

TUGAS AKHIR

**STUDI GERUSAN DI HILIR BENDUNG
KOLAM OLAK TIPE VLUGHTER
DENGAN PERLINDUNGAN
GROUNDSILL
(*STUDY OF SCOUR IN DOWNSTREAM OF WEIR
STILLING BASIN VLUGHTER TYPE WITH
GROUNDSILL PROTECTION*)**

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



**Adi Daning Pangestu
13511252**

**PROGRAM STUDI TEKNIK SIPIL
FAKULTAS TEKNIK SIPIL DAN PERENCANAAN
UNIVERSITAS ISLAM INDONESIA
2018**

TUGAS AKHIR

**STUDI GERUSAN DI HILIR BENDUNG
KOLAM OLAK TIPE VLUGHTER
DENGAN PERLINDUNGAN
GROUNDSILL
(STUDY OF SCOUR IN DOWNSTREAM OF WEIR
STILLING BASIN VLUGHTER TYPE WITH
GROUNDSILL PROTECTION)**

Disusun Oleh

ISLAM

Adi Daning Pangestu

13511252

Telah diterima sebagai salah satu syarat persyaratan
Untuk memperoleh derajat Sarjana Teknik Sipil

Diuji Pada Tanggal

Oleh Dewan Penguji

Pembimbing

Dr. Ir. Sri Amini Y.A., M.T.

NIK: 885110101

Penguji I

D.A. Wahyu Wulan P., S.T., M.T.

NIK: 155111301

Penguji II

Pradipta N.W., ST, M.Eng

NIK: 135111102

Mengesahkan.



Ketua Program Studi Teknik Sipil

Miftahul Fauziah, S.T., M.T., Ph.D.

NIK: 955110103

PERNYATAAN BEBAS PLAGIASI

Saya menyatakan dengan sesungguhnya bahwa laporan 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 laporan 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 laporan 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 perundangundangan yang berlaku.

Yogyakarta, 16 April 2018

Yang membuat pernyataan,



Adi Daning Pangestu
(13511252)

KATA PENGANTAR

Syukur alhamdulillah penulis ucapkan kepada Allah Azza wa Jalla, karena berkat rahmat-Nya penulis diberi kekuatan, semangat, kesehatan dan kemampuan sehingga bisa menyelesaikan Tugas Akhir ini. Tak lupa juga penulis mengucapkan shalawat dan salam untuk Nabi Muhammad ﷺ, sebagai suri tauladan dan pembimbing dalam melakukan setiap aktivitas dalam kehidupan sehari-hari. *Allahumma shalli 'ala muhammad, wa 'ala ali muhammad.* Tugas akhir ini merupakan syarat akademik dalam menyelesaikan studi strata satu di Program Teknik Sipil, Universitas Islam Indonesia.

Dalam penyusunan Tugas Akhir ini, bantuan dari pihak-pihak terkait telah lebih memudahkan dalam menyelesaikan Tugas Akhir ini. Oleh karena hal itu, penulis ingin mengucapkan terimakasih kepada:

1. Bapak dan Ibu tercinta yang selalu mendoakan dan memberi ridho dalam melakukan setiap aktivitas. Semoga Allah Azza wa Jalla selalu menjaga keimanannya dan menjaga dari segala keburukan.
2. Ibu Sri Amini Yuni Astuti, Dr. Ir.,M.T., selaku dosen pembimbing beserta kepala Laboratorium Hidrolika yang telah banyak meluangkan waktu dan memberikan masukan dalam menyelesaikan Tugas akhir ini. Semoga ilmunya selalu tersebar dan bermanfaat hingga hari kiamat.
3. Mas Amirul Yachya, selaku Laboran Laboratorium Hidrolika yang telah banyak membantu dan memberikan saran selama pengambilan data di Laboratorium. Semoga Allah Azza wa Jalla membalas dengan kebaikan yang jauh lebih besar kepadanya.
4. Teman-teman semua yang telah membantu dalam pengambilan data di Laboratorium dan membantu dalam penyusunan laporan Tugas Akhir ini. Semoga kita semua bisa menjadi generasi yang baik akhlakunya sehingga dapat memajukan Islam dan memajukan Indonesia.

Penulis menyadari bahwa dalam penelitian Tugas Akhir ini masih jauh dari kesempurnaan, dengan sepenuh hati penulis menerima segala kritik dan saran yang membangun dari pembaca ataupun penelitian lebih lanjut mengenai Tugas Akhir ini. Mudah-mudahan Tugas Akhir ini dapat memberikan manfaat bagi penulis dan pada pembaca pada umumnya. Terima kasih

Yogyakarta, April 2018

Penulis,

Adi Daning Pangestu

13511252

DAFTAR ISI

HALAMAN JUDUL	i
HALAMAN PENGESAHAN	ii
PERNYATAAN BEBAS PLAGIASI	iii
KATA PENGANTAR	iv
DAFTAR ISI	vi
DAFTAR TABEL	ix
DAFTAR GAMBAR	x
DAFTAR LAMPIRAN	xii
DAFTAR NOTASI DAN SINGKATAN	xiii
ABSTRAK	xiv
<i>ABSTRACT</i>	xv
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 Masalah	3
BAB II TINJAUAN PUSTAKA	4
2.1 Permodelan Gerusan Pada Hilir Bendung	4
2.2 Studi Gerusan Dan Perlindungannya	4
2.3 Perlindungan Bangunan Sungai Dengan <i>Groundsill</i>	5
2.4 Keaslian Penelitian	6
BAB III LANDASAN TEORI	7
3.1 Saluran Terbuka	
3.1.1 Definisi Saluran Terbuka	7
3.1.2 Klasifikasi Aliran	7
3.1.3 Distribusi Kecepatan	8
3.1.4 Kondisi Aliran	10

3.2	Persamaan Kontinuitas	12
3.3	Bendung	14
3.3.1	Difinisi Bendung	14
3.3.2	Mercu Bendung	14
3.3.3	Kolam Olak	15
3.3.4	Kolam Olak Tipe <i>Vlughter</i>	16
3.4	Gerusan	17
3.5	Mekanisme Gerusan	18
3.6	Awal Gerak Butiran	19
3.7	Kedalama Gerusan	21
3.8	Ambang Dasar (<i>Groundsill</i>)	21
BAB IV	METODE PENELITIAN	23
4.1	Jenis Penelitian	23
4.2	Alat Dan Bahan Penelitian	23
4.3	Data Penelitian	26
4.4	Pembuatan Model	27
4.5	Pengumpulan Data	28
4.5.1	Variasi Data Penelitian	28
4.5.2	Langkah Pengambilan Data Penelitian	28
4.6	Analisis Data	30
4.7	<i>Flowchart</i> Metodologi Penelitian	32
BAB V	ANALISIS DAN PEMBAHASAN	33
5.1	Data Penelitian	33
5.1.1	Data Percobaan Tanpa Pengaman <i>Groundsill</i>	34
5.1.2	Data Percobaan Dengan Pengaman <i>Groundsill</i>	36
5.1.3	Data Percobaan Analisis Saringan Agregat Halus	38
5.2	Analisis Data Penelitian	38
5.2.1	Perhitungan Debit Aliran	38
5.2.2	Perhitungan Kecepatan Aliran	40
5.2.3	Perhitungan Angka Reynold (Re)	41
5.2.4	Perhitungan Angka Froude (Fr)	43

5.2.5	Perhitungan Kedalaman Gerusan Menggunakan Metode Lacey	44
5.3	Hasil Penelitian dan Pembahasan	46
5.3.1	Karakteristik Aliran	46
5.3.2	Pola Gerusan di Hilir Bendung	48
5.3.3	Hubungan Kedalaman Gerusan dengan Variasi Debit	52
5.3.4	Hubungan Kedalaman Gerusan dengan Panjang Gerusan Terhadap Debit	54
5.3.5	Hubungan Kedalaman Gerusan Terhadap Waktu	55
5.3.6	Pengaruh Proteksi <i>Groundsill</i> Terhadap Pola Gerusan	56
5.3.7	Pola Gerusan di Hilir Bendung dengan Proteksi <i>Groundsill</i>	57
5.3.8	Hubungan Kedalaman Aliran dan Panjang Gerusan Maksimum dengan Angka Froude (Fr)	60
BAB VI KESIMPULAN DAN SARAN		62
6.1	Kesimpulan	62
6.2	Saran	63
DAFTAR PUSTAKA		64
LAMPIRAN		66

DAFTAR TABEL

Tabel 5.1	Pengamatan pada Percobaan TG1	34
Tabel 5.2	Pengamatan pada Percobaan TG2	35
Tabel 5.3	Pengamatan pada Percobaan TG3	36
Tabel 5.4	Pengamatan pada Percobaan DGLmax	37
Tabel 5.5	Tabel 5.5 Pengamatan Pada Percobaan DG1/2Lmax	37
Tabel 5.6	Pengamatan Analisis Saringan	38
Tabel 5.7	Hasil Perhitungan Debit Aliran dengan $h_0 = 0,175$ m	39
Tabel 5.8	Hasil Perhitungan Debit Aliran dengan $h_0 = 0,18$ m	39
Tabel 5.9	Rekap Perhitungan Kecepatan Aliran di Kolam Olak	41
Tabel 5.10	Rekap Perhitungan Kecepatan Aliran di End Sill	41
Tabel 5.11	Rekap Perhitungan Angka Reynold (Re)	42
Tabel 5.12	Rekap Perhitungan Angka Froude (Fr) di Kolam Olak	44
Tabel 5.13	Rekap Perhitungan Angka Froude (Fr) di <i>End Sill</i>	44
Tabel 5.14	Hasil Analisis Saringan	45
Tabel 5.15	Hasil Perhitungan Kedalaman Gerusan Metode Lacey	46
Tabel 5.16	Nilai Reduksi Kedalaman Gerusan Dengan Proteksi Groundsill	57
Tabel 5.17	Nilai Reduksi Panjang Gerusan Dengan Proteksi Groundsill	57

DAFTAR GAMBAR

Gambar 3.1	Distribusi Kecepatan pada Saluran Terbuka	9
Gambar 3.2	Pola Cairan Tinta Percobaan Reynolds pada Berbagai Kecepatan Aliran	11
Gambar 3.3	Tabung Aliran Untuk Menurunkan Persamaan Kontinuitas	13
Gambar 3.4	Bentuk Mercu Bendung	14
Gambar 3.5	Kolam Olak Menurut <i>Vlughter</i>	16
Gambar 3.6	Hubungan Kedalaman Gerusan Terhadap Waktu	19
Gambar 3.7	Diagram Shield	21
Gambar 4.1	Set <i>Hydrolic Flume</i>	24
Gambar 4.2	Model Bendung	24
Gambar 4.3	Model <i>Groundsill</i>	25
Gambar 4.4	Model Sedimen Berupa Pasir	25
Gambar 4.5	Penggaris atau Mistar	25
Gambar 4.6	Saringan dengan Ukuran Lubang 4.75 mm	26
Gambar 4.7	Rencana model bendung	27
Gambar 4.8	Rencana penempatan <i>groundsill</i>	30
Gambar 4.9	<i>Flowchart</i> metodologi penelitian	32
Gambar 5.1	Letak titik pengambilan data	33
Gambar 5.2	Pola Aliran pada Percobaan TG1	34
Gambar 5.3	Pola Aliran pada Percobaan TG2	35
Gambar 5.4	Pola Aliran pada Percobaan TG3	36
Gambar 5.5	Penentuan Ukuran Diameter Rata-Rata Sedimen (d_{50})	45
Gambar 5.6	Menghubungkan Angka Reynold dengan Diameter Butiran Menggunakan Diagram Shield	47
Gambar 5.7	Kontur Gerusan pada percobaan TG1	49
Gambar 5.8	Pola Gerusan Tiga Dimensi pada Percobaan TG1	49
Gambar 5.9	Kontur Gerusan pada Percobaan TG2	50
Gambar 5.10	Pola Gerusan Tiga Dimensi pada Percobaan TG2	50

Gambar 5.11	Kontur Gerusan pada Percobaan TG3	51
Gambar 5.12	Pola Gerusan Tiga Dimensi pada Percobaan TG3	52
Gambar 5.13	Hubungan Kedalaman Gerusan dengan Debit Aliran	53
Gambar 5.14	Hubungan Kedalaman Gerusan dengan Panjang Gerusan Terhadap Debit	54
Gambar 5.15	Hubungan Kedalaman Gerusan Terhadap Waktu	55
Gambar 5.16	Perbandingan Kedalaman Gerusan Sebelum Ada Proteksi <i>Groundsill</i> dan Sesudah Ada Proteksi <i>Groundsill</i>	56
Gambar 5.17	Kontur Gerusan pada Percobaan DG L_{\max}	58
Gambar 5.18	Pola Gerusan Tiga Dimensi pada Percobaan DG L_{\max}	58
Gambar 5.19	Kontur Gerusan pada Percobaan DG $\frac{1}{2} L_{\max}$	59
Gambar 5.20	Pola Gerusan Tiga Dimensi pada Percobaan DG $\frac{1}{2} L_{\max}$	60
Gambar 5.21	Hubungan Kedalaman Aliran dan Panjang Gerusan Maksimum dengan Angka Froude (Fr)	61

DAFTAR LAMPIRAN

Lampiran 1	Prosedur Pembuatan Kontur Gerusan dengan <i>Software Surfer.v13.4.553</i>	62
Lampiran 2	Form Data Karakteristik Aliran dan Data Gerusan	72
Lampiran 3	Form Data Kontue Gerusan Dari Hasil Percobaan Laboratorium	75
Lampiran 4	Surat Izin Penggunaan Laboratorium	82

DAFTAR NOTASI DAN SINGKATAN

Fr	= Angka Froude
Re	= Angka Reynolds
ν	= kekentalan kinematik (m^2/s)
v	= kecepatan aliran
h_0	= Kedalaman aliran di hulu bendung (m)
h_1	= Kedalaman aliran di hilir bendung (m)
V	= Volume tertampung aliran (m^3)
Q	= Debit aliran (m^3/s)
T	= Waktu pengaliran (menit)
t	= Waktu pengukuran volume tertampung (s)
R	= kedalaman gerusan (m),
f	= faktor lumpur Lacey ($1,76 d_{50}^{0,5}$)
d_{50}	= diameter rata-rata material (m)
Y_m	= Kedalaman gerusa percobaan (m)
Y_{\max}	= Kedalaman gerusan percobaan maksimum (m)
L_m	= Panjang gerusan percobaan (m)
L_{\max}	= Panjang gerusan percobaan maksimum (m)
τ_o	= tegangan geser dasar (N/m^2)
τ_c	= tegangan geser kritik (N/m^2)
θ_c	= parameter mobilitas kritik
U_*	= kecepatan geser (m/s)
U_{*c}	= kecepatan geser kritik (m/s)
ρ	= massa jenis air (kg/m^3)
Δ	= relative densiti
h	= kedalaman air (m)
I	= kemiringan dasar saluran
g	= percepatan gravitasi (m/s^2)

ABSTRAK

Bendung merupakan bangunan sungai yang dibuat untuk memenuhi kebutuhan irigasi. Pembendungan sungai akan mengakibatkan perbedaan elevasi yang cukup besar antara hulu dan hilir bendung dan mengakibatkan adanya loncat hidraulik. Loncat hidraulik yang terjadi di hilir bendung akan menyebabkan adanya gerusan di hilir bendung dapat merusak kestabilan bendung. Sehingga dalam perencanaan bendung terdapat peredam energi berupa kolam olak. Mengingat kompleks dan pentingnya permasalahan yang terjadi dihilir bendung, kajian tentang gerusan di hilir dari bendung akibat adanya pengaruh debit terhadap aliran pada sungai perlu mendapat perhatian secara khusus, sehingga nantinya dapat diketahui pola gerusan dan kedalaman gerusan yang terjadi.

Studi tentang gerusan di hilir bendung dilakukan di laboratorium dengan model bendung menggunakan kolam olak tipe *vlughter* yang dialiri dengan tiga variasi debit, pengujian setiap variasi debit dilakukan pengaliran selama 60 menit. Kemudian dilakukan pengujian dengan memberi proteksi pada hilir bendung menggunakan *groundsill* dengan jarak L_{max} dan $1/2L_{max}$.

Hasil percobaan menunjukkan semakin besar debit aliran semakin besar kedalaman gerusan dan nilai karakteristik aliran seperti angka Froude dan angka Reynold. Keseimbangan transport sedimen didapatkan saat pengamatan kedalaman gerusan pada waktu 50 menit. Dengan adanya proteksi *groundsill* memberikan reduksi kedalaman gerusan sebesar 13,1579% pada *groundsill* jarak L_{max} dan 9,2105% pada *groundsill* jarak $1/2L_{max}$.

Kata Kunci : Bendung, Kolam Olak, *Vlughter*, *Groundsill*, Gerusan.

ABSTRACT

Weir is a river building designed to meet the needs of irrigation. River containment will result in considerable elevation differences between upstream and downstream weirs and result in hydraulic jumps. Hydraulic jumps that occur downstream of the weir will cause scouring downstream of the dam to damage the stability of the weir. So that in the planning of weir there is energy damper of stilling basin. Given the complexity and importance of the problems occurring downstream, the study of scouring downstream from weirs due to the influence of flow to river discharge needs to be given special attention, so that later it can be seen the scouring pattern and the scour depth that occurs.

A study on scouring downstream of weirs was conducted in a laboratory with a weir model using a stilling basin vluhter type pond that flowed with three variations of discharge, testing each variation of the flow for 60 minutes. Then tested by giving protection at downstream weir using groundsill with distance L_{max} and $1/2L_{max}$.

The experimental results show the greater the flow discharge the greater the scour depth and the flow characteristic values such as the Froude and Reynold numbers. The sediment transport balance was obtained during observation of scour depth at 50 minutes. With the protection of groundsill provide reduction of scour depth by 13.1579% at the groundsill of L_{max} distance and 9.2105% at groundsill distance of $1/2L_{max}$.

Keywords : Weir, Stilling Basin, Vluhter, Groundsill, Scour.

BAB I

PENDAHULUAN

1.1 Latar Belakang

Bendung merupakan bangunan melintang sungai yang dibangun untuk mengubah karakteristik aliran sungai guna untuk memenuhi kebutuhan irigasi. Mawardi dan Memet (2010) dalam Sembiring, CE. (2016) mengatakan bahwa fungsi utama dari bendung adalah untuk meninggikan elevasi muka air dari sungai yang dibendung sehingga air bisa disadap dan dialirkan ke saluran lewat bangunan pengambilan (*intake structure*), dan untuk mengendalikan aliran, angkutan sedimen, dan geometri sungai sehingga air dapat dimanfaatkan secara aman, efisien, dan optimal.

Pembendungan aliran akan menyebabkan perbedaan elevasi muka air antara hulu dan hilir bendung cukup besar, sehingga mengakibatkan adanya terjunan dan terjadi perubahan energi yang cukup besar ketika air melewati mercu bendung. Akibatnya, aliran akan mengalami kejut-normal atau loncatan hidraulik yaitu suatu aliran yang mengalami perubahan dari aliran super kritis menjadi sub kritis (Frank M, White 2001) dalam (Fitriana, N. 2014). Terjadinya loncatan hidraulik akan menyebabkan adanya gerusan di hilir bendung sehingga dapat menurunkan kestabilan bendung. Sehingga dalam perencanaan bendung terdapat peredam energi berupa kolam olak.

Secara garis besar terdapat beberapa model kolam olak yang dapat digunakan sebagai peredam energi dalam bendung, antara lain kolam olak tipe *Bucket*, *Schoklitch*, *USBR* dan *Vlughter*. Pemilihan kolam olak untuk menangani gerusan yang terjadi pada hilir bendung tergantung pada jenis aliran dan karakteristik sungai, namun dalam penelitian ini digunakan kolam olak tipe *vlughter* untuk melihat pola gerusan yang terjadi pada hilir bendung. Meskipun sudah menggunakan kolam olak sebagai peredam energi, akan tetapi dalam kasus di lapangan masih terjadi gerusan pada dasar saluran di sebelah hilir kolam olak (Abdurrosyid, 2005). Oleh karena itu perlu adanya upaya pengendalian terhadap gerusan di hilir bendung, salah satu cara yang dapat dilakukan adalah dengan

menempatkan *groundsill* di bagian hilir bendung dengan tujuan agar sedimen yang terbawa oleh aliran air akibat gerusan lokal dapat tertahan sehingga elevasi tanah dasar di sekitar bendung tetap berada pada kondisi yang normal atau tidak mengalami penurunan yang signifikan.

Ambang atau drempel (*groundsill*) adalah bangunan melintang sungai yang terbuat dari tumbukan batu yang tidak dapat terbawa oleh arus sungai atau struktur beton yang dibangun untuk menjaga agar dasar sungai tidak turun terlalu berlebihan. Gunanya untuk membuat kemiringan dasar sungai menjadi kecil sehingga kecepatan air menjadi kecil dan kedalaman air menjadi besar.

Mengingat kompleks dan pentingnya permasalahan di atas, kajian tentang gerusan di hilir dari bendung akibat adanya pengaruh debit terhadap aliran pada sungai perlu mendapat perhatian secara khusus, sehingga nantinya dapat diketahui pola gerusan dan kedalaman gerusan yang terjadi dan selanjutnya dapat pula diketahui upaya pengendalian dan pencegahan gerusan pada hilir bendung dengan menggunakan *groundsill* dengan jarak perletakan *groundsill* yang paling efektif.

1.2 Rumusan Masalah

Rumusan masalah dalam penelitian ini adalah sebagai berikut ini:

1. Bagaimana karakteristik aliran di hilir bendung dengan kolam olak tipe *vlughter*?
2. Bagaimana hubungan gerusan yang terjadi di hilir bendung dengan adanya variasi debit?
3. Bagaimana perbandingan pola gerusan tanpa *groundsill* dan dengan menggunakan *groundsill* serta dimana letak perletakkan *groundsill* paling efektif?
4. Bagaimana pengaruh waktu pengaliran terhadap kedalaman gerusan?

1.3 Tujuan Penelitian

Tujuan yang ingin dicapai pada penelitian ini adalah sebagai berikut ini:

1. Mengetahui karakteristik aliran di hilir bendung dengan kolam olak tipe *vlughter*,

2. Mengetahui perbandingan gerusan yang terjadi di hilir bendung dengan adanya variasi debit,
3. Mengetahui perbandingan pola gerusan antara bendung yang tanpa pengaman *groundsill* dengan bendung yang di hilir terdapat pengaman dengan bangunan *groundsill*, dan
4. Mengetahui pengaruh waktu pengaliran terhadap kedalaman gerusan.

1.4 Manfaat Penelitian

Penelitian ini diharapkan dapat bermanfaat sebagai studi dalam pengamanan struktur bendung dari kerusakan akibat gerusan.

1.5 Batasan Penelitian

Agar dapat mempermudah dalam melaksanakan penelitian maka harus ada batasan penelitian, yaitu sebagai berikut ini:

1. Pelaksanaan pengujian di Laboratorium Hidrolika Jurusan Teknik Sipil, Fakultas Teknik Sipil dan Perencanaan, Universitas Islam Indonesia.
2. *Flume* yang digunakan mempunyai ukuran lebar saluran 10 cm.
3. Model bendung yang digunakan dengan mercu bulat satu jari-jari dengan ukuran jari-jari 2 cm.
4. Model bendung yang digunakan, tinggi 15 cm dan lebar 10 cm. dengan kolam olak tipe *vlughter*.
5. Sedimen yang digunakan berupa pasir yang lolos saringan nomor 4 (4,75mm) dengan ketebalan 5 cm.
6. *Groundsiil* yang digunakan mempunyai ketinggian 4,5 cm dan lebar 2 cm.
7. Aliran yang digunakan dalam penelitian ini berupa aliran tanpa adanya kandungan sedimen (*clear water scour*)
8. Jarak penempatan *groundsill* sepanjang setengah L_{max} dan sepanjang L_{max} .
9. Digunakan 3 variasi ketinggian muka air hulu, yaitu sebesar 17 cm, 17,5 cm, dan 18 cm.

BAB II

TINJAUAN PUSTAKA

2.1 Permodelan Gerusan Pada Hilir Bendung

Fitriana, N (2014) dalam penelitiannya melakukan permodelan bendung dengan kolam olak tipe *vlughter* di laboratorium dengan menggunakan *flume*. Tujuan yang ingin dicapai dari penelitian ini adalah untuk mengetahui karakteristik aliran pada hilir bendung dengan tipe kolam olakan *vlughter*.

Pengamatan gerusan di hilir bendung pada penelitian ini menggunakan dua model bendung dengan kolam olak tipe *vlughter*, dengan setiap bendungnya di uji dengan tiga jenis debit.

Berdasarkan hasil pengamatan dari penelitian diperoleh bahwa besarnya debit mempengaruhi panjang loncatan hidraulik yang menyebabkan terjadinya gerusan di hilir bendung. Semakin besar debit maka loncatan hidraulik yang dihasilkan akan semakin panjang, panjangnya loncatan hidraulik tersebut menambah kedalaman gerusan.

2.2 Studi Gerusan dan Perlindungannya

Abdurrosyid dkk (2009) melakukan pemodelan bendung dengan kolam olak USBR Tipe I dengan dihilir diberi pengaman *Rip-rap* karena dalam kenyataannya walaupun menggunakan kolam olakan tipe USBR yang dapat meredam energi, akan tetapi kenyataannya masih terjadi gerusan pada dasar saluran di sebelah hilir kolam olakan, hal ini dapat menyebabkan kerusakan pada bangunan tersebut. Oleh karena itu perlu adanya kajian laboratorium mengenai gerusan dan penanggulangannya atau perlindungannya di sebelah hilir kolam olakan.

Penelitian ini dilakukan dengan membuat model bendung dengan mercu tipe bulat dan kolam olakan tipe USBR-I dan model proteksi berupa *rip-rap* dengan anyaman kawat. Pengujian tahap pertama dilakukan tanpa proteksi terlebih dahulu untuk mengetahui panjang gerusan maksimal (L_{maks}), pengujian tahap kedua dilakukan dengan adanya proteksi dengan menggunakan *rip-rap* dari susunan batu yang dianyam dengan kawat di hilir bendung sejauh $\frac{1}{4} L_{maks}$, $\frac{1}{2} L_{maks}$, dan L_{maks} .

Hasil yang didapat dalam pengujian tanpa proteksi *rip-rap*, gerusan terjadi dimulai pada hilir dekat kolam olakan kemudian berkembang terus sepanjang aliran hingga mencapai panjang tertentu. Dengan adanya proteksi gerusan terjadi reduksi gerusan. Pengujian dengan perlindungan *rip-rap* $\frac{1}{4}$ *Lmaks* dapat mereduksi kedalaman gerusan sebesar 46,69 % dan mereduksi panjang gerusan sebesar 15,53 %. Pengujian dengan perlindungan *rip-rap* $\frac{1}{2}$ *Lmaks* dapat mereduksi kedalaman gerusan sebesar 80,75% dan mereduksi panjang gerusan sebesar 26,21%. Pengujian dengan perlindungan *rip-rap* sepanjang *Lmaks* dapat mereduksi kedalaman gerusan sebesar 86,96 % dan mereduksi panjang gerusan sebesar 47,32 %. panjang gerusan.

2.3 Perlindungan Bangunan Sungai Dengan *Groundsill*

Sucipto (2011) melakukan penelitian dengan menganalisis pengaruh adanya perlindungan dengan *groundsill* terhadap pilar jembatan. Penempatan *groundsill* di hilir pilar bertujuan agar sedimen yang terbawa oleh aliran air akibat gerusan lokal pada pilar jembatan dapat tertahan sehingga material dasar di sekitar pilar tidak mengalami penurunan yang signifikan yang dapat menyebabkan ketidakstabilan konstruksi pilar jembatan.

Penelitian ini dilakukan dengan menggunakan dua model penelitian, model pertama tanpa menggunakan *groundsill* (M_1) dan model kedua dengan menggunakan *groundsill* (M_2). Dari setiap model diuji dengan beberapa variasi kecepatan.

Hasil yang didapatkan setelah melakukan pengujian dengan tanpa *groundsill* (M_1) adalah semakin besar kecepatan aliran kedalaman gerusan juga semakin besar. Pada kecepatan aliran yang sama, penempatan *groundsill* pada hilir pilar menyebabkan kedalaman aliran di sekitar pilar silinder lebih tinggi dari model (M_1) sehingga kedalaman gerusan di sekitar pilar silinder lebih kecil dari model (M_1) dengan angka reduksi rata-rata dari keseluruhan running pada berbagai variasi kecepatan sebesar 61,49 %.

2.4 Keaslian Penelitian

Berdasarkan tinjauan dari penelitian terdahulu, maka pada penelitian ini akan dilakukan beberapa variasi dan metode yang berbeda dari penelitian yang sudah ada, antara lain sebagai berikut ini:

1. Penggunaan *groundsill* sebagai pengaman bendung.
2. Penelitian ini menggunakan kolam olak tipe *vlughter*, tetapi dalam analisis yang dilakukan adalah membandingkan antara gerusan tanpa ada pengaman dengan gerusan yang sudah diberi pengaman berupa *groundsill*.

BAB III

LANDASAN TEORI

3.1 Saluran Terbuka

3.1.1 Definisi Saluran Terbuka

Triatmojo (2013) menjelaskan saluran terbuka merupakan saluran dimana air mengalir dengan muka air bebas dengan tekanan yang ada pada semua titik di sepanjang saluran adalah tekanan atmosfer. Saluran terbuka menurut asalnya terdapat dua jenis, yaitu saluran alam (*natural channels*) dan saluran buatan (*artificial channels*). Pada saluran terbuka variabel aliran sangat tidak teratur, variabel tersebut adalah tampang lintang saluran, kekasaran, kemiringan dasar saluran, belokan, debit aliran dan sebagainya.

3.1.2 Klasifikasi Aliran

Secara umum tipe aliran melalui saluran terbuka adalah turbulen dikarenakan kecepatan aliran dan kekasaran dinding relatif besar. Ada beberapa kategori dalam tipe-tipe aliran, apabila dilihat berdasarkan karakteristik ruang ada aliran seragam (*uniform flow*) dan aliran tidak seragam (*non uniform flow*). Tipe aliran apabila dilihat dari karakteristik waktu ada aliran tetap (*steady flow*) dan aliran tidak tetap (*unsteady flow*).

Berdasar penjelasan diatas, berikut adalah penjelasan dari masing masing tipe,

1. Tipe aliran berdasarkan karakteristik ruang

a. Aliran seragam (*uniform flow*)

$$\frac{dh}{dx} = 0 \quad \frac{dA}{dx} = 0 \quad \frac{dQ}{dx} = 0$$

Aliran disebut seragam apabila berbagai variabel aliran seperti kedalaman, tampang basah, kecepatan, dan debit pada setiap tampang di sepanjang aliran adalah konstan.

- b. Aliran tidak seragam (*non-uniform flow*)

$$\frac{dh}{dx} \neq 0 \quad \frac{dA}{dx} \neq 0 \quad \frac{dQ}{dx} \neq 0$$

Aliran disebut tidak seragam atau berubah apabila variabel aliran seperti kedalaman, tampang basah, kecepatan di sepanjang saluran tidak konstan.

2. Tipe aliran berdasarkan karakteristik waktu

- a. Aliran tetap (*steady flow*)

$$\frac{dh}{dt} = 0 \quad \frac{dA}{dt} = 0 \quad \frac{dQ}{dt} = 0$$

Aliran disebut tetap apabila variabel aliran seperti kedalaman, kecepatan, dan debit pada setiap tampang disepanjang saluran tidak berubah terhadap waktu.

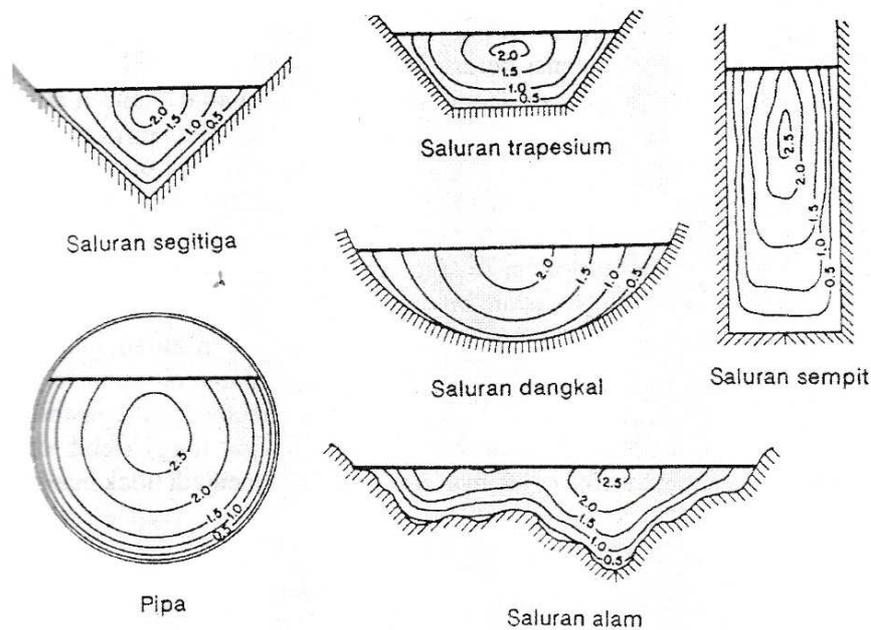
- b. Aliran tidak tetap (*unsteady flow*)

$$\frac{dh}{dt} \neq 0 \quad \frac{dA}{dt} \neq 0 \quad \frac{dQ}{dt} \neq 0$$

Aliran disebut tidak tetap apabila variabel aliran seperti kedalaman, kecepatan, dan debit pada setiap tampang disepanjang aliran berubah terhadap waktu.

3.1.3 Distribusi Kecepatan

Menurut Triatmojo (2013) dalam aliran melalui saluran terbuka, distribusi kecepatan tergantung pada banyak faktor seperti bentuk saluran, kekasaran pada dinding, dan debit aliran. Distribusi kecepatan tidak merata disetiap titik pada tampang melintang, hal ini disebabkan karena adanya permukaan bebas pada aliran fluida. Prinsip dari saluran terbuka hampir sama dengan saluran tertutup, yaitu kecepatan minimum terjadi pada aliran yang berbatasan langsung dengan dinding penampang saluran. Gambar 3.1 di bawah menunjukkan distribusi kecepatan pada tampang melintang saluran dengan berbagai bentuk saluran, yang digambarkan dengan garis kontur kecepatan.



Gambar 3.1 Distribusi Kecepatan pada Saluran Terbuka

(Sumber: Triatmodjo, 2013)

Dilihat dari gambar 3.1 tersebut, terlihat bahwa kecepatan minimum terjadi di dekat dinding batas (dasar dan tebing) dan bertambah besar dengan jarak menuju ke permukaan. Garis kontur kecepatan maksimum terjadi di sekitar tengah-tengah lebar saluran dan sedikit di bawah permukaan. Hal ini terjadi karena ada gesekan antara zat cair dengan dinding saluran dan juga karena adanya gesekan dengan udara pada permukaan. Untuk saluran yang sangat lebar, distribusi kecepatan di sekitar bagian tengah lebar saluran adalah sama. Hal ini disebabkan karena sisi-sisi saluran di bagian itu dapat dianggap dua dimensi (vertikal). Keadaan ini akan terjadi apabila lebar saluran lebih besar dari 5-10 kali kedalaman aliran yang tergantung pada kekasaran dinding. Dalam praktek, saluran dapat dianggap sangat lebar (lebar tak hingga) apabila lebar saluran lebih besar dari 10 kali kedalaman.

Distribusi kecepatan pada vertikal dapat ditentukan dengan melakukan pengukuran pada berbagai kedalaman. Untuk mendapatkan hasil pengukuran, pengukuran dilakukan pada banyak titik. Semakin banyak titik pengukuran akan memberikan hasil yang semakin baik. Pada umumnya, pengukuran kecepatan di

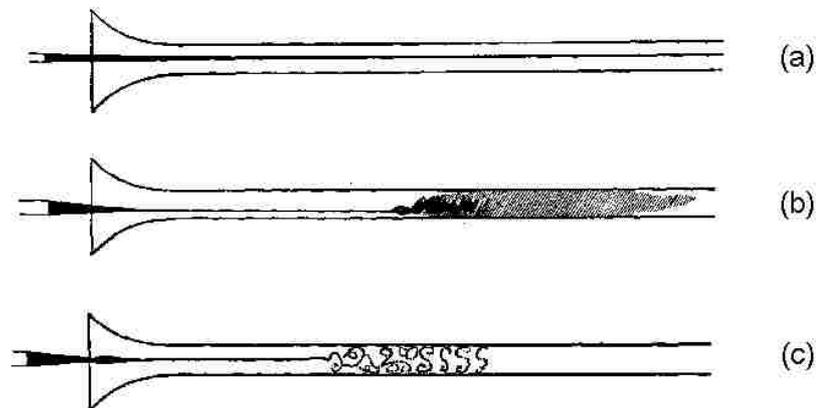
lapangan diukur dengan menggunakan *current meter*. Alat ini berupabaling-baling yang akan berputar karena adanya aliran yang kemudian akan memberikan hubungan antar kecepatan sudut baling-baling dengan kecepatan aliran.

3.1.4 Kondisi Aliran

Sifat aliran air pada saluran terbuka pada dasarnya ditentukan oleh dua pengaruh, yaitu kekentalan (*viscosity*) dan pengaruh dari gravitasi (*inertial force*).

1. Berdasarkan kekentalan (*viscosity*) dinyatakan dengan angka Reynolds

Anggrahini (2005) mengatakan bahwa aliran fluida apabila dilihat dari perbandingan antara gaya-gaya kelembaman dengan gaya-gaya kekentalan maka aliran dapat dibedakan menjadi dua jenis, yaitu aliran laminar dan aliran turbulen. Aliran laminar adalah suatu aliran dimana gaya kekentalan relatif sangat besar dibandingkan dengan gaya kelembaman. Dalam aliran ini partikel-partikel aliran bergerak secara teratur menurut lintasan-lintasan arusnya dan berlapis-lapis sedemikian rupa seolah-olah lapisan yang satu mengalir di atas lapisan yang lainnya. Sedangkan aliran turbulen terjadi apabila gaya-gaya kelembaman relatif sangat besar dibandingkan gaya-gaya kekentalan sehingga aliran didominasi oleh gaya inersia. Pada tipe aliran turbulen partikel-partikel aliran bergerak pada lintasan yang tidak teratur atau pada lintasan yang sembarang. Angka Reynold adalah bilangan yang tidak berdimensi yang dapat membedakan suatu aliran tersebut dapat dikatakan aliran laminar, transisi, ataupun turbulen. Angka Reynold menyatakan suatu angka perbandingan antara gaya kelembaman dan gaya kekentalan. Pada tahun 1884, Osborne Reynolds melakukan percobaan untuk menunjukkan sifat-sifat aliran laminar dan turbulen. Reynolds menggunakan sebuah peralatan sederhana seperti ditunjukkan pada gambar 3.2 berikut,



Gambar 3.2 Pola Cairan Tinta Percobaan Reynolds pada Berbagai Kecepatan Aliran.

Terdapat tiga faktor yang mempengaruhi keadaan aliran yaitu kekentalan zat cair (μ), rapat massa zat cair (ρ), dan diameter pipa (D). Hubungan antara ketiga parameter tersebut mempunyai dimensi yang sama dengan kecepatan adalah $\mu/\rho D$. Reynold menunjukkan bahwa aliran dapat diklasifikasikan berdasarkan suatu angka tertentu dengan membagi kecepatan aliran di dalam pipa dengan nilai $\mu/\rho D$, yang disebut dengan angka Reynold. Angka Reynold dapat dicari dengan persamaan berikut ini:

$$Re = \frac{v \cdot R}{\nu} \quad (3.1)$$

Keterangan,

Re = angka Reynolds

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

R = jari-jari hidraulik (m)

ν = kekentalan kinematik (m^2/s), untuk air pada suhu $20^\circ C$ $\nu = 1 \times 10^{-6} m^2/s$

Menurut Triatmodjo (2013), penggolongan aliran berdasarkan angka Reynolds yang berhubungan dengan karakteristik aliran adalah sebagai berikut ini:

- Aliran laminar, terjadi bila $Re < 500$,
- Aliran turbulen, terjadi bila $Re > 1000$, dan
- Aliran peraihan, terjadi bila $500 < Re < 1000$.

2. Berdasarkan pengaruh gravitasi (*inertial force*) yang dinyatakan dengan angka Froude
 Angka Froude (Fr) adalah bilangan tidak berdimensi yang berguna untuk menyatakan keadaan aliran. Angka Froude dinyatakan dengan rumus berikut:

$$Fr = \frac{v}{\sqrt{g \cdot D}} \quad (3.2)$$

Keterangan:

Fr = angka Froude

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

g = gravitasi, $9,81 \text{ m/s}^2$

D = kedalaman hidraulik (m), perbandingan antara luas penampang aliran dan lebar aliran yang berbatas dengan udara bebas.

Menurut Triatmodjo (2013), penggolongan jenis aliran dari hasil perhitungan dengan menggunakan persamaan di atas adalah sebagai berikut ini:

- a. Aliran subkritis, terjadi apabila $Fr < 1$,
- b. Aliran super kritis, terjadi apabila $Fr > 1$, dan
- c. Aliran kritis, terjadi apabila $Fr = 1$.

3.2 Persamaan Kontinuitas

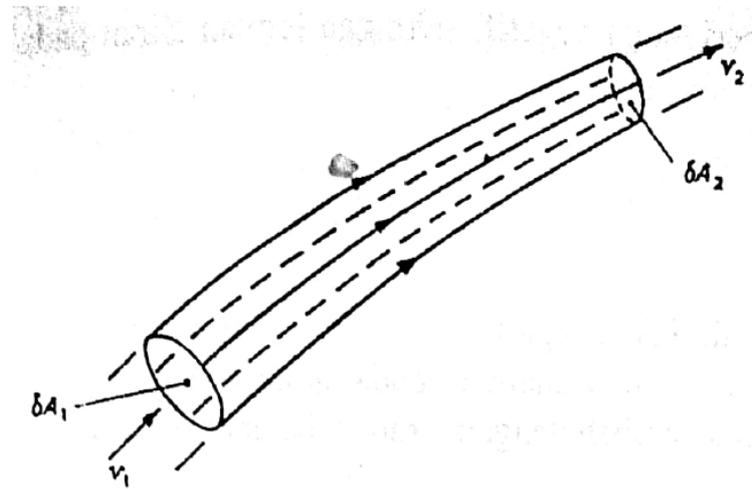
Menurut Triatmodjo (2012), apabila zat tak kompresibel mengalir secara kontinyu melalui pipa atau saluran terbuka, dengan tampang aliran konstan ataupun tidak konstan, maka volume zat cair yang lewat tiap satuan waktu adalah sama di semua tampang. Kondisi seperti ini disebut dengan hukum kontinuitas 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 seluruhampang aliran, akan didapat volume zat cair yang melalui medan aliran, seperti berikut ini :

$$V \int_{A_1} dA_1 = V_2 \int_{A_2} dA_2 \quad (3.4)$$



Gambar 3.3 Tabung Aliran Untuk Menurunkan Persamaan Kontinuitas

(Sumber : Triatmodjo, 2012)

$$V_1 A_1 = V_2 A_2 \quad (3.5)$$

atau

$$Q = A.V = \text{konstan} \quad (3.6)$$

Kedua persamaan di atas disebut dengan persamaan kontinuitas untuk zat cair tak kompresibel.

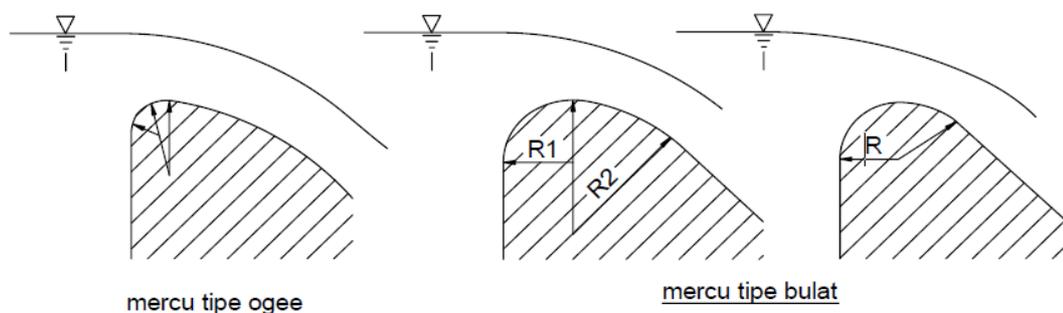
3.3 Bendung

3.3.1 Definisi Bendung

Bendung adalah suatu bangunan melintang sungai yang berguna untuk mengatur aliran air sungai tersebut. Menurut analisa upah dan bahan BOW (*Burgerlijke Openbare Werken*), bendung didefinisikan sebagai bangunan air (beserta kelengkapannya) yang dibangun melintang sungai untuk meninggikan taraf muka air sehingga dapat dialirkan secara gravitasi ke tempat yang membutuhkannya. Bendung memiliki beberapa komponen, yaitu tubuh bendung, bangunan *intake*, bangunan pembilas, dan bangunan pelengkap lain (tembok pangkal, sayap bendung, lantai udik dan dinding tirai, pengarah arus, tangga dan sebagainya).

3.3.2 Mercu Bendung

Mercu bendung adalah bagian dari bendung yang berfungsi untuk mengatur tinggi air minimum agar aliran yang melimpas di atas mercu stabil. Menurut KP 02 tentang bendung, di Indonesia pada umumnya hanya menggunakan dua tipe mercu untuk bendung pelimpah, yaitu tipe Ogee dan tipe Bulat.



Gambar 3.4 Bentuk Mercu Bendung

(Sumber: Panduan KP 02, 1986)

1. Mercu Bulat

Bendung yang menggunakan mercu bulat memiliki nilai koefisien debit yang jauh lebih tinggi, yaitu sebesar 44% dibandingkan dengan koefisien debit bendung ambang lebar. Tipe ini banyak memberikan keuntungan karena akan mengurangi tinggi muka air hulu selama banjir. Harga koefisien debit menjadi lebih tinggi karena lengkung *stream line* dan tekanan negatif pada mercu.

2. Mercu Ogee

Mercu Ogee berbentuk tirai luapan bawah dari bandung ambang tajam aerasi. Oleh karena itu mercu ini tidak akan memberikan tekanan subatmosfir pada permukaan mercu sewaktu bendung mengalirkan air pada debit rencana. Untuk debit yang lebih rendah, air akan memberikan tekanan ke bawah pada mercu. Salah satu alasan dalam perencanaan digunakan tipe ogee adalah karena tanah disepanjang kolam olak berada dalam keadaan baik, karena memerlukan lantai muka untuk menahan penggerusan, digunakan tumpukan batu sepanjang kolam olak sehingga lebih hemat.

3.3.3 Kolam Olak

Kolam olak adalah suatu konstruksi yang berfungsi sebagai peredam energi yang terkandung dalam aliran dengan memanfaatkan loncatan hidraulis dari suatu aliran yang berkecepatan tinggi. Kolam olak sangat ditentukan oleh tinggi loncatan hidraulis, yang terjadi di dalam aliran. Dalam perencanaan kolam olak tergantung pada energi yang masuk yang dinyatakan dengan bilangan Froude, dan tergantung juga pada bahan konstruksi yang digunakan untuk kolam olak. Berdasarkan bilangan Froude, dapat dibuat pengelompokan-pengelompokan berikut ini dalam perencanaan kolam (KP 04, 1986).

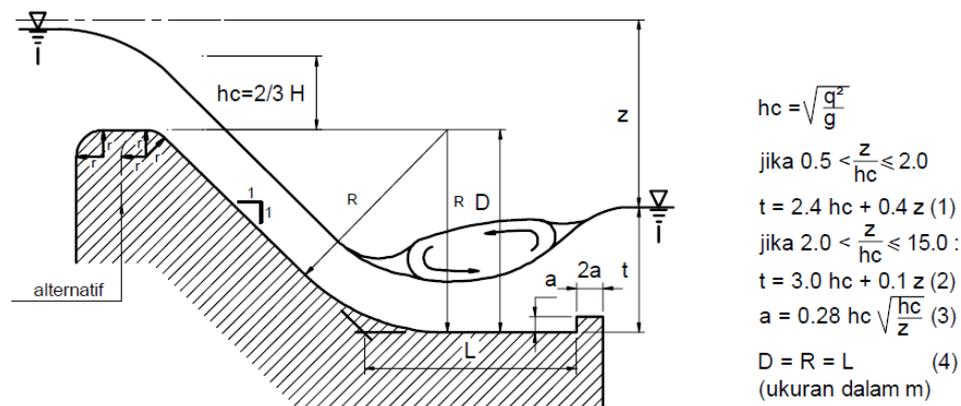
1. Untuk $Fr \leq 1,7$ tidak diperlukan kolam olak. Pada saluran tanah, bagian hilir harus dilindungi dari bahaya erosi. Saluran pasangan batu atau beton tidak memerlukan perlindungan khusus.
2. Bila $1,7 < Fr \leq 2,5$ maka kolam olak diperlukan untuk meredam energi secara efektif. Pada umumnya kolam olak dengan ambang ujung mampu bekerja dengan baik. Untuk penurunan muka air $\Delta Z < 1,5$ m dapat dipakai bangunan terjun tegak.
3. Jika $2,5 < Fr \leq 4,5$ 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 prakteknya akan lebih baik untuk tidak merencanakan kolam olak jika $2,5 < Fr < 4,5$. Sebaiknya geometrinya diubah untuk memperbesar atau memperkecil bilangan Froude dan memakai kolam dari kategori lain.

4. Jika $Fr \geq 4,5$ 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.

3.3.4 Kolam Olak Tipe *Vlugter*

Menurut KP 04 (1985) kolam olak tipe *vlugter* khusus dikembangkan untuk bangunan terjun di saluran irigasi. Gambar 3.11 di bawah ini memberikan data perencanaan yang diperlukan untuk kolam *vlugter*. Kolam *vlugter* bisa dipakai sampai beda tinggi energi z tidak lebih dari 4,50 m dan atau dalam lantai ruang olak sampai mercu (D) tidak lebih dari 8 meter serta pertimbangan kondisi porositas tanah di lokasi bendung dalam rangka pekerjaan pengeringan.



Gambar 3.5 Kolam Olak Menurut *Vlugter*

(Sumber: Panduan KP 02, 1986)

3.4 Gerusan

Neill (1973) dalam Fitriana, N (2014) mengatakan pengertian gerusan (*scour*) adalah penurunan dasar sungai karena erosi di bawah elevasi permukaan alami atau datum yang diasumsikan. Sedangkan menurut Legono (1990) gerusan (*scour*) adalah proses semakin dalamnya dasar sungai karena interaksi antara aliran dengan material dasar sungai. Proses gerusan terjadi karena adanya perubahan pola aliran yang melewati suatu penampang sungai sehingga partikel-partikel dasar sungai akan terangkut dan ditransportasikan dari daerah asalnya selapis demi selapis dan proses tersebut terjadi berulang-ulang sampai mencapai suatu keseimbangan dasar sungai yang baru.

Raudkivi dan Eltema (1982) dalam Abdurrosyid, J. dkk (2009) mengatakan bahwa gerusan dapat dibedakan menjadi tiga tipe, antara lain :

1. Gerusan umum (*general scour*) di alur sungai. Gerusan ini tidak berkaitan sama sekali ada atau tidaknya bangunan sungai. Gerusan ini terjadi dikarenakan adanya energi dari aliran sungai.
2. Gerusan terlokalisir (*localized scour / constriction scour*) di alur sungai. Gerusan ini terjadi karena penyempitan alur sungai, sehingga aliran menjadi lebih terpusat.
3. Gerusan lokal (*local scour*) di sekitar bangunan. Gerusan ini terjadi karena pola aliran local di sekitar bangunan sungai.

Ketiga tipe gerusan tersebut dapat terjadi bersamaan namun pada lokasi yang berbeda. Gerusan terlokalisir (*localized scour / constriction scour*) dan gerusan lokal (*local scour*) selanjutnya dapat dibedakan menjadi dua kondisi, yaitu kondisi gerusan dengan air jernih (*clear water scour*) dan kondisi gerusan dengan air tidak jernih (*live bed scour*). *Clear water scour* terjadi jika material dasar di hulu bangunan dalam keadaan diam (tidak ada gerakan material dasar), atau secara teoritik bahwa tegangan geser dasar (τ_0) lebih kecil atau sama dengan tegangan geser dasar kritik (τ_c). *Live bed scour* terjadi disertai dengan adanya angkutan sedimen dari material dasar, terjadi ketika kondisi aliran dalam saluran menyebabkan material dasar bergerak. Hal tersebut menunjukkan bahwa tegangan geser pada dasar saluran lebih besar dari tegangan dasar kritiknya.

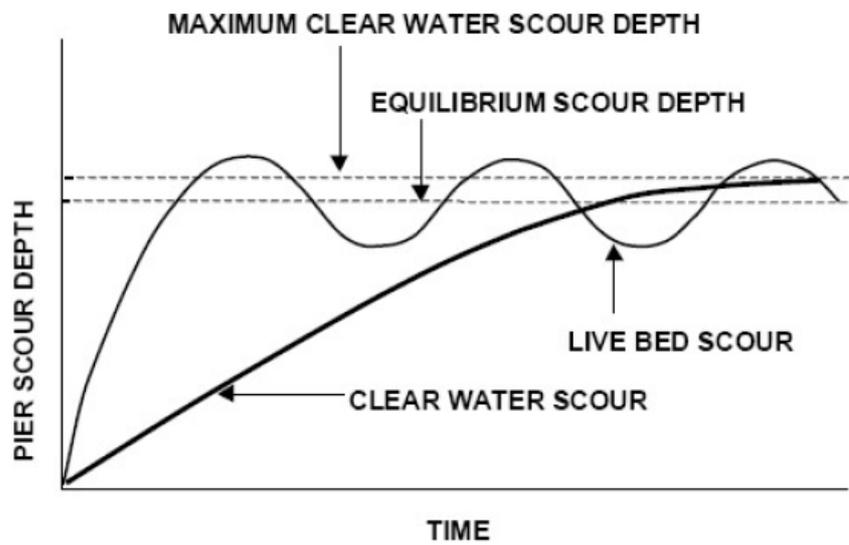
Laursen (1952) dalam Affandi, M.R. (2007) mengatakan bahwa sifat alami gerusan mempunyai fenomena sebagai berikut ini :

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

3.5 Mekanisme Gerusan

Raudkivi dan Ettema (1983) dalam Abdurrosyid, J. dkk (2009) mengatakan, kesetimbangan kedalaman gerusan (*equilibrium*) tercapai jika jumlah material yang bergerak dari lubang gerusan sama dengan material yang disuplai ke lubang gerusan. Pada umumnya rata-rata inisial gerusan cenderung lebih besar ketika dalam kondisi *live bed scour* dibandingkan dengan *clear water scour* dan *equilibrium*, sehingga kedalaman gerusan terjaid lebih cepat. Pada kondisi *live bed scour*, sedimen dari hulu bendung terus menerus terangkut ke lubang gerusan. Dalam kondisi seperti ini, kesetimbangan kedalaman gerusan (*equilibrium*) tercapai pada saat jumlah sedimen yang masuk ke dalam lubang gerusan setara dengan jumlah sedimen yang terbawa oleh aliran air. Walaupun terjadi keadaan seperti itu, kedalaman gerusan akan berubah sejalan dengan waktu meskipun setelah kondisi *equilibrium* tercapai.

Chabert dan Engeldinger (1956) dalam Affandi, M.R. (2007) mengatakan bahwa lubang gerusan yang terjadi pada alur sungai umumnya merupakan korelasi antara kedalaman gerusan dengan kecepatan aliran sehingga lubang gerusan tersebut merupakan fungsi terhadap waktu, hal ini dapat dilihat pada Gambar 3.7.



Gambar 3.6 Hubungan Kedalaman Gerusan Terhadap Waktu

(Sumber: Affandy, M.R., 2007)

3.6 Awal Gerak Butiran

Kironoto (1997) dalam Affandi, M.R. (2007) menjelaskan bahwa dengan adanya aliran air, maka akan timbul gaya-gaya yang bekerja pada material sedimen. Gaya-gaya tersebut mempunyai kemampuan untuk menggerakkan atau menyeret dan membawa butiran material sedimen. Ketika gaya-gaya yang bekerja pada butiran sedimen mencapai suatu harga tertentu, apabila sedikit gaya ditambah maka akan menyebabkan butiran sedimen bergerak, kondisi tersebut dinamakan kondisi kritis.

Menurut Breuser dan Raudkivi (1991) dalam Affandi, M.R. (2007) melalui suatu diagram yang dinamakan diagram Shield, dapat dilihat parameter awal gerak butiran sedimen. Terjadinya gerak awal butiran sedimen dapat diketahui bila tegangan geser dasar (τ_o) lebih besar dari tegangan geser kritis (τ_c). Shield menyatakan tegangan geser dasar (τ_o) dapat dicari sesuai persamaan berikut ini :

$$\tau_o = \rho \times g \times h \times I \quad (3.7)$$

Kecepatan geser dapat dilihat dari persamaan berikut ini :

$$U_* = \left(\frac{\tau_o}{\rho}\right)^{0.5} \quad (3.8)$$

Kecepatan geser kritik dapat dilihat dari persamaan berikut ini :

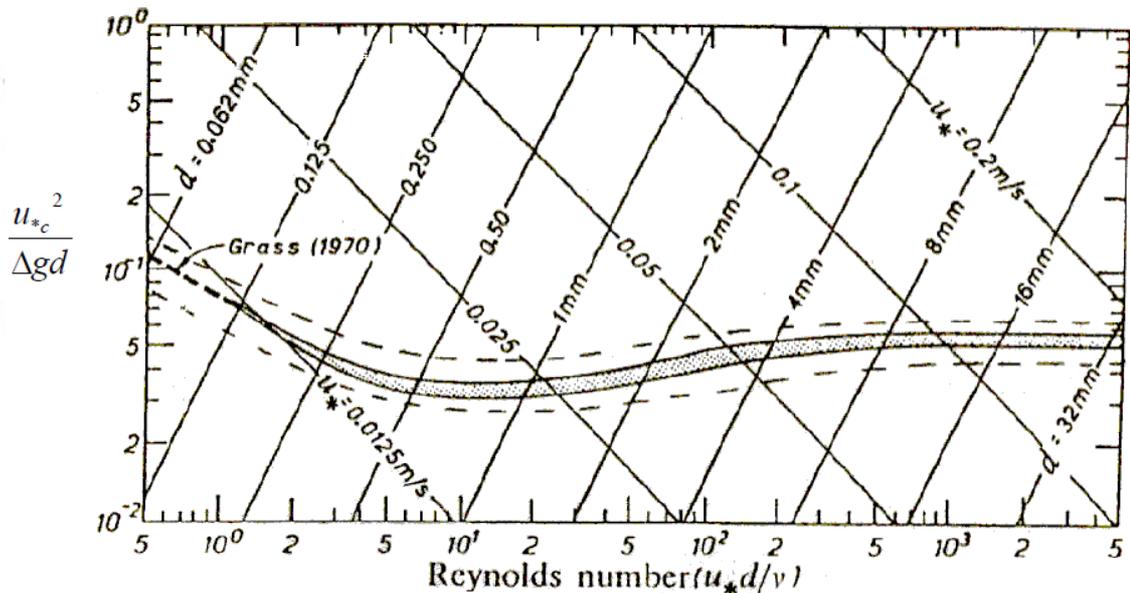
$$U_{*c} = \sqrt{\theta_c \cdot g \cdot \Delta \cdot d_{50}} \quad (3.9)$$

Parameter mobilitas kritik atau parameter Shield dapat dilihat dari persamaan berikut ini :

$$\theta_c = \frac{\tau_c}{\rho \cdot g \cdot \Delta \cdot d_{50}} = \frac{U_{*c}^2}{g \cdot \Delta \cdot d_{50}} \quad (3.10)$$

dengan:

- τ_o = 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 = relative *density*,
- h = kedalaman air (m),
- I = kemiringan dasar saluran,
- g = percepatan grafitasi (m/s²), dan
- d_{50} = diameter rata-rata material.



Gambar 3.7 Diagram Shield
(Sumber: Affandy, M.R., 2007)

3.7 Kedalaman gerusan

Menghitung kedalaman gerusan yang terjadi dihilir kolam olak menggunakan metode Lacey (Fitriana, N. 2014). Metode Lacey dalam menghitung kedalaman gerusan memiliki persamaan sebagai berikut ini:

$$R = 0,47 \left(\frac{Q}{f} \right)^{1/3} \quad (3.11)$$

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.

3.8 Ambang Dasar (*Groundsill*)

Groundsill merupakan suatu struktur ambang melintang yang dibangun pada alur sungai yang bertujuan untuk mengurangi kecepatan arus dan meningkatkan laju pengendapan di bagian hulu struktur. Hal ini dapat menjaga agar elevasi lapisan endapan tidak mengalami penurunan, sehingga struktur bangunan

yang berada di bagian hulu sungai seperti jembatan tetap dalam keadaan aman meskipun terjadi penambangan pasir pada sungai.

Menurut Sasrodarsono (1985) *groundsill* secara umum dibagi menjadi dua tipe, antara lain sebagai berikut ini:

1. *Groundsill* tipe ambang datar (*bed gindle work*)

Bangunan *grounsill* tipe ini hampir tidak mempunyai terjunan dan elevasi mercu *groundsill* hampir sama dengan permukaan dasar sungai. *Groundsill* tipe ini berfungsi untuk menjaga agar permukaan dasar sungai tidak turun lagi.

2. *Groundsill* tipe ambang pelimpah (*head work*)

Bangunan *groundsill* tipe ini mempunyai terjunan, sehingga elevasi permukaan dasar sungai dibagian hulu *groundsill* lebih tinggi dari elevasi permukaan dasar sungai dibagian hilirnya. Tujuan dari tipe *groundsill* ini adalah untuk lebih melandaikan kemiringan dasar sungai.

BAB IV

METODOLOGI PENELITIAN

4.1 Jenis Penelitian

Penelitian yang berjudul Studi Gerusan di Hilir Bendung Kolam Olak Tipe *Vlughter* dengan Perlindungan *Groundsill* bersifat eksperimen. Penelitian ini akan dilakukan di Laboratorium Hidraulika Fakultas Teknik Sipil dan Perencanaan Universitas Islam Indonesia. Dalam penelitian ini, peneliti membuat sebuah model bendung dengan dimensi yang disesuaikan dengan ukuran *flume* yang ada di laboratorium. Model bendung dibuat dengan mercu tipe bulat satu jari-jari, kemudian kolam olak akan menggunakan tipe *vlughter*. Penelitian akan dilakukan dengan mengalirkan debit di *flume* dan dilihat gerusan yang terjadi di hilir bendung yang sebelumnya dasar salurannya diisi sedimen berupa pasir setebal 5 cm.

4.2 Alat dan Bahan Penelitian

Alat dan bahan yang akan digunakan untuk mendukung pelaksanaan penelitian adalah sebagai berikut ini.

1. *Hydraulic flume*

Hydrolic flume yang digunakan berupa saluran yang merupakan permodelan sederhana dari saluran terbuka yang berbentuk persegi. Dalam satu set *hydrolic flume* di Laboratorium Hidrolika Universitas Islam Indonesia, dilengkapi dengan pompa air sebagai sumber tenaga pengaliran air, bak penampung yang berfungsi untuk menampung air, dan parameter pembacaan ketinggian muka air di bak penampung yang digunakan untuk mengukur debit aliran.



Gambar 4.1 Set *Hydrolic Flume*

2. Model bendung

Model bendung didesain dengan tipe mercu bulat satu jari-jari dan dengan kolam olak tipe *vlughter* yang terbuat dari bahan akrilik. Model bendung memiliki dimensi dengan ketinggian 15 cm dan lebar 9,6 cm, dimana untuk menyesuaikan dengan lebar *flume* di laboratorium yang memiliki lebar saluran 10 cm, maka sisa lebar model bendung dilengkapi dengan spons di sisi kanan dan kirinya.



Gambar 4.2 Model Bendung

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

Model *groundsill* yang digunakan berbentuk balok dengan panjang 10 cm, lebar 2,5 cm dan tinggi 4,5 cm, yang merupakan permodelan sederhana dari *groundsill* tipe ambang datar.



Gambar 4.3 Model *Groundsill*

4. Sedimen berupa pasir

Sedimen yang digunakan berupa pasir yang lolos saringan ukuran 4,75 mm, yang didapatkan dari Laboratorium Bahan Konstruksi Teknik, Universitas Islam Indonesia. Sedimen pasir akan diletakkan di hilir model bendung setebal 5 cm.



Gambar 4.4 Model Sedimen Berupa Pasir

5. Penggaris atau Mistar

Penggaris atau mistar dalam penelitian ini berfungsi untuk mengukur ketinggian air, kedalaman gerusan, dan panjang gerusan.



Gambar 4.5 Penggaris atau Mistar

6. *Stopwatch*,

Stopwatch digunakan sebagai alat untuk menghitung waktu pengamatan percobaan gerusan, menghitung waktu pengaliran, dan menghitung waktu penampungan aliran. *Stopwatch* yang digunakan dalam penelitian ini berupa *stopwatch* yang terdapat dalam *smartphone*.

7. Saringan ukuran 4,75 mm

Saringan ini digunakan untuk mendapatkan ukuran butiran sedimen sesuai yang diinginkan.



Gambar 4.6 Saringan dengan Ukuran Lubang 4.75 mm

4.3 Data Penelitian

Dalam melakukan penelitian dengan permodelan membutuhkan data yang menggambarkan kondisi sebenarnya di lapangan. Data yang benar akan membuat hasil penelitian menjadi sesuai dengan kondisi aslinya. Selain itu, untuk menjamin permodelan dapat dibuat mirip dengan kondisi aslinya dibutuhkan tidak hanya satu data melainkan serangkaian-serangkain data yang saling membangun permodelan. Pada penelitian ini, digunakan data primer untuk mendukung penelitian. Data yang dibutuhkan adalah sebagai berikut ini.

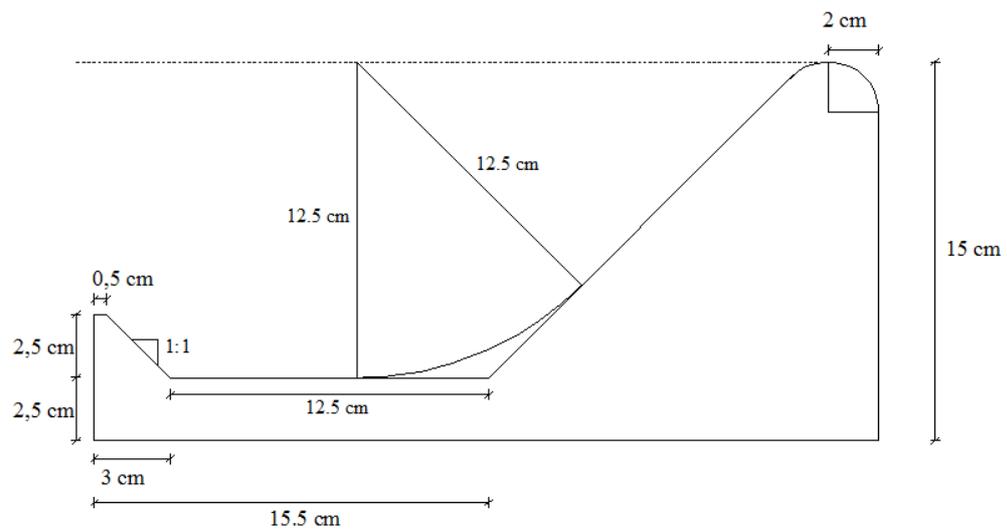
1. Dimensi *flume* dan dimensi bendung yang akan digunakan.
2. Ketinggian air di hulu bendung (h_0).
3. Kecepatan aliran (v)

4. Kedalaman gerusan yang diamati secara visual (Y_m).
5. Rata-rata diameter butiran sedimen yang akan digunakan (d_{50}).
6. Panjang gerusan maksimum (L_{max})

4.4 Pembuatan Model

Penelitian ini bersifat eksperimen, sehingga memerlukan model dalam pelaksanaannya. Model yang digunakan pada penelitian ini adalah sebagai berikut ini.

1. Membuat model benda uji berupa bendung dengan ukuran yang disesuaikan dengan ukuran *flume* yang akan digunakan. Model bendung yang akan dibuat menggunakan mercu tipe bulat satu jari-jari dan kolam olak tipe *vlughter*. Model bendung yang direncanakan dapat dilihat pada Gambar 4.7 berikut ini.



Gambar 4.7 Rencana model bendung

Dengan detail ukuran sebagai berikut.

- a. jari-jari kolam olak (R) = 12,5 cm,
- b. jari-jari mercu = 2 cm,
- c. panjang kolam olak (L) = 12,5 cm, dan
- d. tinggi *end sill* = 2,5 cm.

2. Menyiapkan pasir dari Laboratorium Bahan Konstruksi Teknik kemudian disaring dengan saringan ukuran lubang 4,75 mm. Pasir yang lolos saringan akan ditaburkan dibagian hilir bendung. Menaburkan pasir sejauh 1,5 meter dari ujung kolam olak dan setebal 5 cm.
3. Model *groundsill* dibuat satu buah dengan tampak samping yang berbentuk persegi dengan tinggi 4,5 cm dan lebar 2,5 cm.

4.5 Pengumpulan Data

4.5.1 Variasi Data Penelitian

Penelitian ini dilakukan dengan memberi variasi tinggi aliran di hulu bendung dan jarak perletakan *groundsill*. Dalam memudahkan pengambilan data maka dari setiap variasi akan dibuat sebuah notasi, antara lain sebagai berikut.

1. Tinggi aliran di hulu 0,17 m, tanpa pengaman *groundsill* (TG1).
2. Tinggi aliran di hulu 0,175 m, tanpa pengaman *groundsill* (TG2).
3. Tinggi aliran di hulu 0,18 m, tanpa pengaman *groundsill* (TG3).
4. Tinggi aliran di hulu 0,18 m, dengan pengaman *groundsill* jarak L_{max} (DG L_{max}).
5. Tinggi aliran di hulu 0,18 m, dengan pengaman *groundsill* jarak $1/2L_{max}$ (DG $1/2L_{max}$).

4.5.2 Langkah Pengambilan Data Penelitian

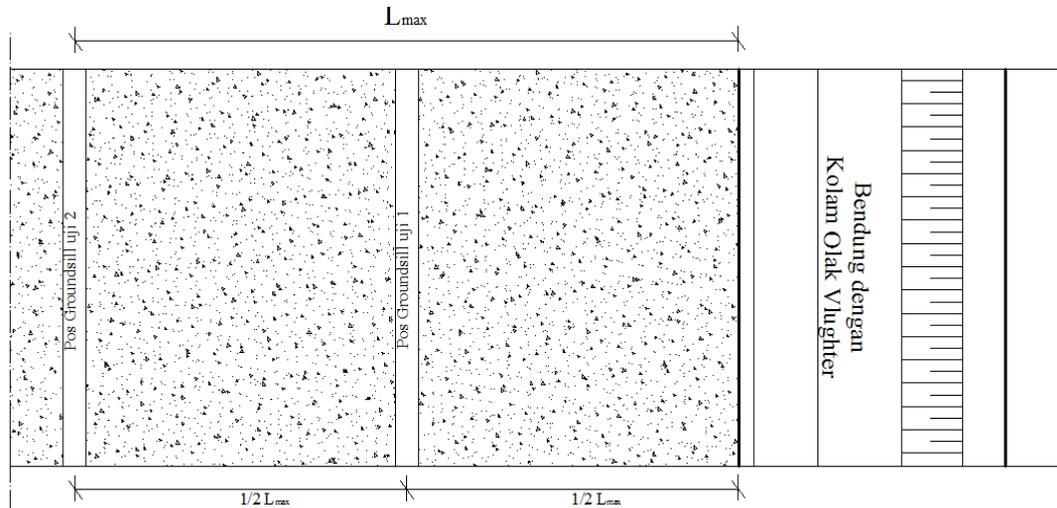
Penelitian ini menggunakan data primer yang berasal dari percobaan yang dilakukan di Laboratorium Hidraulika Fakultas Teknik Sipil dan Perencanaan Universitas Islam Indonesia. Langkah-langkah dalam mengambil data primer pada penelitian ini sebagai berikut.

1. Melakukan pengujian analisis saringan dengan mengambil sampel sedimen pasir seberat 500 gram.
2. Model bendung diletakkan pada *flume*, kemudian letakkan sedimen pasir pada hilir bendung sepanjang *flume* setebal 5 cm.
3. Mengalirkan air dengan menyalakan pompa.
4. Mengatur ketinggian air hulu bendung (h_0), dalam satu kali pengaliran dilakukan selama 60 menit. Ketinggian muka air di hulu (h_0) diamati kembali

setiap 10 menit pengaliran, hal ini dilakukan untuk mendapatkan nilai debit rata-rata selama pengaliran dalam satu percobaan.

5. Setelah ketinggian air hulu sudah didapatkan dan ketinggian air sudah stabil, kemudian mengamati beberapa parameter karakteristik aliran, parameter untuk karakteristik aliran adalah sebagai berikut.
 - a. Tinggi kedalaman air di kolam olak (h_1),
 - b. Tinggi kedalaman air di *end sill* (h_2),
 - c. Tinggi kedalaman air di hilir (h_3), dan
 - d. Mengukur debit aliran (Q) dengan menampung aliran di bak penampung, dan mengamati waktu setiap tertampung 10 liter air.
6. Selama pengaliran, mengamati proses transport sedimen yang terjadi, dan mengamati kedalaman gerusan maksimum dan panjang gerusan maksimum pada periode waktu 10 menit.
7. Menghentikan pengaliran air dengan cara mengecilkan debit air secara perlahan agar gerusan di sekitar bendung yang sudah dialiri air selama 60 menit tidak terganggu oleh perubahan debit.
8. Mengamati pola gerusan dan kedalaman gerusan setelah dialiri air selama 60 menit dengan menggunakan mistar untuk mendapatkan data kontur. Data kontur diambil dengan mengukur gerusan pada sekitar bendung setelah pengaliran selesai. Pengambilan data kontur dilakukan dengan pengukuran tiga dimensi.
9. Percobaan poin ke-2 sampai ke-7 dilakukan secara berulang dengan merubah ketinggian air hulu (h_0).
10. Mengukur panjang gerusan maksimum (L_{max}) yang terjadi pada hilir bendung tanpa perlindungan *groundsill* pada percobaan debit terbesar dari semua variasi h_0 .
11. Pengujian selanjutnya dengan menggunakan perlindungan *groundsill*. Pengujian ini dilakukan dua kali percobaan, percobaan pertama dengan jarak *groundsill* setengah dari L_{max} , dan percobaan kedua dengan jarak *groundsill* sepanjang L_{max} . Dari setiap percobaan dilakukan dengan debit tertinggi dari

ketiga variasi debit. Posisi penempatan *groundsill* dapat dilihat pada Gambar 4.8 berikut.



Gambar 4.8 Rencana penempatan *groundsill*

4.6 Analisis Data

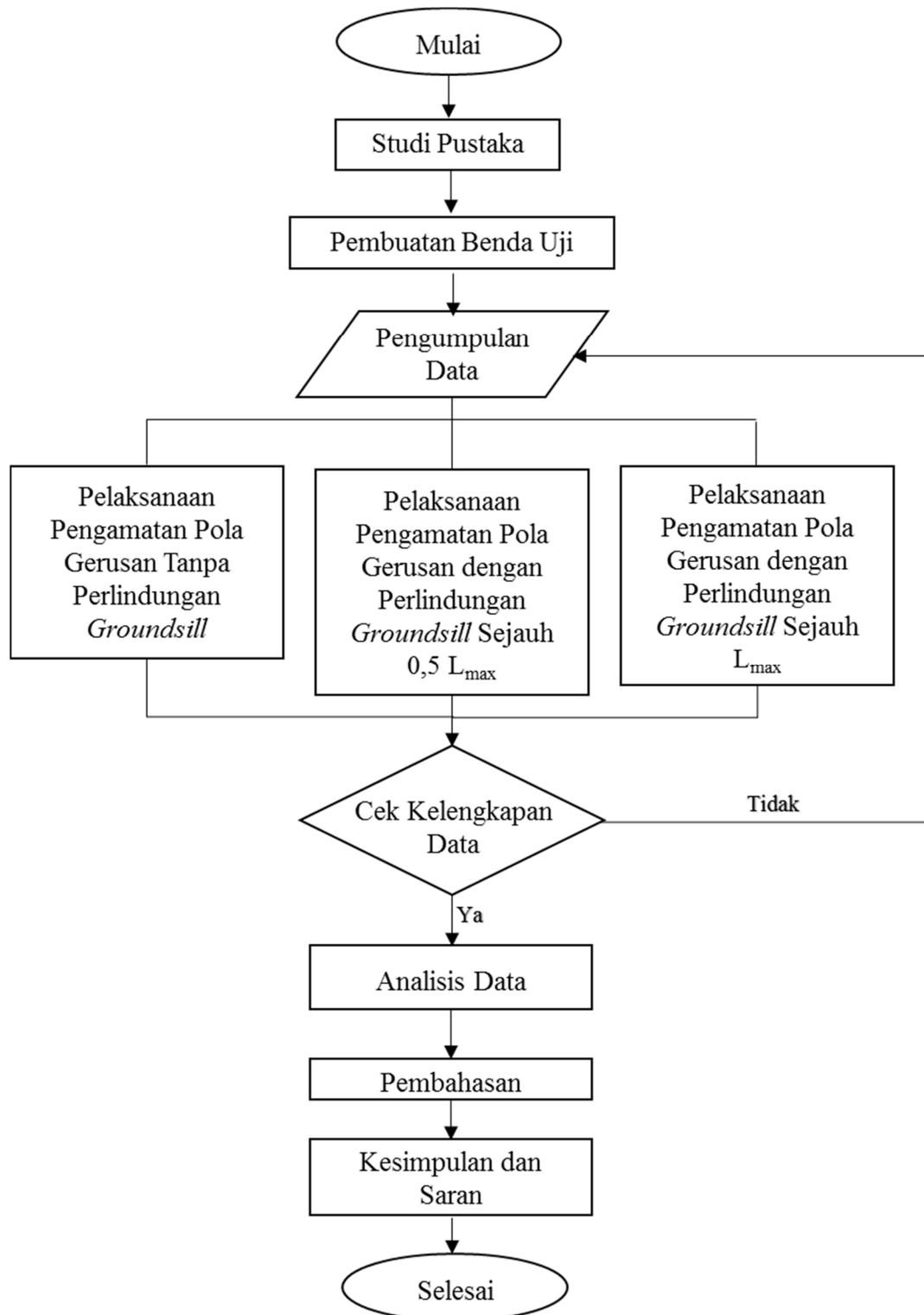
Data yang sudah diperoleh dari hasil penelitian dianalisis untuk mendapatkan suatu kesimpulan hubungan antara variabel-variabel yang diteliti dalam penelitian. Langkah-langkah dalam menganalisis data adalah sebagai berikut.

1. Menghitung debit dari setiap ketinggian air di atas mercu (h_0). Perhitungan debit dilakukan dengan parameter volume (V) dan waktu penampungan (t) setiap tertampung 10 liter.
2. Menghitung kecepatan aliran rata-rata dari hasil perhitungan debit yang sudah didapatkan
3. Menghitung angka Froude dan angka Reynolds untuk mengetahui karakteristik aliran dari setiap pengujian.
4. Mencari nilai diameter rata-rata butiran sedimen (d_{50}) dari hasil analisis saringan.
5. Menghitung kedalaman gerusan secara teoritis dengan menggunakan metode Lacey, kemudian dibandingkan dengan pengamatan kedalaman gerusan secara visual (y_m).

6. Membuat grafik perbandingan dari kedua metode pengukuran kedalaman gerusan secara teoritis (dengan metode Lacey) dan secara visual.
7. Membuat gambar kontur terhadap gerusan yang terjadi dengan menggunakan *software Surfer V13.4.553* agar hasil yang terlihat bisa mudah dipahami.
8. Menghitung besarnya reduksi kedalaman gerusan yang terjadi setelah diberi pengaman *groundsill* di hilir bendung, agar dapat dilihat pengaruh dari adanya perlindungan *groundsill* terhadap gerusan.

4.7 Flowchart Metodologi Penelitian

Berikut ini *Flowchart* metodologi penelitian dapat dilihat pada Gambar 4.9.



Gambar 4.9 *Flowchart* metodologi penelitian

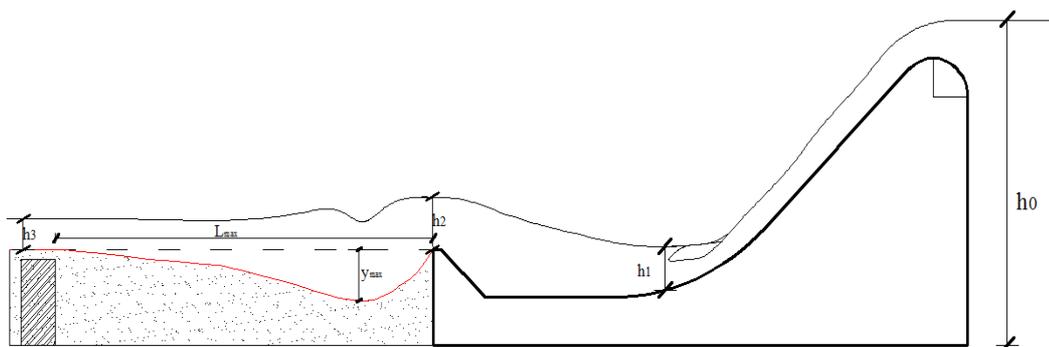
BAB V ANALISIS DAN PEMBAHASAN

5.1 Data Penelitian

Pengambilan data pengamatan gerusan dilakukan secara langsung di Laboratorium Hidrolika Fakultas Teknik Sipil dan Perencanaan Universitas Islam Indonesia. Data penelitian tersebut merupakan data primer. Pengambilan data dilakukan dengan membuat simulasi bendung yang di bagian hilirnya akan diisi sedimen yang berupa agregat halus (pasir) yang diletakkan di sebuah *flume* di laboratorium dan kemudian akan dialiri air. Beberapa data yang diambil adalah sebagai berikut ini:

1. Data karakteristik aliran,
 - a. Tinggi air di hulu (h_0),
 - b. Tinggi air di atas kolam olak (h_1),
 - c. Tinggi air di atas *end sill* (h_2),
 - d. Tinggi air di hilir (h_3),
 - e. Waktu yang diperlukan untuk menampung air dengan volume $0,01 \text{ m}^3$ (t).
2. Data gerusan,
 - a. Kontur gerusan,
 - b. Kedalaman gerusan maksimum (y_{\max}),
 - c. Panjang gerusan maksimum (L_{\max}),
 - d. Analisis saringan.

Penjelasan letak titik pengambilan data akan ditunjukkan pada Gambar 5.1



Gambar 5.1 Letak titik pengambilan data

Terdapat dua parameter yang akan divariasikan dari penelitian ini, yaitu variasi (h_0), variasi waktu pengaliran (T), dan pada debit max akan divariasikan dengan penambahan pengaman *groundsill* di bagian hilirnya. Data-data tersebut akan diambil di setiap variasi penelitian. Berikut ini data-data yang didapatkan dari percobaan yang sudah dilakukan.

5.1.1 Data Percobaan Tanpa Pengaman *Groundsill*

Terdapat tiga variasi ketinggian air hulu (h_0) pada percobaan ini, dimana h_0 yang digunakan sebesar 0,17 m, 0,175 m, dan 0,18 m. Data yang didapatkan dari masing-masing percobaan ini adalah sebagai berikut.

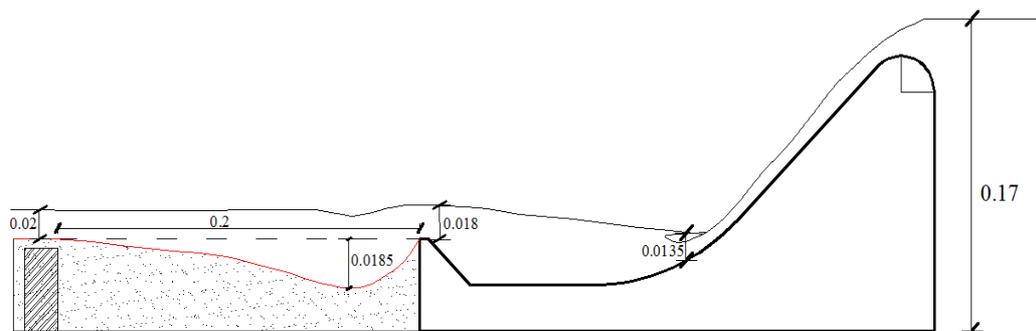
1. Tinggi air hilir (h_0) sebesar 0,17 m

Hasil pengamatan pada percobaan dengan variasi ketinggian air di hulu sebesar 0,17 m dapat dilihat pada Tabel 5.1 berikut.

Tabel 5.1 Pengamatan pada Percobaan TG1

h_0	V	t	Q	h_1	h_2	h_3	T	Y_m	L_m
m	m^3	detik	m^3/det	m	m	m	menit	m	m
0,17	0,01	17,42	0,00056976	0,0135	0,018	0,02	10	0,014	0,14
		20					0,016	0,16	
		30					0,017	0,17	
		40					0,018	0,18	
		50					0,0185	0,19	
		60					0,0185	0,2	

Dari data pada Tabel 5.1 dapat digambarkan pola aliran pada percobaan dengan $h_0 = 0,17$ m adalah seperti berikut.



Gambar 5.2 Pola Aliran pada Percobaan TG1

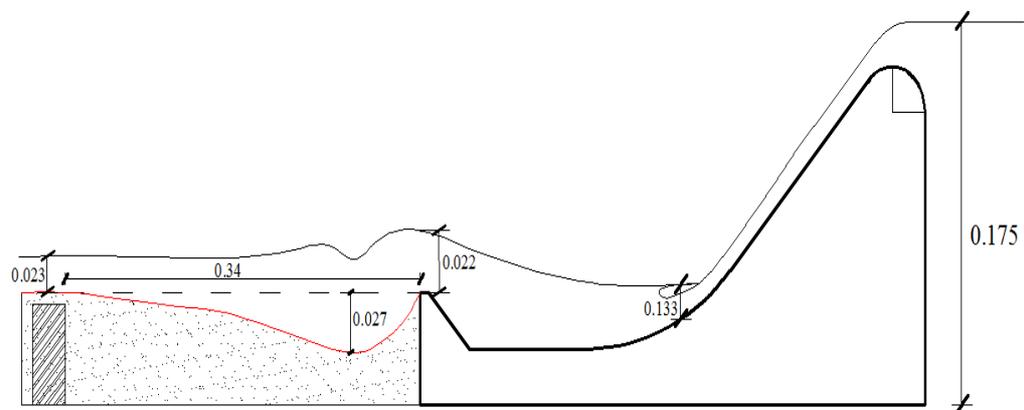
2. Tinggi air hilir (h_0) sebesar 0,175 m

Hasil pengamatan pada percobaan dengan variasi ketinggian air di hulu sebesar 0,175 m dapat dilihat pada Tabel 5.2 berikut.

Tabel 5.2 Pengamatan pada Percobaan TG2

h_0 m	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
0,175	0,01	13,6	0,00074584	0,0133	0,022	0,023	10	0,021	0,25
		20					0,024	0,27	
		30					0,026	0,295	
		40					0,027	0,31	
		50					0,027	0,032	
		60					0,027	0,34	

Dari data pada Tabel 5.2 dapat digambarkan pola aliran pada percobaan dengan $h_0 = 0,175$ m adalah seperti berikut.



Gambar 5.3 Pola Aliran pada Percobaan TG2

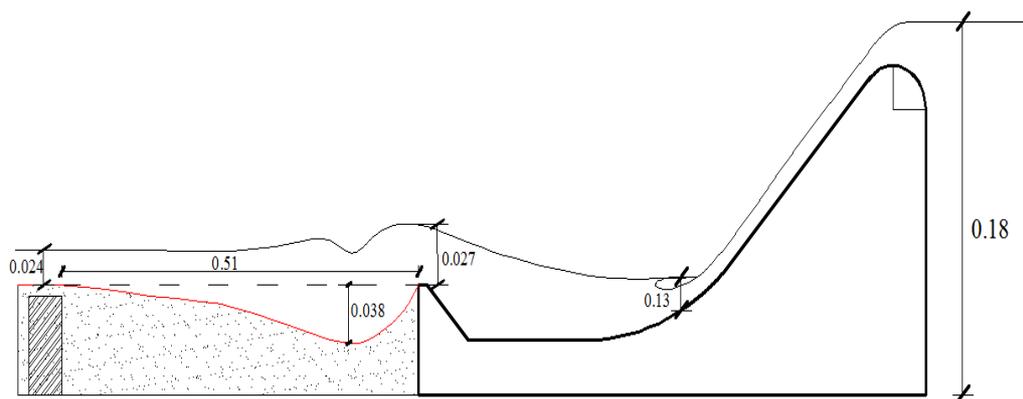
3. Tinggi air hilir (h_0) sebesar 0,18 m

Hasil pengamatan pada percobaan dengan variasi ketinggian air di hulu sebesar 0,18 m dapat dilihat pada Tabel 5.3 berikut.

Tabel 5.3 Pengamatan pada Percobaan TG3

h_0	V	t	Q	h_1	h_2	h_3	T	Y_m	L_m
m	m^3	detik	m^3/det	m	m	m	menit	m	m
0,18	0,01	9,96	0,00099739	0,013	0,027	0,024	10	0,031	0,38
							20	0,034	0,43
							30	0,036	0,46
		40					0,038	0,48	
		50					0,038	0,5	
		60					0,038	0,51	

Dari data pada Tabel 5.3 dapat digambarkan pola aliran pada percobaan dengan $h_0 = 0,18$ m adalah seperti berikut.

**Gambar 5.4 Pola Aliran pada Percobaan TG3**

5.1.2 Data Percobaan Dengan Pengaman *Groundsill*

Percobaan ini dilakukan hanya pada debit terbesar, yaitu pada saat tinggi air hulu (h_0) sebesar 0,18 m. Terdapat dua variasi dalam percobaan, dimana *groundsill* akan diletakkan di hilir bendung dengan jarak perletakkan sebesar jarak maksimum gerusan yang dialami dari semua percobaan tanpa pengaman *groundsill* (L_{max}) dan variasi kedua diletakkan dengan jarak setengah dari L_{max} . Data yang didapatkan dari masing-masing percobaan ini adalah sebagai berikut.

1. Tinggi air hilir (h_0) sebesar 0,18 m dengan pengaman *groundsill* sejauh L_{\max}
Hasil pengamatan pada percobaan dengan variasi ketinggian air di hulu sebesar 0,18 m dengan pengaman *groundsill* sejauh L_{\max} dapat dilihat pada Tabel 5.4 berikut.

Tabel 5.4 Pengamatan pada Percobaan DGL $_{\max}$

h_0	V	t	Q	h_1	h_2	h_3	T	Y_m	L_m
m	m^3	detik	m^3/det	m	m	m	menit	m	m
0,18	0,01	9,96	0,00099739	0,013	0,027	0,024	10	0,03	0,32
							20	0,031	0,35
		30					0,032	0,38	
		40					0,033	0,4	
		50					0,033	0,41	
		60					0,033	0,42	

2. Tinggi air hilir (h_0) sebesar 0,18 m dengan pengaman *groundsill* sejauh $1/2L_{\max}$
Hasil pengamatan pada percobaan dengan variasi ketinggian air di hulu sebesar 0,18 m dengan pengaman *groundsill* sejauh $1/2L_{\max}$ dapat dilihat pada Tabel 5.5 berikut.

Tabel 5.5 Pengamatan Pada Percobaan DG1/2L $_{\max}$

h_0	V	t	Q	h_1	h_2	h_3	T	Y_m	L_m
m	m^3	detik	m^3/det	m	m	m	menit	m	m
0,18	0,01	9,96	0,00099739	0,013	0,027	0,024	10	0,029	0,36
							20	0,031	0,39
		30					0,033	0,41	
		40					0,034	0,43	
		50					0,0345	0,45	
		60					0,0345	0,46	

5.1.3 Data Percobaan Analisis Saringan Agregat Halus

Analisis saringan dilakukan untuk mencari nilai diameter rata-rata (d_{50}) dari agregat halus yang digunakan sebagai sedimen dalam penelitian ini. Hasil analisis saringan dapat dilihat dalam Tabel 5.6.

Tabel 5.6 Pengamatan Analisis Saringan

Lubang Ayakan (mm)	Berat Tertinggal (gram)
40,00	0
20,00	0
10,00	0
4.75	0
2.36	30,4
1,20	64,1
0,60	165,5
0,30	135,1
0,15	89,8
Sisa	13,3
Jumlah	498,2

5.2 Analisis Data Penelitian

Data yang didapatkan harus dianalisis untuk mendapatkan hasil sesuai dengan yang dibutuhkan dalam penelitian. Penguraian analisis data akan disajikan satu sampel perhitungan saja dan perhitungan yang sama akan direkap dalam sebuah tabel. Beberapa sampel perhitungan yang akan diuraikan adalah perhitungan debit, kecepatan aliran hilir, angka Reynold (Re), angka Froude (Fr), dan kedalaman gerusan yang dihitung dengan metode Lacey.

5.2.1 Perhitungan Debit Aliran

Debit aliran dihitung setiap variasi dari h_0 . Perhitungan debit dilakukan sesuai hasil percobaan, dimana debit dihitung dengan fungsi antara volume tertampung (V) dan waktu penampungan setiap volume tersebut (t). Pengambilan

data waktu penampungan dilakukan sebanyak tiga kali, sehingga perhitungan nilai debit akan di rata-rata dari ketiga waktu tersebut.

1. Debit pada $h_0 = 0,17$ m

Perhitungan debit aliran pada $h_0 = 0,17$ m adalah sebagai berikut.

$$Q = \frac{\frac{V}{t_1} + \frac{V}{t_2} + \frac{V}{t_3}}{3} \quad (5.1)$$

$$Q = \frac{\frac{0,01}{17,42} + \frac{0,01}{17,42} + \frac{0,01}{17,82}}{3}$$

$$Q = 0,000569758 \text{ m}^3 / \text{s}$$

2. Debit pada $h_0 = 0,175$ m

Hasil perhitungan debit aliran pada $h_0 = 0,175$ m dapat dilihat pada Tabel 5.7.

Tabel 5.7 Hasil Perhitungan Debit Aliran dengan $h_0 = 0,175$ m

Kedalaman air hulu (h_0)	m	0,175		
Volume tertampung (V)	m^3	0,01		
waktu penampungan (t)	detik	13,6	13,45	13,18
Debit Nyata (Q)	m^3/det	0,000745838		

3. Debit pada $h_0 = 0,18$ m

Hasil perhitungan debit aliran pada $h_0 = 0,18$ m dapat dilihat pada Tabel 5.8.

Tabel 5.8 Hasil Perhitungan Debit Aliran dengan $h_0 = 0,18$ m

Kedalaman air hulu (h_0)	m	0,18		
Volume tertampung (V)	m^3	0,01		
waktu penampungan (t)	detik	9,96	10	10,12
Debit Nyata (Q)	m^3/det	0,000997386		

5.2.2 Perhitungan Kecepatan Aliran

Kecepatan aliran dihitung berdasarkan debit yang sudah didapatkan sebelumnya, suatu saluran merupakan fungsi dari debit (Q), luas penampang basah (A) dan kecepatan (v), persamaan tersebut sesuai dengan persamaan 3.6 yang sudah dibahas dalam bab sebelumnya.

1. Kecepatan aliran saat $h_0 = 0,17$ m

Perhitungan kecepatan aliran adalah sebagai berikut.

- a. Kecepatan aliran di kolam olak

$$Q = A_1 \times v_1$$

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

$$v_1 = \frac{Q}{bxh_1}$$

Diketahui lebar saluran (b) = 0,1 m

$$v_1 = \frac{0,000569758}{0,1 \times 0,0135}$$

$$v_1 = 0,42204268 \text{ m/s}$$

- b. Kecepatan aliran di *end sill*

$$Q = A_2 \times v_2$$

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

$$v_2 = \frac{Q}{bxh_2}$$

Diketahui lebar saluran (b) = 0,1 m

$$v_2 = \frac{0,000569758}{0,1 \times 0,018}$$

$$v_2 = 0,31653201 \text{ m/s}$$

2. Rekap hasil perhitungan kecepatan aliran

Hasil perhitungan kecepatan aliran pada dapat dilihat pada Tabel 5.9 dan Tabel 5.10.

a. Rekap hasil kecepatan aliran di kolam olak

Tabel 5.9 Rekap Perhitungan Kecepatan Aliran di Kolam Olak

Percobaan ke	h_0 m	Debit Percobaan (Q) m^3/s	Kedalaman Air di Kolam Olak (h_1) m	Kecepatan Aliran di Kolam Olak (v_1) m/s
1	0,17	0,000569758	0,0135	0,42204268
2	0,175	0,000745838	0,0133	0,560780422
3	0,18	0,000997386	0,013	0,767220091

b. Rekap hasil kecepatan aliran di kolam olak

Tabel 5.10 Rekap Perhitungan Kecepatan Aliran di *End Sill*

Percobaan ke	h_0 m	Debit Percobaan (Q) m^3/s	Kedalaman Air di <i>End Sill</i> (h_2) m	Kecepatan Aliran di <i>End Sill</i> (v_2) m/s
1	0,17	0,000569758	0,0135	0,42204268
2	0,175	0,000745838	0,0133	0,560780422
3	0,18	0,000997386	0,013	0,767220091

5.2.3 Perhitungan Angka Reynold (Re) di Sekitar Gerusan

Perhitungan angka Reynold (Re) yang dilakukan hanya pada bagian hilir karena dibagian hilir merupakan bagian yang diamati gerusanya. Hasil perhitungan angka Reynold sangat dipengaruhi oleh nilai kecepatan aliran di daerah sekitar gerusan yang letaknya dekat dengan *end sill* (v_2) dan dimensi penampang basah di hilir. Persamaan untuk mencari angka Reynold dapat dilihat dalam persamaan 3.1.

1. Perhitungan angka Reynold pada $h_0 = 0,17$ m

Perhitungan angka Reynold adalah sebagai berikut.

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

- a. mencari nilai R :

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

$$R = \frac{bxh_2}{b + (2h_2)}$$

$$R = \frac{0,1 \times 0,018}{0,1 + (2 \times 0,018)}$$

$$R = 0,0132353m$$

- b. besarnya nilai ν untuk air pada suhu 20° C adalah sebesar $1 \times 10^{-6} \text{ m}^2/\text{s}$ maka,

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

$$Re = \frac{0,31653201 \times 0,0132353}{1 \times 10^{-6}}$$

$$Re = 4189,394$$

2. Rekap hasil perhitungan angka *Reynold*

Hasil perhitungan angka Reynold dapat dilihat pada Tabel 5.11.

Tabel 5.11 Rekap Perhitungan Angka Reynold (Re)

Percobaan ke	h_0 m	Kedalaman Air di <i>end sill</i> m	Kecepatan Aliran di <i>end sill</i> (v_2) m/s	Jari-Jari Hidrolik (R) m	Angka Reynold (Re)
1	0,17	0,018	0,31653201	0,0132353	4189,394
2	0,175	0,022	0,339017255	0,0152778	5179,43
3	0,18	0,027	0,369402266	0,0175325	6476,533

5.2.4 Perhitungan Angka Froude (Fr)

Perhitungan angka Froude (Fr) yang dilakukan pada bagian kolam olak dan pada bagian sekitar gerusan atau di daerah *end sill* karena dibagian ini merupakan bagian yang berpengaruh terhadap terjadinya gerusan. Hasil perhitungan angka Froude sangat dipengaruhi oleh nilai kecepatan aliran di kolam olak (v_1) dan kecepatan aliran di *end sill* (v_2) serta kedalaman aliran di kolam olak (h_1) dan kedalaman aliran di *end sill* (h_2). Persamaan perhitungan angka Froude dapat dilihat dalam Persamaan 3.2.

1. Perhitungan angka Froude (Fr) pada $h_0 = 0,17$ m

Perhitungan angka Froude adalah sebagai berikut.

- a. Angka Froude di kolam olak

$$Fr_1 = \frac{v_1}{\sqrt{g \cdot D_1}}$$

dalam saluran persegi, nilai $D_1 = h_1$

$$Fr_1 = \frac{0,42204268}{\sqrt{9,81 \times 0,0135}}$$

$$Fr_1 = 1,1597249$$

- b. Angka Froude di *end sill*

$$Fr_2 = \frac{v_2}{\sqrt{g \cdot D_2}}$$

dalam saluran persegi, nilai $D_2 = h_2$

$$Fr_1 = \frac{0,31653201}{\sqrt{9,81 \times 0,018}}$$

$$Fr_1 = 0,7532634$$

2. Rekap hasil perhitungan angka *Froude*

Hasil perhitungan kecepatan aliran pada dapat dilihat pada Tabel 5.12 dan Tabel 5.13.

Tabel 5.12 Rekap Perhitungan Angka Froude (Fr) di Kolam Olak

Percobaan ke	h_0 m	Kedalaman Air di kolam olak m	Kecepatan Aliran di kolam olak (v_1) m/s	Angka Froude (Fr)
1	0,17	0,0135	0,42204268	1,1597249
2	0,175	0,0133	0,560780422	1,5525033
3	0,18	0,013	0,767220091	2,1483933

Tabel 5.13 Rekap Perhitungan Angka Froude (Fr) di *End Sill*

Percobaan ke	h_0 m	Kedalaman Air di <i>end sill</i> m	Kecepatan Aliran di <i>end sill</i> (v_2) m/s	Angka Froude (Fr)
1	0,17	0,018	0,31653201	0,7532634
2	0,175	0,022	0,339017255	0,7297531
3	0,18	0,027	0,369402266	0,7177665

5.2.5 Perhitungan Kedalaman Gerusan Menggunakan Metoda Lacey

Menghitung kedalaman gerusan secara teoritis terdapat banyak metode untuk menghitungnya, namun dalam penelitian ini akan dipilih satu metode dalam menghitung kedalaman gerusan secara teoritis dengan metode Lacey. Dalam metode ini, parameter yang berpengaruh adalah besarnya nilai debit (Q) dan diaemer rata-rata butiran sedimen (d_{50}) seperti yang ditunjukkan pada Persamaan 3.14. Sebelum menghitung kedalaman gerusan, dibawah ini akan diuraikan penjelasan dalam mencari nilai diameter rata-rata butiran sedimen (d_{50}).

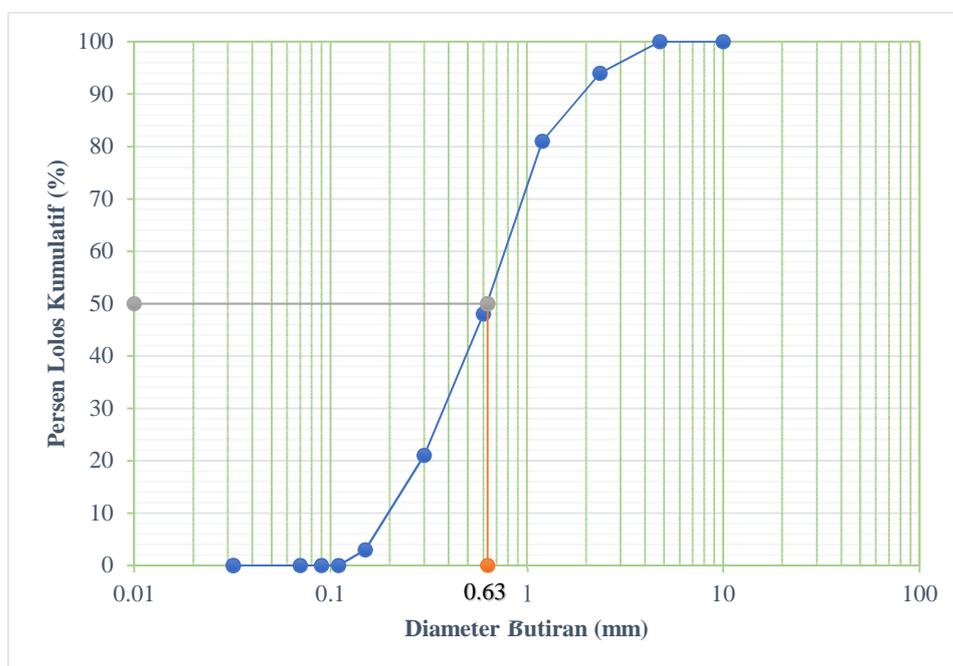
1. Mencari nilai diameter rata-rata butiran sedimen (d_{50})

Dari pengujian analisis saringan yang dilakukan di laboratorium didapatkan hasil analisis saringan seperti pada Tabel 5.14 berikut.

Tabel 5.14 Hasil Analisis Saringan

No	Diameter Lubang (mm)	Berat Tertinggal (gram)	persen lolos (%)	persen tertahan (%)
1	0,032	0	0	100
2	0,032	0	0	100
3	0,07	0	0	100
4	0,09	0	0	100
5	0,11	0	0	100
6	0,15	89,8	3	97
7	0,3	135,1	21	79
8	0,6	165,5	48	52
9	1,2	64,1	81	19
10	2,36	30,4	94	6
11	4,75	0	100	0
12	10	0	100	0

Dari tabel 5.12 dapat dibuat grafik logaritma untuk mencari diameter rata-rata butiran sedimen (d_{50}).

Gambar 5.5 Penentuan Ukuran Diameter Rata-Rata Sedimen (d_{50})

Dilihat dari Gambar 5.5 nilai d_{50} dari agregat halus yang digunakan dalam penelitian ini adalah sebesar 0,63 mm.

2. Perhitungan kedalaman gerusan dengan metode Lacey

a. Saat ketinggian muka air hulu $h_0 = 0,17\text{m}$

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

nilai $f = 1,76 d_{50}^{0.5}$

$$f = 1,76 \times 0,00063^{0.5}$$

$$f = 0,044176$$

maka,

$$R = 0,47\left(\frac{0,000569758}{0,044176}\right)^{1/3}$$

$$R = 0,1102217\text{m}$$

b. Rekap hasil perhitungan kedalaman gerusan dengan metode Lacey

Tabel 5.15 Hasil Perhitungan Kedalaman Gerusan Metode Lacey

Percobaan ke	h_0 m	Debit Percobaan (Q) m^3/s	Faktor Lumpur Lacey(f)	Kedalaman Gerusan Metode Lacey (R) m
1	0,17	0,000569758	0,044175649	0,110221654
2	0,175	0,000745838	0,044175649	0,120573455
3	0,18	0,000997386	0,044175649	0,13283871

5.3 Hasil Penelitian dan Pembahasan

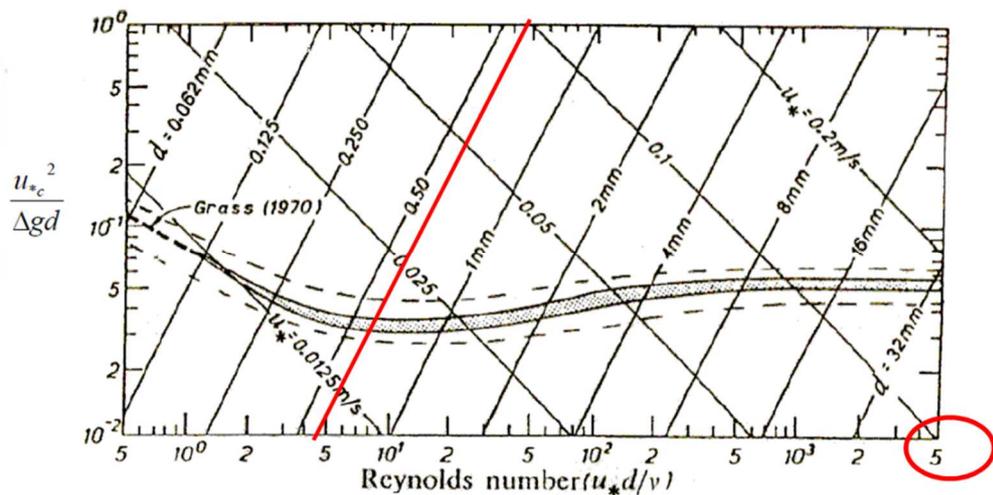
5.3.1 Karakteristik Aliran

Karakteristik aliran yang ditinjau dalam penelitian ini adalah karakteristik dibagian hilir dari bendung. Dari percobaan pengamatan gerusan akan dibahas karakteristik aliran berdasarkan angka Reynold (Re) dan angka Froude (Fr). Pembahasan karakteristik aliran adalah seperti berikut.

1. Karakteristik aliran berdasarkan angka Reynold

Dalihat dari Tabel 5.10 perhitungan angka Reynold menghasilkan nilai angka Reynold (Re) > 1000 pada semua variasi debit. Menurut Triatmodjo (2013), aliran melalui saluran terbuka akan turbulen apabila angka Reynold (Re) >

1000 dan laminar apabila angka Reynold (Re) < 500 . Maka tipe aliran berdasarkan angka Reynold (Re) pada percobaan ini menunjukkan aliran yang turbulen pada semua variasi debit. Pengaruh angka Reynold terhadap gerusan dapat dilihat hubungannya dengan menggunakan diagram Shield.



Gambar 5.6 Menghubungkan Angka Reynold dengan Diameter Butiran Menggunakan Diagram Shield

Diagram Shield yang menghubungkan angka Reynold (Re) dengan diameter butiran rata-rata (d_{50}) dapat dilihat pada Gambar 5.6. Dari ketiga variasi debit yang menghasilkan angka Reynold sebesar 4000 sampai dengan 6000 ditunjukkan pada sumbu x yang ada dalam lingkaran merah. Hasil angka Reynold akan di hubungkan dengan diameter butiran rata-rata (d_{50}) yang nilainya sebesar 0,63 mm yang digambarkan dengan garis diagonal warna merah. Dari hubungan kedua parameter tersebut yang diplot pada diagram Shield menunjukkan bahwa percobaan dengan semua variasi debit menunjukkan bahwa butiran sedimen dapat bergerak.

2. Karakteristik aliran berdasarkan angka Froude

Karakteristik aliran yang lain yang diamati dalam penelitian ini adalah menghitung Froude (Fr) pada aliran di kolam olak dan pada *end sill* bendung. Pengamatan angka Froude pada kedua titik tersebut dimaksudkan untuk mengetahui terjadinya loncat air. Dilihat dari Tabel 5.12 yang menunjukkan hasil perhitungan angka Froude di kolam olak, perhitungan angka Froude menghasilkan nilai angka Froude (Fr) > 1 pada semua variasi debit. Menurut

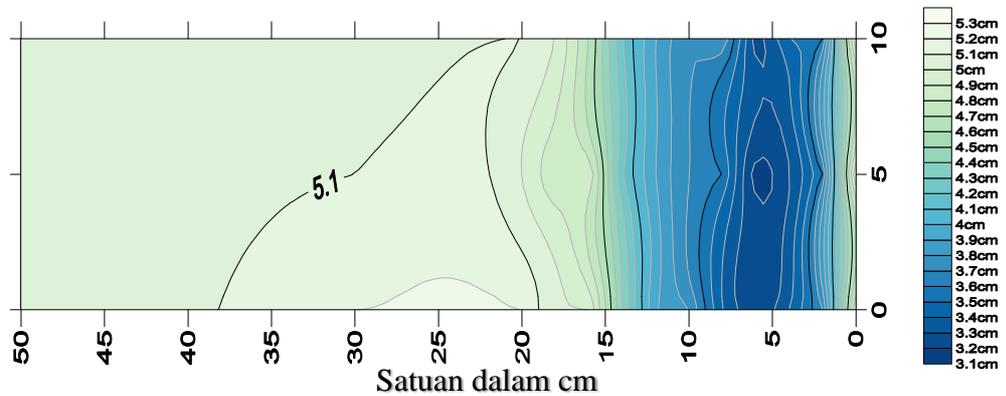
Triatmodjo (2013) suatu aliran akan sub kritis apabila $Fr < 1$, kritis apabila $Fr = 1$, dan super kritis apabila $Fr > 1$. Maka tipe aliran berdasarkan angka Froude (Fr) pada kolam olak menunjukkan aliran yang super kritis pada semua variasi debit. Sedangkan perhitungan angka Froude yang terjadi pada sekitar gerusan yang bisa diamati di daerah *end sill* dapat dilihat dari Tabel 5.13, dari hasil perhitungan menunjukkan bahwa angka Froude di *end sill* menghasilkan nilai angka Froude (Fr) < 1 pada semua variasi debit. Maka tipe aliran berdasarkan angka Froude (Fr) pada daerah *end sill* menunjukkan aliran sub kritis pada semua variasi debit. Dari hasil pengamatan angka Froude (Fr) menunjukkan adanya perubahan kondisi aliran dari super kritis ke sub kritis. Akibatnya, aliran akan mengalami kejut-normal atau loncatan hidraulik yaitu suatu aliran yang mengalami perubahan dari aliran super kritis menjadi sub kritis (Frank M, White 2001) dalam (Fitriana, N. 2014).

5.3.2 Pola Gerusan di Hilir Bendung

Gambar pola gerusan dibuat berdasarkan data kontur dari percobaan di laboratorium. Gambar kontur dibuat dengan *Software Surfer v13.4.553*. Dari hasil pengamatan yang telah dilakukan, gerusan dimulai dari awal jatuhnya loncat air dari ujung bendung kemudian dengan semakin lama berjalannya pengaliran, gerusan mulai memanjang ke arah hilir dan semakin lama semakin dalam. Pola gerusan diambil dengan mengambil data kontur 3 dimensi (sumbu x, sumbu y, dan sumbu z) titik pengambilan kedalaman gerusan berdasarkan dengan hasil gerusan setelah pengaliran, sedimen pasir yang memiliki permukaan kasar akan diambil banyak titik pengukuran, dan daerah sedimen pasir yang permukaannya halus akan diambil titik pengukuran perwakilan saja. Dari hasil percobaan dapat dilihat dari Gambar 5.7 sampai dengan Gambar 5.12.

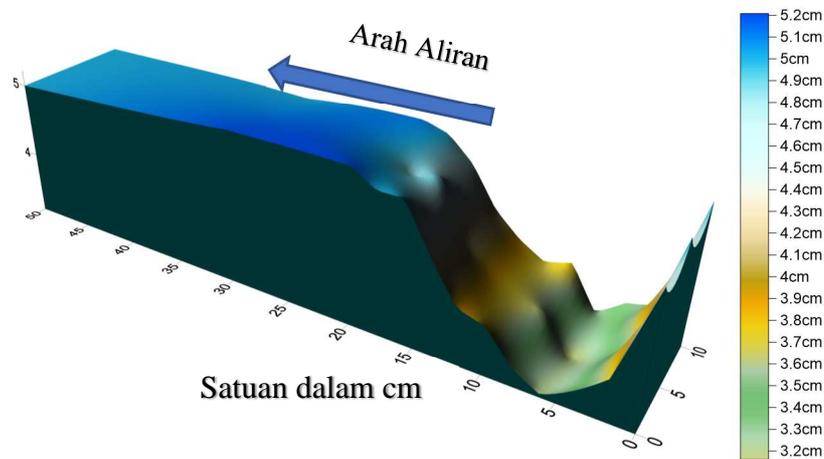
1. Kontur dan pola gerusan pada percobaan TG1

Dari pengambilan data kontur gerusan pada percobaan TG1 didapatkan hasil gambar kontur seperti pada Gambar 5.7 berikut.



Gambar 5.7 Kontur Gerusan pada percobaan TG1

Dari pengambilan data kontur gerusan pada percobaan TG1, pola gerusan secara tiga dimensi dapat dilihat pada Gambar 5.8 berikut.



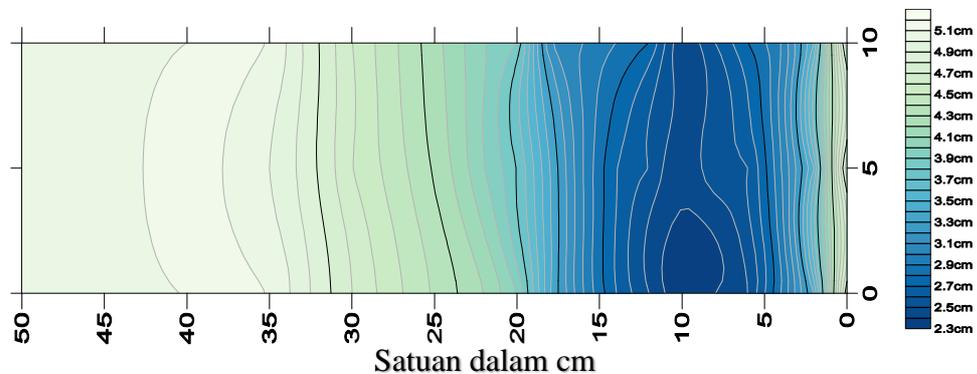
Gambar 5.8 Pola Gerusan Tiga Dimensi pada Percobaan TG1

Dilihat dari Gambar 5.7 dan 5.8, gambar tersebut menunjukkan pola gerusan yang terjadi pada percobaan TG1. Arah aliran dapat dilihat pada Gambar 5.8, dan data kontur diambil sejauh 50 cm dari ujung bendung. Dari Gambar 5.8 dapat dilihat bahwa kedalaman gerusan maksimum terjadi pada jarak 5 cm sampai 6 cm dari ujung bendung, hal ini terjadi karena di daerah tersebut

merupakan tempat jatuhnya air yg terjadi akibat adanya loncatan hidrolis di ujung bendung karena adanya *end sill* di ujung bendungnya. Pada percobaan TG1 gerusan yang terjadi sejauh 20 cm dari ujung bendung, setelah jarak 20 cm aliran sedimen sudah mulai mengendap sehingga terjadi pengendapan di daerah tersebut.

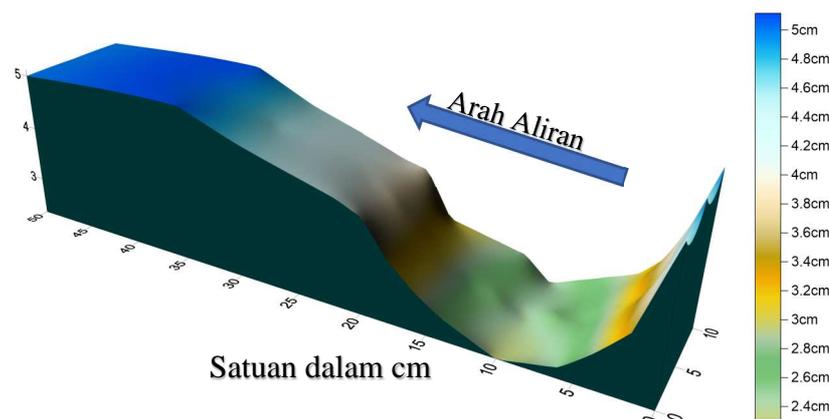
2. Kontur dan pola gerusan pada percobaan TG2

Dari pengambilan data kontur gerusan pada percobaan TG2 didapatkan hasil gambar kontur seperti pada Gambar 5.9 berikut.



Gambar 5.9 Kontur Gerusan pada Percobaan TG2

Dari pengambilan data kontur gerusan pada percobaan TG2, pola gerusan secara tiga dimensi dapat dilihat pada Gambar 5.10 berikut

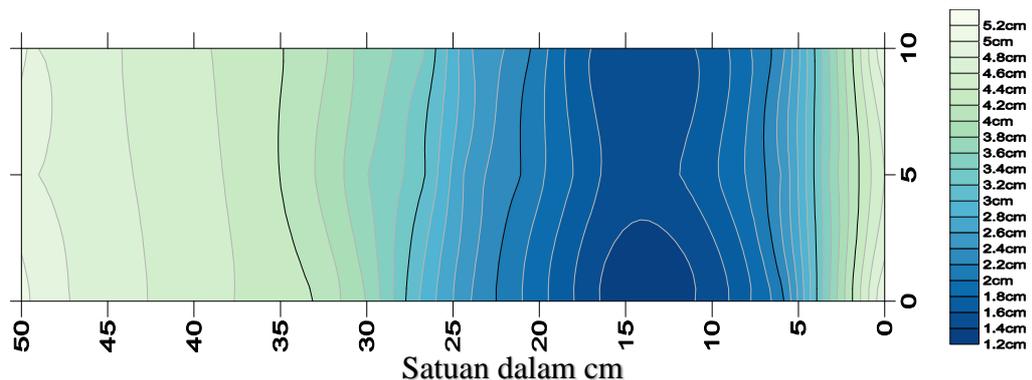


Gambar 5.10 Pola Gerusan Tiga Dimensi pada Percobaan TG2

Dilihat dari Gambar 5.9 dan 5.10, gambar tersebut menunjukkan pola gerusan yang terjadi pada percobaan TG2. Arah aliran dapat dilihat pada Gambar 5.10, dan data kontur diambil sejauh 50 cm dari ujung bendung. Dari Gambar 5.10 dapat dilihat bahwa kedalaman gerusan maksimum terjadi pada jarak 9 cm sampai 11 cm dari ujung bendung, hal ini terjadi karena di daerah tersebut merupakan tempat jatuhnya air yg terjadi akibat adanya loncatan hidrolisk di ujung bendung karena adanya *end sill* di ujung bendungnya. Pada percobaan TG2 gerusan yang terjadi sejauh 34 cm dari ujung bendung, setelah jarak 34 cm aliran sedimen sudah mulai mengendap sehingga terjadi pengendapan di daerah tersebut.

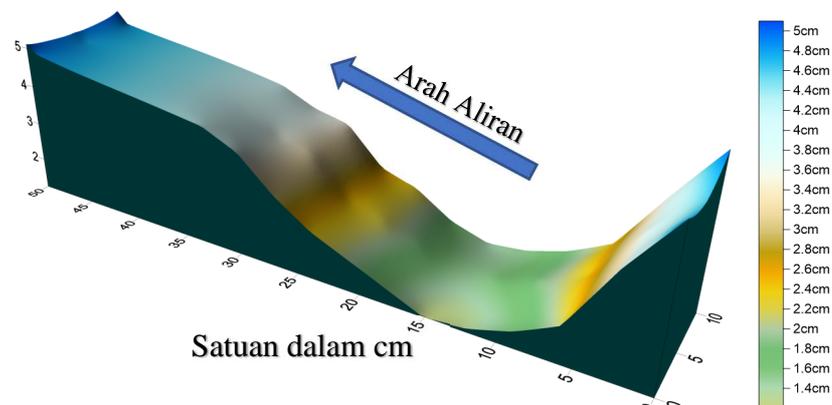
3. Kontur dan pola gerusan pada percobaan TG3

Dari pengambilan data kontur gerusan pada percobaan TG3 didapatkan hasil gambar kontur seperti pada Gambar 5.11 berikut.



Gambar 5.11 Kontur Gerusan pada Percobaan TG3

Dari pengambilan data kontur gerusan pada percobaan TG3, pola gerusan secara tiga dimensi dapat dilihat pada Gambar 5.12 berikut.

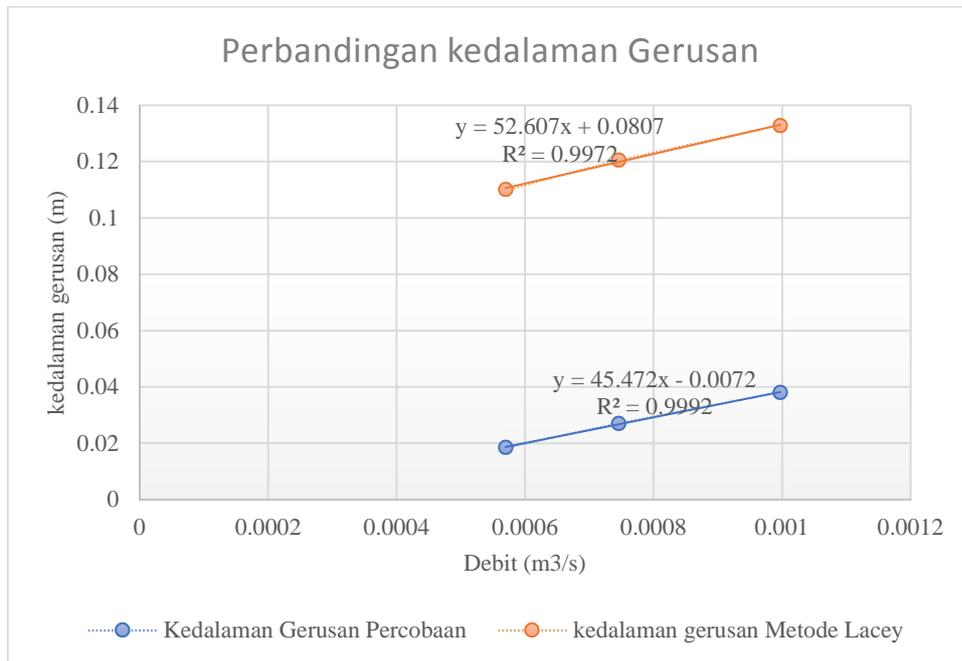


Gambar 5.12 Pola Gerusan Tiga Dimensi pada Percobaan TG3

Dilihat dari Gambar 5.11 dan 5.12, gambar tersebut menunjukkan pola gerusan yang terjadi pada Percobaan TG3. Arah aliran dapat dilihat pada Gambar 5.12, dan data kontur diambil sejauh 50 cm dari ujung bendung. Dari Gambar 5.12 dapat dilihat bahwa kedalaman gerusan maksimum terjadi pada jarak 13 cm sampai 15 cm dari ujung bendung, hal ini terjadi karena di daerah tersebut merupakan tempat jatuhnya air yg terjadi akibat adanya loncatan hidrolis di ujung bendung karena adanya *end sill* di ujung bendungnya. Pada percobaan TG3 gerusan yang terjadi sejauh 51 cm dari ujung bendung, setelah jarak 50 cm aliran sedimen sudah mulai mengendap sehingga terjadi pengendapan di daerah tersebut.

5.3.3 Hubungan Kedalaman Gerusan dengan Variasi Debit

Kedalaman gerusan diamati dengan dua metode, antara lain dengan pengamatan langsung secara visual selama percobaan dan pengamatan secara teoritis dengan menggunakan metode Lacey. Hasil kedalaman gerusan dari kedua metode tersebut yang dihubungkan dengan variasi debit pengaliran dapat dilihat pada Gambar 5.13.



Gambar 5.13 Hubungan Kedalaman Gerusan dengan Debit Aliran

Gambar 5.13 menunjukkan hubungan antara kedalaman gerusan terhadap debit. Sumbu x menunjukkan nilai debit aliran sedangkan sumbu y menunjukkan nilai kedalaman gerusan. Dari gambar di atas menunjukkan bahwa semakin besar debit aliran maka akan semakin besar pula kedalaman gerusan yang terjadi di hilir bendung. Hasil pengamatan tersebut sesuai dengan persamaan Lacey (Persamaan 3.9) yang menunjukkan nilai kedalaman gerusan berbanding lurus dengan nilai debit.

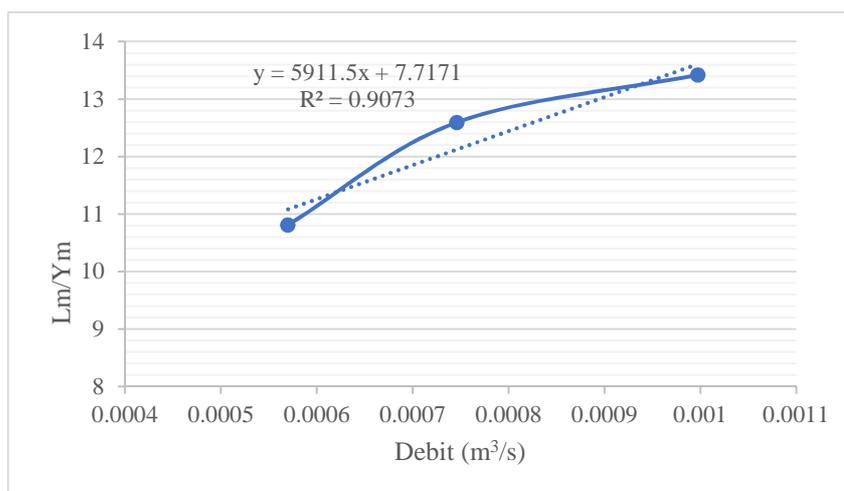
Dilihat dari Gambar 5.13, terjadi perbedaan yang sangat signifikan antara pengamatan kedalaman gerusan di hilir bendung secara visual hasil percobaan di Laboratorium dengan kedalaman gerusan yang dihitung dengan metode Lacey. Pada percobaan TG1 terjadi perbedaan relatif sebesar 83,21564 %, pada percobaan TG2 terjadi perbedaan relatif sebesar 77,607 %, dan pada percobaan TG3 terjadi perbedaan relatif sebesar 71,39388 %. Perbedaan terjadi karena dalam perhitungan kedalaman gerusan metode Lacey parameter yang berpengaruh hanyalah debit aliran dan faktor lumpur, sehingga hasil yang didapat merupakan kedalaman gerusan secara umum. Sedangkan pada pengamatan kedalaman gerusan secara visual dari percobaan, hasil yang didapatkan lebih kecil, karena dalam percobaan

yang dilakukan di Laboratorium, bangunan bendung sudah dilengkapi dengan peredam energi berupa kolam olak.

Dari Gambar 5.13 di atas koefisien korelasi hubungan kedalaman kedalaman gerusan dengan debit pada pengamatan secara visual di Laboratorium menunjukkan nilai 0,9992 dan koefisien korelasi hubungan kedalaman gerusan dengan debit pada perhitungan dengan metode Lacey menunjukkan nilai 0,9972. Hal ini menunjukkan bahwa hubungan kedalaman gerusan dengan debit aliran mempunyai hubungan yang sangat erat.

5.3.4 Hubungan Kedalaman Gerusan dengan Panjang Gerusan Terhadap Debit

Dari hasil analisis data yang dilakukan, didapatkan hasil hubungan kedalaman gerusan dengan panjang gerusan terhadap debit dapat dilihat pada Gambar 5.14 berikut.

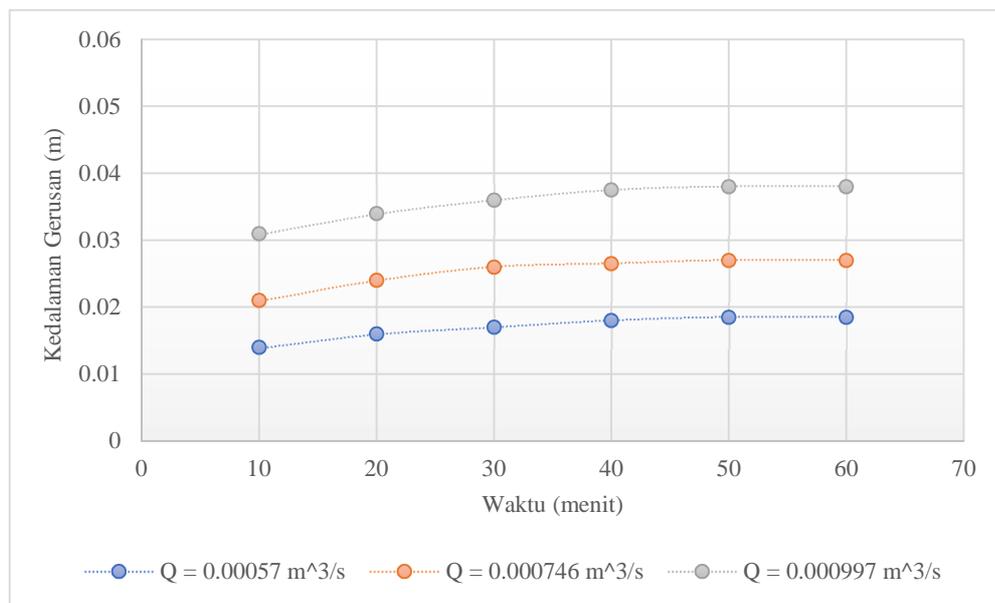


Gambar 5.14 Hubungan Kedalaman Gerusan dengan Panjang Gerusan Terhadap Debit

Gambar 5.14 menunjukkan perbandingan antara kedalaman gerusan dengan panjang gerusan terhadap variasi debit, semakin besar debit semakin besar pula panjang gerusan dengan kedalaman gerusanya. Akan tetapi penambahan panjang gerusan lebih besar dibandingkan penambahan kedalaman gerusan. Dengan angka korelasi sebesar 0,9073 menunjukkan bahwa kedalaman gerusan dengan panjang gerusan sangat erat hubungannya dengan debit aliran.

5.3.5 Hubungan Kedalaman Gerusan Terhadap waktu

Pengamatan gerusan dilakukan dengan pengaliran air selama 60 menit dari setiap variasi debit, dengan setiap interval waktu pengaliran 10 menit dilakukan pengambilan data kedalaman gerusan. Dari hasil pengamatan kedalaman gerusan terhadap waktu pengaliran, hubungan dari kedua parameter tersebut dapat dilihat pada Gambar 5.15 berikut.



Gambar 5.15 Hubungan Kedalaman Gerusan Terhadap Waktu

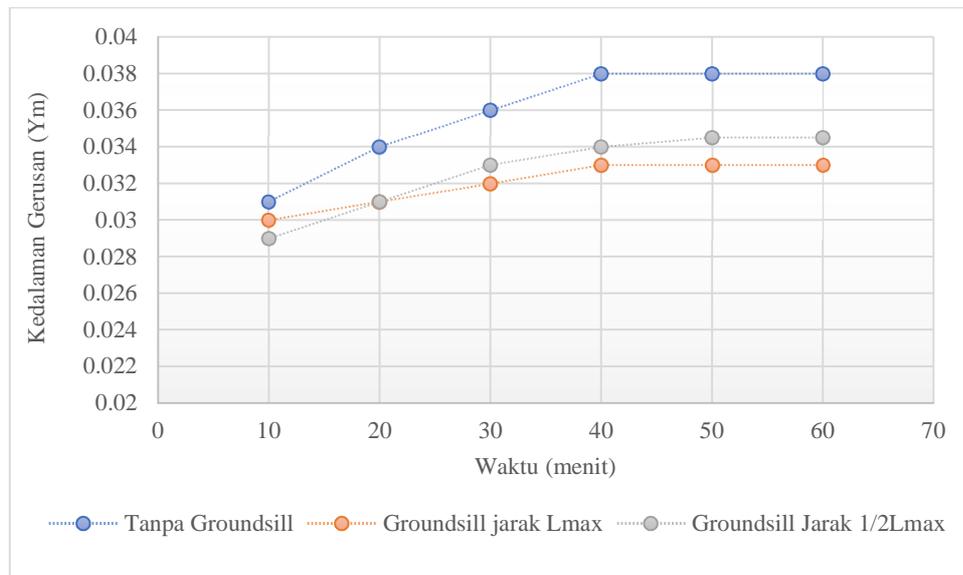
Berdasarkan pengamatan saat percobaan, hubungan kedalaman gerusan terhadap waktu dapat diketahui dari Gambar 5.15 di atas. Kedalaman gerusan maksimum dilihat di satu titik yang memiliki kedalaman gerusan terbesar. Pengukuran kedalaman gerusan dilakukan dengan ketelitian 0.5 mm, sehingga perpindahan butiran yang berdiameter kurang dari 0.5 mm sangat mungkin untuk tidak terbaca. Peningkatan gerusan terlihat begitu besar di awal pengaliran, kemudian semakin lama pengaliran, peningkatan kedalaman gerusan semakin mengecil.

Pengamatan kedalaman gerusan dilakukan dengan pengaliran selama 60 menit, kedalaman gerusan diamati setiap interval waktu 10 menit. Dari hasil pengamatan terlihat bahwa saat mencapai waktu 50 menit pengaliran sudah terjadi keseimbangan. Artinya kedalaman gerusan maksimum terjadi di menit 50.

Hubungan dari kedalaman gerusan dengan waktu yang terjadi selama pengamatan menunjukkan hubungan fungsi non-linier.

5.3.6 Pengaruh Proteksi *Groundsill* Terhadap Pola Gerusan

Dari percobaan pengamatan gerusan yang dilakukan tanpa pengaman *groundsill*, didapatkan pola gerusan seperti yang sudah dijelaskan dalam sub-bab sebelumnya. Percobaan dengan proteksi *groundsill* dilakukan hanya pada debit terbesar dari ketiga variasi debit. Percobaan ini dilakukan dengan dua variasi, yaitu *groundsill* diletakkan sejauh panjang gerusan maksimal yang terjadi dari debit terbesar (L_{max}), dan setengah dari panjang gerusan maksimal yang terjadi dari debit terbesar ($1/2 L_{max}$). Dari percobaan tanpa *groundsill* didapatkan L_{max} pada debit $0,000997386 \text{ m}^3/\text{s}$ adalah sebesar 0.51 m . Hasil perbandingan kedalaman gerusan sebelum dan sesudah diproteksi *groundsill* dapat dilihat pada Gambar 5.14.



Gambar 5.16 Perbandingan Kedalaman Gerusan Sebelum Ada Proteksi *Groundsill* dan Sesudah Ada Proteksi *Groundsill*

Dari Gambar 5.16 dapat dilihat bahwa proteksi *groundsill* dapat mereduksi kedalaman gerusan. Hal ini disebabkan karena dengan adanya *groundsill*, transport sedimen didasar aliran tertahan oleh *groundsill*. Adapun besarnya reduksi kedalaman gerusan dan panjang gerusan dengan adanya proteksi *groundsill* dapat dilihat pada Tabel 5.14 dan Tabel 5.15.

Tabel 5.16 Nilai Reduksi Kedalaman Gerusan Dengan Proteksi *Groundsill*

Waktu pengaliran	Kedalaman Gerusan Percobaan	Kedalaman Gerusan dengan perlindungan <i>groundsill</i> jarak L_{max}	Reduksi	Kedalaman Gerusan dengan perlindungan <i>groundsill</i> jarak $1/2L_{max}$	Reduksi
s	m	m	%	m	%
10	0,031	0,03	3,2258	0,029	6,4516
20	0,034	0,031	8,8235	0,031	8,8235
30	0,036	0,032	11,1111	0,033	8,3333
40	0,038	0,033	13,1579	0,034	10,5263
50	0,038	0,033	13,1579	0,0345	9,2105
60	0,038	0,033	13,1579	0,0345	9,2105

Tabel 5.17 Nilai Reduksi Panjang Gerusan Dengan Proteksi *Groundsill*

Waktu pengaliran	Panjang Gerusan	Panjang Gerusan dengan perlindungan <i>groundsill</i> jarak L_{max}	Reduksi	Panjang Gerusan dengan perlindungan <i>groundsill</i> jarak $1/2 L_{max}$	Reduksi
s	m	m	%	m	%
10	0,38	0,32	15,7895	0,36	5,2632
20	0,43	0,35	18,6047	0,39	9,3023
30	0,46	0,38	17,3913	0,41	10,8696
40	0,48	0,4	16,6667	0,43	10,4167
50	0,5	0,41	18	0,45	10
60	0,51	0,42	17,6471	0,46	9,8039

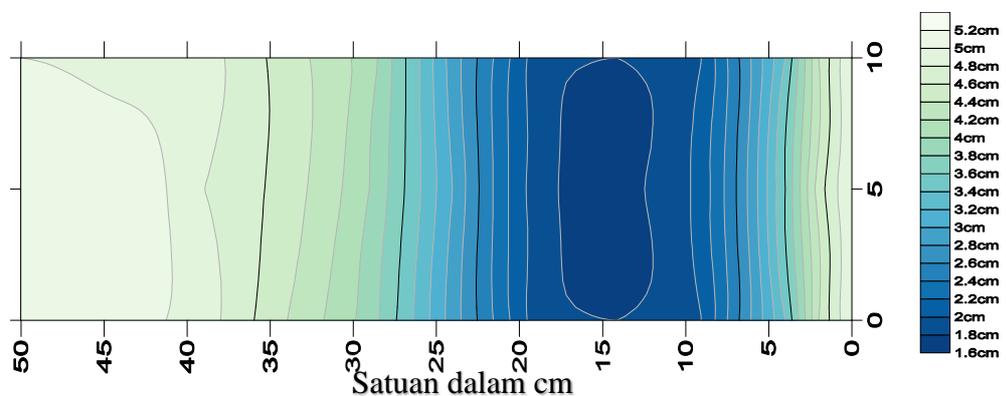
5.3.7 Pola Gerusan di Hilir Bendung dengan Proteksi *Groundsill*

Gambar pola gerusan setelah proteksi *groundsill* dibuat berdasarkan data kontur dari percobaan di laboratorium. Gambar kontur dibuat dengan *Software Surfer v13.4.553*. Dari hasil pengamatan yang telah dilakukan, proses terjadinya gerusan sebagian besar sama dengan proses gerusan yang terjadi pada percobaan tanpa proteksi *groundsill*. Aliran sedimen di daerah hulu *groundsill* lebih tenang

dibandingkan dengan sebelum ada *groundsill* dan gerusan hanya terjadi pada sediman yang berada di atas permukaan *groundsill*, karena *groundsill* yang digunakan dalam penelitian ini lebih rendah dari ketebalan pasir yang digunakan. Dari hasil percobaan dengan proteksi *groundsill*, pola gerusan dapat dilihat dari Gambar 5.17 sampai dengan Gambar 5.20.

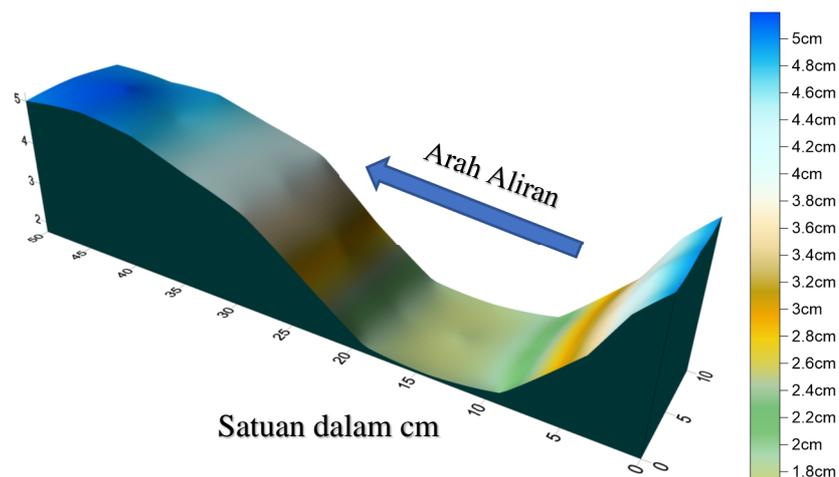
1. Kontur dan pola gerusan pada percobaan DG L_{max}

Dari pengambilan data kontur gerusan pada percobaan DG L_{max} didapatkan hasil gambar kontur seperti pada Gambar 5.17 berikut.



Gambar 5.17 Kontur Gerusan pada Percobaan DG L_{max}

Dari pengambilan data kontur gerusan pada percobaan DG L_{max}, pola gerusan secara tiga dimensi dapat dilihat pada Gambar 5.18 berikut.

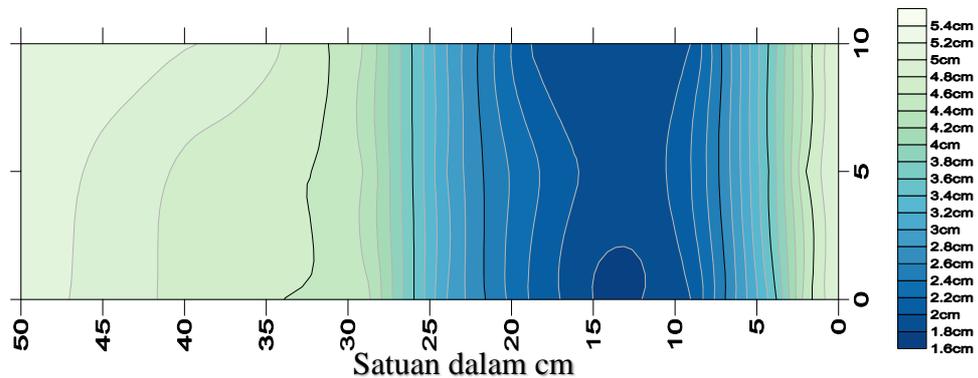


Gambar 5.18 Pola Gerusan Tiga Dimensi pada Percobaan DG L_{max}

Dilihat dari Gambar 5.17 dan 5.18, gambar tersebut menunjukkan pola gerusan yang terjadi setelah dialiri aliran dengan debit $0,000997386 \text{ m}^3/\text{s}$ selama 60 menit yang di hilir bendung terdapat proteksi *groundsill* dengan jarak sejauh 0,51 m. Arah aliran dapat dilihat pada Gambar 5.18, dan data kontur diambil sejauh 50 cm dari ujung bendung. Dari gambar di atas dapat dilihat adanya perubahan lebih dangkalnya kedalaman gerusan yang terjadi pada percobaan ini. Dari Gambar 5.18 terlihat bahwa panjang gerusan yang terjadi dari percobaan ini sebesar 0,42 m. Pada jarak lebih dari 0,42 m sudah mulai terjadi pengendapan sedimen, hal ini disebabkan karena sedimen dasar saluran tertahan oleh adanya *groundsill* yang diletakkan pada jarak 0,51 m dari bendung.

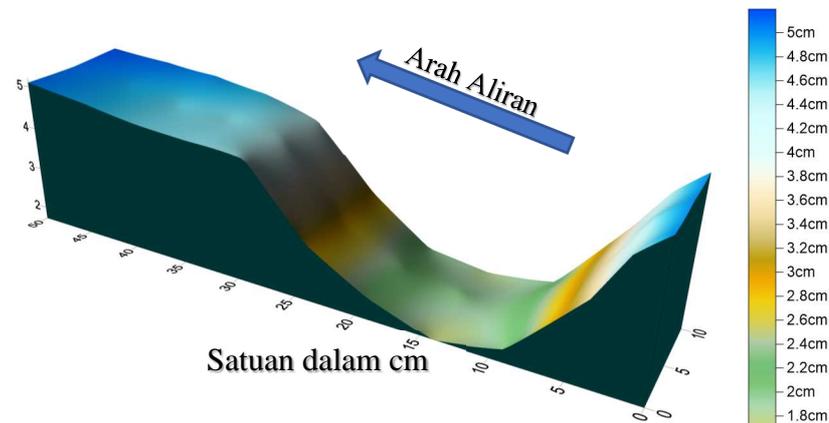
2. Kontur dan pola gerusan pada percobaan $DG \frac{1}{2} L_{\max}$

Dari pengambilan data kontur gerusan pada percobaan $DG \frac{1}{2} L_{\max}$ didapatkan hasil gambar kontur seperti pada Gambar 5.19 berikut.



Gambar 5.19 Kontur Gerusan pada Percobaan $DG \frac{1}{2} L_{\max}$

Dari pengambilan data kontur gerusan pada percobaan $DG \frac{1}{2} L_{\max}$, pola gerusan secara tiga dimensi dapat dilihat pada Gambar 5.20 berikut.

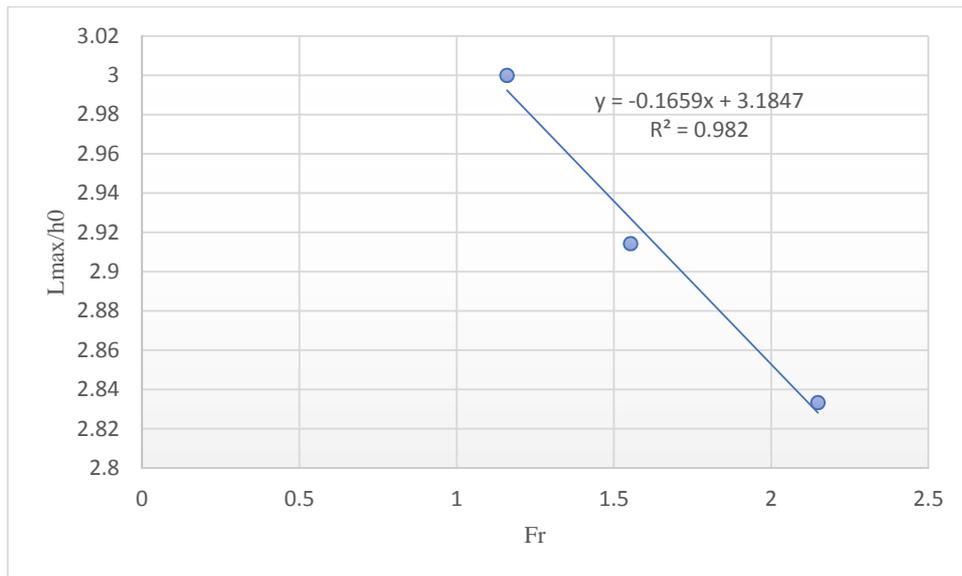


Gambar 5.20 Pola Gerusan Tiga Dimensi pada Percobaan DG $\frac{1}{2} L_{max}$

Dilihat dari Gambar 5.19 dan 5.20, gambar tersebut menunjukkan pola gerusan yang terjadi setelah dialiri aliran dengan debit $0,000997386 \text{ m}^3/\text{s}$ selama 60 menit yang di hilir bendung terdapat proteksi *groundsill* dengan jarak sejauh 0,255 m. Arah aliran dapat dilihat pada Gambar 5.20, dan data kontur diambil sejauh 50 cm dari ujung bendung. Dari ketiga gambar di atas dapat dilihat adanya perubahan lebih dangkalnya kedalaman gerusan yang terjadi pada percobaan ini. Dari Gambar 5.20 terlihat bahwa panjang gerusan yang terjadi dari percobaan ini sebesar 0,46 m. Percobaan ini lubang gerusan yang besar dan dalam terjadi pada daerah hulu *groundsill*. Bukan hanya di hulu *groundsill*, di hilir *groundsill* juga masih terdapat gerusan yang terjadi pada dasar saluran, sehingga panjang gerusan maksimal yang terjadi pada percobaan ini lebih besar dibandingkan dengan percobaan dengan jarak *groundsill* sebesar L_{max} .

5.3.8 Hubungan Kedalaman Aliran dan Panjang Gerusan Maksimum dengan Angka Froude (Fr)

Dari hasil analisis data yang dilakukan, didapatkan hasil hubungan kedalaman aliran dan panjang gerusan maksimum dengan angka Froude (Fr) seperti pada Gambar 5.21 berikut.



Gambar 5.21 Hubungan Kedalaman Aliran dan Panjang Gerusan Maksimum dengan Angka Froude (Fr)

Gambar 5.21 menunjukkan hubungan kedalaman aliran dan panjang gerusan maksimum dengan angka Froude. Hal ini dimaksudkan untuk mengetahui jarak penempatan *groundsill* yang optimal pada aliran dengan angka Froude (Fr) tertentu. Hubungan dari ketiga parameter tersebut dapat dinyatakan dengan Persamaan 5.1 berikut.

$$\frac{L_{\max}}{h_0} = -0,1659Fr + 3,1847 \quad (5.2)$$

Dalam penelitian ini, letak *groundsill* sejauh L_{\max} lebih efektif dalam mereduksi gerusan, maka nilai L_{\max} dianggap sebagai jarak yang optimal untuk meletakkan pengaman *groundsill* di hilir bendung. Dari Persamaan 5.2 di atas dapat di gunakan untuk mencari jarak perletakkan *groundsill* yang efektif dengan kondisi aliran pada angka Froude (Fr) tertentu. Dengan nilai kolerasi dari Gambar 5.20 di atas sebesar 0,982, hal ini menunjukkan ketiga parameter tersebut mempunyai hubungan yang sangat erat.

BAB VI KESIMPULAN DAN SARAN

6.1 Kesimpulan

Berdasarkan percobaan dan analisis data yang sudah dilakukan, maka dapat diambil kesimpulan sebagai berikut ini :

1. Dari hasil perhitungan angka Reynold menghasilkan nilai angka Reynold (Re) > 1000 pada semua variasi debit. Maka tipe aliran berdasarkan angka Reynold (Re) pada percobaan ini menunjukkan aliran yang turbulen pada semua variasi debit. Dari perhitungan angka Froude menghasilkan nilai angka Froude (Fr) < 1 pada semua variasi debit. Maka tipe aliran berdasarkan angka Froude (Fr) pada percobaan ini menunjukkan aliran yang sub kritis pada semua variasi debit.
2. Variasi debit aliran sangat berpengaruh dengan gerusan yang terjadi di hilir bendung. Semakin besar debit aliran semakin besar pula kedalaman gerusan yang terjadi di hilir bendung. Dari hasil perhitungan kedalaman gerusan dengan metode *Lacey* dan pengamatan kedalaman gerusan secara langsung di laboratorium terlihat perbedaan yang cukup besar dengan nilai perbedaan relatif lebih dari 70%. Dari hasil regresi linear hubungan antara kedalaman gerusan dengan debit aliran menunjukkan bahwa kedalaman gerusan dan debit mempunyai hubungan yang sangat erat.
3. Berdasarkan hasil pengamatan pada percobaan DG L_{max} didapat reduksi kedalaman gerusan sebesar 13,1579% dan reduksi panjang gerusan sebesar 17,6471%, sedangkan pada percobaan DG $1/2L_{max}$ didapat reduksi kedalaman gerusan sebesar 9,2105% dan reduksi panjang gerusan sebesar 9,8039%. Maka jarak penempatan *groundsill* sepanjang L_{max} lebih efektif dalam mereduksi gerusan. Jarak penempatan *groundsill* yang paling efektif dapat dicari dengan persamaan $\frac{L_{max}}{h_0} = -0,1659Fr + 3,1847$.

4. Dari percobaan pengaliran selama 60 menit, kedalaman gerusan pada semua variasi debit terus meningkat seiring berjalannya waktu dan kedalaman gerusan mulai pada keadaan seimbang (*equilibrium*) ketika memasuki menit ke 50.

6.2 Saran

Berdasarkan pengalaman yang didapatkan selama penelitian di Laboatorium Hidrolika Universitas Islam Indonesia, adapun saran yang dapat diberikan dalam penelitian selanjutnya adalah sebagai berikut ini :

1. Untuk peneliti selanjutnya, bangunan pengaman di hiir bendung dicoba dengan variasi yang lain, dan dibandingkan antara beberapa pengaman yang digunakan.
2. Perlu dilakukan penelitian lanjutan dengan divariasikan karakteristik agregat sedimennya.
3. Perlu dikalibrasi ulang *point gauge* yang ada di laboratorium, sehingga dapat memudahkan dalam mengambil data kontur kedalaman gerusan dan dapat mendapatkan hasil yang lebih teliti.

DAFTAR PUSTAKA

- Abdurrosyid, J. dkk (2009). *Studi Gerusan dan Perlindungannya di Hilir Kolam Olakan Bendung Tipe USBR-I*. Jurnal Teknik Sipil Universitas Muhammadiyah Surakarta. Surakarta.
- Affandi, MR. (2007). *Pengaruh Kedalaman Aliran Terhadap Perilaku Gerusan Lokal di Sekitar Abutmen Jembatan*. Tugas Akhir. Universitas Negeri Semarang.
- Anggrahini. (2005) *Hidrolika Saluran terbuka*. Srikandi. Surabaya.
- Chow, VT. (1959). *Open Channels Hydraulics*. Mc Graw Hill Book Company. New York.
- Fitriana, N. (2014). *Analisis Gerusan di Hilir Bendung Tipe Vlughter (Uji Model Laboratorium)*. Tugas Akhir. Universitas Sriwijaya. Palembang.
- Mulyandari, R. (2010). *Kajian Gerusan Lokal Pada Ambang Dasar Akibat Variasi Q (Debit), I (Kemiringan) dan T (Waktu)*. Tugas Akhir. Universitas Sebelas Maret. Surakarta.
- Sosrodarsono, S. (1985). *Perbaikan dan Pengaturan Sungai*, cetakan I. PT. Pradnya Paramitha. Jakarta.
- Sembiring, CE. (2016). *Analisis Debit Air Irigasi (Suplai dan Kebutuhan) di Sekampung Sistem*. Tugas Akhir. Universitas Lampung.
- 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.
- Sucipto (2011). *Pengaruh Kecepatan Aliran Terhadap Gerusan Lokal Pada Pilar Jembatan Dengan Perlindungan Groundsill*. Jurnal Teknik Sipil Universitas Negeri Semarang.

Triatmodjo, Bambang. (2012). *Hidrolika I*. Beta Offset. Yogyakarta.

Triatmodjo, Bambang. (2013). *Hidrolika II*. Beta Offset. Yogyakarta.

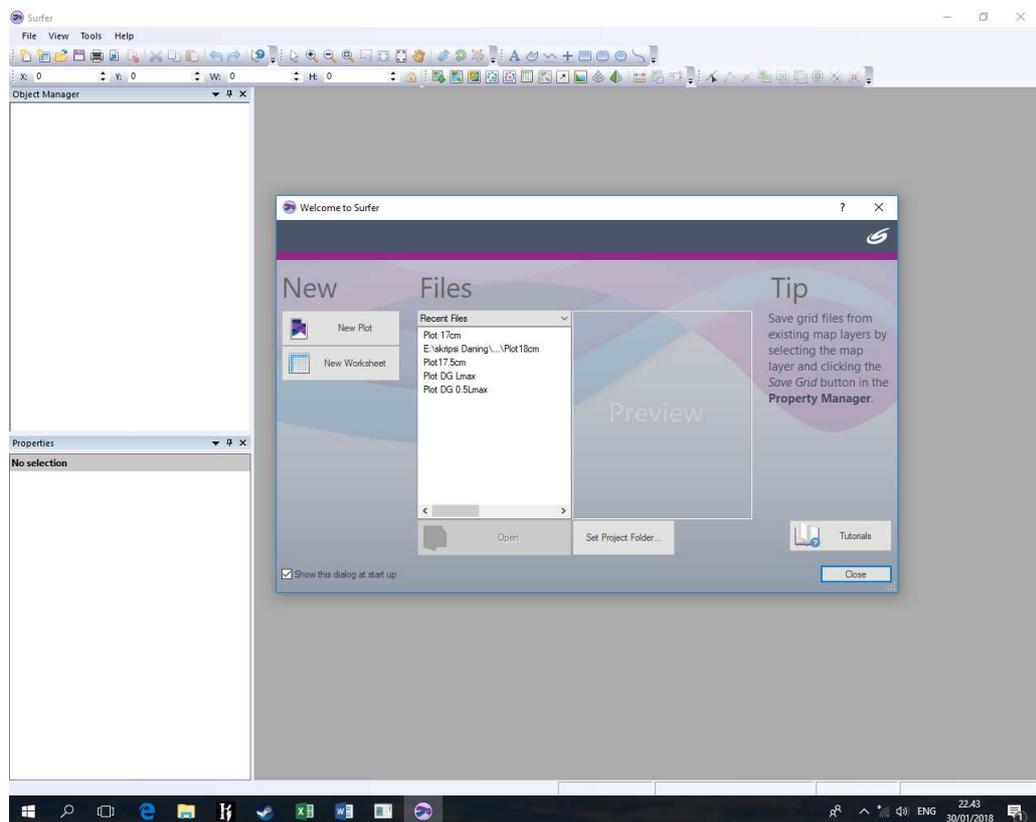
LAMPIRAN 1

PROSEDUR PEMBUATAN KONTUR GERUSAN
DENGAN *Software Surfer.v13.4.553*

Lampiran 1 Prosedur Pembuatan Kontur Gerusan dengan *Software Surfer.v13.4.553*

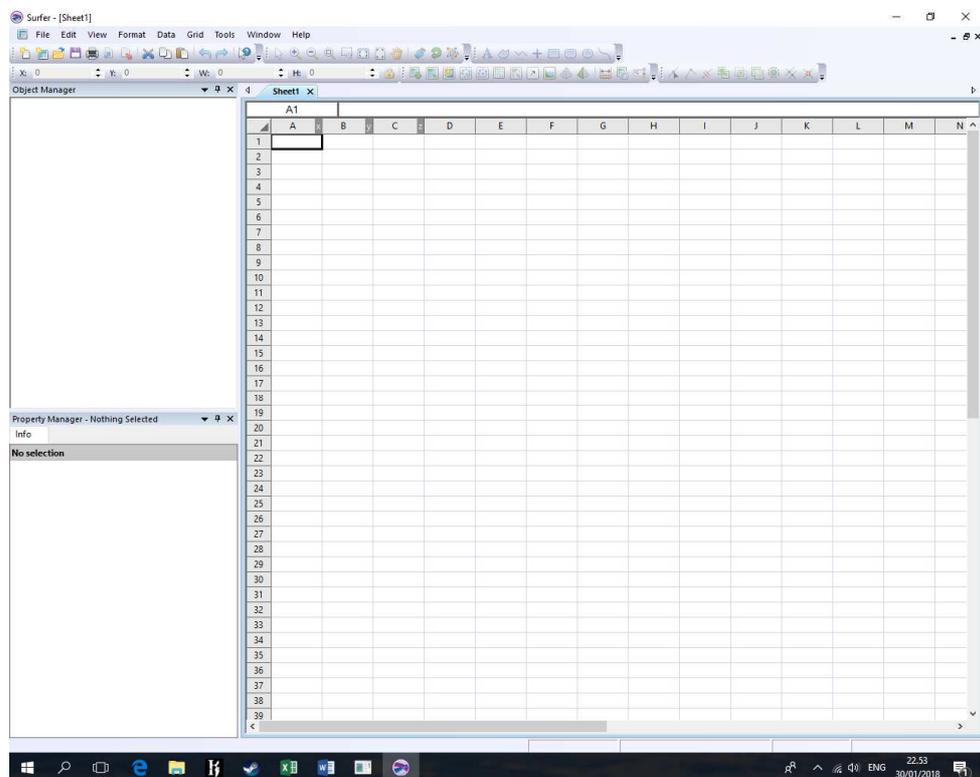
Pada Lampiran 1 ini akan dijabarkan cara membuat kontur gerusan menggunakan *Software Surfer.v13.4.553*. Langkah-langkahnya sebagai berikut.

1. Merekap data kontur yang diperoleh dari percobaan di Laboratorium kedalam Microsoft Excel.
2. Memulai *Software Surfer.v13.4.553*. Tampilan awal dapat dilihat pada Gambar L-1.1.



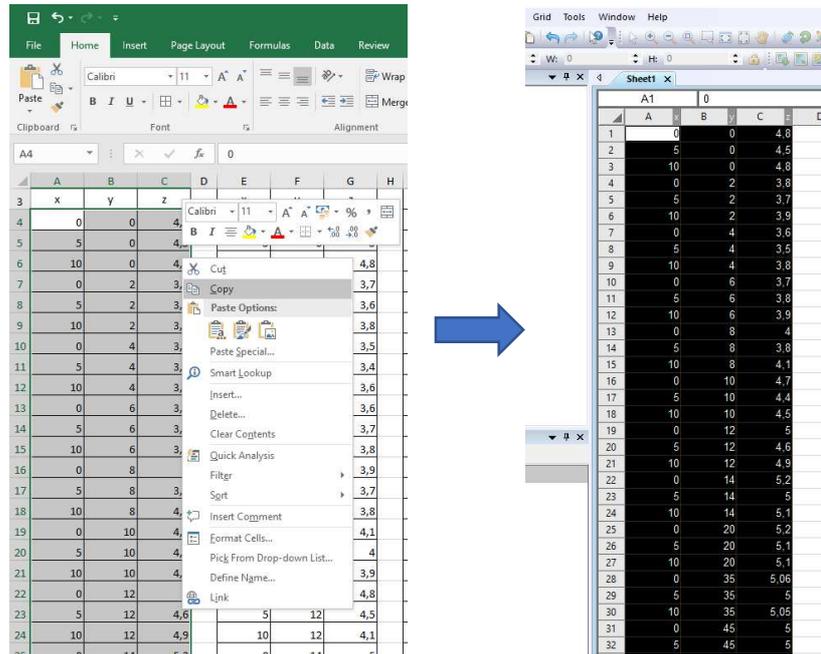
Gambar L-1.1 Tampilan Awal *Software Surfer.v13.4.553*

3. Input data dengan cara berikut:
 - a. Pada Gambar L-1.1 terdapat pilihan *New Plot* dan *New Worksheet*. Untuk input data dilakukan dengan memilih menu *New Worksheet*, Menu ini digunakan sebagai wadah untuk menulis data kontur yang didapat dari percobaan di laboratorium, dimana sebelumnya data kontur tersebut sudah direkap kedalam *Microsoft Excel*. Tampilan *Worksheet* dapat dilihat pada Gambar L-1.2.



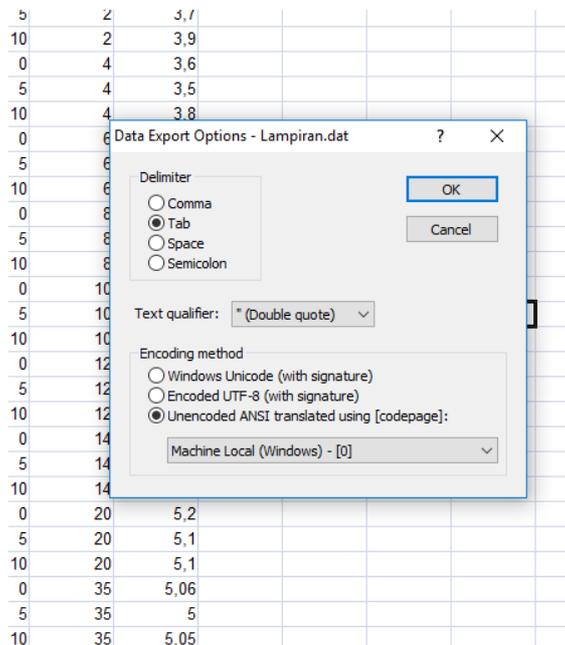
Gambar L-1.2 Tampilan Worksheet

- b. Copy data kontur yang sudah direkap dalam *Microsoft Excel* ke *Worksheet* tersebut.



Gambar L-1.3 Memindahkan Data Kontur Dari *Microsoft Excel* ke *Software Surfer.v13.4.553*

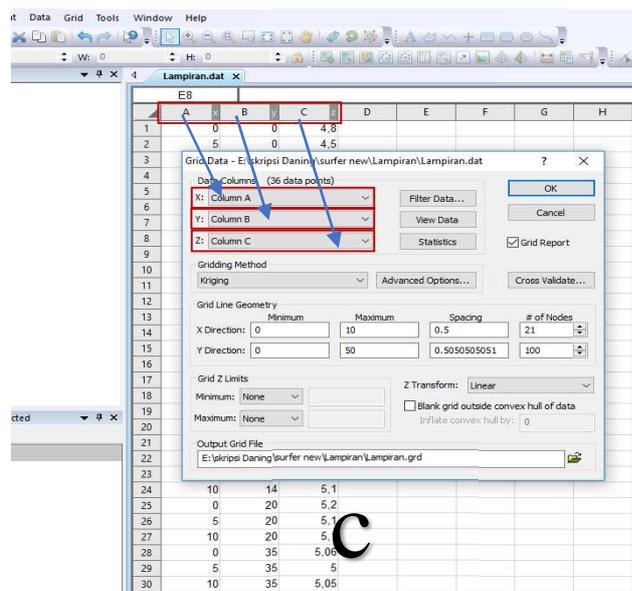
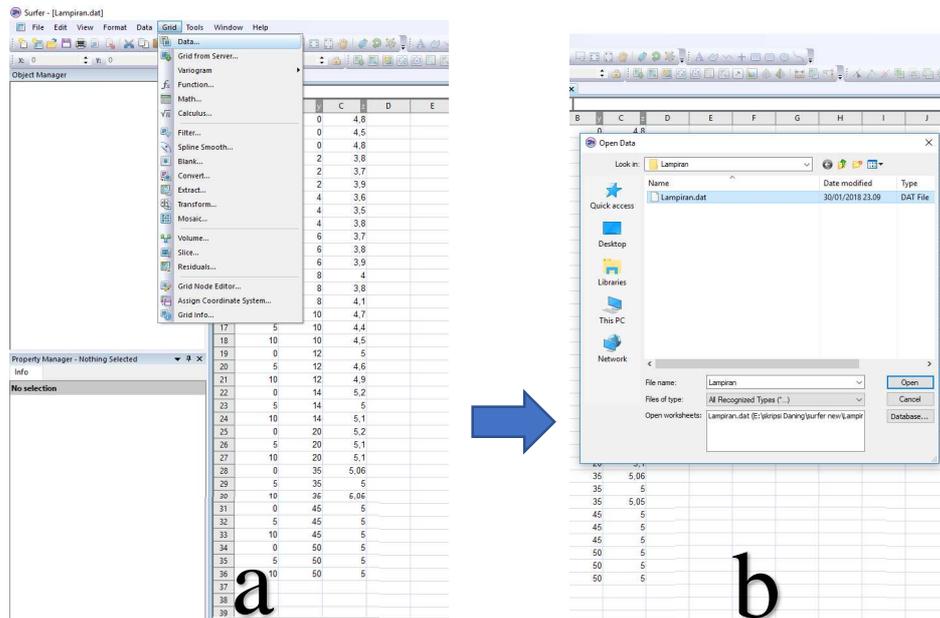
- c. Save as *Worksheet* yang sudah diisi data kontur, kemudian akan muncul kotak dialog seperti berikut ini :



Gambar L-1.4 Kotak Dialog *Data Export Options*

Pilih menu yang sesuai ditunjukkan pada Gambar L-1.4 kemudian klik OK

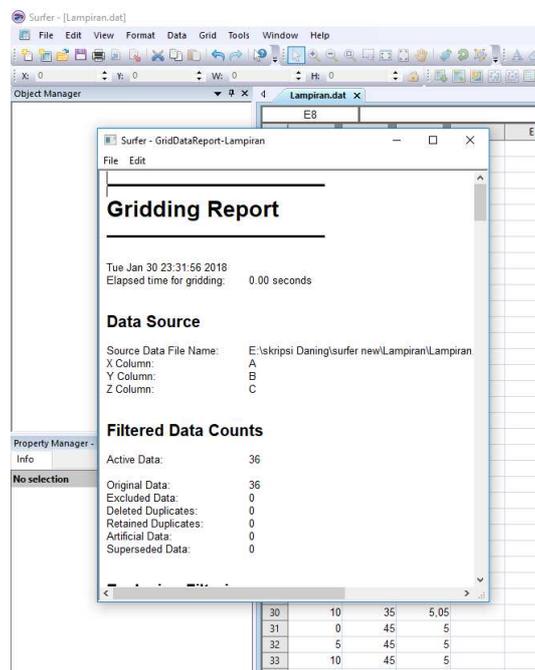
- d. Membuat grid agar data dapat diplot menjadi gambar kontur dengan memilih menu Data kemudian pilih Grid seperti pada Gambar L-1.5a. Kemudian akan muncul menu seperti pada Gambar L-1.5b, menu tersebut untuk memilih data *Worksheet* yang sudah dibuat sebelumnya.



Gambar L-1.5 Membuat Grid

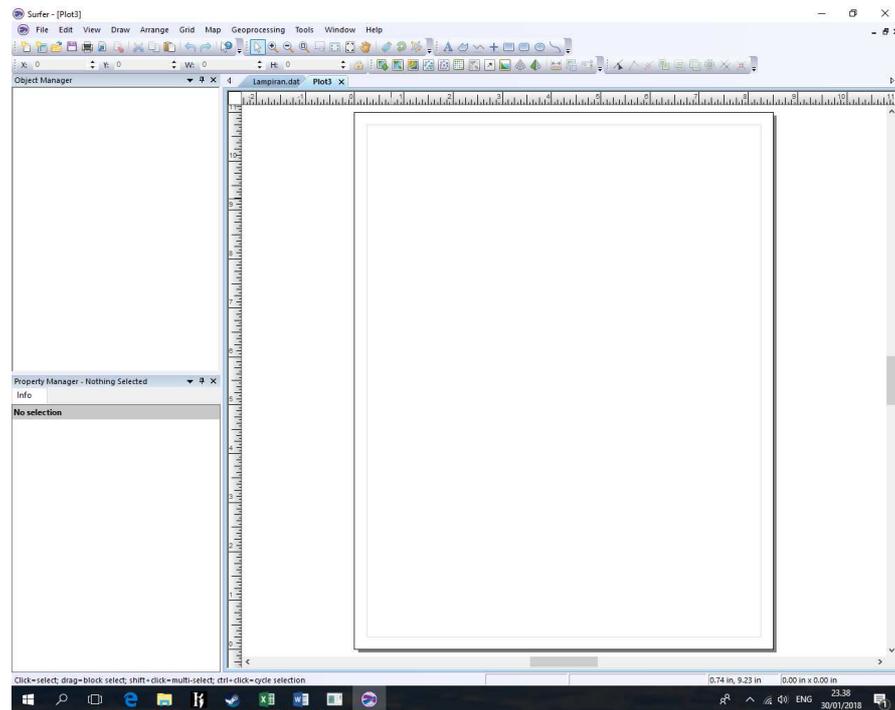
Setelah memilih file *Worksheet* yang akan digunakan, kemudian akan muncul kotak dialog seperti yang pada Gambar L-1.5c. Atur mana menu *Data Columns* untuk menentukan sumbu x,y, dan z, disesuaikan dengan posisi data yang dibuat di *Worksheet*.

- e. Kemudian akan muncul kotak dialog *Gridding Report* seperti Gambar L-1.6. Gambar ini menunjukkan laporan hasil dari input data.



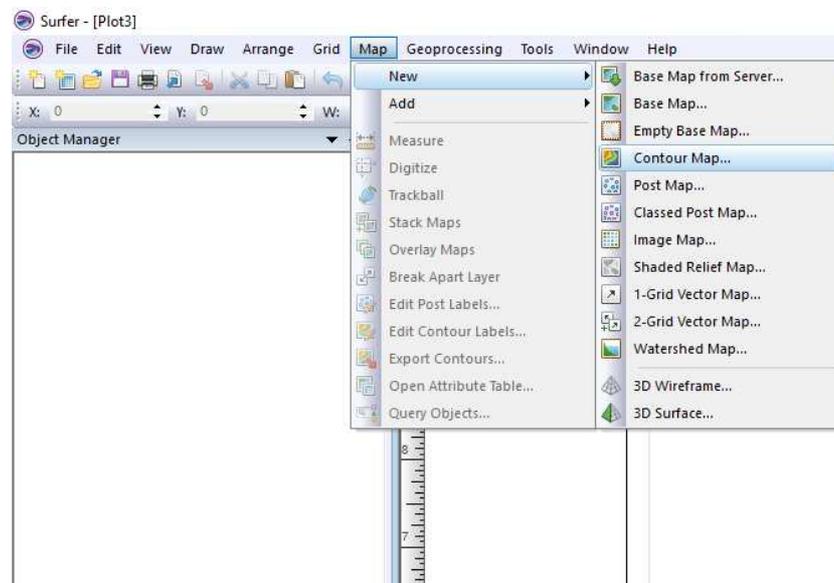
Gambar L-1.6 *Gridding Report*

4. Membuat kontur dapat dilakukan dengan cara berikut:
- Pilih menu *File > New > Plot*. Tampilan awal Plot dapat dilihat pada Gambar L-1.7 berikut :



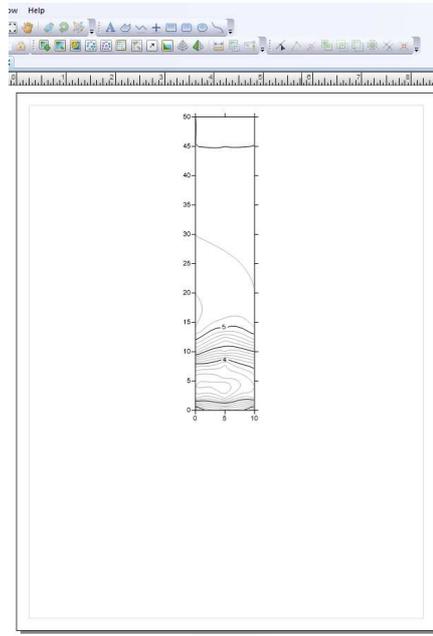
Gambar L-1.7 Tampilan Awal Plot

b. Kemudian pilih Map > New > Contour Map



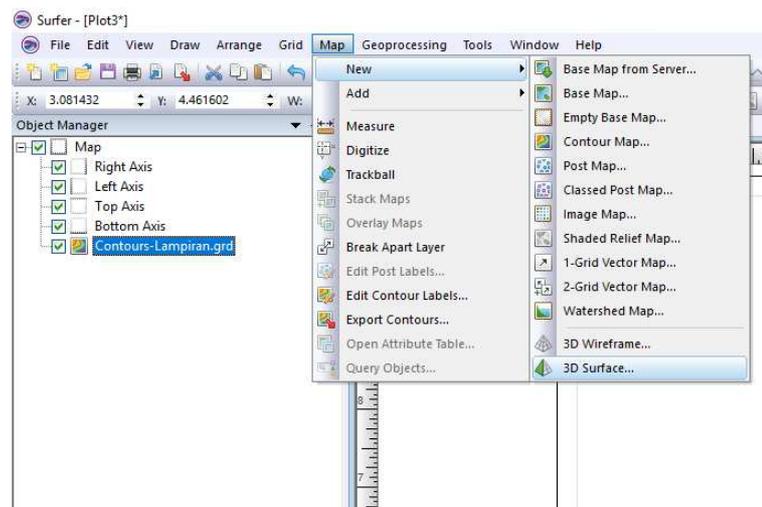
Gambar L-1.8 Cara Membuat Kontur

- c. Dari data grid yang sudah dibuat sebelumnya, kemudian akan menjadi gambar kontur seperti pada Gambar L-1.9 berikut :



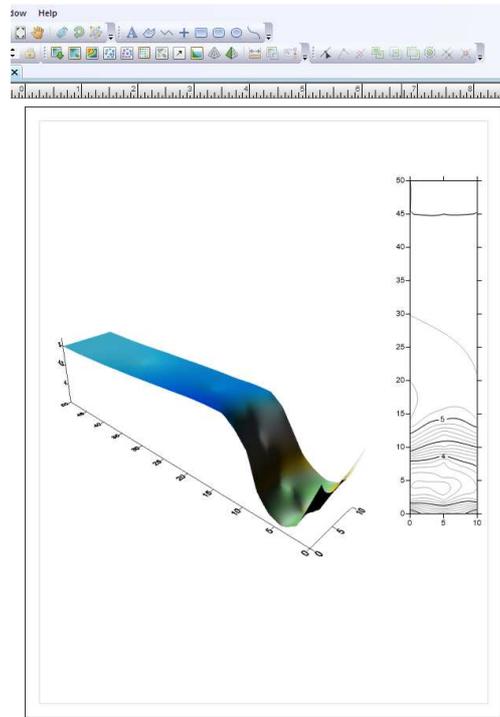
Gambar L-1.9 Gambar Kontur

5. Membuat kontur dengan tampilan 3D
 a. Pada Map > New > 3D Surface



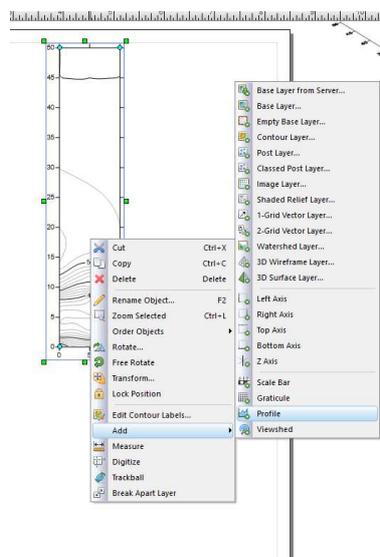
Gambar L-1.10 Cara Membuat Kontur dengan Tampilan 3D

- b. Dari data grid yang sudah dibuat sebelumnya, kemudian akan menjadi gambar kontur 3D seperti pada Gambar L-1.10 berikut :



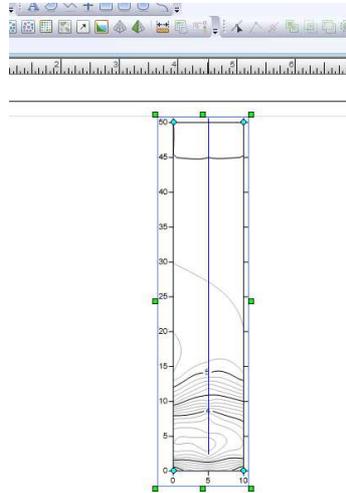
Gambar L-1.11 Gambar Kontur 3D

6. Membuat profil memanjang dari kontur gerusan dengan cara seperti berikut :
- a. Klik kanan pada gambar kontur 2D > Add > Profile



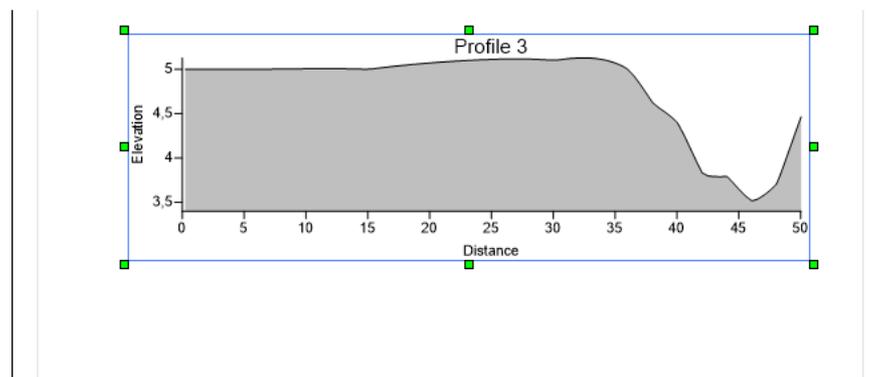
Gambar L-1.12 Cara Membuat Profil memanjang Gerusan

- b. Kemudian Tarik garis di tempat yang ingin diketahui potongan memanjangnya



Gambar L-1.13 Cara Membuat Profil memanjang Gerusan

- c. Kemudian setelah selesai akan ditampilkan potongan memanjang seperti Gambar L-1.14 berikut :



Gambar L-1.14 Gambar Profil Memanjang Gerusan

LAMPIRAN 2

FORM PENGAMBILAN DATA
KARAKTERISTIK ALIRAN DAN GERUSAN

Lampiran 2 Form Data karakteristik aliran dan data gerusan

Tabel L-2.1 Pengambilan Data Karakteristik Aliran dan Gerusan Tanpa Groundsill

h_0	V	t	Q	h_1	h_2	h_3	T	Y_m	L_m
m	m ³	s	m ³ /s	m	m	m	menit	m	m
0.17	0.01	17.42	0.00056976	0.0135	0.018	0.02	10	0.014	0.14
							20	0.016	0.16
		17.42					30	0.017	0.17
							40	0.018	0.18
		17.82					50	0.0185	0.19
							60	0.0185	0.2
h_0	V	t	Q	h_1	h_2	h_3	T	Y_m	L_m
m	m ³	s	m ³ /s	m	m	m	menit	m	m
0.175	0.01	13.6	0.00074584	0.0133	0.022	0.023	10	0.021	0.25
							20	0.024	0.27
		13.45					30	0.026	0.295
							40	0.027	0.31
		13.18					50	0.027	0.032
							60	0.027	0.34
h_0	V	t	Q	h_1	h_2	h_3	T	Y_m	L_m
m	m ³	s	m ³ /s	m	m	m	menit	m	m
0.18	0.01	9.96	0.00099739	0.013	0.027	0.024	10	0.031	0.38
							20	0.034	0.43
		10					30	0.036	0.46
							40	0.038	0.48
		10.12					50	0.038	0.5
							60	0.038	0.51

Tabel L-2.1 Pengambilan Data Karakteristik Aliran dan Gerusan dengan *Groundsill*

h_0	V	t	Q	h_1	h_2	h_3	T	Y_m	L_m	
m	m ³	s	m ³ /s	m	m	m	menit	m	m	
0.18	0.01	9.96	0.00099739	0.013	0.027	0.024	10	0.03	0.32	Groundsill jarak Lmax
							20	0.031	0.35	
		10					30	0.032	0.38	
							40	0.033	0.4	
		10.12					50	0.033	0.41	
							60	0.033	0.42	
h_0	V	t	Q	h_1	h_2	h_3	T	Y_m	L_m	
m	m ³	s	m ³ /s	m	m	m	menit	m	m	
0.18	0.01	9.96	0.00099739	0.013	0.027	0.024	10	0.029	0.36	Groundsill jarak 1/2Lmax
							20	0.031	0.39	
		10					30	0.033	0.41	
							40	0.034	0.43	
		10.12					50	0.0345	0.45	
							60	0.0345	0.46	

LAMPIRAN 3

FORM DATA KONTUR DARI HASIL
PERCOBAAN LABORATORIUM

**Tabel L-3.1 Data Kontur Kedalaman Gerusan Tanpa
Groundsil ($h_0 = 17$ cm)**

x	y	z
0	0	4.9
5	0	5
10	0	5
0	2	3.7
5	2	3.6
10	2	3.6
0	4	3.4
5	4	3.3
10	4	3.5
0	6	3.2
5	6	3.15
10	6	3.25
0	8	3.4
5	8	3.6
10	8	3.8
0	10	3.8
5	10	3.7
10	10	3.7
0	12	3.9
5	12	3.9
10	12	3.9
0	14	4.4
5	14	4.2
10	14	4.2
0	16	5
5	16	4.9
10	16	4.7
0	18	5
5	18	4.8
10	18	5

x	y	z
0	20	5.2
5	20	5
10	20	5.1
0	30	5.2
5	30	5.1
10	30	5
0	50	5
5	50	5
10	50	5

**Tabel L-3.2 Data Kontur Kedalaman Gerusan Tanpa
Groundsil ($h_0 = 17,5$ cm)**

x	y	z
0	0	4.9
5	0	5
10	0	5
0	2	3.4
5	2	3.5
10	2	3.5
0	4	2.9
5	4	3
10	4	3
0	6	2.5
5	6	2.6
10	6	2.8
0	8	2.4
5	8	2.6
10	8	2.6
0	10	2.3
5	10	2.4
10	10	2.4
0	12	2.5
5	12	2.6
10	12	2.8
0	14	2.7
5	14	2.7
10	14	2.9
0	16	3
5	16	3
10	16	3
0	18	3.4
5	18	3.4
10	18	3.1

x	y	z
0	20	4
5	20	3.8
10	20	3.9
0	22	4.2
5	22	4
10	22	4
0	30	4.7
5	30	4.6
10	30	4.6
0	35	5.1
5	35	5
10	35	5.1
0	50	5
5	50	5
10	50	5

**Tabel L-3.3 Data Kontur Kedalaman
Gerusan Tanpa Groundsil ($h_0=$
18 cm)**

x	y	z
0	0	5
5	0	4.6
10	0	5
0	3	3.7
5	3	3.7
10	3	3.7
0	6	2.1
5	6	2.4
10	6	2.3
0	9	1.6
5	9	1.9
10	9	1.8
0	12	1.3
5	12	1.6
10	12	1.5
0	15	1.2
5	15	1.5
10	15	1.4
0	18	1.6
5	18	1.8
10	18	1.7
0	21	2
5	21	2.2
10	21	2.3
0	24	2.4
5	24	2.5
10	24	2.6
0	27	3
5	27	3.3
10	27	3.5

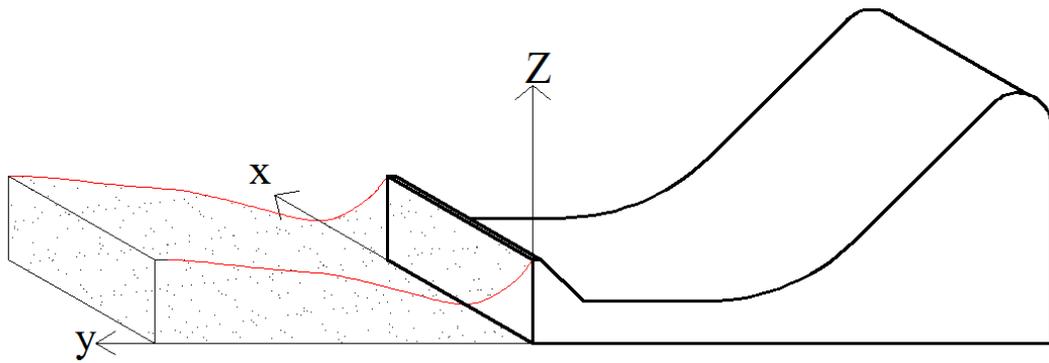
x	y	z
0	30	3.8
5	30	3.6
10	30	3.7
0	33	4.2
5	33	4
10	33	4.1
0	49	4.9
5	49	4.8
10	49	4.8
0	50	5.1
5	50	4.95
10	50	5.1

**Tabel L-3.4 Data Kontur Kedalaman Gerusan
Reduksi Groundsill jarak 1/2 Lmax**

x	y	z
0	0	5
5	0	5
10	0	5
0	2	4.5
5	2	4.6
10	2	4.5
0	4	3.5
5	4	3.7
10	4	3.7
0	9	2
5	9	2.2
10	9	2
0	14	1.7
5	14	2
10	14	1.8
0	19	2.2
5	19	2.3
10	19	2
0	24	3
5	24	3
10	24	3
0	29	4.5
5	29	4.4
10	29	4.4
0	34	4.6
5	34	4.6
10	34	4.8
0	39	4.7
5	39	4.7
10	39	5
0	44	4.9
5	44	4.9
10	44	5.1
0	50	5.1
5	50	5.1
10	50	5.2

**Tabel L-3.5 Data Kontur Kedalaman Gerusan
Reduksi Groundsill jarak Lmax**

x	y	z
0	0	5
5	0	5
10	0	5
0	2	4.4
5	2	4.5
10	2	4.4
0	4	3.4
5	4	3.6
10	4	3.4
0	9	2
5	9	2.1
10	9	2
0	14	1.8
5	14	1.8
10	14	1.8
0	19	1.9
5	19	1.9
10	19	1.9
0	24	2.9
5	24	3
10	24	2.9
0	29	3.9
5	29	4
10	29	4.1
0	34	4.4
5	34	4.5
10	34	4.5
0	39	4.9
5	39	4.8
10	39	4.9
0	44	5.1
5	44	5.2
10	44	4.9
0	50	5
5	50	5.1
10	50	5



Gambar L-3.1 Sumbu Pengamatan Kontur Gerusan

LAMPIRAN 4

SURAT IZIN PENGGUNAAN LABORATORIUM



UNIVERSITAS ISLAM INDONESIA
FAKULTAS TEKNIK SIPIL DAN PERENCANAAN

JURUSAN: TEKNIK SIPIL, ARSITEKTUR, TEKNIK LINGKUNGAN

KAMPUS: Jl. Kaliurang Km. 14,5 Telp. (0274) 898471, 898472, 896440, 898583, 898585; Fax: 895330
Email: dekanat.ftsp@uii.ac.id, Yogyakarta Kode Pos 55584

Nomor : 2223/ Prodi TS.20/ TA/09/2017
Lampiran :
Hal : **Permohonan Izin Pemakaian Lab**

Yogyakarta, 25 September 2017

Kepada Yth:
Yth. **Kepala Lab. Hidrolika**
Prodi Teknik Sipil FTSP
Universitas Islam Indonesia
di Yogyakarta

Assalamu'alaikum Wr.Wb.

Yang bertanda tangan dibawah ini:

Nama : ADI DANING PANGESTU
No. Mhs : 13511252
Prodi : Teknik Sipil

Sehubungan dengan Penelitian yang saya lakukan guna menyusun mata kuliah tugas akhir, maka bersama ini mengajukan permohonan untuk meminjam peralatan beserta fasilitas laboratorium Pemetaan dan Ilmu Ukur Tanah Prodi Teknik Sipil dan Perencanaan Universitas Islam Indonesia Yogyakarta guna mendukung penyelesaian penyusunan Proposal Tugas Akhir.

Demikian surat permohonan ini kami sampaikan, atas perkenan dan bantuannya saya haturkan terima kasih.

Wassalamu'alaikum wr. wb.

Yogyakarta, 25 September 2017

Sekretaris Prodi Teknik Sipil

Benian Kusnari, ST., M.Eng

Pemohon

ADI DANING PANGESTU

13511252



UNIVERSITAS ISLAM INDONESIA
FAKULTAS TEKNIK SIPIL DAN PERENCANAAN

JURUSAN: TEKNIK SIPIL, ARSITEKTUR, TEKNIK LINGKUNGAN

KAMPUS: Jl. Kaliurang Km. 14,5 Telp. (0274) 898471, 898472, 896440, 898583, 898585; Fax: 895330
Email: dekanat.ftsp@uii.ac.id, Yogyakarta Kode Pos 55584

Nomor : 2222/ Prodi-TS-20/TA/09/2017
Lampiran :
Hal : **Permohonan Izin Pemakaian Lab**

Yogyakarta, 25 September 2017

Kepada Yth:

Yth. **Kepala Lab. Bahan Konstruksi Teknik**
Prodi Teknik Sipil FTSP
Universitas Islam Indonesia
di Yogyakarta

Assalamu'alaikum Wr.Wb.

Yang bertanda tangan dibawah ini:

Nama : ADI DANING PANGESTU
No. Mhs : 13511252
Prodi : Teknik Sipil

Sehubungan dengan Penelitian yang saya lakukan guna menyusun mata kuliah tugas akhir, maka bersama ini mengajukan permohonan untuk meminjam peralatan beserta fasilitas laboratorium Pemetaan dan Ilmu Ukur Tanah Prodi Teknik Sipil dan Perencanaan Universitas Islam Indonesia Yogyakarta guna mendukung penyelesaian penyusunan Proposal Tugas Akhir.

Demikian surat permohonan ini kami sampaikan, atas perkenan dan bantuannya saya haturkan terima kasih.

Wassalamu'alaikum wr. wb.

Yogyakarta, 25 September 2017



Sekretaris Prodi Teknik Sipil

Berlian Kushari, ST., M.Eng

Pemohon

ADI DANING PANGESTU
13511252