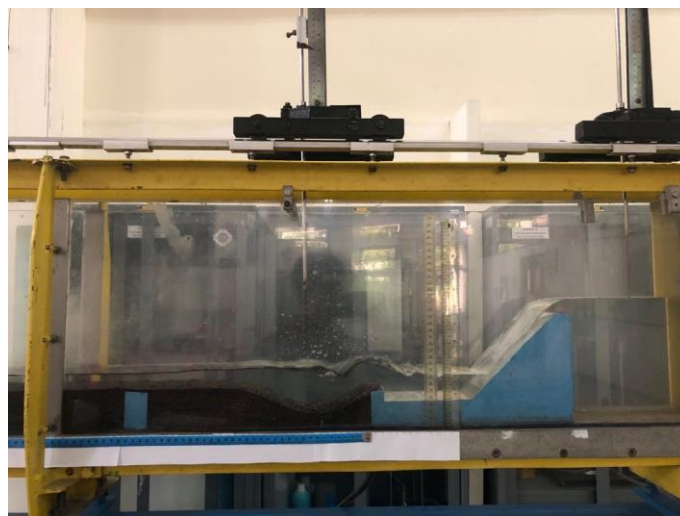
Tabel 5.8 Pengamatan Percobaan Pada Proteksi Groundsill h_0 0,185

V m ³	t detik	Q m ³ /det	h_1 m	h_2 m	h_3 m	T menit	Y_m m	L_m m
0,005	5,04	0,0010008	0,0385	0,0415	0,032	10	0,029	0,171
						20	0,03	0,188
	30					0,034	0,197	
	40					0,036	0,209	
	50					0,038	0,21	
	60					0,038	0,21	

Sketsa gambar pola aliran dan gambar pengamatan yang dilakukan di Laboratorium dengan h_0 0,185 m dapat dilihat pada Gambar 5.12 dan Gambar 5.14.



Gambar 5.13 Pola Aliran Pada Percobaan Tanpa proteksi h_0 0,185 m



Gambar 5.14 Percobaan Pengamatan Gerusan dengan *Groundsill* h_0 0,185 m

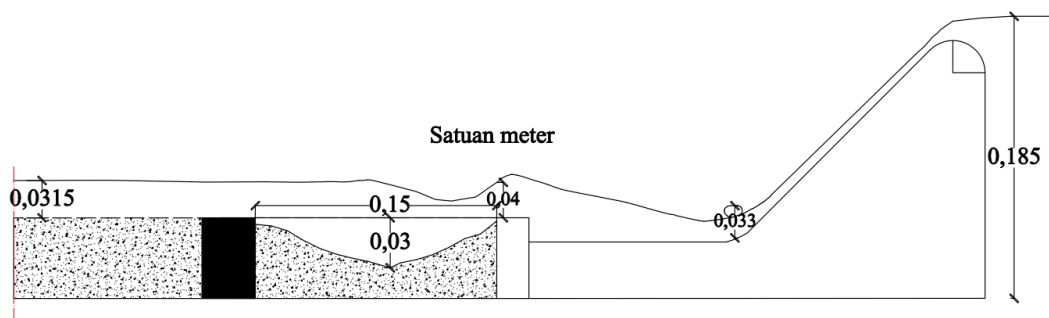
Dari Tabel 5.8 hasil pengamatan gerusan h_0 0,185 m dengan proteksi *groundsill* menunjukkan nilai kedalaman gerusan maksimal dan panjang gerusan maksimal masing-masing 0,038 m dan 0,21 m.

4. Ketinggian air hulu (h_0) sebesar 0,185 m dengan proteksi *groundsill* $1/2 L_{maks}$
Data hasil percobaan pada ketinggian air hulu (h_0) sebesar 0,185 m dengan perletakkan proteksi *groundsill* sejauh $1/2 L_{maks}$ dapat dilihat pada Tabel 5.8.

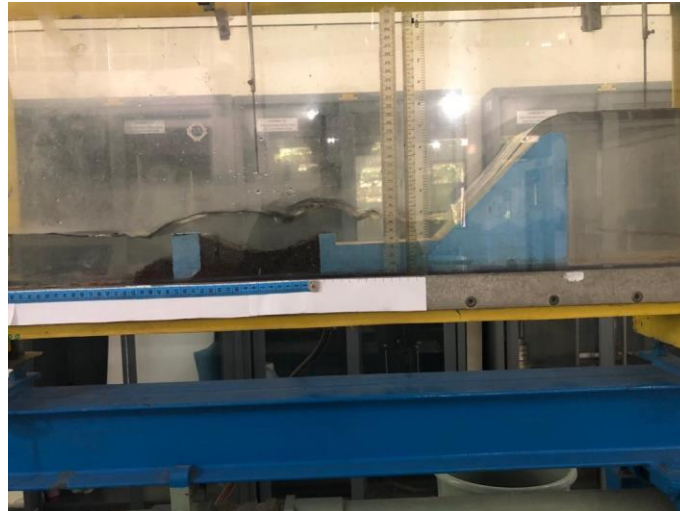
Tabel 5.9 Pengamatan Percobaan Pada Proteksi Groundsill h_0 0,185 $1/2 L_{maks}$

V	t	Q	h_1	h_2	h_3	T	Y_m	L_m
m^3	detik	m^3/det	m	m	m	menit	m	m
0,005	5,04	0,0010008	0,033	0,04	0,0315	10	0,028	0,15
						20	0,029	0,15
	30					0,03	0,15	
	40					0,03	0,15	
	50					0,03	0,15	
	60					0,03	0,15	

Sketsa gambar pola aliran dan gambar pengamatan yang dilakukan di Laboratorium dengan h_0 0,185 m dapat dilihat pada Gambar 5.15 dan Gambar 5.16.



Gambar 5.15 Pola Aliran Pada Percobaan $1/2 L_{maks}$ *Groundsill* h_0 0,185 m



Gambar 5.16 Percobaan Pengamatan Gerusan dengan $\frac{1}{2} L_{maks}$ *Groundsill* h_0 0,185 m

Dari Tabel 5.9 hasil pengamatan gerusan h_0 0,180 m dengan proteksi *groundsill* $\frac{1}{2} L_{maks}$ menunjukkan nilai kedalaman gerusan maksimal dan panjang gerusan maksimal masing-masing 0,03 m dan 0,15 m.

Berikut ini adalah perhitungan pada pengamatan gerusan dengan proteksi *Groundsill*.

- a. Debit Aliran Proteksi *Groundsill* $\frac{1}{2} L_{maks}$ $h_0=0,185$ m

$$Q = \frac{\frac{V}{t_1} + \frac{V}{t_2} + \frac{V}{t_3}}{3}$$

$$Q = \frac{\frac{0,005}{4,86} + \frac{0,005}{5,1} + \frac{0,005}{4,9}}{3}$$

$$Q = 1,009 \times 10^{-3} \text{ m}^3/\text{det}$$

- b. Kecepatan airan di *endsill*

$$Q = A_2 \times v_2$$

$$v_2 = \frac{Q}{A_2}$$

$$v_2 = \frac{Q}{b \times h_2}$$

Diketahui saluran memiliki lebar (b) = 0,1 m

$$v_2 = \frac{1,009 \times 10^{-3}}{0,1 \times 0,04}$$

$$v_2 = 0,2502 \text{ m/det}$$

a. Mencari nilai R:

$$R = \frac{A}{P}$$

$$R = \frac{b \times h_2}{b + (2h_2)}$$

$$R = \frac{0,1 \times 0,04}{0,1 + (2 \times 0,04)}$$

$$R = 0,02253 \text{ m}$$

b. Bila besar nilai ν untuk air yang bersuhu 20° C adalah $1 \times 10^{-6} \text{ m}^2/\text{det}$ maka nilai Re:

$$Re = \frac{v \times R}{\nu}$$

$$Re = \frac{0,2502 \times 0,0222}{1 \times 10^{-6}}$$

$$Re = 5560,105$$

e. Angka Froude pada *endsill*

$$Fr = \frac{v_2}{\sqrt{g \times D_2}}$$

Dalam saluran berbentuk persegi, nilai dari D_2 itu sama dengan h_2

$$Fr_2 = \frac{0,2502}{\sqrt{9,81 \times 0,04}}$$

$$Fr_2 = 0,399$$

Hasil perhitungan pada pengamatan gerusan dengan proteksi *groundsill* yang lain dapat dilihat pada Tabel 5.10.

Tabel 5.10 Rekapitulasi Perhitungan pada Pengamatan Gerusan dengan Proteksi *Grondsill*

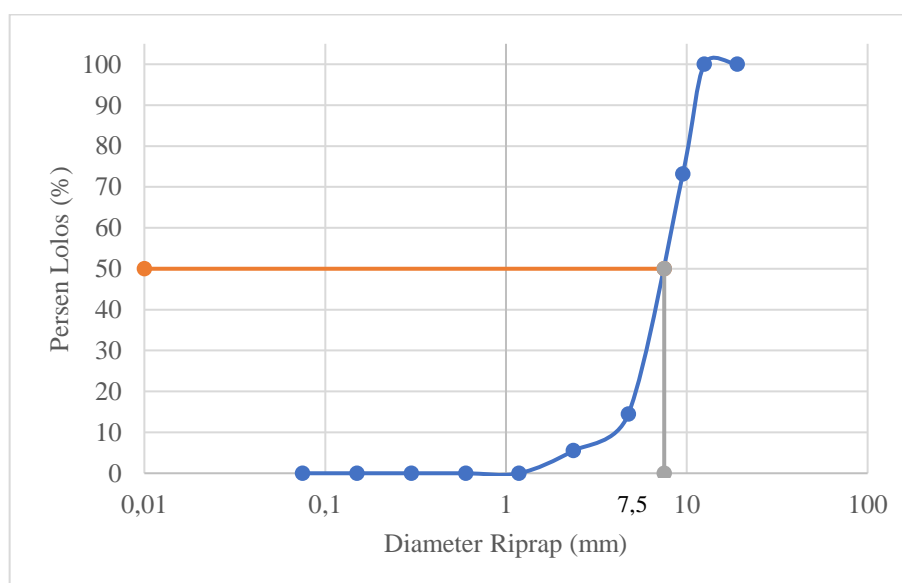
h0	Kedalaman Air di Endsill	Kecepatan Aliran di Endsill (v2)	Jari-jari Hidraulik (R)	Angka Reynolds (Re)	Angka Froude (Fr)
m	m	m/s	m		
0,175	0,026	0,1701	0,0171	2910,346	0,3369
0,18	0,0355	0,2132	0,0208	4426,887	0,3613
0,185	0,0415	0,2412	0,0227	5468,956	0,3779

5.2.4 Data percobaan Menggunakan Proteksi Riprap

Penggunaan riprap dilakukan menggunakan batuan kerikil dengan dimensi rata-rata atau menggunakan analisis saringan d_{50} . Analisis saringan agregat yang digunakan dalam penelitian ini dapat dilihat pada Tabel 5.11 dan Gambar 5.12.

Tabel 5.11 Hasil Analisis Saringan d_{50} untuk riprap

No	No saringan	Berat Tertinggal (gram)	Berat tanah lolos (gram)	Persen tertahan (%)	Persen lolos (%)
1	3/4	0	1500	0	100
2	1/2	0	1500	0	100
3	3/8	403	1097	26,867	73,133
4	No. 4	880	217	58,667	14,467
5	No. 8	134	83	8,933	5,533
6	No. 16	83	0	5,533	0
7	No. 30	0	0	0	0
8	No. 50	0	0	0	0
9	No. 100	0	0	0	0
10	No. 200	0	0	0	0
total		1500		100	
Berat tanah mula-mula			1500	gram	



Gambar 5.17 Penentuan Ukuran Diameter Rata-rata Batuan Riprap (d_{50})

Berdasarkan Gambar 5.17 dapat disimpulkan bahwa diameter rata-rata Riprap yang digunakan dalam penelitian ini adalah sebesar 7,5 mm. hasil tersebut didapat dari perhitungan menggunakan persamaan (3.20). Berikut ini adalah perhitungan untuk mengetahui dimensi rata-rata (d_{50}) riprap yang digunakan.

$$d_{30} = y(S_f C_s C_V C_T) \left[\frac{(V_{des})}{\sqrt{k_1(S_g - 1)gy}} \right]^{2.5}$$

$$V_{des} = V_{avg} \left(1,71 - 0,78 \log \left(\frac{Rc}{W} \right) \right)$$

$$V_{des} = 0,20603 \left(1,71 - 0,78 \log \left(\frac{0,0228}{0,1} \right) \right)$$

$$V_{des} = 0,4554 \text{ m/s}$$

$$k_1 = 1 - \left(\frac{(\sin \theta - 14^\circ)}{\sin(32^\circ)} \right)^{1,6}$$

$$k_1 = 1 - \left(\frac{(\sin 26,67 - 14^\circ)}{\sin(32^\circ)} \right)^{1,6}$$

$$k_1 = 0,965$$

$$d_{30} = y(S_f C_s C_V C_T) \left[\frac{(V_{des})}{\sqrt{k_1(S_g - 1)gy}} \right]^{2.5}$$

$$d_{30} = 0,03(1,5,0,3,1,25,1) \left[\frac{(0,4554)}{\sqrt{0,965 \cdot (2,65 - 1)9,81 \cdot 0,03}} \right]^{2.5}$$

$$d_{30} = 0,0061 \text{ m}$$

$$d_{50} = 1,2 \times d_{30}$$

$$d_{50} = 0,0073 \text{ m}$$

Pada perhitungan di atas didapatkan hasil d_{50} sebesar 0,0073 m atau 7,3 mm. Percobaan menggunakan proteksi riprap ini dilakukan dengan tiga variasi ketinggian air hulu (h_0), yaitu tinggi air hulu (h_0) 0,175 m; 0,180 m; dan 0,185 m. Selain itu terdapat dua variasi penempatan proteksi riprap, yaitu proteksi riprap yang diletakkan sepanjang jarak maksimum gerusan yang paling besar diantara semua percobaan tanpa proteksi (L_{maks}) dan proteksi riprap yang diletakkan

sepanjang setengah dari jarak maksimum gerusan ($1/2L_{maks}$). Sehingga didapatkan data percobaan sebagai berikut.

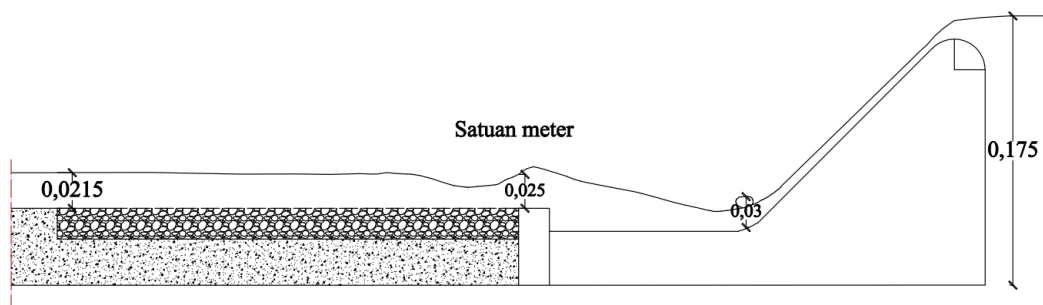
5.2.5 Ketinggian air hulu (h_0) sebesar 0,175 m dengan proteksi riprap sepanjang L_{maks}

Data hasil percobaan pada ketinggian air hulu (h_0) sebesar 0,175 m dengan perletakan proteksi riprap sepanjang L_{maks} dapat dilihat pada Tabel 5.11.

Tabel 5.12 Pengamatan Percobaan Pada Proteksi Riprap h_0 0,175

V	t	Q	h_1	h_2	h_3	T	Y_m	L_m
m^3	detik	m^3/det	m	m	m	menit	m	m
0,005	11,1	0,00044237	0,03	0,025	0,0215	10	0,00	0,0
						20	0,00	0,0
	11,6					30	0,00	0,0
						40	0,00	0,0
	11,22					50	0,00	0,0
						60	0,00	0,0

Sketsa gambar pola aliran dan gambar pengamatan yang dilakukan di Laboratorium dengan h_0 0,185 m dapat dilihat pada Gambar 5.18 dan Gambar 5.19.



Gambar 5.18 Pola Aliran Pada Percobaan L_{maks} Riprap h_0 0,175 m



Gambar 5.19 Percobaan Pengamatan Gerusan dengan L_{maks} Riprap h_0 0,175 m

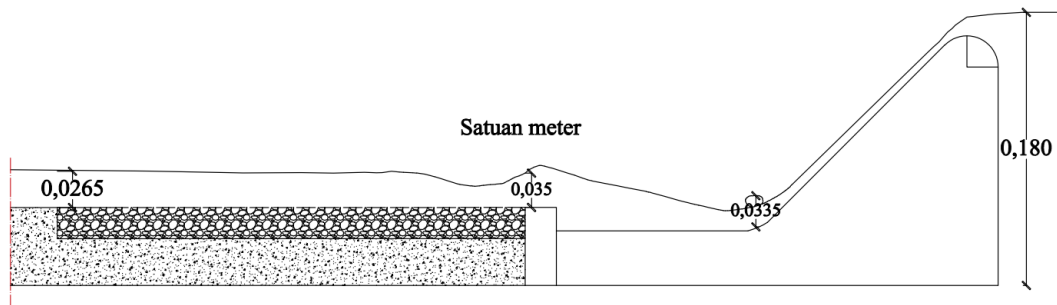
5.2.6 Ketinggian air hulu (h_0) sebesar 0,180 m dengan proteksi riprap sepanjang L_{maks}

Data hasil percobaan pada ketinggian air hulu (h_0) sebesar 0,180 m dengan perletakkan proteksi riprap sepanjang L_{maks} dapat dilihat pada Tabel 5.13.

Tabel 5.13 Pengamatan Percobaan Pada Proteksi Riprap h_0 0,180

V	t	Q	h_1	h_2	h_3	T	Y_m	L_m
m^3	detik	m^3/det	m	m	m	menit	m	m
0,005	6,63	0,000757	0,0335	0,035	0,0265	10	0,0	0,0
						20	0,0	0,0
	6,72					30	0,0	0,0
						40	0,0	0,0
	6,47					50	0,0	0,0
						60	0,0	0,0

Sketsa gambar pola aliran dan gambar pengamatan yang dilakukan di Laboratorium dengan h_0 0,185 m dapat dilihat pada Gambar 5.20 dan Gambar 5.21.



Gambar 5.20 Pola Aliran Pada Percobaan L_{maks} Riprap h_0 0,180 m



Gambar 5.21 Percobaan Pengamatan Gerusan dengan L_{maks} Riprap h_0 0,180 m

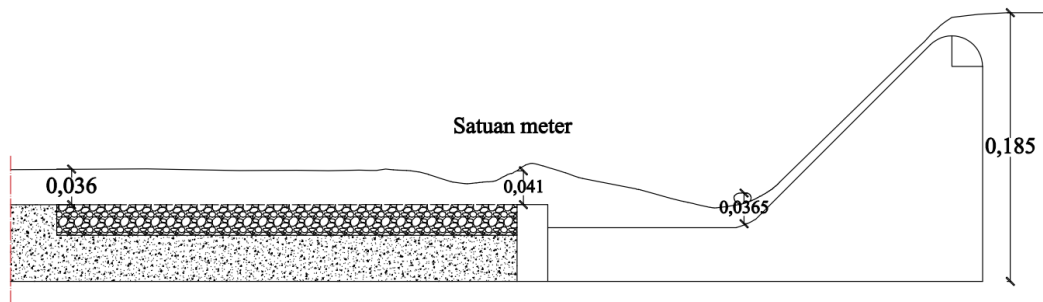
5.2.7 Ketinggian air hulu (h_0) sebesar 0,185 m dengan proteksi riprap sepanjang L_{maks}

Data hasil percobaan pada ketinggian air hulu (h_0) sebesar 0,185 m dengan perletakkan proteksi riprap sepanjang L_{maks} dapat dilihat pada Tabel 5.14.

Tabel 5.14 Pengamatan Percobaan Pada Proteksi Riprap h_0 0,185

V	t	Q	h_1	h_2	h_3	T	Y_m	L_m
m^3	detik	m^3/det	m	m	m	menit	m	m
0,005	5,04	0,0010008	0,0365	0,041	0,036	10	0,0	0,0
						20	0,0	0,0
	4,91					30	0,0	0,0
						40	0,0	0,0
						50	0,0	0,0
						60	0,0	0,0
5,04								

Sketsa gambar pola aliran dan gambar pengamatan yang dilakukan di Laboratorium dengan h_0 0,185 m dapat dilihat pada Gambar 5.22 dan Gambar 5.23.



Gambar 5.22 Pola Aliran Pada Percobaan L_{maks} Riprap h_0 0,185 m



Gambar 5.23 Percobaan Pengamatan Gerusan dengan L_{maks} Riprap h_0 0,185 m

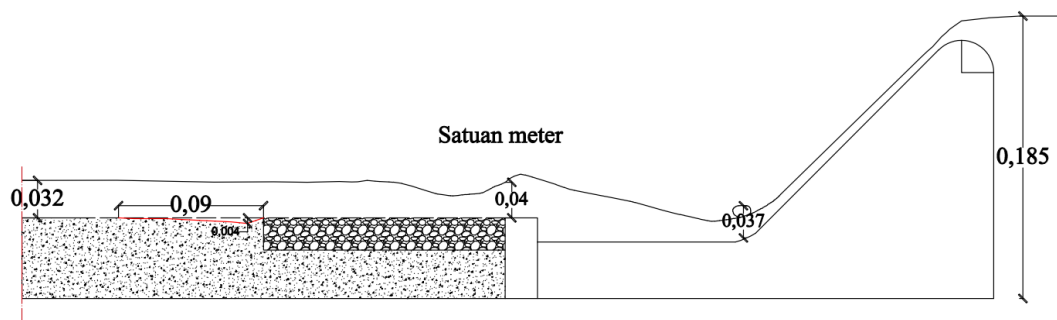
5.2.8 Ketinggian air hulu (h_0) sebesar 0,185 m dengan proteksi riprap sepanjang $1/2 L_{maks}$

Data hasil percobaan pada ketinggian air hulu (h_0) sebesar 0,185 m dengan perletakkan proteksi riprap sepanjang $1/2 L_{maks}$ dapat dilihat pada Tabel 5.15.

Tabel 5.15 Pengamatan Percobaan Pada Proteksi Riprap $h_0 0,185 \frac{1}{2} L_{maks}$

V m ³	t detik	Q m ³ /det	h ₁ m	h ₂ m	h ₃ m	T menit	Y _m m	L _m m
0,005	5,04	0,0010008	0,037	0,04	0,032	10	0,0025	0,235
	4,91					20	0,003	0,238
						30	0,0035	0,24
						40	0,0035	0,24
						50	0,0035	0,24
	5,04					60	0,0035	0,24

Sketsa gambar pola aliran dan gambar pengamatan yang dilakukan di Laboratorium dengan $h_0 0,185$ m dapat dilihat pada Gambar 5.24 dan Gambar 5.25.



Gambar 5.24 Pola Aliran Pada Percobaan $\frac{1}{2} L_{maks}$ Riprap $h_0 0,185$



Gambar 5.25 Percobaan Pengamatan Gerusan dengan $\frac{1}{2} L_{maks}$ Riprap $h_0 0,185$

Dari Tabel 5.15 hasil pengamatan gerusan h_0 0,185 m dengan proteksi riprap sejauh $\frac{1}{2} L_{maks}$ menunjukkan nilai kedalaman gerusan maksimal dan panjang gerusan maksimal masing-masing 0,0035 m dan 0,09 m.

Berdasarkan hasil pengamatan percobaan gerusan menggunakan proteksi riprap didapatkan hasil yang menunjukkan bahwa penggunaan riprap sejauh L_{maks} dapat mencegah terjadinya gerusan, sehingga nilai Y_m dan L_m pada percobaan gerusan dengan proteksi riprap adalah 0. Tetapi pada pengamatan percobaan gerusan menggunakan riprap sejauh $\frac{1}{2} L_{maks}$ didapatkan bahwa masih terjadi gerusan di hilir riprap. Berikut ini perhitungan pada pengamatan gerusan menggunakan proteksi riprap sejauh $\frac{1}{2} L_{maks}$.

1. Debit Aliran Proteksi riprap $\frac{1}{2} L_{maks}$ $h_0=0,185$ m

$$Q = \frac{\frac{V}{t_1} + \frac{V}{t_2} + \frac{V}{t_3}}{3}$$

$$Q = \frac{\frac{0,005}{5,04} + \frac{0,005}{4,91} + \frac{0,005}{5,04}}{3}$$

$$Q = 1,001 \times 10^{-3} \text{ m}^3/\text{det}$$

2. Kecepatan airan di *endsill*

$$Q = A_2 \times v_2$$

$$v_2 = \frac{Q}{A_2}$$

$$v_2 = \frac{Q}{b \times h_2}$$

Diketahui saluran memiliki lebar (b) = 0,1 m

$$v_2 = \frac{1,001 \times 10^{-3}}{0,1 \times 0,04}$$

$$v_2 = 0,2502 \text{ m/det}$$

3. Mencari nilai R:

$$R = \frac{A}{P}$$

$$R = \frac{b \times h_2}{b + (2h_2)}$$

$$R = \frac{0,1 \times 0,04}{0,1 + (2 \times 0,04)}$$

$$R = 0,0222 \text{ m}$$

4. Bila besar nilai v untuk air yang bersuhu 20°C adalah $1 \times 10^{-6} \text{ m}^2/\text{det}$ maka nilai

Re:

$$Re = \frac{v \times R}{\nu}$$

$$Re = \frac{0,2292 \times 0,0222}{1 \times 10^{-6}}$$

$$Re = 5560,105$$

5. Angka Froude pada *endsill*

$$Fr = \frac{v_2}{\sqrt{g \times D_2}}$$

Dalam saluran berbentuk persegi, nilai dari D_2 itu sama dengan h_2

$$Fr_2 = \frac{0,2502}{\sqrt{9,81 \times 0,04}}$$

$$Fr_2 = 0,39942$$

Hasil perhitungan pada pengamatan gerusan dengan proteksi riprap yang lain dapat dilihat pada Tabel 5.16.

Tabel 5.16 Rekapitulasi Perhitungan pada Pengamatan Gerusan dengan Proteksi Riprap

h_0	Kedalaman Air di Endsill	Kecepatan Aliran di Endsill (v_2)	Jari-jari Hidraulik (R)	Angka Reynolds (Re)	Angka Froude (Fr)
m	m	m/s	m		
0.175	0.025	0.1770	0.0166	2949,151	0,3573
0.18	0.035	0.2163	0.0206	4452,927	0,3691
0.185	0.041	0.2441	0.0225	5499,005	0,3849

5.2.9 Perhitungan Kedalaman Gerusan Menggunakan Metode Lacey

Terdapat banyak metode yang dapat digunakan untuk menghitung kedalaman gerusan secara teoritis. Namun pada penelitian ini metode yang akan digunakan untuk menghitung kedalaman gerusan adalah dengan metode Lacey. Parameter yang mempengaruhi hasil perhitungan menggunakan metode Lacey adalah besar

nilai debit (Q) dan diameter rata-rata butiran sedimen (d_{50}) seperti pada persamaan (3.17). Dilakukan analisis butiran sedimen rata-rata (d_{50}) untuk dapat mengetahui besarnya kedalaman gerusan yang terjadi menggunakan metode Lacey.

1. Mencari nilai diameter rata-rata butiran sedimen (d_{50})

Hasil pengujian analisis saringan yang dilakukan di Laboratorium digunakan untuk mencari diameter butiran rata-rata sedimen (d_{50}) yang terdapat pada perhitungan menggunakan persamaan metode Lacey. Berdasarkan Gambar 5.1 hasil analisis saringan grafik logaritma untuk mendapatkan diameter rata-rata butiran sedimen (d_{50}). Diambil persen lolos saringan 50%, sehingga diperoleh diameter sedimen rata-rata 0,7 mm.

2. Perhitungan kedalaman gerusan menggunakan metode Lacey

a. Saat ketinggian $h_0 = 0,175\text{m}$

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

$$R = 0,47 \left(\frac{Q}{(1,76 \times d_{50})^{0,5}} \right)^{1/3}$$

$$R = 0,47 \left(\frac{0,000442373}{1,76 \times (0,0007)^{0,5}} \right)^{1/3}$$

$$R = 0,47 \left(\frac{0,000442373}{0,04656} \right)^{1/3}$$

$$R = 0,116256 \text{ m}$$

b. Rekap hasil perhitungan kedalaman gerusan menggunakan metode Lacey

Tabel 5.17 Rekap Hasil Perhitungan Kedalaman Gerusan Metode Lacey

No	h_0 m	Debit Percobaan (Q) m	Faktor Lumpur Lacey (f) m/s	Kedalaman Gerusan Metode Lacey (R) m
1	0,175	0,000442373	0,046565223	0,116256116
2	0,180	0,000760631	0,046565223	0,136782848
3	0,185	0,001000819	0,046565223	0,148520366

Berdasarkan Tabel 5.17 dapat disimpulkan bahwa semakin tinggi h_0 , maka akan semakin dalam pula gerusan yang terjadi. Hal tersebut dikarenakan semakin

tinggi nilai h_0 , maka akan semakin besar pula nilai debit aliran yang akan mempengaruhi kedalaman gerusan dengan metode Lacey.

5.3 Pembahasan

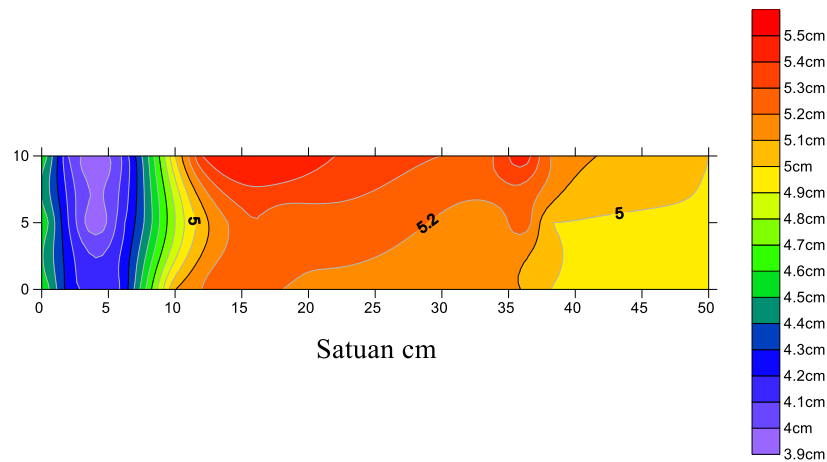
Berdasarkan analisis perhitungan yang telah dijelaskan pada sub-bab sebelumnya, maka pembahasan hasil penelitian akan diuraikan secara menyeluruh seperti berikut ini

5.3.1 Pola Gerusan Pada Hilir Bendung

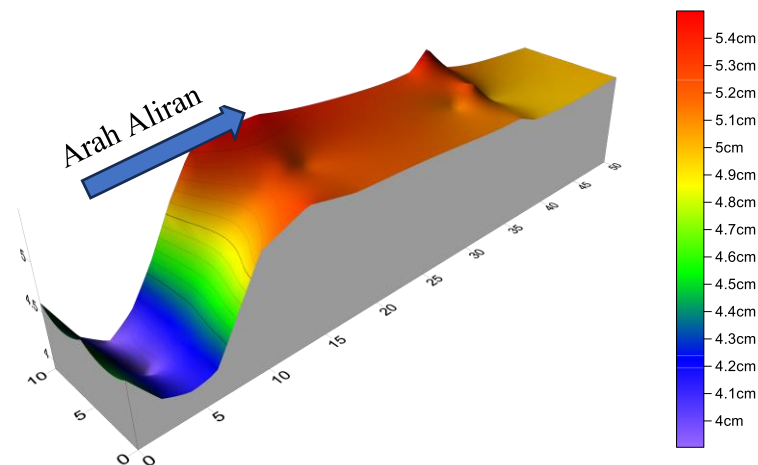
Pola gerusan pada penelitian ini digambarkan berdasarkan data kontur yang didapatkan dari percobaan di laboratorium. Kontur pola gerusan digambarkan menggunakan *softwarw surfer v13.6.618*. Gerusan mulai diamati pada saat awal jatuhnya air di *endsill*. Seiring berjalannya pengaliran, gerusan mulai memanjang ke arah hilir dan kedalaman gerusannya semakin bertambah. Pengamatan pola gerusan dilakukan dengan mengambil kontur 3 dimensi yang meliputi sumbu x (panjang gerusan), y (lebar gerusan), dan z (kedalaman gerusan) pada titik pengamatan kedalaman gerusan yang terjadi setelah pengaliran.

1. Pola kontur gerusan pada percobaan 1 tanpa proteksi

Pada percobaan ini didapatkan panjang gerusan maksimum (sumbu x) sepanjang 9 cm, lebar gerusan (sumbu y) sebesar 10 cm, dan kedalaman gerusan (sumbu z) sebesar 1,1 cm. Jarak pengambilan data kontur sejauh 50 cm dari ujung bendung. Dari data tersebut dapat diperoleh visualisasi pola dan kontur gerusan seperti pada Gambar 5.25 dan Gambar 5.26.



Gambar 5.26 Kontur Gerusan pada Percobaan Tanpa Proteksi 1



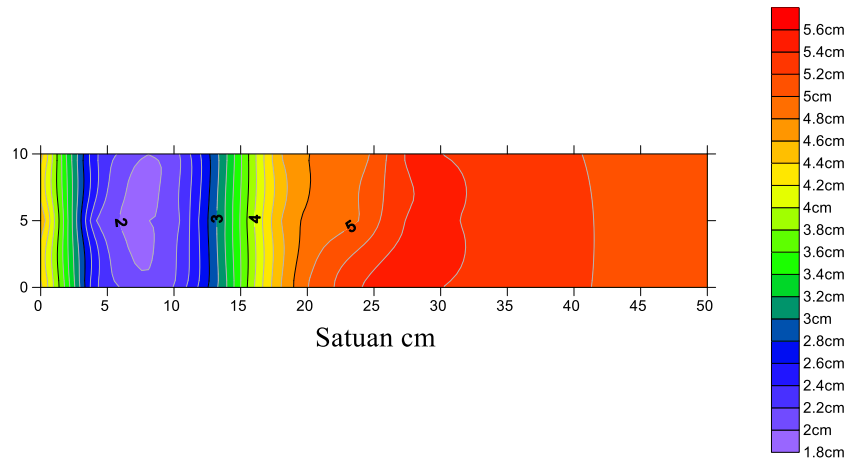
Gambar 5.27 Pola Gerusan Tiga Dimensi pada Percobaan 1 Tanpa Proteksi

Pada Gambar 5.26, diperoleh hasil bahwa pada jarak 4 cm sampai 5 cm dari ujung bendung terjadi gerusan dengan kedalaman maksimum. Hal tersebut terjadi karena jatuhnya air yang diakibatkan adanya *endsill* di ujung bendung. Selain itu, panjang gerusan yang terjadi pada percobaan ini sejauh 9 cm dari ujung bendung dikarenakan setelah 9 cm sedimen mulai mengalami pengendapan di daerah tersebut.

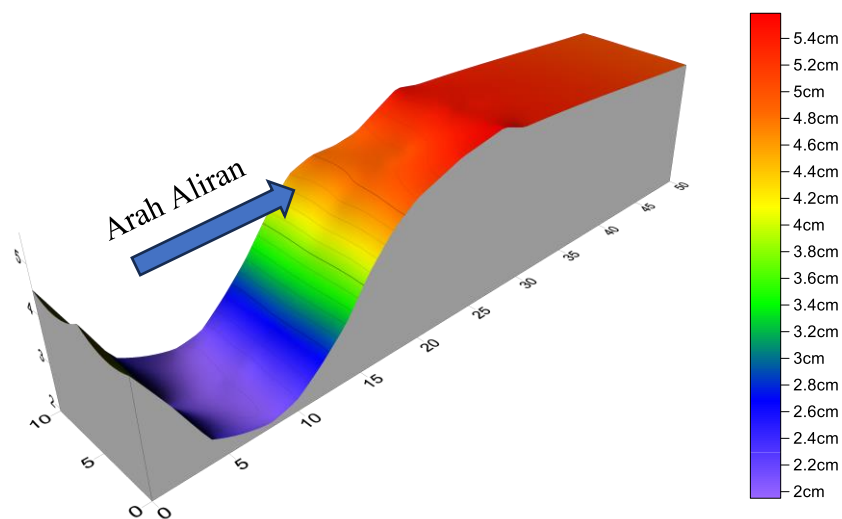
2. Pola kontur gerusan pada percobaan tanpa proteksi 2

Pada percobaan ini didapatkan panjang gerusan maksimum (sumbu x) sepanjang 25 cm, lebar gerusan (sumbu y) sebesar 10 cm, dan kedalaman gerusan (sumbu

z) sebesar 3 cm. Jarak pengambilan data kontur sejauh 50 cm dari ujung bendung. Dari data tersebut dapat diperoleh visualisasi pola dan kontur gerusan seperti pada Gambar 5.28 dan Gambar 5.29.



Gambar 5.28 Kontur Gerusan pad Percobaan Tanpa Proteksi 2

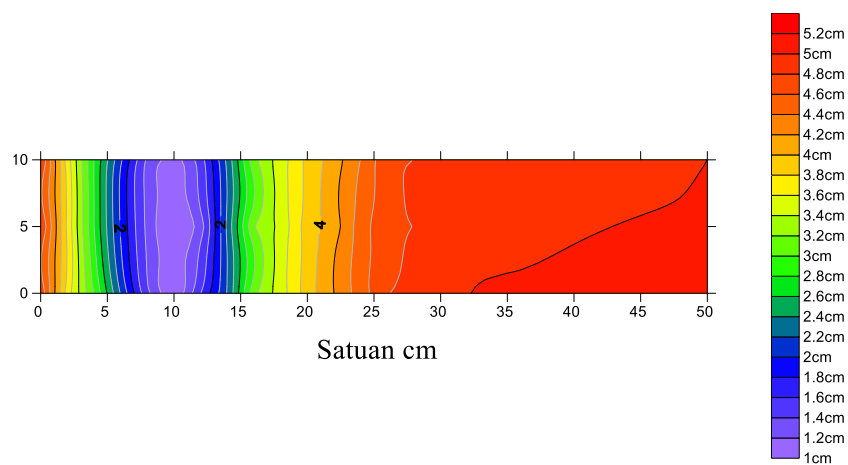


Gambar 5.29 Pola Gerusan Tiga Dimensi pad Percobaan Tanpa Proteksi 2

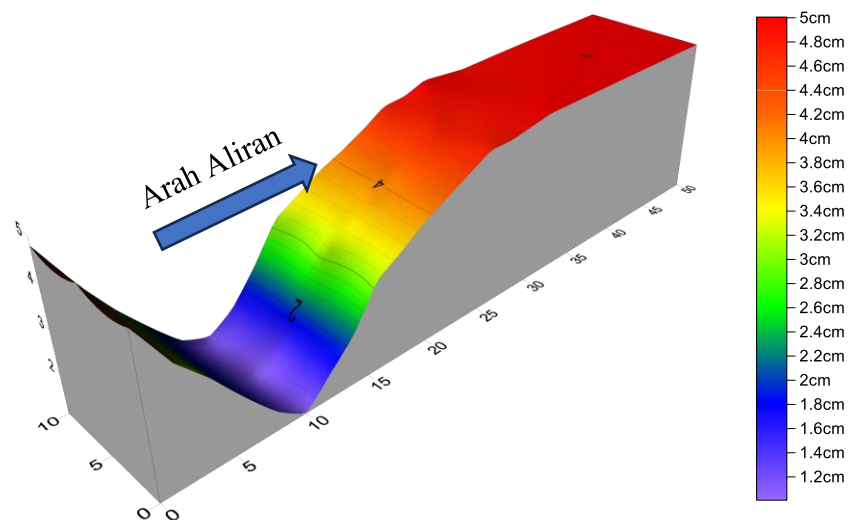
Pada Gambar 5.29, diperoleh hasil bahwa pada jarak 8 cm sampai 9 cm dari ujung bendung terjadi gerusan dengan kedalaman maksimum. Hal tersebut terjadi karena jatuhnya air yang diakibatkan adanya *endsill* di ujung bendung. Selain itu, panjang gerusan yang terjadi pada percobaan ini sejauh 25 cm dari ujung bendung dikarenakan setelah 25 cm sedimen mulai mengalami pengendapan di daerah tersebut.

3. Pola gerusan pada percobaan 3 tanpa proteksi

Pada percobaan ini didapatkan panjang gerusan maksimum (sumbu x) sepanjang 34 cm, lebar gerusan (sumbu y) sebesar 10 cm, dan kedalaman gerusan (sumbu z) sebesar 4 cm. Jarak pengambilan data kontur sejauh 50 cm dari ujung bendung. Dari data tersebut dapat diperoleh visualisasi pola dan kontur gerusan seperti pada Gambar 5.24 dan Gambar 5.25.

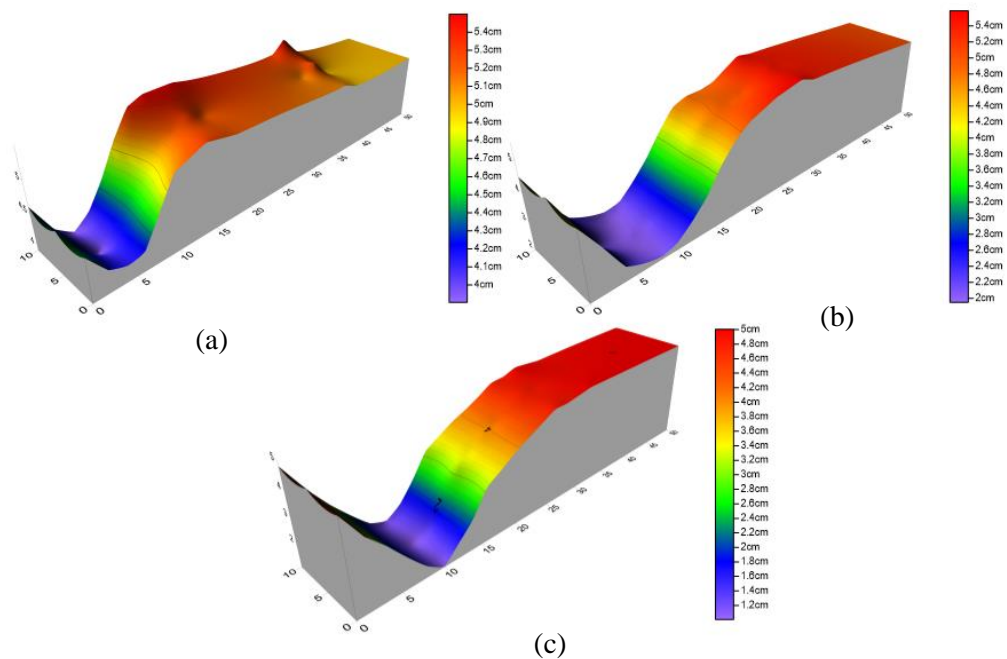


Gambar 5.30 Kontur Gerusan pad Percobaan Tanpa Proteksi 3



Gambar 5.31 Pola Gerusan Tiga Dimensi pada Percobaan Tanpa Proteksi

Pada Gambar 5.25, diperoleh hasil bahwa pada jarak 10 cm sampai 11 cm dari ujung bendung terjadi gerusan dengan kedalaman maksimum. Hal tersebut terjadi karena jatuhnya air yang diakibatkan adanya *endsill* di ujung bendung. Selain itu, panjang gerusan yang terjadi pada percobaan ini sejauh 34 cm dari ujung bendung dikarenakan setelah 34 cm sedimen mulai mengalami pengendapan di daerah tersebut.

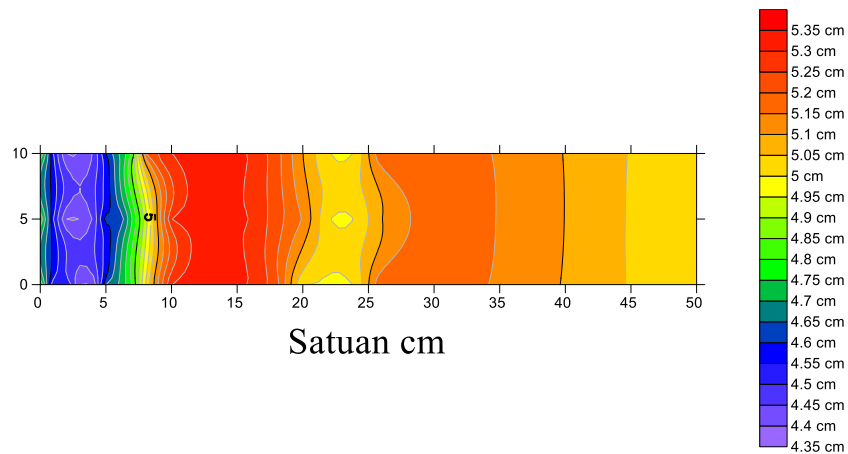


Gambar 5.32 Rekapitulasi Pola Gerusan Pada Berbagai Variasi Tanpa Proteksi

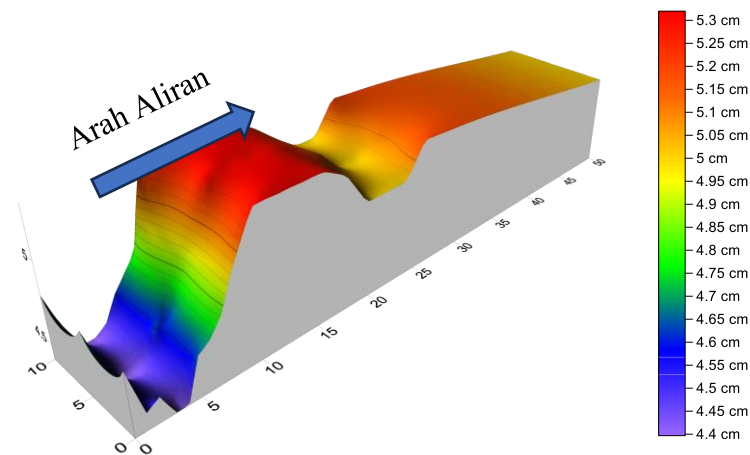
Gambar 5.26 menunjukkan perbedaan kedalaman dan panjang gerusan yang terjadi pada setiap variasi ketinggian h_0 tanpa proteksi. Perbedaan tersebut disebabkan karena semakin tinggi h_0 , maka loncatan air yang terjadi pada hilir bendung semakin tinggi dan semakin jauh. Sehingga gerusan yang terjadi juga semakin dalam dan semakin panjang.

4. Pola dan kontur gerusan pada percobaan proteksi *groundsill* L_{maks}
 - a. h_0 0,175 m

Gambar kontur dan pola gerusan untuk percobaan proteksi *groundsill* L_{maks} dapat dilihat pada Gambar 5.27 dan Gambar 5.28.



Gambar 5.33 Kontur Gerusan pada Percobaan Proteksi Groundsill L_{maks} 1

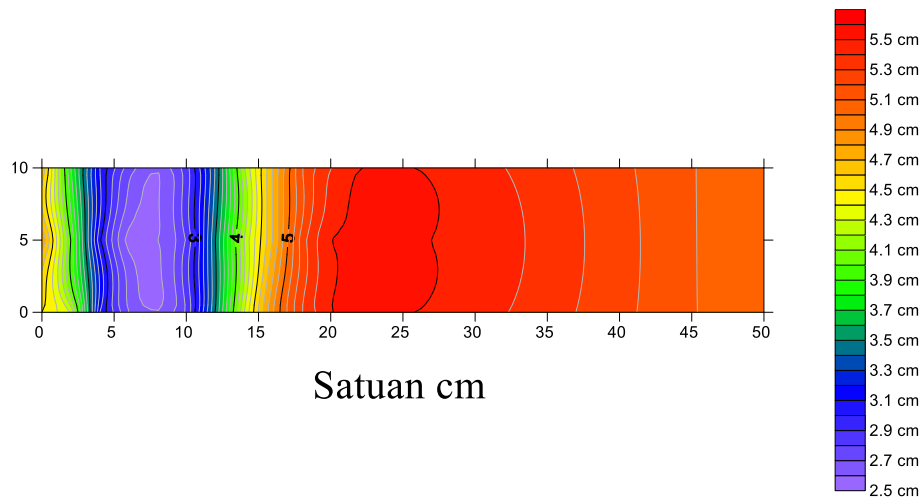


Gambar 5.34 Pola Gerusan pada Percobaan Proteksi Groundsill L_{maks} 1

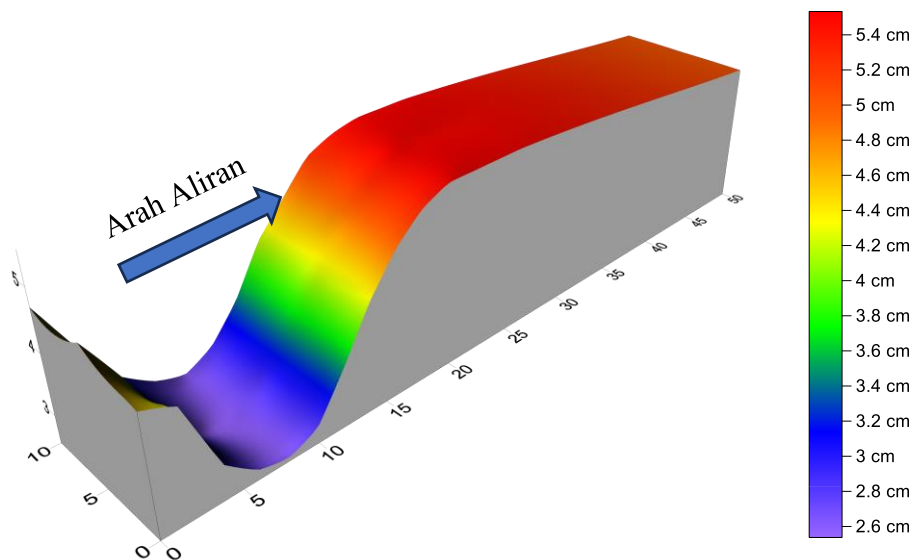
Dari Gambar 5.27 dan 5.28, gerusan terjadi setelah dialiri aliran air dengan debit $0,0004424 \text{ m}^3/\text{s}$ selama 60 menit dengan proteksi *groundsill* diletakan dihilir dengan jarak 0,3 m. Dari gambar diatas dapat dilihat bahwa kedalaman gerusan maksimum terjadi pada jarak 2 cm sampai 3 cm, sedangkan panjang gerusan yang terjadi sejauh 0,08 m, dan pada jarak setelah 0,08 m terdapat endapan sedimen yang terjadi diakibatkan karena tertahan oleh *groundsill* yang diletakan dihilir bendung. Oleh karena itu dapat dilihat bahwa terjadi perubahan kedalaman dan panjang gerusan pada percobaan ini.

b. h_0 0,18 m

Gambar kontur dan pola gerusan untuk percobaan proteksi *groundsill* L_{maks} dapat dilihat pada Gambar 5.29 dan Gambar 5.30.



Gambar 5.35 Kontur Gerusan pada Percobaan Proteksi Groundsill L_{maks} 2



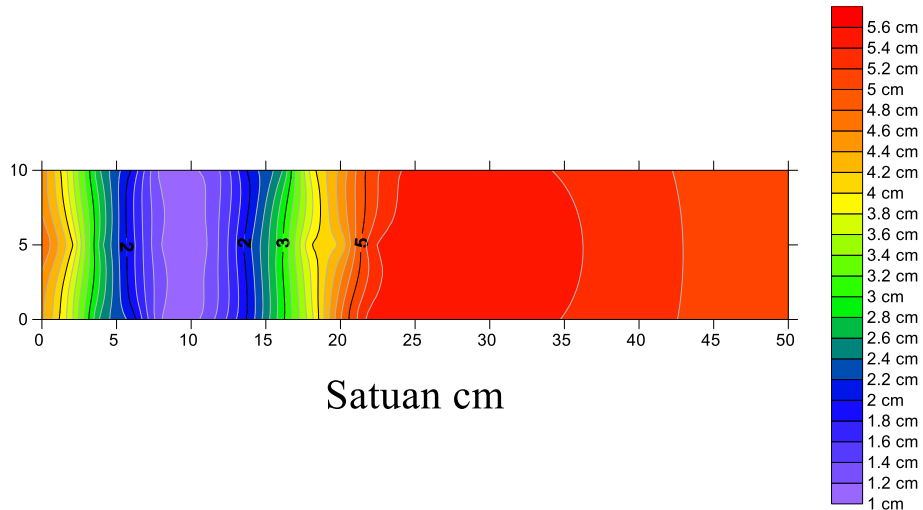
Gambar 5.36 Pola Gerusan pada Percobaan Proteksi Groundsill L_{maks} 2

Dari Gambar 5.29 dan 5.30, gerusan terjadi setelah dialiri aliran air dengan debit $0,0007606 \text{ m}^3/\text{s}$ selama 60 menit dengan proteksi *groundsill* diletakkan dihilir dengan jarak 0,3 m. Dari gambar di atas dapat dilihat bahwa kedalaman gerusan maksimum terjadi pada jarak 7 cm sampai 8 cm, sedangkan panjang gerusan yang terjadi sejauh 0,165 m, dan pada jarak setelah 0,165 m terdapat endapan sedimen yang terjadi diakibatkan karena tertahan oleh *groundsill*

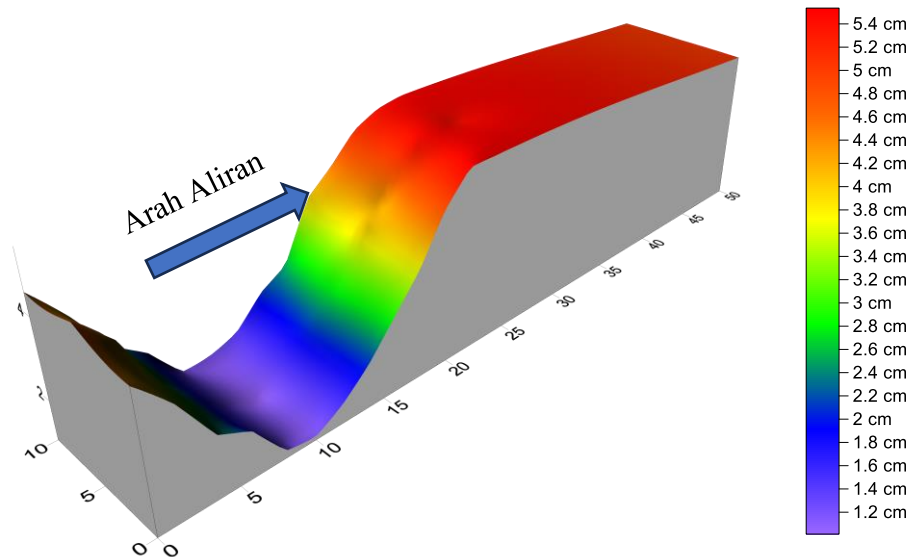
yang diletakan dihilir bendung. Oleh karena itu dapat dilihat bahwa terjadi perubahan kedalaman dan panjang gerusan pada percobaan ini.

c. $h_0 0,185$ m

Gambar kontur dan pola gerusan untuk percobaan proteksi *groundsill* L_{maks} dapat dilihat pada Gambar 5.31 dan Gambar 5.32.



Gambar 5.37 Kontur Gerusan pada Percobaan Proteksi Groundsill L_{maks} 3



Gambar 5.38 Pola Gerusan pada Percobaan Proteksi *Groundsill* L_{maks} 3

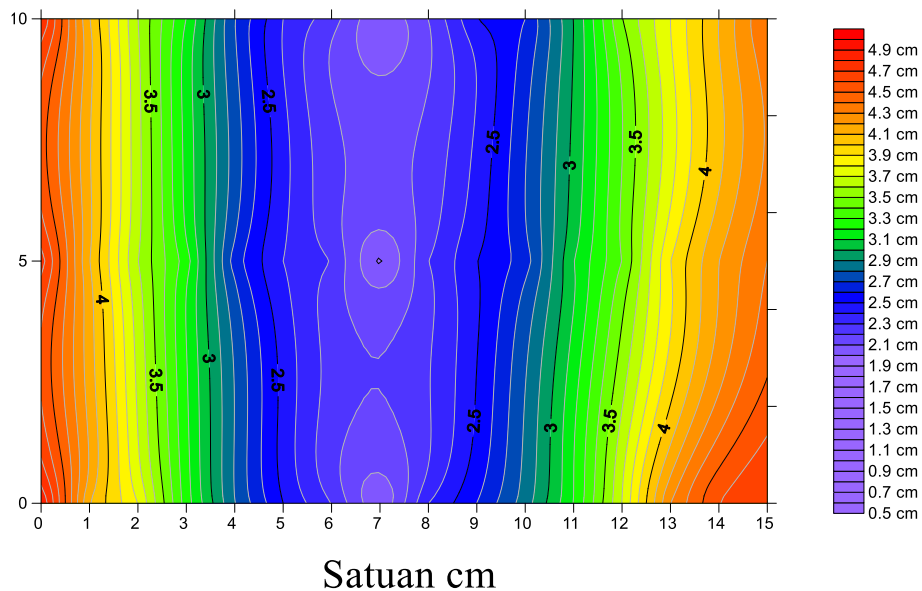
Dari Gambar 5.31 dan 5.32, gerusan terjadi setelah dialiri aliran air dengan debit $0,0010008 \text{ m}^3/\text{s}$ selama 60 menit dengan proteksi *groundsill* diletakan dihilir dengan jarak $0,3$ m. Dari gambar di atas dapat dilihat bahwa kedalaman

gerusan maksimum terjadi pada jarak 8 cm sampai 10 cm, sedangkan panjang gerusan yang terjadi sejauh 0,21 m, dan pada jarak setelah 0,21 m terdapat endapan sedimen yang terjadi diakibatkan karena tertahan oleh *groundsill* yang diletakan dihilir bendung. Oleh karena itu dapat dilihat bahwa terjadi perubahan kedalaman dan panjang gerusan pada percobaan ini.

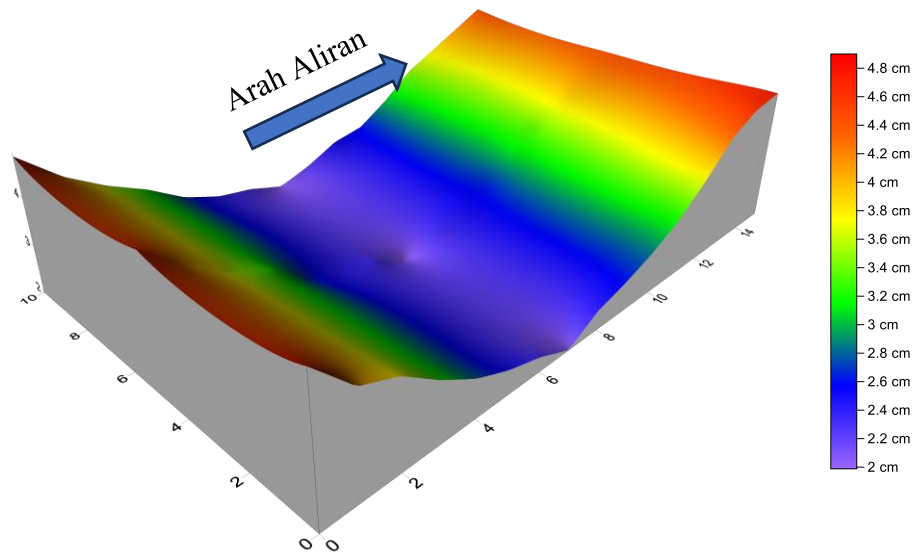
5. Pola dan kontur gerusan pada percobaan proteksi *groundsill* $\frac{1}{2} L_{maks}$

a. $h_0 0,185$ m

Gambar kontur dan pola gerusan untuk percobaan proteksi *groundsill* $\frac{1}{2} L_{maks}$ dapat dilihat pada Gambar 5.33 dan Gambar 5.34 berikut.

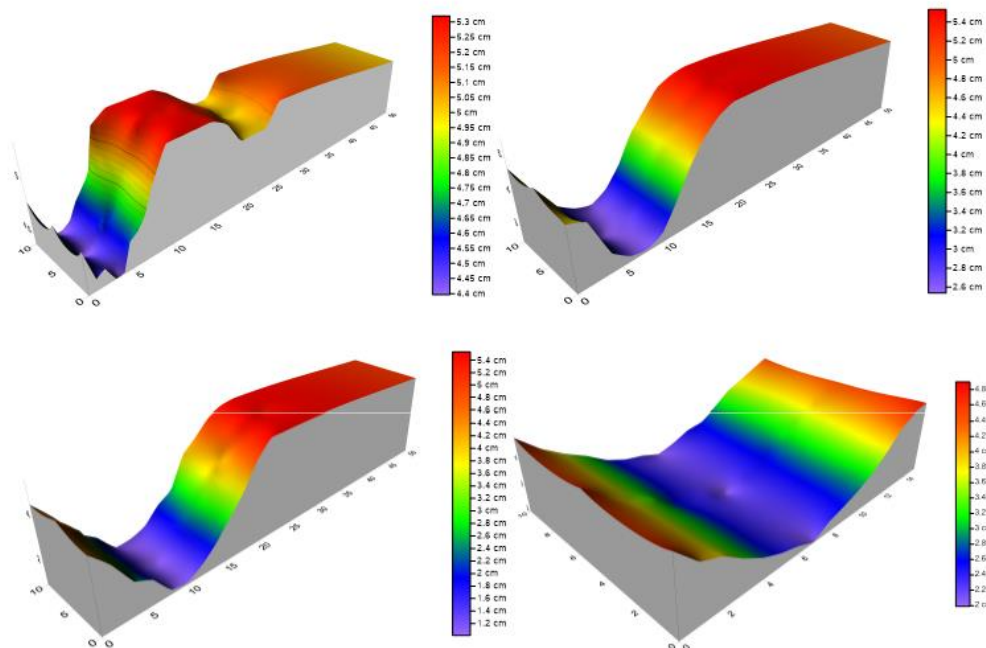


Gambar 5.39 Pola Gerusan pada Percobaan Proteksi *Groundsill* $\frac{1}{2} L_{maks}$



Gambar 5.40 Pola Gerusan pada Percobaan Proteksi Groundsill $\frac{1}{2} L_{maks}$

Dari Gambar 5.33 dan 5.34, gerusan terjadi setelah dialiri aliran air dengan debit $0,0010008 \text{ m}^3/\text{s}$ selama 60 menit dengan proteksi *groundsill* diletakan di hilir dengan jarak 0,15 m. Dari gambar di atas dapat dilihat bahwa kedalaman gerusan maksimum terjadi pada jarak 7 cm, sedangkan panjang gerusan yang terjadi sejauh 0,15 m, dan terjadi endapan sedimen di sisi atas *groundsill* dikarenakan sedimen-sedimen tersebut tertahan oleh *groundsill*.



Gambar 5.41 Rekapitulasi Pola Gerusan Pada Berbagai Variasi Proteksi *Groundsill*

Gambar 5.35 menunjukkan perbedaan kedalaman dan panjang gerusan yang terjadi pada setiap variasi ketinggian h_0 dengan proteksi *groundsill*. Perbedaan tersebut disebabkan karena semakin tinggi h_0 , maka loncatan air yang terjadi pada hilir bendung semakin tinggi dan semakin jauh. Sehingga gerusan yang terjadi juga semakin dalam dan semakin panjang. Akan tetapi pada percobaan ini panjang gerusan dan kedalaman gerusan lebih kecil apabila dibandingkan dengan gerusan tanpa proteksi.

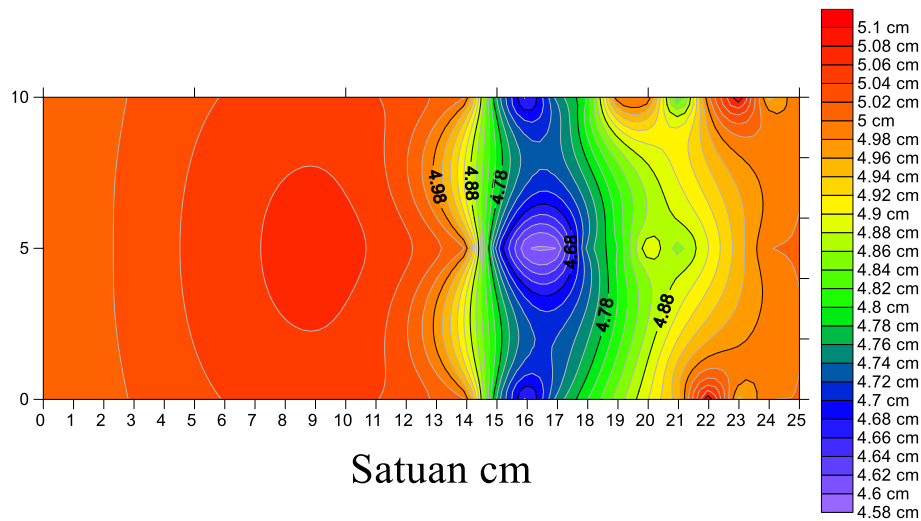
6. Pola dan kontur gerusan pada percobaan proteksi riprap L_{maks}

Pada penelitian ini menggunakan proteksi riprap yang diletakkan sepanjang gerusan maksimum (L_{maks}), dilakukan percobaan sebanyak tiga kali dengan debit yang berbeda-beda dengan waktu pengaliran selama 60 menit. Hasil akhir setelah dilakukan tiga kali percobaan dengan debit yang berbeda menunjukkan bahwa sudah tidak terdapat gerusan disekitar hilir yang dipasang proteksi riprap. Aliran yang mengalir setelah dipasang proteksi riprap menjadi jauh lebih tenang dibandingkan pada saat sebelum ada riprap, sehingga gerusan pada hilir bendung dapat dicegah.

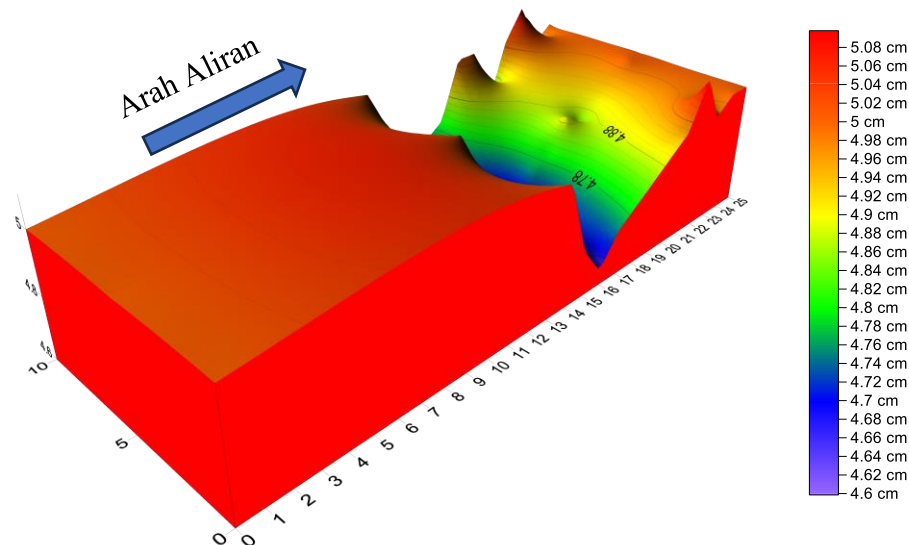
Pembuatan gambar pola dan kontur gerusan dengan proteksi riprap sejauh L_{maks} tidak dapat diproyeksikan menggunakan *software surfer v13.6.618*. Karena data kontur yang didapat terletak pada bidang horizontal yang sama.

7. Pola dan kontur gerusan pada percobaan proteksi Riprap $\frac{1}{2} L_{maks}$

Gambar kontur dan pola gerusan untuk percobaan proteksi riprap $\frac{1}{2} L_{maks}$ dapat dilihat pada Gambar 5.36 dan Gambar 5.37 berikut.



Gambar 5.42 Kontur Gerusan pada Percobaan Proteksi Riprap $\frac{1}{2} L_{maks}$

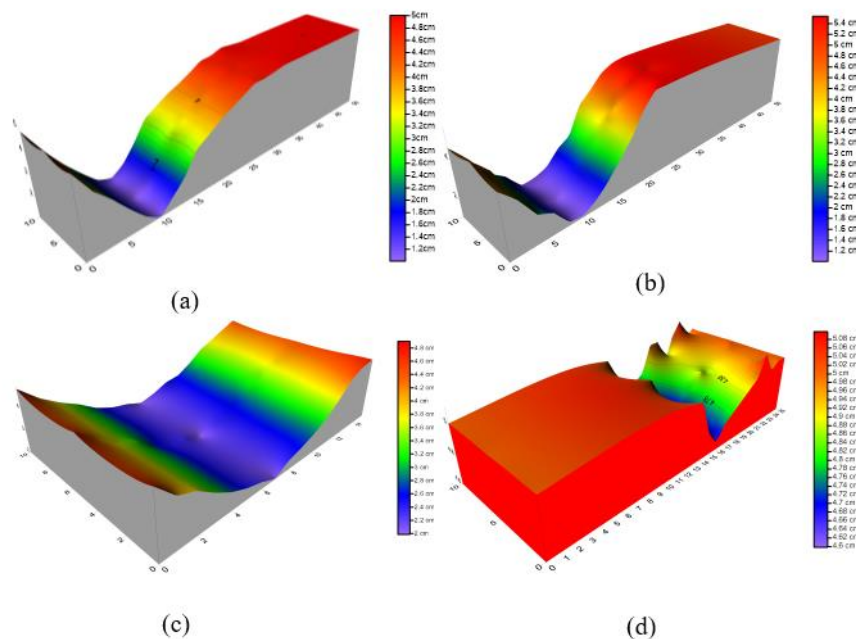


Gambar 5.43 Pola Gerusan pada Percobaan Proteksi Riprap $\frac{1}{2} L_{maks}$

Dari Gambar 5.36 dan 5.37, gerusan terjadi setelah dialiri aliran air dengan debit $0,0010008 \text{ m}^3/\text{s}$ selama 60 menit dengan proteksi riprap diletakan dihilir dengan jarak sepanjang $\frac{1}{2} L_{\text{maks}}$ yaitu 0,15 m. Dari gambar di atas dapat dilihat bahwa masih terlihat adanya gerusan di sekitar hilir riprap. Kedalaman gerusan maksimum terjadi pada jarak 16 cm dari endsill, atau 1 cm dari hilir proteksi riprap. Sedangkan panjang dari gerusan yang terjadi di hilir riprap yaitu sejauh 0,09 m.

5.3.2 Perbandingan Pola Gerusan

Pola gerusan yang digunakan sebagai perbandingan adalah pola gerusan tanpa proteksi (a), pola gerusan dengan *groundsill* L_{mask} (b), pola gerusan dengan *groundsill* $\frac{1}{2} L_{\text{maks}}$ (c), dan pola gerusan dengan riprap $\frac{1}{2} L_{\text{maks}}$ (d) seperti pada Gambar 5.33.



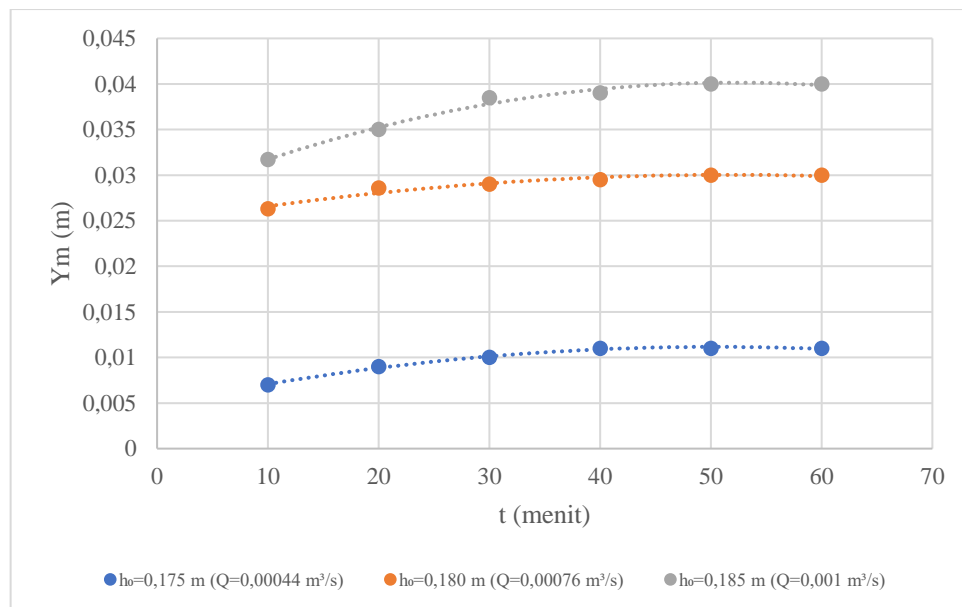
Gambar 5.44 Perbandingan Pola Gerusan

Gambar 5.38 menunjukkan perbedaan pada setiap jenis proteksinya. Dari kedua jenis proteksi gerusan yang digunakan, proteksi menggunakan riprap adalah yang paling efektif digunakan untuk mereduksi gerusan. Karena dengan

menggunakan proteksi riprap dengan jarak penempatan L_{maks} dapat mencegah terjadinya gerusan. Sedangkan prtoteksi riprap dengan jarak penempatan $\frac{1}{2} L_{maks}$ masih terjadi penggerusan sedimen di hilir proteksinya.

5.3.3 Hubungan Kedalaman Gerusan Terhadap Waktu

Pengamatan gerusan dilakukan mengalirkan air selama 60 menit dengan interval waktu pengaliran 10 menit untuk pengambilan data kedalaman gerusan. Hubungan antara parameter gerusan dan waktu pengaliran dapat dilihat dari Gambar 5.34.



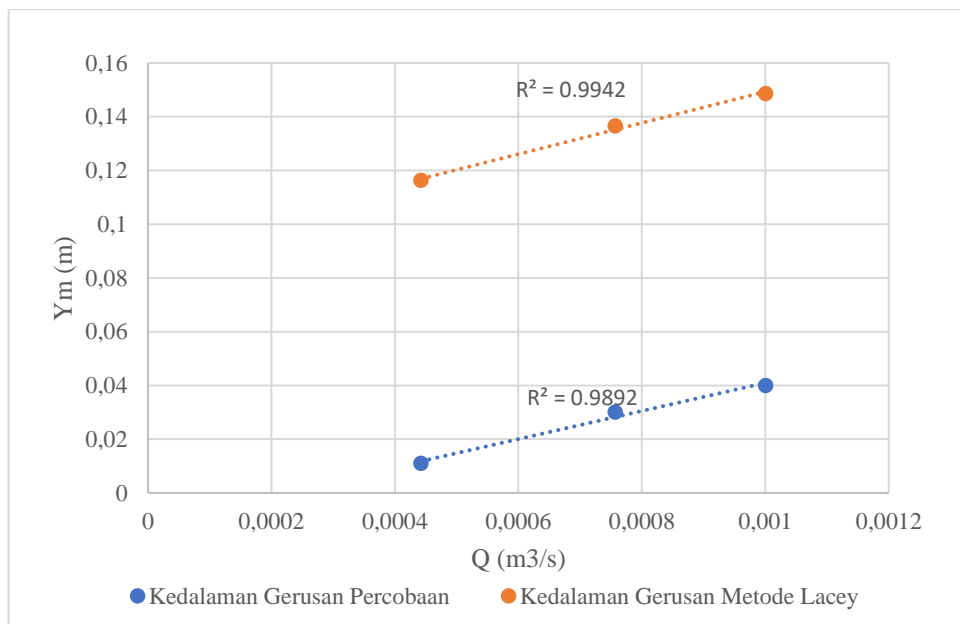
Gambar 5.45 Grafik Hubungan Kedalaman Gerusan Terhadap Waktu

Gambar 5.39 menunjukkan hubungan antara gerusan terhadap waktu. Pada masing-masing variasi debit diperoleh kedalaman gerusan yang berbeda-beda. Kedalaman gerusan terbesar terjadi saat debit $0,001$ m³/s dengan kedalaman gerusan sebesar $0,04$ m. Terlihat bahwa peningkatan kedalaman gerusan sangat tinggi pada menit-menit awal, kemudian seiring dengan semakin lama waktu pengaliran peningkatan kedalaman menjadi semakin kecil, sehingga hasil pengamatan percobaan terlihat bahwa pada saat waktu menyentuh 50 menit, pengaliran sudah mengalami kesetimbangan dan tidak terjadi gerusan. Jadi kedalaman maksimum gerusan terjadi pada menit ke 50. Hubungan antara

kedalaman gerusan dengan waktu saat pengamatan menunjukkan hubungan fungsi non-linier atau peningkatan kedalamannya tidak konstan dan berubah-ubah.

5.3.4 Hubungan Kedalaman Gerusan dengan Variasi Debit

Pengamatan kedalaman gerusan dilakukan menggunakan dua metode, yaitu metode pengamatan langsung secara visual dengan percobaan di laboratorium dan pengamatan secara teoritis menggunakan persamaan dari metode Lacey. Hubungan antara variasi debit dengan kedua metode pengamatan gerusan tersebut dapat dilihat pada Gambar 5.40.



Gambar 5.46 Hubungan Kedalaman Gerusan dengan Debit Aliran

Sumbu x menunjukkan nilai debit aliran sedangkan sumbu y menunjukkan nilai dari kedalaman gerusan. Dari grafik diatas dapat disimpulkan bahwa semakin besar nilai debit aliran maka kedalaman gerusan yang terjadi di hilir bendung akan semakin besar. Hasil yang diperoleh pada grafik diatas menunjukkan bahwa hasil pengamatan tersebut telah sesuai dengan persamaan pada metode Lacey (persamaan 3.17) yang menunjukkan nilai kedalaman gerusan berbanding lurus dengan nilai debit aliran.

Tabel 5.18 Perbandingan Gerusan Metode Lacey dengan Percobaan

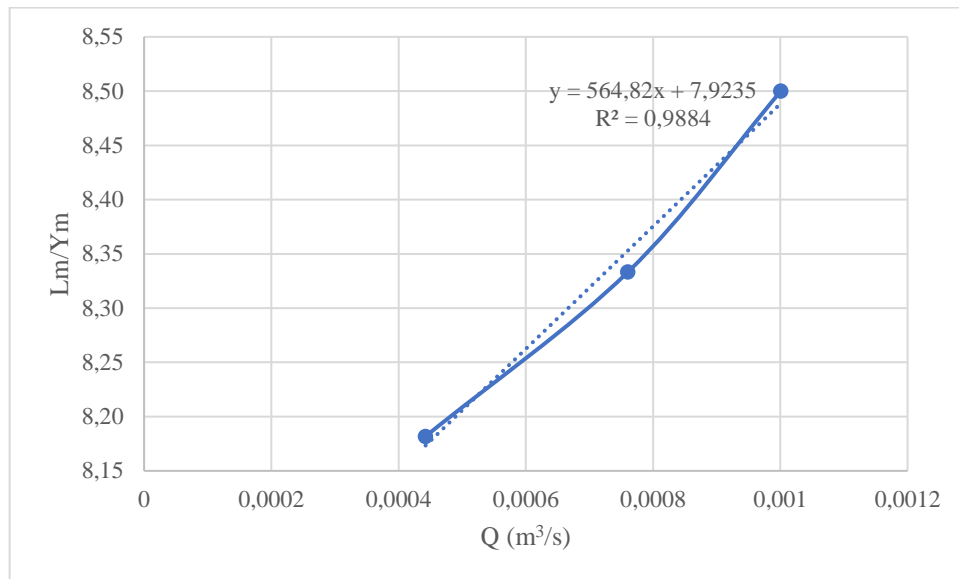
h0	Kedalaman Gerusan Metode Lacey (R)	Kedalaman Gerusan Percobaan
m	m	m
0,175	0,116	0,011
0,18	0,137	0,03
0,185	0,149	0,04

Pada Tabel 5.18 menunjukkan terjadi perbedaan yang cukup signifikan antara hasil pengamatan kedalaman gerusan yang dilakukan secara langsung di Laboratorium dengan kedalaman gerusan yang dihitung menggunakan persamaan Lacey. Perbedaan hasil perhitungan antara hasil percobaan secara langsung dan perhitungan menggunakan persamaan Lacey terjadi karena beberapa hal, persamaan Lacey hanya memperhatikan parameter debit aliran dan faktor lumpur, sehingga hasil dari perhitungan gerusan dengan metode Lacey hanyalah kedalaman gerusan secara umum. Disisi lain parameter yang diamati pada percobaan secara langsung di Laboratorium mempertimbangkan adanya bangunan peredam energi berupa kolam olak.

Gambar 5.40 juga menunjukkan koefisien korelasi hubungan antara kedalaman gerusan dengan debit pada pengamatan secara langsung di Laboratorium, hasil nilai koefisien korelasi menunjukkan nilai 0,9892 sedangkan pada perhitungan secara teori menggunakan metode Lacey menunjukkan nilai sebesar 0,9942. Hal tersebut menunjukkan bahwa kedalaman gerusan dengan besaran debit memiliki hubungan yang sangat erat. Sehingga dapat dikatakan kedalaman gerusan maksimum di hilir kolam olak sangat dipengaruhi oleh debit aliran di hilir kolam olak.

5.1.2 Hubungan Kedalaman Gerusan dengan Panjang Gerusan Terhadap Debit

Hubungan antara panjang gerusan dengan kedalaman gerusan terhadap debit yang didapat setelah dilakukan analisis data dapat dilihat pada Gambar 5.41.



Gambar 5.47 Hubungan Panjang Gerusan dengan Kedalaman Gerusan Terhadap Debit

Berdasarkan Gambar 5.41 dapat disimpulkan bahwa semakin besar debit yang mengalir maka akan semakin besar pula panjang gerusan dan kedalamannya sebagai mana dinyatakan dalam persamaan logaritmik berikut ini.

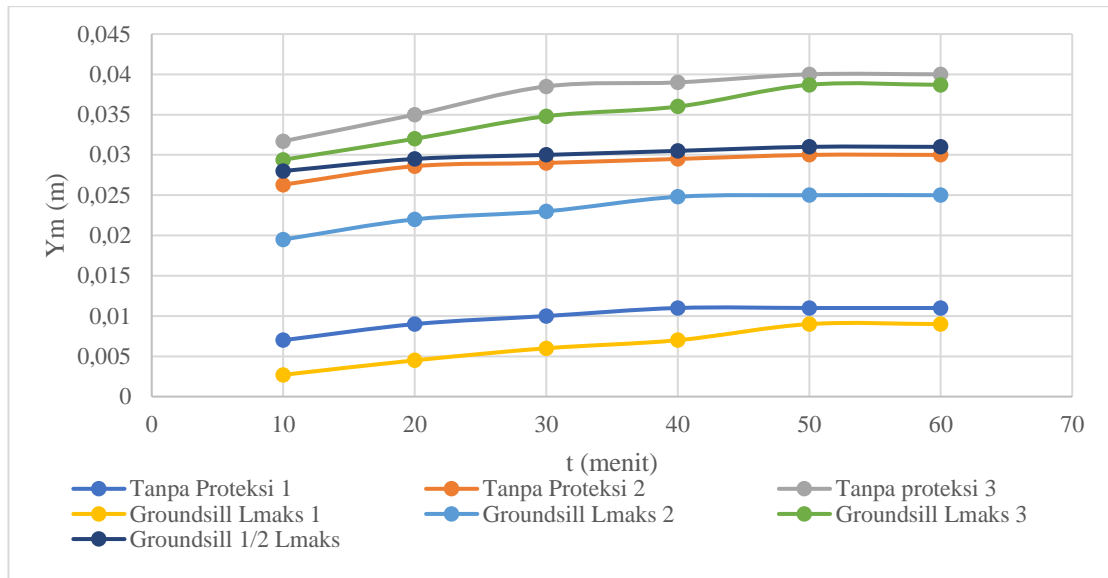
$$\frac{L_m}{Y_m} = 564,82 (Q) + 7,924$$

Logika dihubungkannya panjang gerusan dengan debit adalah karena, jika debit aliran semakin besar maka panjang gerusan yang terjadi akan semakin besar. Hubungan keduanya ditunjukkan berdasarkan angka korelasi yang diperoleh sebesar 0,9884, sehingga kedalaman gerusan dengan debit aliran memiliki hubungan yang erat. Berdasarkan pengamatan, diperoleh hasil bahwa penambahan panjang gerusan lebih besar dibandingkan dengan penambahan kedalamannya.

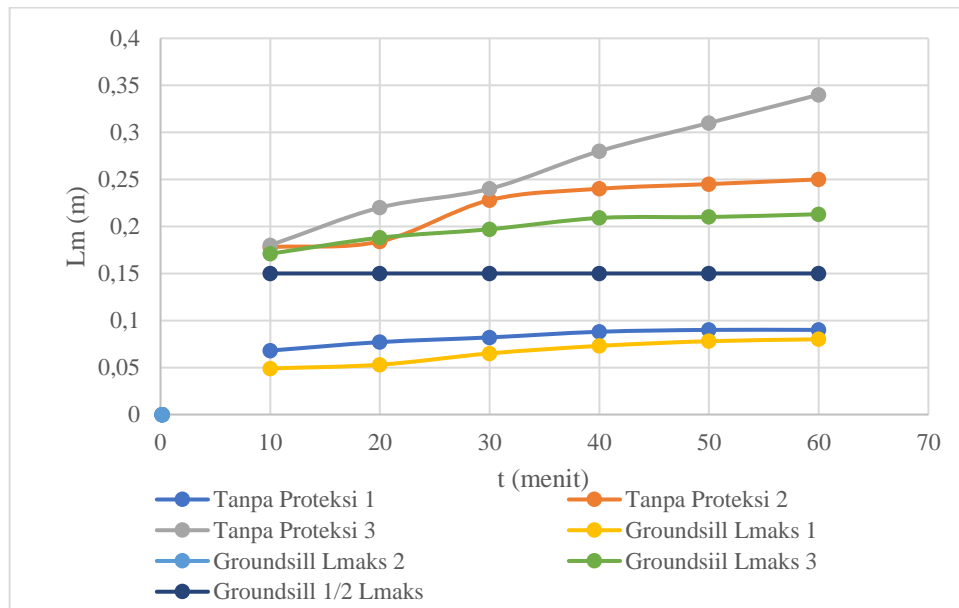
5.3.5 Pengaruh Proteksi Groundsill Terhadap Pola Gerusan

Percobaan pengamatan gerusan menggunakan proteksi *groundsill* dilakukan sebanyak empat kali percobaan. Tiga kali percobaan *groundsill* diletakkan sejauh panjang gerusan maksimal dari debit tertinggi (L_{maks}) dengan 3 variasi ketinggian h_0 , dan satu percobaan dilakukan dengan meletakkan *groundsill* sejauh setengah dari panjang gerusan maksimal dari debit tertinggi ($1/2 L_{maks}$) dengan nilai h_0 paling

tinggi. Dari perhitungan yang telah dilakukan sebelumnya tanpa menggunakan proteksi didapatkan nilai panjang gerusan dari debit terbesar $0,0010008 \text{ m}^3/\text{s}$ yaitu sejauh $0,3 \text{ m}$. Hasil dari perbandingan antara kedalaman gerusan tanpa proteksi dan dengan proteksi *groundsill* dapat dilihat pada Gambar 5.42 dan Gambar 2.43.



Gambar 5.48 Perbandingan Kedalaman Gerusan Sebelum dan Sesudah Ada proteksi *Groundsill*



Gambar 5.49 Perbandingan Panjang Gerusan Sebelum dan Sesudah Ada proteksi *Groundsill*

Gambar 5.42 dan Gambar 5.43 menggambarkan bahwa proteksi *groundsill* mampu untuk melindungi sedimen dari penggerusan akibat adanya bangunan air berupa bendung. Hal tersebut dapat terjadi akibat *transport* sedimen yang terjadi pada dasar aliran dapat tertahan oleh *groundsill*, sehingga besar nilai kedalaman dan panjang gerusan dapat dikurangi (reduksi) dengan menggunakan proteksi *groundsill*. Berikut ini dapat dilihat besaran nilai reduksi dari kedalaman dan panjang gerusan sebelum dan setelah terdapat proteksi *groundsill* pada Tabel 5.19 dan Tabel 5.20.

Tabel 5.19 Reduksi Kedalaman Gerusan dengan Proteksi *Groundsill*

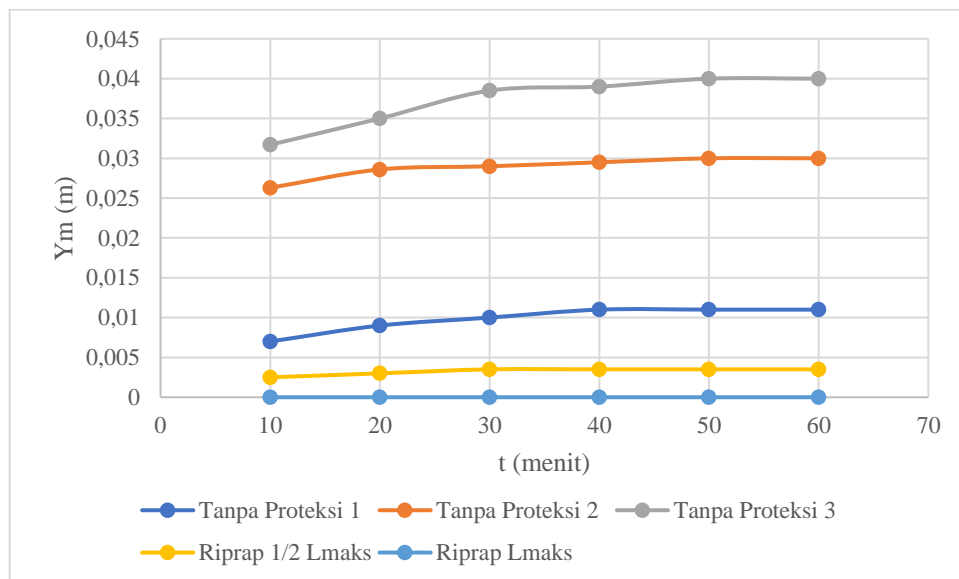
Waktu	Kedalaman Gerusan Tanpa Proteksi h0 0,175	Kedalaman Gerusan Proteksi Groundsill Lmaks ho 0,175	Reduksi	Kedalaman Gerusan Tanpa Proteksi h0 0,180	Kedalaman Gerusan Proteksi Groundsill Lmaks ho 0,180	Reduksi	Kedalaman Gerusan Tanpa Proteksi h0 0,185	Kedalaman Gerusan Proteksi Groundsill Lmaks ho 0,185	Reduksi	Kedalaman Gerusan Tanpa Proteksi h0 0,185	Kedalaman Gerusan Proteksi Groundsill 1/2 \Lmaks ho 0,185	Reduksi
menit	m	m	%	m	m	%	m	m	%	m	m	%
10	0,007	0,0027	61,428	0,0263	0,0195	25,855	0,0317	0,0294	7,255	0,0317	0,0280	11,671
20	0,009	0,0045	50,000	0,0286	0,0220	23,076	0,0350	0,0320	8,571	0,0350	0,0295	15,714
30	0,010	0,0060	40,000	0,0290	0,0230	20,689	0,0385	0,0348	9,610	0,0385	0,0300	22,077
40	0,011	0,0070	36,363	0,0295	0,0248	15,932	0,0390	0,0360	7,692	0,0390	0,0305	21,794
50	0,011	0,0090	18,181	0,0300	0,0250	16,666	0,0400	0,0387	3,250	0,0400	0,0310	22,500
60	0,011	0,0090	18,181	0,0300	0,0250	16,666	0,0400	0,0387	3,250	0,0400	0,0310	22,500

Tabel 5.20 Reduksi Panjang Gerusan dengan Proteksi *Groundsill*

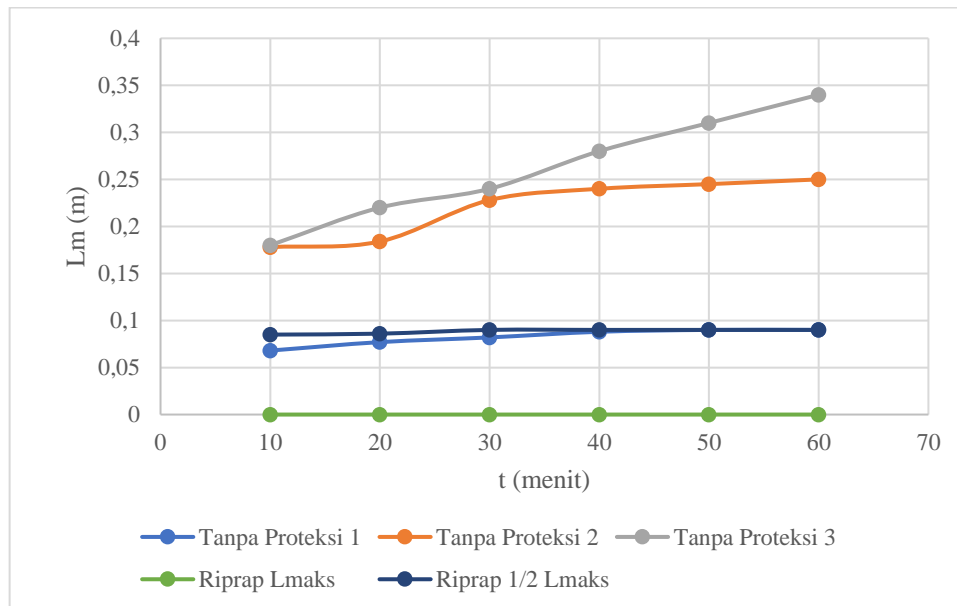
Waktu Pengaliran	Panjang Gerusan Tanpa Proteksi h0 0,175	Panjang Gerusan Proteksi Groundsill Lmaks ho 0,175	Reduksi	Panjang Gerusan Tanpa Proteksi h0 0,180	Panjang Gerusan Proteksi Groundsill Lmaks ho 0,180	Reduksi	Panjang Gerusan Tanpa Proteksi h0 0,185	Panjang Gerusan Proteksi Groundsill Lmaks ho 0,185	Reduksi	Panjang Gerusan Tanpa Proteksi h0 0,185	Panjang Gerusan Proteksi Groundsill 1/2 Lmaks ho 0,185	Reduksi
menit	m	m	%	m	m	%	m	m	%	m	m	%
10	0,068	0,049	27,941	0,178	0,145	18,539	0,18	0,171	5	0,18	0,15	16,666
20	0,077	0,053	31,168	0,184	0,148	19,565	0,22	0,188	14,545	0,22	0,15	31,818
30	0,082	0,065	20,731	0,228	0,151	33,771	0,24	0,197	17,916	0,24	0,15	37,500
40	0,088	0,073	17,045	0,240	0,162	32,500	0,28	0,209	25,357	0,28	0,15	46,428
50	0,090	0,078	13,333	0,245	0,165	32,653	0,31	0,212	31,612	0,31	0,15	51,612
60	0,090	0,080	11,111	0,250	0,165	34,000	0,34	0,210	38,235	0,34	0,15	55,882

5.3.6 Pengaruh Proteksi Riprap terhadap Pola Gerusan

Percobaan pengamatan gerusan menggunakan proteksi riprap dilakukan sebanyak empat kali percobaan. Tiga kali percobaan riprap diletakkan sepanjang dari panjang gerusan maksimal dari debit tertinggi (L_{maks}) dengan 3 variasi ketinggian h_0 , dan satu percobaan dilakukan dengan meletakkan riprap sepanjang setengah dari panjang gerusan maksimal dari debit tertinggi ($1/2 L_{maks}$) dengan nilai h_0 paling tinggi. Dari percobaan sebelumnya tanpa menggunakan proteksi didapatkan nilai panjang gerusan dari debit terbesar $0,0010008 \text{ m}^3/\text{s}$ yaitu sejauh $0,3 \text{ m}$. Hasil dari perbandingan antara kedalaman gerusan tanpa proteksi dan dengan proteksi riprap dapat dilihat pada Gambar 5.44.



Gambar 5.50 Perbandingan Kedalaman Gerusan Sebelum dan Sesudah Ada Proteksi Riprap



Gambar 5.51 Perbandingan Panjang Gerusan Sebelum dan Sesudah Ada Proteksi Riprap

Gambar 5.44 dan Gambar 5.45 menunjukkan bahwa proteksi riprap yang diletakkan sepanjang L_{maks} dapat mencegah terjadinya gerusan pada hilir bendung, sedangkan riprap yang dipasang sejauh $\frac{1}{2} L_{maks}$ dapat mengurangi atau mereduksi kedalaman dan panjang gerusan yang terjadi di hilir bendung. Hal ini dapat terjadi karena perletakkan riprap sejauh L_{maks} mengurangi energi aliran yang terjadi dihilir bendung, sehingga sedimen yang ada di bawah riprap tidak mengalami pergerakan atau *transport* sedimen. Adapun besaran nilai reduksi kedalaman dan panjang gerusan yang terjadi setelah diletakkan proteksi riprap dapat dilihat pada Tabel 5.21 dan Tabel 5.22.

Tabel 5.21 Reduksi Kedalaman Gerusan dengan Proteksi Riprap

Waktu Pengaliran	Kedalaman Gerusan Tanpa Proteksi h_0 0,185	Kedalaman Gerusan Proteksi Riprap $1/2 L_{maks}$ h_0 0,185	Reduksi Kedalaman
menit	m	m	%
10	0,0317	0,0025	92,113
20	0,0350	0,0030	91,428
30	0,0385	0,0035	90,909
40	0,0390	0,0035	91,025
50	0,0400	0,0035	91,250
60	0,0400	0,0035	91,250

Tabel 5.22 Reduksi Panjang Gerusan dengan Proteksi Riprap

Waktu Pengaliran	Panjang Gerusan Tanpa Proteksi h_0 0,185	Panjang Gerusan Proteksi Riprap $1/2 L_{maks}$ h_0 0,185	Reduksi Panjang
menit	m	m	%
10	0,18	0,085	52,777
20	0,22	0,086	60,909
30	0,24	0,090	62,500
40	0,28	0,090	67,857
50	0,31	0,090	70,967
60	0,34	0,090	73,529

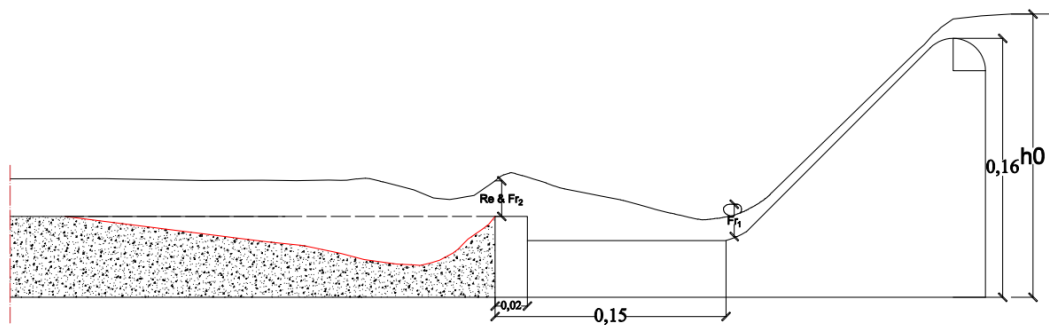
5.3.7 Angka Reynold (Re)

Angka Reynold (Re) pada penelitian ini diperoleh hasil >1000 pada semua variasi ketinggian air hulu (h_0) sesuai Tabel 5.17.

Tabel 5.23 Rekapitulasi Angka Reynold

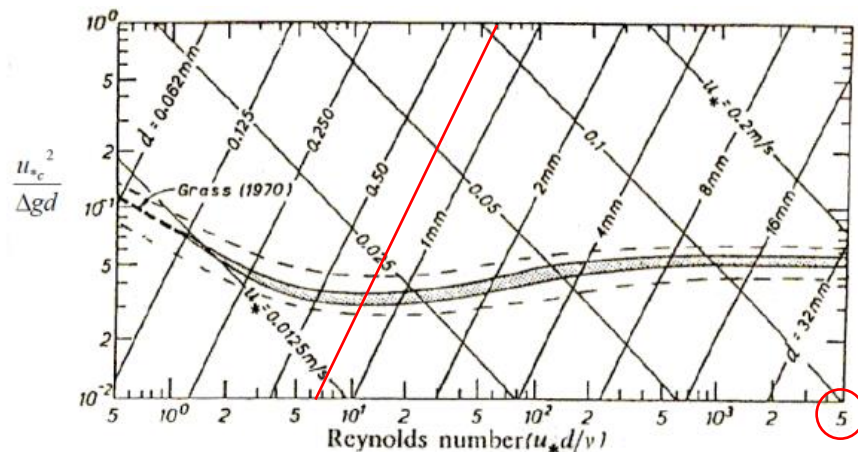
L	h_0 (m)	Angka Reynold (Re)		
		Tanpa Proteksi	Groundsill	Riprap
L_{maks}	0,175	2872.549	2910,346	2949,151
L_{maks}	0,180	4421.715	4426,887	4452,927
L_{maks}	0,185	5462.986	5468,956	5499,005
$1/2 L_{maks}$	0,185	-	5560,105	5560,105

Gambar sketsa letak pengukuran untuk pengambilan data angka Reynold (Re) dan angka Froude (Fr) ditunjukkan oleh Gambar 5.46.



Gambar 5.52 Letak Pengambilan Data Angka Reynold dan Angka Froude

Berdasarkan angka Reynold, maka hal tersebut menunjukkan karakteristik aliran pada hilir bendung adalah turbulen. Menurut Triatmojo (2013), aliran pada saluran terbuka akan turbulen saat angka Reynold (Re) > 1000 dan laminar saat angka Reynold (Re) < 500 . Untuk mengetahui hubungan antara angka Reynold dan gerusan dapat dilihat di diagram shield pada Gambar 5.10.



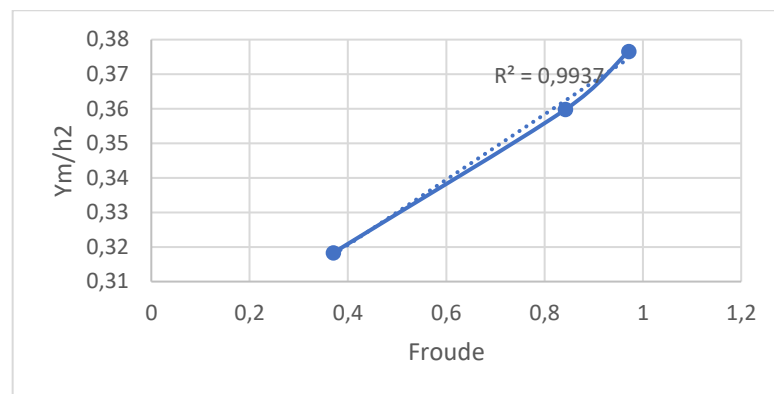
Gambar 5.53 Hubungan Angka Reynold dengan Diameter Butiran pada Diagram Shield

Angka Reynold (Re) yang didapatkan pada penelitian ini yaitu sebesar 2000 sampai dengan 5000, sehingga pada diagram shield di atas angka Reynold pada sumbu x dilambangkan dengan lingkaran berwarna merah. Angka Reynold tersebut

akan dihubungkan dengan diameter butiran rata-rata (d_{50}) sebesar 0,7 mm yang pada diagram shield di atas dilambangkan dengan garis diagonal berwarna merah, sehingga dari hubungan kedua parameter dalam diagram shield di atas dapat disimpulkan bahwa butiran sedimen pada percobaan penelitian ini dapat mengalami pergerakan. Karena hasil dari diagram shield berada di atas garis *threshold*, maka pada percobaan ini terjadi *transports* sedimen pada aliran airnya.

5.3.8 Perbandingan Bilangan Froude

Hubungan antara kedalaman gerusan dengan kedalaman aliran dan angka Froude dapat dilihat pada Gambar 5.54.



Gambar 5.54 Hubungan Kedalaman Gerusan dengan Kedalaman Aliran dan Angka Froude

Gambar 5.54 menunjukkan angka korelasi sebesar $R = 0,9937$ sehingga terdapat hubungan yang kuat antara angka Froude dan kedalaman gerusan maksimum dengan kedalaman aliran. Sehingga kedalaman maksimum gerusan sangat dipengaruhi oleh angka Froude. Semakin tinggi angka Froude aliran, maka kedalaman gerusan dan kedalaman alirannya juga semakin dalam.

Setelah dilakukan pengamatan pola gerusan, didapatkan perbandingan bilangan Froude (Fr) yang dapat dilihat pada Tabel 5.23 dan Tabel 5.24.

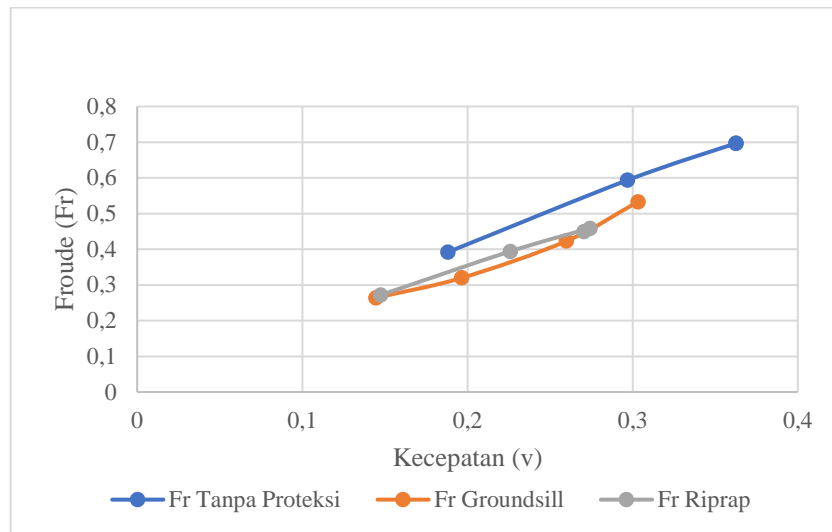
Tabel 5.24 Bilangan Froude di Kolam Olak

L	h ₀	Bilangan Froude (Fr)		
		Tanpa Proteksi	Groundsill	Riprap
L _{maks}	0,175	0,3920	0,2639	0,2718
L _{maks}	0,18	0,5935	0,3199	0,3942
L _{maks}	0,185	0,6969	0,4229	0,4582
½ L _{maks}	0,185	-	0,5330	0,4489

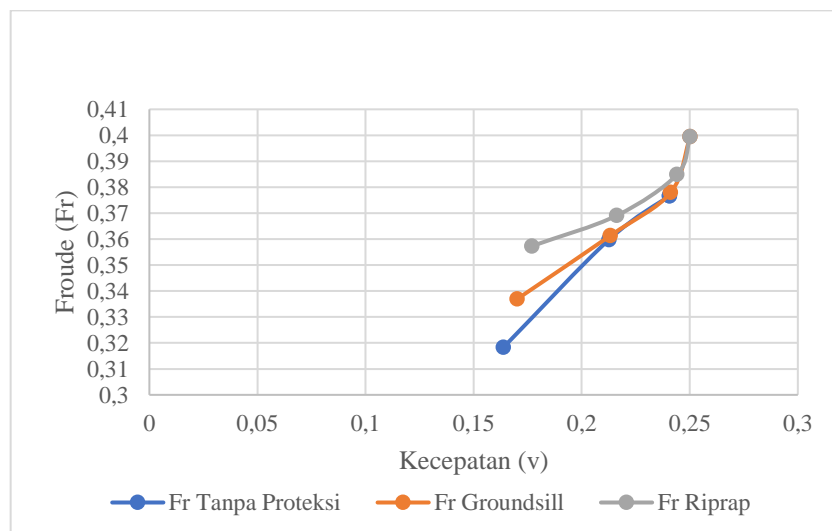
Tabel 5.25 Bilangan Froude di *Endsill*

L	h ₀	Bilangan Froude (Fr)		
		Tanpa Proteksi	Groundsill	Riprap
L _{maks}	0,175	0,3184	0,3369	0,3573
L _{maks}	0,18	0,3598	0,3613	0,3691
L _{maks}	0,185	0,3766	0,3779	0,3849
½ L _{maks}	0,185	-	0,3994	0,3994

Berdasarkan Tabel 2.24 dan 2.25, terdapat perbedaan nilai angka Froude (Fr). Perbedaan tersebut dapat terjadi karena nilai Froude dipengaruhi oleh kecepatan aliran, sehingga semakin besar nilai h₀ semakin besar pula kecepatan alirannya, maka angka Froudenya juga semakin meningkat dan sebaliknya ketika nilai h₀ semakin kecil, maka angka Froudenya juga semakin kecil. Angka Froude pada proteksi *groundsill* di kolam olak memiliki nilai yang paling kecil apabila dibandingkan saat tanpa proteksi dan menggunakan proteksi riprap. Hal tersebut dikarenakan saat menggunakan proteksi *groundsill* nilai dari h₁ paling besar, sehingga nilai kecepataannya menjadi kecil. Sedangkan pada *endsill* nilai h₂ paling besar terjadi saat percobaan tanpa menggunakan proteksi, sehingga saat percobaan tanpa proteksi angka Froudenya paling kecil apabila dibandingkan dengan saat menggunakan proteksi *groundsill* maupun riprap. Perbandingan nilai angka Froude (Fr) dapat dilihat pada Gambar 5.46 dan Gambar 5.47.



Gambar 5.55 Perbandingan Bilangan Froude di Kolam Olak



Gambar 5.56 Perbandingan Bilangan Froude di Endsill

Pada Gambar 5.46 dan Gambar 5.47 dapat disimpulkan bahwa angka Froude (Fr) pada kolam olak dan pada *endsill* saling berkaitan. Apabila nilai Froude pada kolam olak besar, maka nilai Froude di *endsill* akan lebih kecil. Hal tersebut dapat terjadi karena nilai dari angka Froude sangat dipengaruhi oleh kecepatan aliran. Apabila kecepatan aliran pada kolam olak semakin tinggi, maka kecepatan di *endsill* akan semakin kecil, karena gaya yang dihasilkan saat air menghantam *endsill* membuat kecepatan aliran di *endsill* menjadi lebih kecil.

BAB VI

KESIMPULAN DAN SARAN

6.1 Kesimpulan

Setelah dilakukan pengamatan dan analisis data, didapatkan kesimpulan sebagai berikut ini:

1. Berdasarkan hasil perhitungan yang telah didapatkan, karakteristik aliran berdasarkan bilangan Reynold (Re) menunjukkan bahwa tipe aliran pada semua variasi ketinggian h_0 adalah turbulen. Hal tersebut terjadi karena nilai angka Reynold (Re) > 1000 pada seluruh variasi ketinggian h_0 . Sedangkan karakteristik aliran menurut bilangan Froude (Fr) menunjukkan bahwa tipe aliran pada semua variasi h_0 adalah sub-kritis, karena nilai angka Froude (Fr) < 1 pada semua variasi ketinggian h_0 .
2. Dari hasil pengamatan pada percobaan gerusan di hilir kolam olak dapat disimpulkan bahwa percobaan DPG 1 L_{maks} dapat mereduksi kedalaman gerusan sebesar 18,18% dan mereduksi panjang gerusan sebesar 11,11%, sedangkan DPG 2 L_{maks} dapat mereduksi kedalaman gerusan sebesar 16,66% dan mereduksi panjang gerusan sebesar 34%, dan DPG 3 L_{maks} dapat mereduksi kedalaman gerusan sebesar 3,25% dan mereduksi panjang gerusan sebesar 37,35%, serta DPG 3 $\frac{1}{2} L_{maks}$ dapat mereduksi kedalaman gerusan sebesar 22,5% dan mereduksi panjang gerusan sebesar 55,88%. Sementara itu pada percobaan DPR 1 L_{maks} hingga DPR 3 L_{maks} dapat mereduksi mencegah terjadinya gerusan sehingga tidak terdapat gerusan pada hilir kolam olak, akan tetapi pada percobaan DPR 3 $\frac{1}{2} L_{maks}$ dapat mereduksi kedalaman gerusan sebesar 91,25% dan mereduksi panjang gerusan sebesar 73,53%.
3. Setelah dilakukan pengamatan gerusan menggunakan proteksi riprap dan *groundsill*, dapat disimpulkan bahwa proteksi riprap dapat mereduksi gerusan di hilir kolam olak bendung apabila dibandingkan dengan proteksi *groundsill*.

6.2 Saran

Berdasarkan penelitian Tugas Akhir ini, saran yang dapat diberikan untuk penelitian selanjutnya adalah sebagai berikut.

1. Penelitian selanjutnya dapat dilakukan dengan mengubah variasi proteksi yang digunakan di hilir bendung.
2. Untuk penelitian selanjutnya bisa dilakukan pengulangan pada saat pengambilan data untuk mengurangi *human eror* yang mungkin dapat terjadi saat pengambilan data.
3. Untuk penelitian selanjutnya dapat ditambah data yang diamati seperti panjang aliran turbulennya.

DAFTAR PUSTAKA

- Abdurrosyid, J., Jati Wibowo, G., & Nursahid, M. (2009). Studi gerusan dan perlingungannya di hilir kolam olakan bendung tipe USBR-I.
- Fitriana, N. (2014). Analisis gerusan di hilir bendung tipe vluhter (uji model di laboratorium) (Doctoral dissertation, Sriwijaya University).
- KMTS FT UGM. (1988) Transportasi Sedimen. Biro Penerbit KMTS FT UGM, Yogyakarta.
- Lagasse, P. F. (2006) Riprap Design Criteria, Recommended Specifications, and Quality Control. (Vol. 568). Transportation Research Board.
- Mawardi, E., & Memed, M. (2006). Desain Hidraulik Bendung Tetap untuk Irigasi Teknis.
- Mazumder, S. K. (2007). *Limitations of Lacey's Theory for Estimation of Bridge Scour. Pub. in the Proc. of Hydraulics & Water Resources HYDRO2007 org. by Indian Society for Hydraulics and VSNIT at Surat, 21-22.*
- Pangestu, A. D., & Astuti, S. A. Y. (2018). Studi Gerusan di Hilir Bendung Kolam Olak Tipe Vluhter Dengan Perlindungan Groundsill. *Teknisia*, 463-473.
- Raju, K. R., & Pangaribuan, Y. P. (1986). Aliran Melalui Saluran Terbuka. Erlangga, Jakarta.
- Standar Perencanaan Irigasi (1986). Kriteria perencanaan Bendung Irigasi (KP 02). Galang Persada. Bandung.
- Standar Perencanaan Irigasi (1986). Kriteria perencanaan Bendung Irigasi (KP 04). Galang Persada. Bandung.
- Te, C. V. (1989). Hidrolika Saluran Terbuka (*Open Channel Hydrolics*) Terjemahan. Erlangga, Jakarta, 2(5), 10.
- Triatmodjo, Bambang. (1993). Hidrolika II. Yogyakarta: Beta Offset.
- Triatmodjo, Bambang. (2012). Hidraulika I. Beta Offset. Yogyakarta.
- Zulfan, J. (2017). Optimasi Hidraulik Penanganan Gerusan di hilir bendung, Studi kasus: Bendung Rengrang, Jawa Barat. *Jurnal Teknik Hidraulik*, 8 (1).

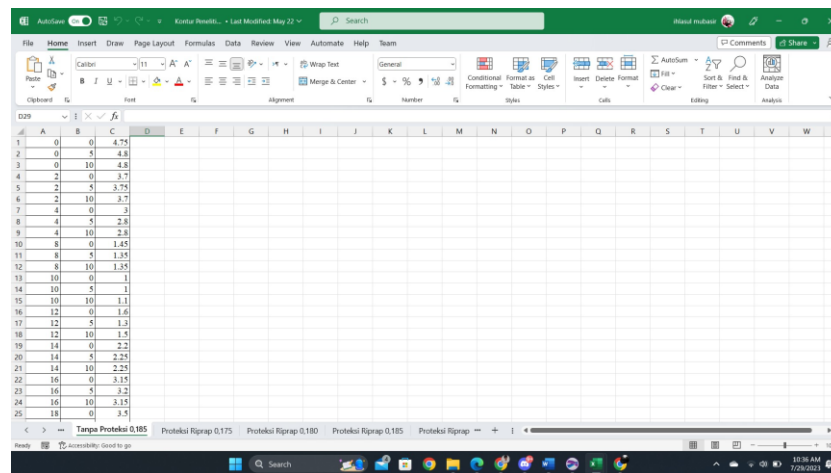
LAMPIRAN 1

**PROSEDUR PEMBUATAN KONTUR
GERUSAN MENGGUNAKAN APLIKASI
*Golden Software Surfer v13.6.618***

Lampiran 1 Tahapan Membuat Kontur Gerusan dengan Software surfer v13.6.618

Pada Lampiran 1 ini akan dijelaskan mengenai tahapan untuk membuat kontur gerusan dengan *Software surfer v13.6.618*.

1. Memindahkan data kontur yang sudah didapatkan dari percobaan di Laboratorium kedalam Microsoft Excel.

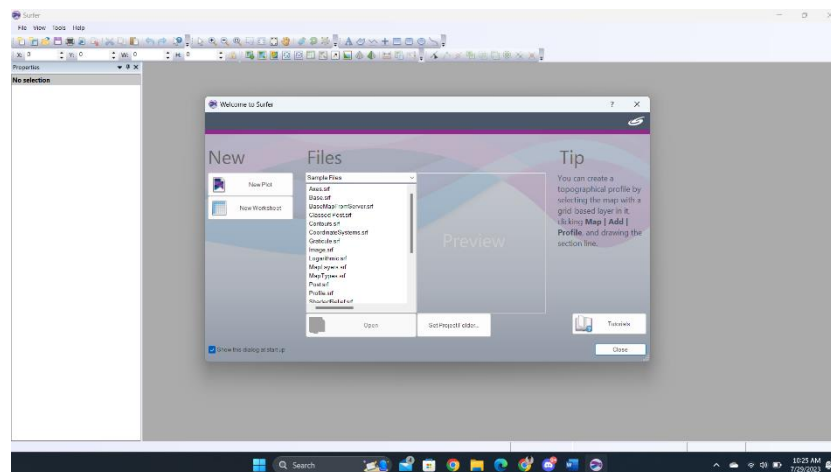


The screenshot shows a Microsoft Excel spreadsheet with the following data in columns A, B, and C:

	A	B	C
1	0	0	4.75
2	0	5	4.8
3	0	10	4.8
4	2	0	3.75
5	2	5	3.75
6	2	10	3.7
7	4	0	3
8	4	5	2.8
9	4	10	2.8
10	8	0	1.45
11	8	5	1.35
12	8	10	1.35
13	10	0	1
14	10	5	1
15	10	10	1.1
16	12	0	1.6
17	12	5	1.3
18	12	10	1.2
19	14	0	2.2
20	14	5	2.25
21	14	10	2.25
22	16	0	3.15
23	16	5	3.2
24	16	10	3.15
25	18	0	3.5

Gambar L-1. 1 Data Kontur Setelah diinput Kedalam *Microsoft Excel*

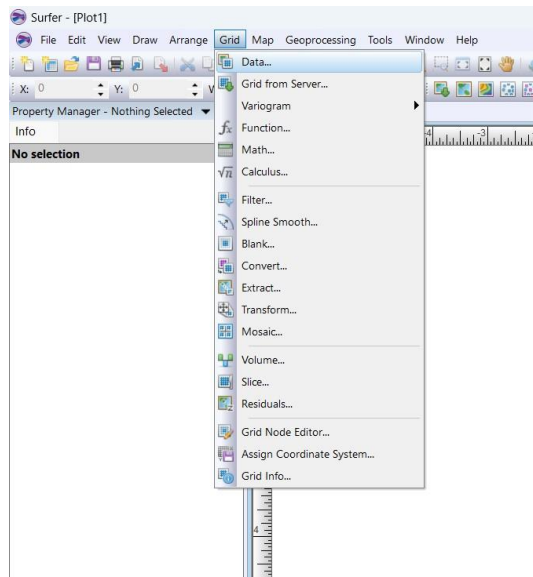
2. Membuka aplikasi *surfer v13.6.618* yang telah diinstal di laptop, tampilan awal dari aplikasi ini dapat dilihat pada Gambar L-1.1.



Gambar L-1.2 Tampilan Awal *Software Surfer v13.6.618*

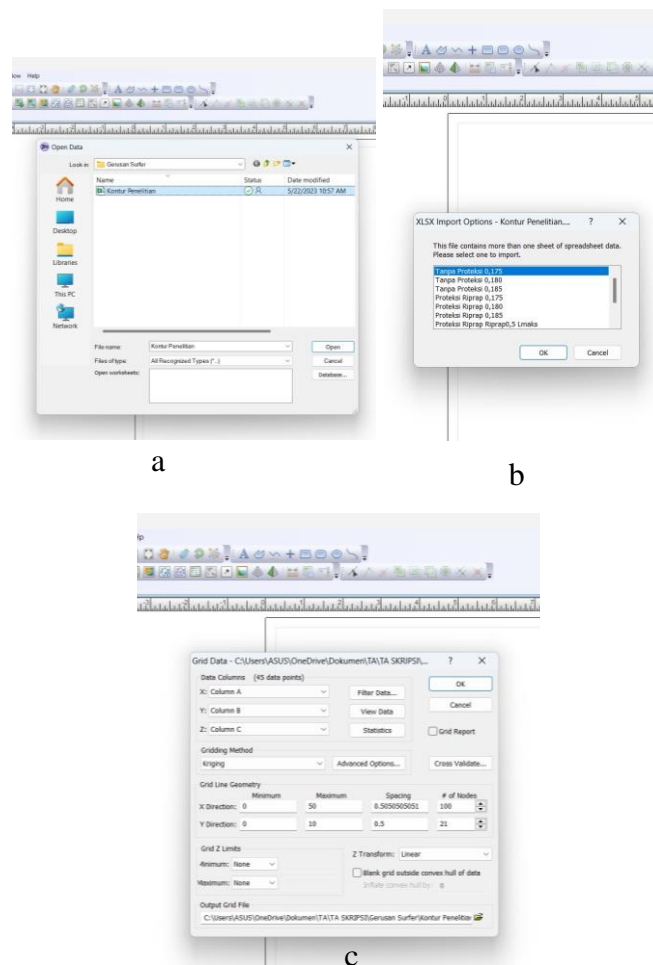
3. Input data dari Microsoft Excel ke dalam aplikasi *surfer v13.6.618* dengan cara seperti berikut

- a. Pada bagian toolbar terdapat pilihan Grid. Untuk menginput data didapat dilakukan dengan memilih menu grid kemudian data seperti pada Gambar L-1.2.



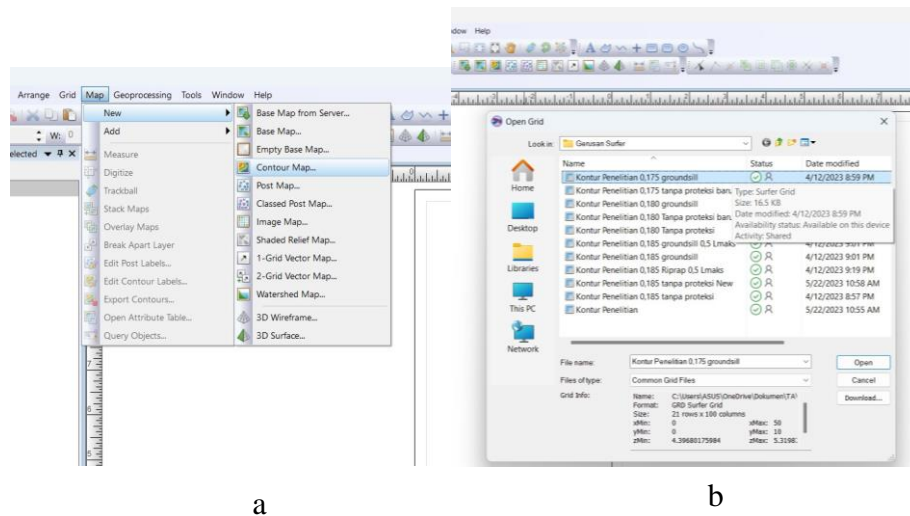
Gambar L-1.3 Tampilan Toolbar Grid

- b. Setelah memilih data, akan muncul pilihan untuk open data. Pilih data kontur yang telah diinput kedalam *Microsoft Excel* seperti pada Gambar L-1.4 a. Kemudian akan muncul dialog box untuk memilih data kontur yang akan di import kedalam format (.grd) agar bisa dibaca di dalam aplikasi *surfer* seperti pada gambar L-1.4 b. Kemudian akan muncul dialig box seperti pada gambar L-1.4 c yang berguna untuk mengatur menu *data columns* yang menentukan sumbu x,y, dan z. Sesuaikan dengan posisi data yang telah dibuat di excel.



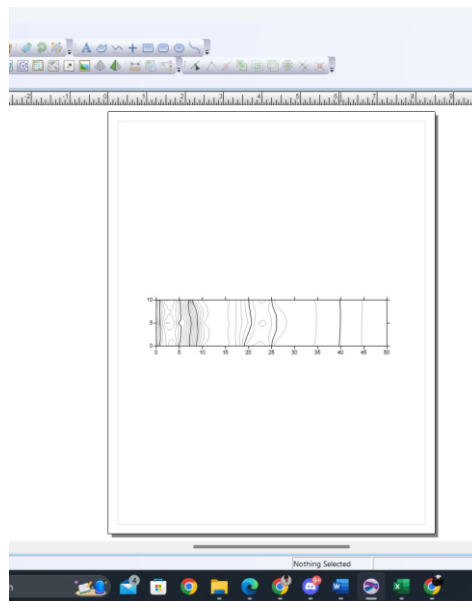
Gambar L-1.4 Kotak Dialog Box Untuk Mengatur Greed

4. Setelah itu untuk membuat kontur dari data yang sudah dimasukkan kedalam aplikasi *surfer*,
 - a. pada *toolbar* pilih menu *Map > New > Contour Map* seperti pada Gambar L-1.5 a. kemudian akan muncul dialog box untuk memilih yang telah dibuat sebelumnya seperti pada Gambar L-1.5 b.



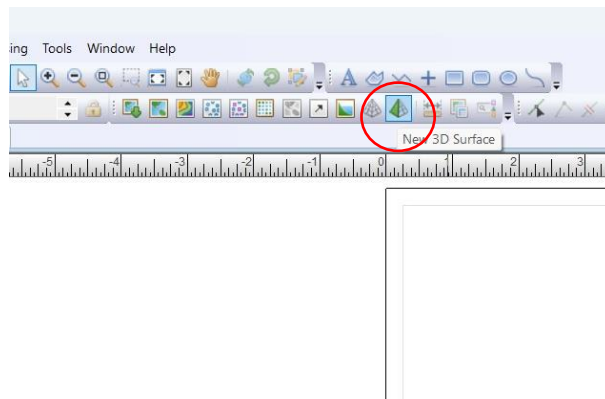
Gambar L-1.5 Cara Membuat Kontur

- b. dari data grid yang telah dibuat akan menjadi gambar kontur 2 dimensi seperti pada Gambar L-1.6.



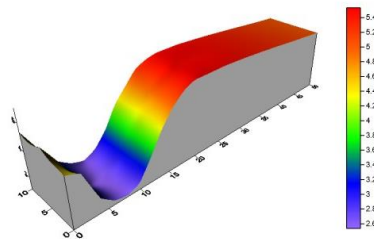
Gambar L-1.6 Gambar Kontur 2 Dimensi

5. Membuat kontur dengan tampilan 3 dimensi.
 - a. Pada toolbar > *New 3D Surface* seperti pada Gambar L-1.7.



Gambar L-1.7 Membuat Kontur 3 Dimensi

- b. Dari data grid yang telah dibuat sebelumnya akan didapatkan tampilan kontur 3 dimensi seperti pada Gambar L-1.8.



Gambar L-1.8 Gambar Kontur 3 Dimesi

LAMPIRAN 2

**FORM PENGAMBILAN DATA
KARAKTERISTIK ALIRAN DAN
GERUSAN**

Lampiran 2 Form Data Karakteristik Aliran dan Data Gerusan

Tabel L-2.1 Pengambilan Fata Karakteristik Aliran dan Gerusan Tanpa Proteksi

V m ³	t detik	Q m ³ /det	h ₁ m	h ₂ m	h ₃ m	T menit	Y _m m	L _m m
0,005	11,1	0,000442	0,0235	0,027	0,0232	10	0,007	0,068
						20	0,009	0,077
	11,6					30	0,01	0,082
						40	0,011	0,088
						50	0,011	0,09
						60	0,011	0,09
11,2								
V m ³	t detik	Q m ³ /det	h ₁ m	h ₂ m	h ₃ m	T menit	Y _m m	L _m m
0,005	6,63	0,000757	0,0255	0,0356	0,028	10	0,026	0,178
						20	0,028	0,184
	6,72					30	0,029	0,228
						40	0,0295	0,24
						50	0,03	0,24
						60	0,03	0,25
6,47								
V m ³	t detik	Q m ³ /det	h ₁ m	h ₂ m	h ₃ m	T menit	Y _m m	L _m M
0,005	5,04	0,0010008	0,0276	0,0416	0,297	10	0,032	0,18
						20	0,035	0,22
	4,91					30	0,038	0,24
						40	0,039	0,28
						50	0,04	0,31
						60	0,04	0,34
5,04								

Tabel L-2.2 Pengambilan Fata Karakteristik Aliran dan Gerusan Tanpa Proteksi

V m ³	t detik	Q m ³ /det	h ₁ m	h ₂ m	h ₃ m	T menit	Y _m m	L _m m
0,005	11,1	0,000442	0,0235	0,027	0,0232	10	0,002	0,039
						20	0,004	0,053
	11,6					30	0,005	0,065
						40	0,005	0,073
	11,2					50	0,005	0,078
						60	0,005	0,08
V m ³	t detik	Q m ³ /det	h ₁ m	h ₂ m	h ₃ m	T menit	Y _m m	L _m m
0,005	6,63	0,000757	0,0255	0,0356	0,028	10	0,019	0,145
						20	0,022	0,148
	6,72					30	0,023	0,151
						40	0,025	0,158
	6,47					50	0,025	0,165
						60	0,025	0,165
V m ³	t detik	Q m ³ /det	h ₁ m	h ₂ m	h ₃ m	T menit	Y _m m	L _m m
0,005	5,04	0,0010008	0,0276	0,0416	0,297	10	0,029	0,171
						20	0,03	0,188
	4,91					30	0,034	0,197
						40	0,036	0,209
	5,04					50	0,038	0,21
						60	0,038	0,21
V m ³	t detik	Q m ³ /det	h ₁ m	h ₂ m	h ₃ m	T menit	Y _m m	L _m m
0,005	5,04	0,0010008	0,0276	0,0416	0,297	10	0,028	0,15
						20	0,029	0,15
	4,91					30	0,03	0,15
						40	0,03	0,15
	5,04					50	0,03	0,15
						60	0,03	0,15

Tabel L-2.3 Pengambilan Fata Karakteristik Aliran dan Gerusan Tanpa Proteksi

V	t	Q	h ₁	h ₂	h ₃	T	Y _m	L _m
m ³	detik	m ³ /det	m	m	m	menit	m	m
0,005	11,1	0,00044237	0,0235	0,027	0,0232	10	0,00	0,0
						20	0,00	0,0
	11,6					30	0,00	0,0
						40	0,00	0,0
	11,22					50	0,00	0,0
						60	0,00	0,0
V	t	Q	h ₁	h ₂	h ₃	T	Y _m	L _m
m ³	detik	m ³ /det	m	m	m	menit	m	m
0,005	6,63	0,000757	0,0255	0,0356	0,028	10	0,0	0,0
						20	0,0	0,0
	6,72					30	0,0	0,0
						40	0,0	0,0
	6,47					50	0,0	0,0
						60	0,0	0,0
V	t	Q	h ₁	h ₂	h ₃	T	Y _m	L _m
m ³	detik	m ³ /det	m	m	m	menit	m	m
0,005	5,04	0,0010008	0,0276	0,0416	0,297	10	0,0	0,0
						20	0,0	0,0
	4,91					30	0,0	0,0
						40	0,0	0,0
	5,04					50	0,0	0,0
						60	0,0	0,0
V	t	Q	h ₁	h ₂	h ₃	T	Y _m	L _m
m ³	detik	m ³ /det	m	m	m	menit	m	m
0,005	5,04	0,0010008	0,0276	0,0416	0,297	10	0,0025	0,235
						20	0,003	0,238
	4,91					30	0,0035	0,24
						40	0,0035	0,24
	5,04					50	0,0035	0,24
						60	0,0035	0,24

LAMPIRAN 3

**FORM PENGAMBILAN DATA KONTUR
DARI HASIL PERCOBAAN
LABORATORIUM**

Lampiran 3 Form Data Kontur Kedalaman Gerusan

Tabel L-3.1 Data Kontur Kedalaman Gerusan Tanpa Proteksi ($h_0 = 17,5$ cm)

No	Panjang	Lebar	Tinggi
	Y	X	Z
1	0	0	4.6
2	0	5	4.6
3	0	10	4.6
4	2	0	4.25
5	2	5	4.2
6	2	10	4.1
7	4	0	4.15
8	4	5	4.05
9	4	10	4.05
10	6	0	4.2
11	6	5	4.17
12	6	10	4.1
13	8	0	4.65
14	8	5	4.4
15	8	10	4.5
16	10	0	5.1
17	10	5	4.6
18	10	10	5
19	12	0	5.2
20	12	5	5.05
21	12	10	5.4
22	14	0	5.3
23	14	5	5.2
24	14	10	5.5
25	16	0	5.25
26	16	5	5.3
27	16	10	5.5
28	18	0	5.2
29	18	5	5.2
30	18	10	5.5

No	Panjang	Lebar	Tinggi
	Y	X	Z
31	34	0	5.1
32	34	5	5.1
33	34	10	5.3
34	36	0	5.1
35	36	5	5.3
36	36	10	5.5
37	38	0	5
38	38	5	5
39	38	10	5.2

Tabel L-3.2 Data Kontur Kedalaman Gerusan Tanpa Proteksi ($h_0 = 18$ cm)

No	Panjang	Lebar	Tinggi
	Y	X	Z
1	0	0	4.45
2	0	5	4.6
3	0	10	4.5
4	2	0	3.5
5	2	5	3.43
6	2	10	3.35
7	4	0	2.45
8	4	5	2.23
9	4	10	2.45
10	8	0	2.05
11	8	5	1.93
12	8	10	2
13	10	0	2.2
14	10	5	2.1
15	10	10	2.1
16	12	0	2.65
17	12	5	2.65
18	12	10	2.6
19	14	0	3.2
20	14	5	3.25
21	14	10	3.2
22	16	0	4
23	16	5	4
24	16	10	3.95
25	18	0	4.6
26	18	5	4.6
27	18	10	4.6
28	20	0	5
29	20	5	4.85
30	20	10	4.8

No	Panjang	Lebar	Tinggi
	Y	X	Z
31	22	0	5.2
32	22	5	4.9
33	22	10	4.8
34	24	0	5.6
35	24	5	5.2
36	24	10	5.2
37	28	0	5.6
38	28	5	5.45
39	28	10	5.5
40	30	0	5,4
41	30	5	5,4
42	30	10	5,4

Tabel L-3.3 Data Kontur Kedalaman Gerusan Tanpa Proteksi ($h_0= 18,5$ cm)

No	Panjang	Lebar	Tinggi
	Y	X	Z
1	0	0	4.75
2	0	5	4.8
3	0	10	4.8
4	2	0	3.7
5	2	5	3.75
6	2	10	3.7
7	4	0	3
8	4	5	2.8
9	4	10	2.8
10	8	0	1.45
11	8	5	1.35
12	8	10	1.35
13	10	0	1
14	10	5	1
15	10	10	1.1
16	12	0	1.6
17	12	5	1.3
18	12	10	1.5
19	14	0	2.2
20	14	5	2.25
21	14	10	2.25
22	16	0	3.15
23	16	5	3.2
24	16	10	3.15
25	18	0	4.1
26	18	5	4.1
27	18	10	4
28	20	0	5.1
29	20	5	5
30	20	10	4.9

No	Panjang	Lebar	Tinggi
	Y	X	Z
31	22	0	5.1
32	22	5	5.1
33	22	10	5.2
34	24	0	5.1
35	24	5	5.1
36	24	10	5.2
37	26	0	5.1
38	26	5	5.1
39	26	10	5.2

Tabel L-3.4 Data Kontur Kedalaman Gerusan Proteksi *Groundsill* L_{maks}
($h_0 = 17,5$ cm)

No	Panjang	Lebar	Tinggi
	Y	X	Z
1	0	0	4.8
2	0	5	4.8
3	0	10	4.8
4	1	0	4.5
5	1	5	4.55
6	1	10	4.55
7	2	0	4.55
8	2	5	4.4
9	2	10	4.4
10	3	0	4.4
11	3	5	4.4
12	3	10	4.4
13	4	0	4.4
14	4	5	4.45
15	4	10	4.45
16	5	0	4.65
17	5	5	4.63
18	5	10	4.6
19	6	0	4.7
20	6	5	4.6
21	6	10	4.7
22	7	0	4.8
23	7	5	4.75
24	7	10	4.8
25	8	0	5
26	8	5	4.92
27	8	10	5.2
28	10	0	5.3
29	10	5	5.3
30	10	10	5.3

No	Panjang	Lebar	Tinggi
	Y	X	Z
31	12	0	5.3
32	12	5	5.3
33	12	10	5.3
34	14	0	5.3
35	14	5	5.3
36	14	10	5.3
37	16	0	5.3
38	16	5	5.3
39	16	10	5.3
40	18	0	5.22
41	18	5	5.22
42	18	10	5.22
43	20	0	5
44	20	5	5.15
45	20	10	5.1
46	22	0	5
47	22	5	5
48	22	10	5
49	24	0	5
50	24	5	5
51	24	10	5
52	26	0	5.2
53	26	5	5.1
54	26	10	5.2

Tabel L-3.5 Data Kontur Kedalaman Gerusan Proteksi *Groundsill* L_{maks}
($h_0 = 18$ cm)

No	Panjang	Lebar	Tinggi
	Y	X	Z
1	0	0	4.5
2	0	5	4.8
3	0	10	4.7
4	2	0	4.3
5	2	5	4
6	2	10	3.8
7	4	0	3.1
8	4	5	3.02
9	4	10	3.1
10	6	0	2.7
11	6	5	2.55
12	6	10	2.75
13	8	0	2.6
14	8	5	2.6
15	8	10	2.6
16	10	0	2.8
17	10	5	2.8
18	10	10	2.85
19	12	0	3.5
20	12	5	3.5
21	12	10	3.4
22	14	0	4.3
23	14	5	4.21
24	14	10	4.2
25	16	0	4.9
26	16	5	4.7
27	16	10	4.7
28	18	0	5.3
29	18	5	5.25
30	18	10	5.2

No	Panjang	Lebar	Tinggi
	Y	X	Z
31	20	0	5.5
32	20	5	5.5
33	20	10	5.4
34	22	0	5.5
35	22	5	5.5
36	22	10	5.5
37	24	0	5.5
38	24	5	5.5
39	24	10	5.5
40	26	0	5.5
41	26	5	5.5
42	26	10	5.5

Tabel L-3.6 Data Kontur Kedalaman Gerusan Proteksi *Groundsill* L_{maks}
($h_0 = 18,5$ cm)

No	Panjang	Lebar	Tinggi
	Y	X	Z
1	0	0	4.45
2	0	5	4.8
3	0	10	4.55
4	2	0	3.65
5	2	5	4.05
6	2	10	3.65
7	4	0	2.5
8	4	5	2.65
9	4	10	2.55
10	6	0	2.15
11	6	5	1.9
12	6	10	2
13	8	0	1.2
14	8	5	1.2
15	8	10	1.1
16	10	0	1.1
17	10	5	1
18	10	10	1.15
19	12	0	1.5
20	12	5	1.45
21	12	10	1.4
22	14	0	2.1
23	14	5	2.2
24	14	10	2.1
25	16	0	2.9
26	16	5	2.9
27	16	10	2.5
28	18	0	3.7
29	18	5	4
30	18	10	3.9

No	Panjang	Lebar	Tinggi
	Y	X	Z
31	20	0	4.8
32	20	5	4.2
33	20	10	4.45
34	22	0	5.5
35	22	5	5.35
36	22	10	5.1
37	24	0	5.5
38	24	5	5.5
39	24	10	5.4
40	26	0	5.5
41	26	5	5.4
42	26	10	5.5

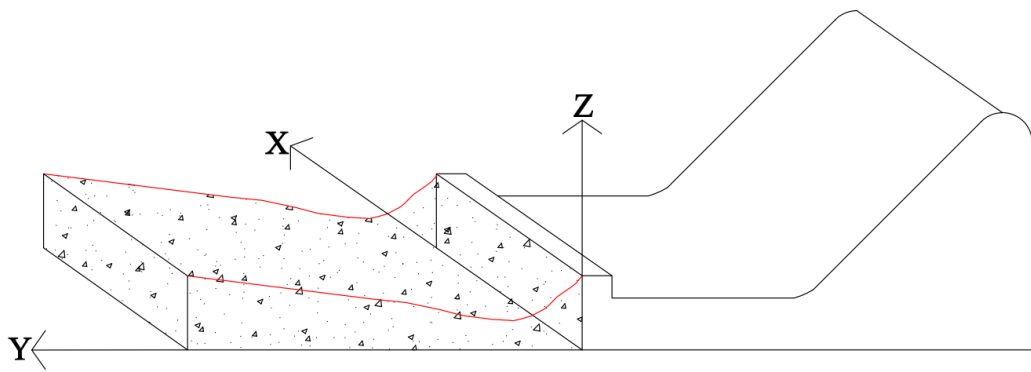
**Tabel L-3.7 Data Kontur Kedalaman Gerusan Proteksi *Groundsill* $\frac{1}{2} L_{maks}$
($h_0 = 18,5$ cm)**

No	Panjang	Lebar	Tinggi
	Y	X	Z
1	0	0	4.9
2	0	5	4.75
3	0	10	4.8
4	1	0	4.1
5	1	5	4.1
6	1	10	4.1
7	2	0	3.8
8	2	5	3.6
9	2	10	3.6
10	3	0	3.25
11	3	5	3.25
12	3	10	3.2
13	4	0	2.8
14	4	5	2.65
15	4	10	2.7
16	5	0	2.5
17	5	5	2.4
18	5	10	2.4
19	6	0	2.3
20	6	5	2.3
21	6	10	2.25
22	7	0	2
23	7	5	1.98
24	7	10	2
25	8	0	2.4
26	8	5	2.3
27	8	10	2.2
28	9	0	2.6
29	9	5	2.5
30	9	10	2.5

No	Panjang	Lebar	Tinggi
	Y	X	Z
31	10	0	2.85
32	10	5	2.65
33	10	10	2.6
34	11	0	3.2
35	11	5	3.1
36	11	10	3
37	12	0	3.7
38	12	5	3.4
39	12	10	3.5
40	13	0	4.3
41	13	5	3.9
42	13	10	3.8
43	14	0	4.6
44	14	5	4.2
45	14	10	4.1
46	15	0	4.7
47	15	5	4.4
48	15	10	4.4

**Tabel L-3.8 Data Kontur Kedalaman Gerusan Proteksi Riprap $\frac{1}{2} L_{maks}$
($h_0 = 18,5$ cm)**

No	Panjang	Lebar	Tinggi
	Y	X	Z
1	15	0	4.75
2	15	5	4.7
3	15	10	4.75
4	16	0	4.65
5	16	5	4.6
6	16	10	4.65
7	17	0	4.75
8	17	5	4.6
9	17	10	4.75
10	18	0	4.8
11	18	5	4.75
12	18	10	4.8
13	19	0	4.85
14	19	5	4.8
15	19	10	5
16	20	0	4.9
17	20	5	4.9
18	20	10	5
19	21	0	4.95
20	21	5	4.85
21	21	10	4.8
22	22	0	5.1
23	22	5	4.9
24	22	10	5
25	23	0	4.95
26	23	5	4.95
27	23	10	5.1
28	24	0	5
29	24	5	5
30	24	10	4.95



Gambar-L 3.1 Sumbu Pengamatan Kontur Gerusan

LAMPIRAN 4

SURAT PENGGUNAAN LABORATORIUM

Lampiran 4 Surat Penggunaan Laboratorium

No	Nama Alat	Spesifikasi	Jumlah	Waktu	Sub Total
1.	Uji Coba Aliran dalam Flame Kecil	Dimensi: 5,59x0,1x0,336	1 Set	14 Hari	Rp. 250.000,-
Total					Rp. 250.000,-

Terbilang : Dua Ratus Lima Puluh Ribu Rupiah

Jenis pembayaran : Tunai/Transfer
Batas akhir pembayaran : 11 Agustus 2023

TRANSFER VIA : BSI
7128856848 a/n LAB HIDROLIKA

Yogyakarta, 4 Agustus 2023
Kepala Lab Hidrolika

Shofwatul Fadilah, S.T.P., M.Eng.

KWITANSI

No. 007

Telah terima dari : Ihlasul Mubasir Mas'ad

Uang Sejumlah : Dua Ratus Lima Puluh Ribu Rupiah.

Keperluan : Pembayaran pinjaman alat (Flame kecil)

Terbilang : 250.000,-

Yogyakarta, 04 Agustus 2023

Penerima,
Aji Pramkado, S.Pd.

Lembar 1 : Arsip
Lembar 2 : Pembayar