



**PENGARUH KEDALAMAN ALIRAN TERHADAP PERILAKU  
GERUSAN LOKAL DI SEKITAR ABUTMEN JEMBATAN**

**Skripsi**

**Diajukan dalam Rangka Penyelesaian Studi Strata S1  
Untuk Memperoleh Gelar Sarjana Teknik**

**Oleh :**

**Nama : Mukhammad Risyal Affandi**

**NIM : 5150402014**

**Prodi : Teknik Sipil, S1**

**Jurusan : Teknik Sipil**

**FAKULTAS TEKNIK  
UNIVERSITAS NEGERI SEMARANG**

**2007**

## PERSETUJUAN PEMBIMBING

Skripsi dengan judul ” Pengaruh Kedalaman Aliran Terhadap Perilaku Gerusan Lokal di Sekitar Abutmen Jembatan ” telah disetujui oleh dosen pembimbing Jurusan Teknik Sipil Fakultas Teknik Universitas Negeri Semarang pada :

Hari :  
Tanggal :

Dosen Pembimbing I

Dosen Pembimbing II

Dr. Ir. Istiarto, M.Eng.  
NIP. 131787924

Nur Qudus, SPd. MT  
NIP. 132086677

PERPUSTAKAAN  
UNNES

## HALAMAN PENGESAHAN

Skripsi dengan judul ” Pengaruh Kedalaman Aliran Terhadap Perilaku Gerusan Lokal di Sekitar Abutmen Jembatan ” telah dipertahankan dihadapan sidang panitia Ujian Skripsi Jurusan Teknik Sipil, Fakultas Teknik, Universitas Negeri Semarang pada:

Hari :  
Tanggal :

Susunan Dewan Penguji,

Ketua

Sekretaris

Drs. Henry Apriyatno, MT  
MT  
NIP. 131658240

Drs. Henry Apriyatno,  
MT  
NIP. 131658240

Penguji I

Penguji II

Dr. Ir. Istiarto, M.Eng.  
NIP. 131787924

Nur Qudus, SPd. MT  
NIP. 132086677

Mengetahui :

Dekan Fakultas Teknik  
Sipil

Ketua Jurusan Teknik

Prof. Dr. Soesanto  
NIP. 130875753

Drs. Lashari, MT  
NIP. 131741402

### **SURAT PERNYATAAN**

Saya menyatakan bahwa yang tertulis di dalam skripsi ini benar-benar karya saya sendiri, bukan hasil jiplakan dari karya orang lain, baik sebagian atau seluruhnya. Pendapat atau temuan orang lain yang terdapat dalam skripsi ini dikutip dan dirujuk berdasarkan kode etik ilmiah.

Semarang, April 2007

Mukhammad Risyal Affandi  
NIM 5150402014



## MOTTO DAN PERSEMBAHAN

### MOTTO

*Jadikanlah sabar dan sholat sebagai penolongmu. Dan sesungguhnya yang demikian itu sungguh berat, kecuali bagi orang-orang yang khusuk (QS. Al-Baqarah: 45)*

*Sesungguhnya sesudah kesulitan itu ada kemudahan. Maka apabila kamu telah selesai (dari sesuatu urusan), kerjakanlah dengan sungguh-sungguh (urusan) yang lain, dan hanya kepada Tuhan-mu lah hendaknya kamu berharap (QS. Alam Nasyrah: 6-8).*

*Karya ini saya persembahkan:*

- 1. Untuk Ibunda dan Ayahanda tercinta  
Engkau yang membuatku bersemangat  
Engkau yang tak pernah mengeluh untuk,  
Mendidik, menjaga, dan senantiasa  
mendoakanku  
Dalam setiap waktu kau curahkan  
Hanya untuk anak-anakmu*
- 2. Untuk Pipit Mandasari atas motivasi dan doanya*
- 3. Untuk adikku Rizky dan Rikha atas doanya*
- 4. Sahabatku (Mustafid, Hariyanto, M. Tri Wibowo, Okky Martanto W, Rinourw Astrea W, Achmad Ridho) kalian adalah perhiasan yang langka, terimakasih atas bimbingannya selama ini* ▢

5. *Rekan rekan Teknik Sipil CIVILIAN '02  
UNNES untuk kekompakan kalian semua  
yang terbaik*

## KATA PENGANTAR

Segala puji dan syukur penulis panjatkan ke hadirat Allah SWT yang telah dan selalu melimpahkan rahmat dan hidayah-Nya sehingga penulis dapat menyelesaikan penyusunan skripsi ini dengan baik. Skripsi ini disusun sebagai salah satu syarat guna memperoleh gelar Sarjana di Fakultas Teknik Universitas Negeri Semarang.

Penulis sadar sepenuhnya, bahwa skripsi ini tidak dapat terselesaikan dengan baik tanpa bantuan dan dukungan dari berbagai pihak. Untuk itu pada kesempatan ini penulis sampaikan ucapan terima kasih dan penghargaan yang sebesar-besarnya kepada :

1. Prof. Dr. Soesanto, selaku Dekan Fakultas Teknik UNNES,
2. Drs. Lashari, MT, selaku Ketua Jurusan Teknik Sipil Fakultas Teknik UNNES,
3. Drs. Henry Apriyatno, MT, selaku Ketua Program Studi Teknik Sipil Fakultas Teknik UNNES,
4. Drs. H. Khamid, selaku Dosen Wali,
5. Dr. Ir. Istiarto M.Eng, selaku Pembimbing I skripsi,
6. Nur Qudus, SPd. MT, selaku Pembimbing II skripsi,

7. Untoro Nugroho, ST. MT, selaku Kepala Laboratorium Teknik Sipil Fakultas Teknik UNNES,
8. Seluruh Staff Dosen dan Administrasi Jurusan Teknik Sipil Fakultas Teknik Universitas Negeri Semarang,
9. Pak Hery Suroso, Pak Bambang Sugiarto yang telah memberikan banyak pengalaman,
10. Pak Trisno sekeluarga dan anak-anak kost (Wawan Gendut, Didik, Wangsit, Puput, Arif K, Ape, Joko, Syarif, Karim, Kotho dan semuanya) kalian adalah yang terbaik,
11. Okky M.W dan Tulus untuk kerjasama dan kekompakannya,
12. Rekan-rekan KBK Hidro : Hendra Adi Gunawan (Tegal) dan Adi Pamularso
13. Anak-anak Teknik Sipil 02 UNNES yang telah membantu pada saat pelaksanaan penelitian, lanjutkan perjuangan kita,
14. Keluarga di rumah yang selalu mendoakan serta memberi dukungan dan dorongan sepenuhnya semasa studi.

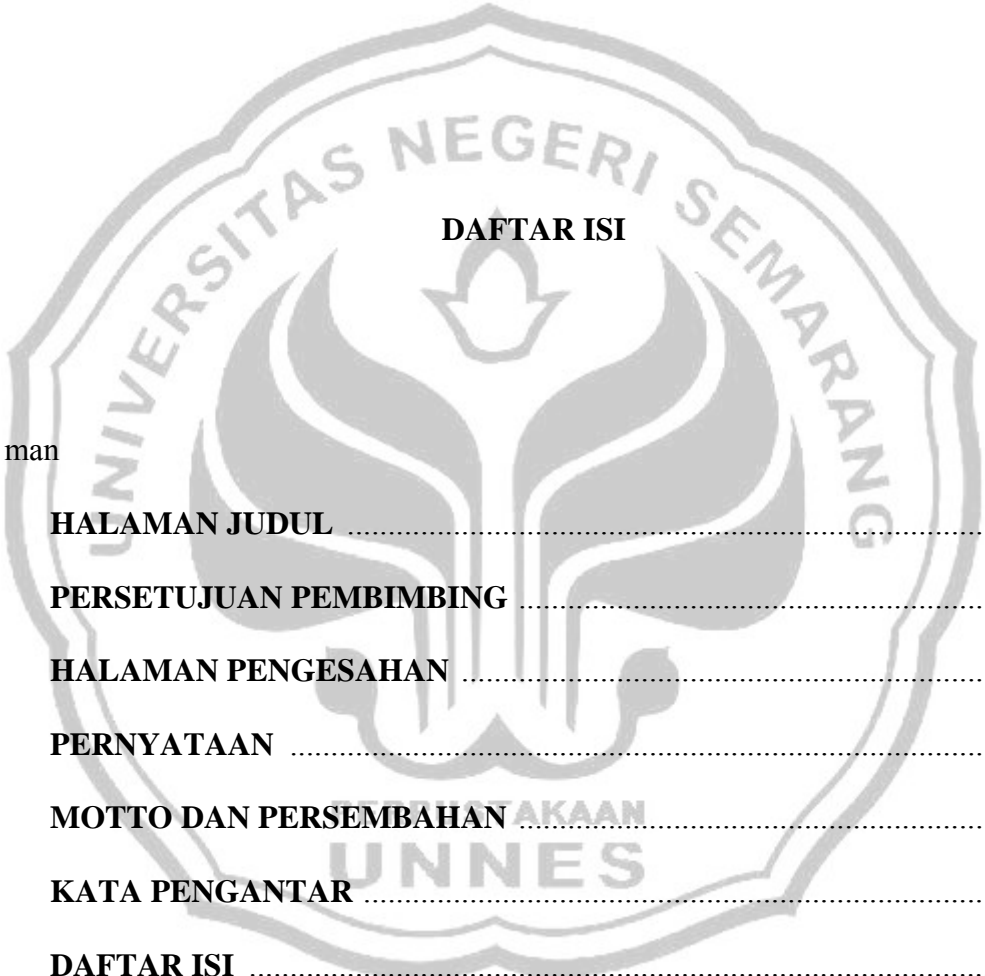
Semoga segala sesuatu yang telah diberikan kepada penulis mendapat balasan yang terbaik dari Allah SWT. Selanjutnya, besar harapan penulis semoga skripsi ini memberi manfaat dan menjadi pengetahuan bagi kita semua.

Semarang, April

2007

Penulis

**DAFTAR ISI**



	Hala
man	
<b>HALAMAN JUDUL</b> .....	i
<b>PERSETUJUAN PEMBIMBING</b> .....	ii
<b>HALAMAN PENGESAHAN</b> .....	iii
<b>PERNYATAAN</b> .....	iv
<b>MOTTO DAN PERSEMBAHAN</b> .....	v
<b>KATA PENGANTAR</b> .....	vi
<b>DAFTAR ISI</b> .....	viii
<b>DAFTAR GAMBAR</b> .....	xii
<b>DAFTAR TABEL</b> .....	xv
<b>DAFTAR LAMPIRAN</b> .....	xvi
<b>DAFTAR NOTASI</b> .....	xvii
<b>INTISARI</b> .....	xx



## **BAB I PENDAHULUAN**

1.1 Latar Belakang .....	1
1.2 Rumusan Masalah .....	4
1.3 Batasan Penelitian .....	4
1.4 Tujuan Penelitian .....	5
1.5 Manfaat Penelitian .....	6
1.6 Sistematika Penelitian .....	6

## **BAB II TINJAUAN PUSTAKA DAN LANDASAN TEORI**

2.1 Tinjauan Pustaka .....	8
2.1.1 Sungai .....	8
2.1.2 Gerusan .....	9
2.1.3 Mekanisme Gerusan .....	11
2.1.4                      Transpor                      Sedimen .....	14
2.1.5                      Pola                      aliran .....	15
2.2 Landasan Teori .....	17
2.2.1 Bilangan Froude .....	17
2.2.2 Koefisien Kekasaran Dasar .....	18
2.2.3 Awal Gerak Butiran .....	19
2.2.4 Faktor yang Mempengaruhi Kedalaman Gerusan .....	21
2.2.5 Persamaan Empiris untuk Kedalaman Gerusan .....	26

### **BAB III METODE PENELITIAN**

3.1 Tempat Penelitian .....	29
3.2 Bahan Penelitian .....	29
3.3 Alat Penelitian .....	30
3.4 Alur Pelaksanaan Penelitian .....	36

### **BAB IV HASIL PENELITIAN DAN PEMBAHASAN**

4.1 Pemeriksaan Material Dasar .....	42
4.2 Karakteristik Aliran .....	43
4.2.1 Karakteristik Aliran pada Kedalaman Aliran 0,09 m.....	44
4.2.2 Karakteristik Aliran pada Kedalaman Aliran 0,10 m.....	44
4.2.3 Karakteristik Aliran pada Kedalaman Aliran 0,11 m.....	45
4.2.4 Karakteristik Aliran pada Kedalaman Aliran 0,12 m.....	46
4.3 Perkembangan Kedalaman Gerusan terhadap Waktu .....	47
4.3.1 Perkembangan Kedalaman Gerusan terhadap Waktu pada Abutmen dengan Kedalaman Aliran 0,09 m .....	48
4.3.2 Perkembangan Kedalaman Gerusan terhadap Waktu pada Abutmen dengan Kedalaman Aliran 0,10 m.....	50
4.3.3 Perkembangan Kedalaman Gerusan terhadap Waktu pada Abutmen dengan Kedalaman Aliran 0,11 m .....	51

4.3.4 Perkembangan Kedalaman Gerusan terhadap Waktu pada Abutmen dengan Kedalaman Aliran 0,12 m.....	53
4.3.5 Perkembangan Kedalaman Gerusan Maksimum terhadap Waktu pada Abutmen <i>Semi-Circular-End</i> <i>Abutment</i> .....	55
4.4 Pola Gerusan .....	58
4.4.1 Pola Gerusan di Sekitar Abutmen dengan Kedalaman Aliran 0,09 m .....	58
4.4.2 Pola Gerusan di Sekitar Abutmen dengan Kedalaman Aliran 0,10 m .....	61
4.4.3 Pola Gerusan di Sekitar Abutmen dengan Kedalaman Aliran 0,11 m .....	64
4.4.4 Pola Gerusan di Sekitar Abutmen dengan Kedalaman Aliran 0,12 m .....	66
4.4.5 Pola Gerusan di Sekitar Abutmen sebagai Fungsi Kedalaman Aliran .....	69
4.5 Perhitungan Empiris .....	71
<b>BAB V KESIMPULAN DAN SARAN</b>	
5.1 Kesimpulan .....	86

5.2 Saran .....	87
<b>DAFTAR PUSTAKA .....</b>	<b>88</b>
<b>LAMPIRAN</b>	



	Hala
man	
Gambar 1. Klasifikasi Aliran .....	9
Gambar 2. Mekanisme Gerusan Akibat Pola Aliran Air di Sekitar Abutmen.	12

Gambar 3.	Hubungan Kedalaman Gerusan ( $Y_s$ ) dengan Waktu .....	14
Gambar 4.	Hubungan Kedalaman Gerusan ( $Y_s$ ) dengan Kecepatan Geser ( $u^*$ ) .....	14
Gambar 5.	Diagram Shields, Hubungan Tegangan Geser Kritis dengan Bilangan Reynolds .....	21
Gambar 6.	Hubungan Kedalaman Gerusan dengan Kecepatan Aliran.....	22
Gambar 7.	Hubungan Koefisien Aliran ( $k_{da}$ ) dan Kedalaman Aliran Relatif ( $y_0/b$ ) dengan Ukuran Relatif ( $b/d_{50}$ ).....	23
Gambar 8.	Koefisien Simpangan Baku ( $K_\sigma$ ) Fungsi Standar Deviasi Geometri Ukuran Butir.....	24
Gambar 9.	Model Abutmen <i>Semi-Circular-End Abutment</i> .....	25
Gambar 10.	Alat <i>Recirculating Sediment Flume</i> .....	31
Gambar 11.	Tampak atas <i>Flume</i> .....	32
Gambar 12.	Tampak Atas Abutmen pada <i>Flume</i> .....	32
Gambar 13.	Alat <i>Point gauge</i> .....	33
Gambar 14.	Pintu Air.....	34
Gambar 15.	<i>Stop Watch</i> .....	34
Gambar 16.	Model Abutmen <i>Semi-Circular-End Abutment</i> .....	
35		
Gambar 17.	Model 3 Dimensi Abutmen <i>Semi-Circular-End Abutment</i> .....	35
Gambar 18.	Tampak Atas Penempatan Model Abutmen <i>Semi-Circular-End Abutment</i> .....	36

Gambar 19. Diagram Alur Penelitian.....	40
Gambar 20. Gradasi Sedimen.....	43
Gambar 21. Perkembangan Kedalaman Gerusan Terhadap Waktu pada Abutmen dengan Kedalaman Aliran 0.09 m.....	49
Gambar 22. Titik Pengamatan pada Abutmen dengan Kedalaman Aliran 0.09 m.....	49
Gambar 23. Perkembangan Kedalaman Gerusan Terhadap Waktu pada Abutmen dengan Kedalaman Aliran 0.10 m.....	50
Gambar 24. Titik Pengamatan pada Abutmen dengan Kedalaman Aliran 0.10 m.....	50
Gambar 25. Perkembangan Kedalaman Gerusan Terhadap Waktu pada Abutmen dengan Kedalaman Aliran 0.11 m.....	52
Gambar 26. Titik Pengamatan pada Abutmen dengan Kedalaman Aliran 0.11 m.....	52
Gambar 27. Perkembangan Kedalaman Gerusan Terhadap Waktu pada Abutmen dengan Kedalaman Aliran 0.12 m.....	53
Gambar 28. Titik Pengamatan pada Abutmen dengan Kedalaman Aliran 0.12 m.....	54
Gambar 29. Perkembangan Kedalaman Gerusan Maksimum terhadap Waktu pada Abutmen <i>Semi-Circular-End Abutment</i> .....	55
Gambar 30. Perkembangan Kedalaman Gerusan Maksimum Abutmen terhadap Waktu pada Saat t Puncak.....	56

Gambar 31. Kontur Pola Gerusan pada Abutmen dengan Kedalaman Aliran 0,09 m.....	59
Gambar 32. Isometri Pola Gerusan pada Abutmen dengan Kedalaman Aliran 0,09 m.....	59
Gambar 33. Kontur Pola Gerusan pada Abutmen dengan Kedalaman Aliran 0,10 m.....	61
Gambar 34. Isometri Pola Gerusan pada Abutmen dengan Kedalaman Aliran 0,10 m.....	62
Gambar 35. Kontur Pola Gerusan pada Abutmen dengan Kedalaman Aliran 0,11 m.....	64
Gambar 36. Isometri Pola Gerusan pada Abutmen dengan Kedalaman Aliran 0,11 m.....	64
Gambar 37. Kontur Pola Gerusan pada Abutmen dengan Kedalaman Aliran 0,12 m .....	66
Gambar 38. Isometri Pola Gerusan pada Abutmen dengan Kedalaman Aliran 0,12 m.....	67
Gambar 39. Kedalaman Gerusan Maksimum pada Abutmen sebagai Fungsi Kedalaman Aliran.....	69
Gambar 40. Titik Pengamatan pada Abutmen .....	75

## DAFTAR TABEL

man

Tabel 1.	Koefisien untuk bentuk abutmen.....	31
Tabel 2.	Analisa gradasi butiran.....	42
Tabel 3.	Karakteristik aliran.....	47
Tabel 4.	Kedalaman gerusan pada saat waktu puncak.....	57
Tabel 5	Kedalaman gerusan maksimum di sekitar abutmen sebagai fungsi kedalaman aliran .....	69
Tabel 6.	Nilai $\eta_1$ dan $n^*$ untuk berbagai diameter butiran sedimen (Garde dan Raju, 1977).....	76
Tabel 7.	Pengaruh bentuk <i>pier nouse</i> terhadap gerusan (Garde dan Raju , 1977).....	77
Tabel 8.	Perbandingan hasil penelitian laboratorium dengan perhitungan menggunakan persamaan empiris .....	85

## DAFTAR LAMPIRAN



- Lampiran 1 Data Hasil Uji Laboratorium Material Dasar
- Lampiran 2 Data Perkembangan Kedalaman Gerusan terhadap Waktu pada Abutmen dengan Kedalaman Aliran 0,09 m
- Lampiran 3 Data Perkembangan Kedalaman Gerusan terhadap Waktu pada Abutmen dengan Kedalaman Aliran 0,10 m
- Lampiran 4 Data Perkembangan Kedalaman Gerusan terhadap Waktu pada Abutmen dengan Kedalaman Aliran 0,11 m
- Lampiran 5 Data Perkembangan Kedalaman Gerusan terhadap Waktu pada Abutmen dengan Kedalaman Aliran 0,12 m
- Lampiran 6 Data Hasil Pengukuran *Point Gauge* pada Abutmen dengan Kedalaman Aliran 0,09 m
- Lampiran 7 Data Hasil Pengukuran *Point Gauge* pada Abutmen dengan Kedalaman Aliran 0,10 m
- Lampiran 8 Data Hasil Pengukuran *Point Gauge* pada Abutmen dengan Kedalaman Aliran 0,11 m
- Lampiran 9 Data Hasil Pengukuran *Point Gauge* pada Abutmen dengan Kedalaman Aliran 0,12 m
- Lampiran 10 Dokumentasi penelitian

## DAFTAR NOTASI

A	luas penampang aliran	$m^2$
B	lebar saluran	m
b	lebar abutmen jembatan	m
C	koefisien Chezy	$m^{1/2}/s$
$D_o$	kedalaman material	m
$D_s$	kedalaman gerusan maksimum	m
d	diameter butiran	m
$d_{50}$	diameter butiran, 50 % material lebih kecil dari $d_{50}$	m
Fr	bilangan Froude	-
f	konstanta	-
g	percepatan gravitasi	$m/s^2$
h	kedalaman aliran	m
$h_o$	kedalaman aliran mula-mula	m
$K_1$	koefisien bentuk pilar	-
$K_2$	koefisien sudut embankmen terhadap aliran	-
$K_i$	faktor koreksi	-
$K_d$	faktor ketinggian aliran	-
$K_\sigma$	fungsi dari standar deviasi geometrik ukuran distribusi butiran	-
$L_a$	panjang abutmen	m
Q	debit aliran	$m^3/s$
R	jari-jari hidraulik	m
Re	bilangan Reynolds	-

S	kemiringan memanjang	-
$S_c$	kemiringan kritis	-
$S_f$	kemiringan gradien energi	-
$S_o$	kemiringan dasar saluran	-
T	waktu total running	s
t	waktu	s
$t_1$	waktu seketika $y_m=b$	s
$t_p$	waktu pada saat t puncak	s
U	kecepatan aliran rata-rata	m/s
$U_c$	kecepatan kritik	m/s
$U^*$	kecepatan geser	m/s
$U^*_c$	kecepatan geser kritik	m/s
$y_m$	kedalaman maksimum gerusan pada saat t	m
$y_{m,e}$	kedalaman gerusan maksimum pada saat setimbang	m
$\Delta$	rapat massa relatif	-
$\alpha$	perbandingan bukaan (B-L)/B	-
$\kappa$	konstanta Von Karman	-
$\nu$	viskositas kinematik	$m^2/s$
$\gamma$	berat jenis material dasar	-
$\rho$	massa jenis air	$kg/m^3$
$\sigma$	sudut datang aliran	-
$\tau_o$	tegangan gesek dasar	$N/m^2$
$\tau_c$	tegangan geser kritik	$N/m^2$

- $\theta$  parameter Shields -
- $\eta^*$  eksponen, fungsi ukuran sedimen dan geometri halangan -
- $\eta_1\eta_2\eta_3\eta_4$  koefisien Garde - Raju



**SARI**

Affandi. M.R. 2007. *Pengaruh Kedalaman Aliran terhadap Perilaku Gerusan Lokal di Sekitar Abutmen Jembatan*. Skripsi. Jurusan Teknik Sipil, Fakultas Teknik, Universitas Negeri Semarang.  
Pembimbing : I. Dr. Ir. Istiarto, M.Eng. , II. Nur Qudus, SPd. MT.  
Kata Kunci : Gerusan lokal, abutmen dan kedalaman aliran.

Sungai sangat penting peranannya bagi kehidupan manusia. Kenyataan ini dapat dilihat dari pemanfaatan sungai yang makin lama makin kompleks, mulai dari sarana transportasi, sumber air baku, sumber tenaga listrik dan sebagainya. Gerusan (*scouring*) merupakan suatu proses alamiah yang terjadi di sungai sebagai akibat pengaruh morfologi sungai atau adanya bangunan air (*hydraulic structur*). Bangunan seperti abutmen dapat merubah pola aliran, sehingga secara umum dapat menyebabkan terjadinya gerusan lokal.

Penelitian gerusan di sekitar abutmen dilakukan di Laboratorium Hidraulika Jurusan Teknik Sipil Universitas Negeri Semarang menggunakan alat *flume* dengan panjang 6 m, tinggi 0.40 m dan lebar 0.20 m dengan kondisi aliran seragam. Penelitian tentang pola gerusan di sekitar abutmen dengan berbagai kedalaman aliran dilakukan untuk mempelajari pengaruh kedalaman aliran terhadap pola gerusan dan besarnya kedalaman gerusan yang terjadi. Model abutmen adalah tipe *semi-circular-end abutment* dengan panjang ( $L_a$ ) = 0,06 m, lebar = 0,04 m dan tinggi = 0,3 m. Penelitian menggunakan 4 kedalaman aliran dengan kedalaman aliran masing – masing 0,09 m; 0,10 m; 0,11 m dan 0,12 m. Material yang digunakan berupa pasir yang lolos saringan No.10 dan tertahan saringan No.200 dengan nilai  $d_{50} = 0.49$  mm. Model diuji selama 250 menit untuk setiap kali *running*. Penelitian ini dilakukan dengan kondisi aliran *clear water scour*.

Hasil penelitian menunjukkan gerusan maksimum terjadi pada sisi samping bagian depan abutmen sebelah hulu yaitu pada titik pengamatan 6. Perkembangan gerusan terkecil terjadi pada bagian belakang abutmen sebelah hulu maupun hilir yaitu pada titik pengamatan 1,2 dan 9. Nilai kedalaman gerusan maksimum terhadap kedalaman aliran pada abutmen dengan kedalaman aliran 0,9 m; 0,10 m; 0,11 m; dan 0,12 m secara berturut-turut adalah 1,40; 1,03; 0,83 dan 0,53. Kedalaman aliran berpengaruh terhadap kedalaman gerusan, semakin bertambah kedalaman aliran maka gerusan yang terjadi semakin kecil. Pola gerusan yang terjadi di semua abutmen dengan berbagai kedalaman aliran relatif sama meskipun dengan lebar dan kedalaman gerusan yang berbeda.

## **BAB I**

### **PENDAHULUAN**

#### **1.1. Latar Belakang**

Sungai sangat penting peranannya bagi kehidupan manusia. Kenyataan ini dapat dilihat dari pemanfaatan sungai yang makin lama makin kompleks, mulai dari sarana transportasi, sumber air baku, sumber tenaga listrik dan sebagainya. Menurut Chow (1992:17), Saluran yang mengalirkan air dengan suatu permukaan bebas disebut saluran terbuka. Menurut asalnya saluran dapat digolongkan menjadi saluran alam (*natural*) dan saluran buatan (*artificial*). Saluran alam meliputi semua alur air yang terdapat secara alamiah di bumi, mulai dari anak selokan kecil di pegunungan, selokan kecil, sungai kecil dan sungai besar sampai ke muara sungai.

Sungai merupakan suatu saluran drainase yang terbentuk secara alami yang mempunyai fungsi sebagai saluran. Air yang mengalir di dalam sungai akan mengakibatkan proses penggerusan tanah dasarnya. Penggerusan yang terjadi secara terus menerus akan membentuk lubang-lubang gerusan di dasar sungai. Proses gerusan dapat terjadi karena adanya pengaruh morfologi sungai yang berupa tikungan atau adanya penyempitan saluran sungai.

Dalam perancangan konstruksi jembatan harus diperhitungkan beberapa aspek seperti letak jembatan, aspek hidraulik sungai serta bentuk abutmen yang akan memberikan pola aliran di sekitarnya. Struktur jembatan umumnya terdiri dari dua bangunan penting, yaitu struktur bangunan atas dan struktur bangunan

bawah. Salah satu struktur utama bangunan bawah jembatan adalah abutmen jembatan yang selalu berhubungan langsung dengan aliran sungai.

Aliran yang terjadi pada sungai biasanya disertai proses penggerusan/erosi dan endapan sedimen/deposisi. Gerusan (*scouring*) merupakan suatu proses alamiah yang terjadi di sungai sebagai akibat pengaruh morfologi sungai (dapat berupa tikungan atau bagian penyempitan aliran sungai) atau adanya bangunan air (*hydraulic structur*) seperti: jembatan, bendung, pintu air, dll. Morfologi sungai merupakan salah satu faktor yang menentukan dalam proses terjadinya gerusan, hal ini disebabkan aliran saluran terbuka mempunyai permukaan bebas (*free surface*). Kondisi aliran saluran terbuka berdasarkan pada kedudukan permukaan bebasnya cenderung berubah sesuai waktu dan ruang, disamping itu ada hubungan ketergantungan antara kedalaman aliran, debit air, kemiringan dasar saluran dan permukaan saluran bebas itu sendiri.

Adanya bangunan air menyebabkan perubahan karakteristik aliran seperti kecepatan dan atau turbulensi sehingga menimbulkan perubahan transformasi sedimen dan terjadinya gerusan. Adanya abutmen jembatan akan menyebabkan perubahan pola aliran sungai dan terbentuknya aliran tiga dimensi di sekitar abutmen tersebut. Perubahan pola aliran tersebut akan menimbulkan terjadinya gerusan lokal di sekitar konstruksi abutmen.

Gerusan yang dihasilkan secara langsung akibat adanya suatu bangunan dinamakan gerusan lokal (*local scouring*). Proses terjadinya gerusan lokal biasanya dipicu oleh tertahannya angkutan sedimen yang dibawa bersama aliran

oleh struktur bangunan dan peningkatan turbulensi aliran akibat gangguan suatu struktur.

Abutmen merupakan bangunan jembatan yang terletak di pinggir sungai, yang dapat mengakibatkan perubahan pola aliran. Bangunan seperti abutmen jembatan selain dapat merubah pola aliran juga dapat menimbulkan perubahan bentuk dasar saluran seperti penggerusan. Gerusan lokal yang terjadi pada abutmen biasanya terjadi gerusan pada bagian hulu abutmen dan proses deposisi pada bagian hilir abutmen (Hanwar, 1999:5).

Kedalaman aliran merupakan salah satu parameter yang mempengaruhi besarnya gerusan lokal yang terjadi di sekitar abutmen jembatan. Kedalaman aliran akan sangat berpengaruh terhadap kecepatan aliran yang terjadi. Semakin dalam aliran yang terjadi maka kecepatan semakin berkurang, apabila kedalaman aliran berkurang maka kecepatan akan bertambah, sehingga besarnya gerusan yang diakibatkan adanya pengaruh kedalaman aliran juga akan berbeda pula.

Banyak kasus-kasus tentang runtuhnya bangunan jembatan bukan hanya disebabkan oleh faktor konstruksi, namun persoalan gerusan di sekitar abutmen jembatan juga bisa menjadi penyebab lain, hal ini ditunjukkan karena proses gerusan yang terjadi secara terus menerus sehingga terjadi penurunan pada pangkal abutmen.

Dampak dari gerusan lokal harus diwaspadai karena dapat berpengaruh pada penurunan stabilitas keamanan bangunan air. Mengingat kompleks dan pentingnya permasalahan di atas, kajian tentang gerusan lokal (*local scouring*) di sekitar abutmen jembatan yang terdapat pada sungai akibat adanya pengaruh



kedalaman aliran perlu mendapat perhatian secara khusus, sehingga nantinya dapat diketahui mengenai pola aliran, pola gerusan dan kedalaman gerusan yang terjadi dan selanjutnya dapat pula dicari upaya pengendalian dan pencegahan gerusan pada abutmen jembatan.

Berdasarkan uraian di atas, maka perlu dilakukan penelitian untuk mempelajari gerusan lokal yang terjadi di sekitar abutmen jembatan akibat kedalaman aliran.

### **1.2. Rumusan Masalah**

Berdasarkan uraian latar belakang di atas dapat di ambil permasalahan sebagai berikut :

1. Bagaimana pengaruh kedalaman aliran terhadap pola aliran yang terjadi di sekitar abutmen jembatan?
2. Bagaimana pengaruh kedalaman aliran terhadap kedalaman gerusan lokal?
3. Bagaimana pola gerusan yang terjadi di sekitar abutmen jembatan karena pengaruh kedalaman aliran?

### **1.3. Batasan Penelitian**

Penelitian ini mempunyai batasan sebagai berikut :

1. Penelitian menggunakan abutmen berbentuk *semi-circular-end abutment* dengan panjang ( $L_a$ ) = 0,06 m, lebar = 0,04 m dan tinggi = 0,3 m.
2. Penelitian menggunakan 4 variasi kedalaman aliran dengan kedalaman aliran masing – masing 0,09 m; 0,10 m; 0,11 m dan 0,12 m.

3. Material yang digunakan dalam penelitian ini adalah pasir yang sebelumnya sudah disaring dan lolos ayakan no.10 dan tertahan di ayakan no.200. Hal ini dimaksudkan agar material yang dipakai tidak mengandung banyak lumpur, karena material yang lolos ayakan 200 adalah *clay*, sehingga kondisi aliran mudah diamati.
4. Pola aliran yang diamati adalah pola kontur tiga dimensi dengan pengukuran kedalaman arah x, y, z.
5. Aliran yang digunakan adalah aliran tanpa adanya kandungan sedimen ( *clear water scour* ).
6. Pengaruh dinding batas flume terhadap gerusan yang terjadi tidak diperhitungkan.

#### **1.4. Tujuan Penelitian**

Tujuan yang akan dicapai dalam penelitian ini yaitu untuk :

1. Mengetahui pola gerusan dan kedalaman gerusan yang terjadi disekitar abutmen jembatan akibat pengaruh kedalaman aliran.
2. Mengetahui pengaruh parameter aliran terhadap proses gerusan, serta bentuk hubungan antara parameter-parameter yang berpengaruh tersebut dengan besar gerusan yang terjadi. Sehingga nantinya dapat diketahui pengaruh kedalaman aliran terhadap kedalaman gerusan lokal.

### **1.5. Manfaat Penelitian**

Manfaat yang dapat diambil dalam penelitian ini adalah :

1. Hasil dari penelitian diharapkan memberikan manfaat dalam pengembangan ilmu pengetahuan dan teknologi terutama bidang hidrolika yang berkaitan dengan konsep gerusan lokal pada abutmen jembatan.
2. Hasil penelitian ini diharapkan dapat digunakan sebagai salah satu masukan bagi para konsultan perencana dalam kaitannya dengan perencanaan bangunan air, khususnya dalam menaikkan tingkat keamanan konstruksi abutmen jembatan terhadap gerusan lokal.
3. Hasil penelitian ini diharapkan dapat dijadikan salah satu sumber informasi untuk pengembangan penelitian lebih lanjut.

### **1.6. Sistematika Penelitian**

Penelitian ini disusun dalam lima bab dengan sistematika penulisan sebagai berikut :

#### **BAB I   Pendahuluan**

Pendahuluan memuat tentang latar belakang permasalahan, rumusan masalah, batasan masalah, tujuan penelitian, manfaat penelitian dan sistematika penelitian.

#### **BAB II  Tinjauan Pustaka dan Landasan Teori**

Bab ini menjelaskan tentang pokok-pokok kajian tentang definisi sungai, gerusan, mekanisme gerusan, transpor sedimen, pola aliran, bilangan Froude, koefisien kekasaran dasar, awal gerak butiran, faktor

yang mempengaruhi gerusan di sekitar abutmen, persamaan gerusan untuk aliran beraturan.

### BAB III Metodologi Penelitian

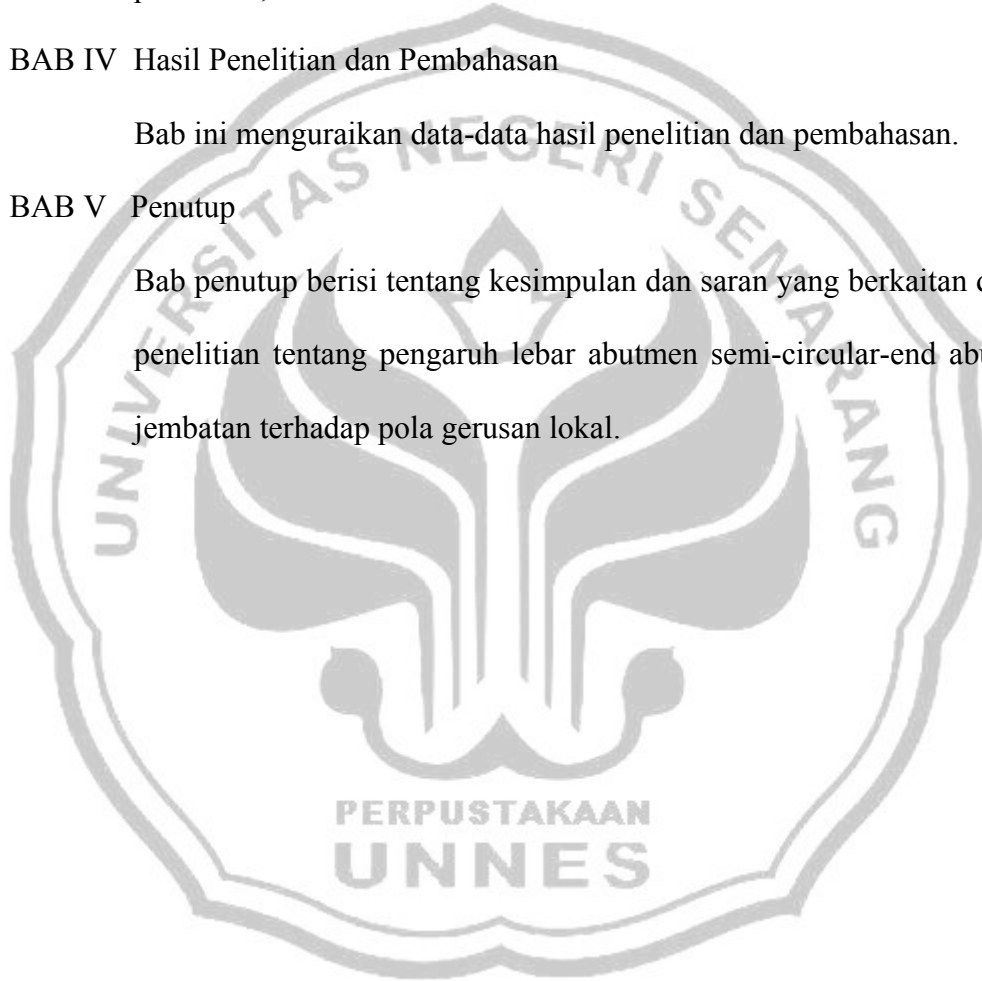
Bab ini membahas tentang metode pengumpulan data, langkah penelitian, dan analisis data.

### BAB IV Hasil Penelitian dan Pembahasan

Bab ini menguraikan data-data hasil penelitian dan pembahasan.

### BAB V Penutup

Bab penutup berisi tentang kesimpulan dan saran yang berkaitan dengan penelitian tentang pengaruh lebar abutmen semi-circular-end abutment jembatan terhadap pola gerusan lokal.



## BAB II

### TINJAUAN PUSTAKA DAN LANDASAN TEORI

#### 2.1. Tinjauan Pustaka

##### 2.1.1. Sungai

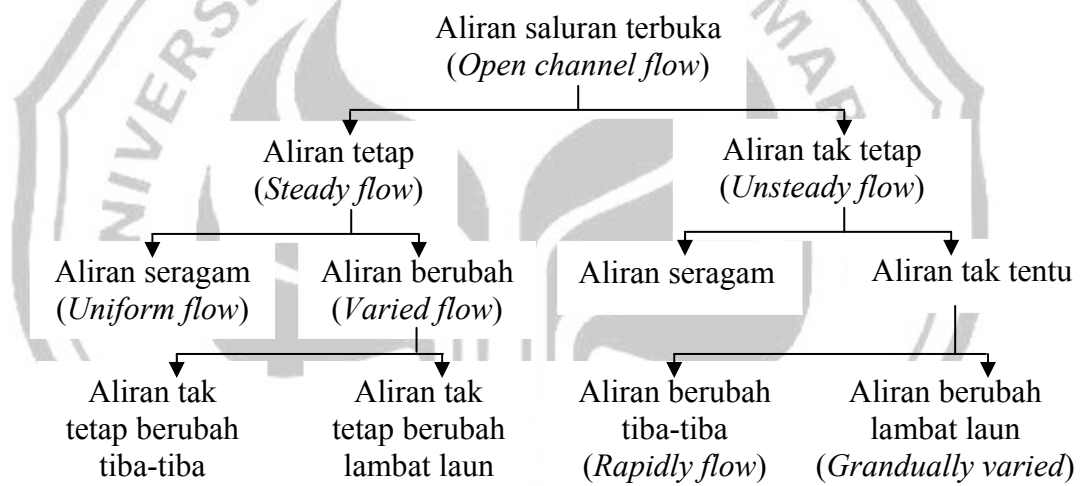
Sungai sangat penting peranannya bagi kehidupan manusia. Kenyataan ini dapat dilihat dari pemanfaatan sungai yang makin lama makin kompleks, mulai dari sarana transportasi, sumber air baku, sumber tenaga listrik dan sebagainya.

Sungai atau saluran terbuka menurut Triatmodjo (1996:103) adalah saluran dimana air mengalir dengan muka air bebas. Pada saluran terbuka, misalnya sungai (saluran alam), variabel aliran sangat tidak teratur terhadap ruang dan waktu. Variabel tersebut adalah tampang lintang saluran, kekasaran, kemiringan dasar, belokan, debit aliran dan sebagainya.

Tipe aliran saluran terbuka menurut Triatmodjo (1996:104) adalah turbulen, karena kecepatan aliran dan kekasaran dinding relatif besar. Aliran melalui saluran terbuka akan turbulen apabila angka Reynolds  $Re > 1.000$ , dan laminar apabila  $Re < 500$ . Aliran melalui saluran terbuka dianggap seragam (*uniform*) apabila berbagai variabel aliran seperti kedalaman, tampang basah, kecepatan, dan debit pada setiap tampang saluran terbuka adalah konstan. Aliran melalui saluran terbuka disebut tidak seragam atau berubah (*non uniform flow* atau *varied flow*), apabila variabel aliran seperti kedalaman, tampang basah, kecepatan di sepanjang saluran tidak konstan. Apabila perubahan aliran terjadi pada jarak yang pendek maka disebut aliran berubah cepat, sedang apabila terjadi

pada jarak yang panjang disebut aliran berubah tidak beraturan. Aliran disebut mantap apabila variabel aliran di suatu titik seperti kedalaman dan kecepatan tidak berubah terhadap waktu, dan apabila berubah terhadap waktu disebut aliran tidak mantap. Selain itu aliran melalui saluran terbuka juga dapat dibedakan menjadi aliran sub kritis (mengalir) jika  $Fr < 1$ , dan super kritis (meluncur) jika  $Fr > 1$ . Di antara kedua tipe tersebut aliran adalah kritis ( $Fr = 1$ ).

Klasifikasi aliran menurut Chow (1996) dalam Gunawan (2006:9) dapat digolongkan sebagai berikut :



Gambar 1. Klasifikasi aliran

### 2.1.2. Gerusan

Proses erosi dan deposisi umumnya terjadi karena perubahan pola aliran terutama pada sungai alluvial. Perubahan pola aliran terjadi karena adanya halangan pada aliran sungai tersebut, berupa bangunan sungai seperti pilar jembatan dan abutmen. Bangunan semacam ini dipandang dapat merubah

geometri alur dan pola aliran yang selanjutnya diikuti gerusan lokal di sekitar bangunan (Legono,(1990) dalam Sucipto, (2004:33)).

Raudkivi dan Ettema (1982) dalam Gunawan (2006:10) membedakan tipe gerusan adalah sebagai berikut :

1. Gerusan umum dialur sungai, tidak berkaitan sama sekali dengan ada atau tidak adanya bangunan sungai.
2. Gerusan di lokalisir di alur sungai, terjadi karena penyempitan aliran sungai menjadi terpusat.
3. Gerusan lokal di sekitar bangunan, terjadi karena pola aliran lokal di sekitar bangunan sungai.

Ketiga jenis peristiwa gerusan tersebut dapat terjadi bersamaan namun pada tempat yang berbeda. Gerusan dari jenis (2) dan (3) selanjutnya dapat dibedakan menjadi gerusan dengan air bersih (*clear water scour*) maupun gerusan dengan air bersedimen (*live bed scour*). Gerusan dengan air bersih berkaitan dengan suatu keadaan dimana dasar sungai di sebelah hulu bangunan dalam keadaan diam (tidak ada material yang terangkut) atau secara teoritik  $\tau_0 < \tau_c$ . Sedangkan gerusan dengan air bersedimen terjadi ketika kondisi aliran dalam saluran menyebabkan material dasar bergerak. Peristiwa ini menunjukkan bahwa tegangan geser pada saluran lebih besar dari nilai kritiknya atau secara teoritik  $\tau_0 > \tau_c$ .

Laursen (1952) dalam Hanwar (1999:4) mendefinisikan gerusan sebagai pembesaran dari suatu aliran yang disertai pemindahan material melalui aksi

gerakan fluida. Gerusan lokal (*lokal scouring*) terjadi pada suatu kecepatan aliran di mana sedimen yang ditranspor lebih besar dari sedimen yang disuplai.

Menurut Laursen (1952) dalam Sucipto (2004:34), sifat alami gerusan mempunyai fenomena sebagai berikut :

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

### **2.1.3. Mekanisme Gerusan**

Menurut Yulistianto dkk. (1998) dalam Abdurrasyid (2005:37), gerusan yang terjadi di sekitar abutmen jembatan adalah akibat sistem pusaran (*vortex system*) yang timbul karena aliran dirintangi oleh bangunan tersebut. Sistem pusaran yang menyebabkan lubang gerusan (*scour hole*), berawal dari sebelah hulu abutmen yaitu pada saat mulai timbul komponen aliran dengan arah aliran ke bawah, karena aliran yang datang dari hulu dihalangi oleh abutmen, maka aliran akan berubah arah menjadi arah vertikal menuju dasar saluran dan sebagian berbelok arah menuju depan abutmen selanjutnya diteruskan ke hilir. Aliran arah vertikal ini akan terus menuju dasar yang selanjutnya akan membentuk pusaran. Di dekat dasar saluran komponen aliran berbalik arah vertikal ke atas, peristiwa



ini diikuti dengan terbawanya material dasar sehingga terbentuk aliran spiral yang akan menyebabkan gerusan dasar. Hal ini akan terus berlanjut hingga tercapai keseimbangan.



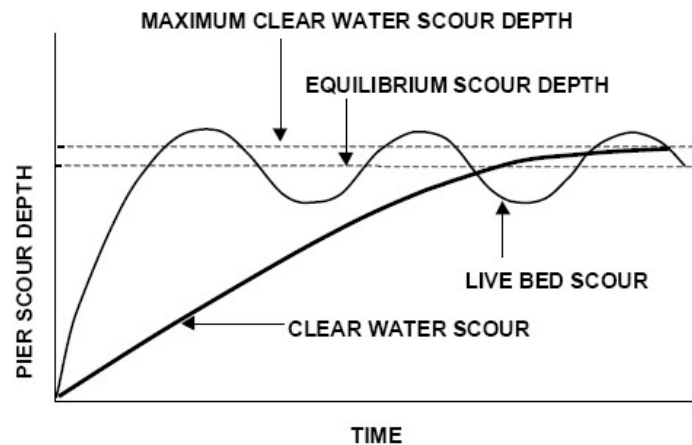
**Gambar 2.** Mekanisme gerusan akibat pola aliran air di sekitar abutmen  
(Sumber : Breusers dan Raudkivi,1991:56)

Gerusan lokal diklasifikasikan menjadi *clear water scour* dan *live bed scour* (Miller 2003). Bila tidak ada perpindahan sedimen pada bed menjauhi struktur, fenomena ini disebut *clear water scour*. Pada kondisi ini, tegangan geser aliran kurang dari yang dibutuhkan untuk perpindahan sedimen (kurang dari tegangan geser kritis). Pada struktur, periode inisial dari erosi diikuti oleh *equilibrium* (keseimbangan, terjadi pada saat perubahan aliran yang disebabkan

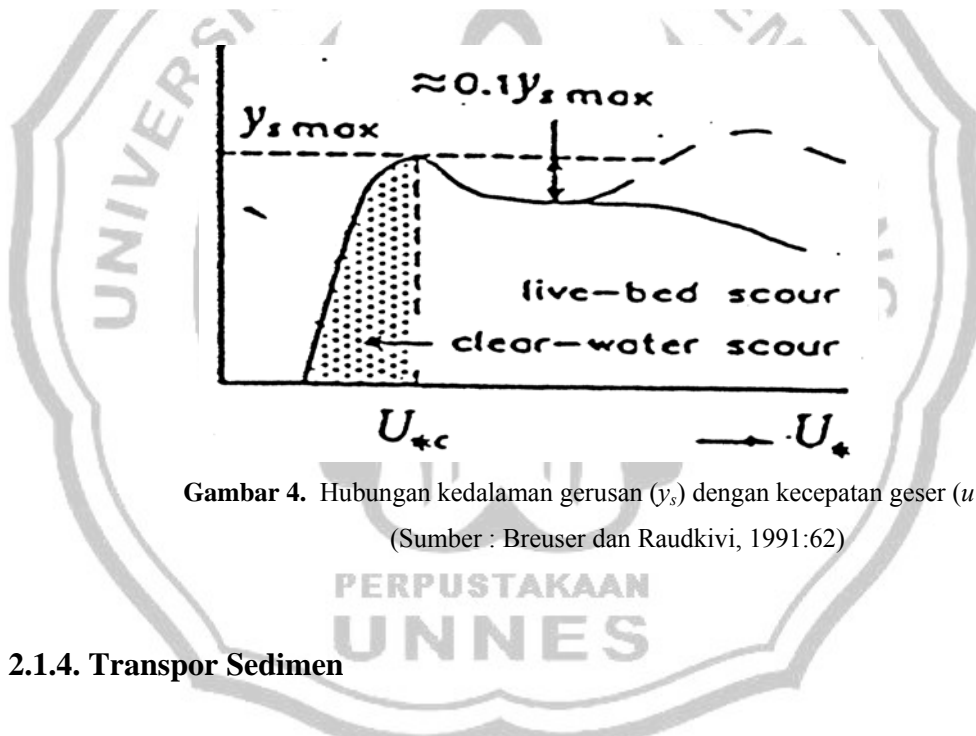
lubang gerusan mengurangi besarnya tegangan geser yaitu bila sedimen tidak bisa lagi bergerak dan berpindah lagi dari lubang gerusan).

Pada saat sedimen mulai bergerak dari bed menjauhi struktur, proses ini dinamakan *live bed scour*. Dalam hal ini, tegangan geser aliran dari struktur lebih besar daripada nilai kritis yang dibutuhkan sedimen untuk bergerak dan terangkut. Pada umumnya rata-rata inisial gerusan cenderung lebih besar pada waktu terjadi *live bed scour* dibandingkan *clear water scour* dan *equilibrium* kedalaman gerusan terjadi lebih cepat. Dalam kondisi *live bed scour*, sedimen dari *upstream* struktur terus menerus terangkut ke dalam lubang gerusan. Dalam hal ini, kondisi *equilibrium* tercapai pada saat jumlah sedimen yang masuk ke dalam lubang gerusan setara dengan jumlah yang terangkut. Meskipun begitu kedalaman lubang gerusan akan berubah-ubah sejalan dengan waktu walau setelah kondisi "*equilibrium*" tercapai.

Chabert dan Engeldinger (1956) dalam Breuser dan Raudkivi (1991:61) menyatakan lubang gerusan yang terjadi pada alur sungai umumnya merupakan korelasi antara kedalaman gerusan dengan kecepatan aliran sehingga lubang gerusan tersebut merupakan fungsi waktu Gambar 3. Sedangkan Breusers dan Raudkivi (1991:61) menyatakan bahwa kedalaman gerusan maksimum merupakan fungsi kecepatan geser Gambar 4.



**Gambar 3.** Hubungan kedalaman gerusan dengan waktu  
(Sumber : Breuser dan Raudkivi, 1991:62)



**Gambar 4.** Hubungan kedalaman gerusan ( $y_s$ ) dengan kecepatan geser ( $u_*$ )  
(Sumber : Breuser dan Raudkivi, 1991:62)

#### 2.1.4. Transpor Sedimen

Gerusan yang terjadi pada suatu sungai terlepas dari ada dan tidaknya bangunan sungai selalu berkaitan dengan peristiwa transpor sedimen. Transpor sedimen merupakan suatu peristiwa terangkutnya material dasar sungai yang terbawa aliran sungai.

Kironoto (1997) dalam Mira (2004:13), menyebutkan bahwa akibat adanya aliran air timbul gaya-gaya aliran yang bekerja pada material sedimen.

Gaya-gaya tersebut mempunyai kecenderungan untuk menggerakkan/ menyeret material sedimen. Untuk material sedimen kasar (pasir dan batuan / granuler), gaya untuk melawan gaya-gaya aliran tersebut tergantung dari besar butiran sedimen. Untuk material sedimen halus yang mengandung fraksi lanau (*silt*) atau lempung (*clay*) yang cenderung bersifat kohesif, gaya untuk melawan gaya-gaya aliran tersebut lebih disebabkan kohesi daripada berat material (butiran) sedimen.

#### 2.1.5. Pola Aliran

Menurut Cartens (1976) dalam Rinaldi (2002:10) tiga tipe interaksi dapat dibedakan berdasarkan perbandingan antara panjang abutmen, ( $L_a$ ) dengan kedalaman aliran, ( $D_o$ ) yaitu :

1.  $D_o / L_a < 0,5$  interaksi kuat, pusaran menyebabkan pemisahan aliran pada sisi kiri dan kanan struktur yang berlangsung tidak kontinyu atau hanya sebentar-sebentar.
2.  $0,5 < D_o / L_a < 1,5$  interaksi lemah
3.  $D_o / L_a > 1,5$  tidak ada interaksi, pusaran secara bebas dari sisi kiri dan kanan struktur.

Medan aliran di sekitar abutmen umumnya mempunyai ciri yaitu percepatan aliran di hulu abutmen kemudian melemah di dekat abutmen, atau terjadi perlambatan aliran, selanjutnya aliran dipisahkan oleh sistem vortex. Pada jarak yang cukup jauh dari abutmen ke arah hilir, aliran uniform akan terbentuk kembali.

Pemisahan aliran dan pusaran yang kecil hanya terjadi pada bagian hulu abutmen. Jika sudut antara abutmen dan dinding saluran  $90^\circ$ , maka permukaan air akan bergulung dan pemisahan pusaran yang kecil terjadi pada sudut antara tepi saluran dengan abutmen. Aliran ke bawah pada *vertical-wall abutment* bisa mengakibatkan gerakan spiral yang kuat pada dasar saluran. Jika aliran cukup kuat maka aliran akan menghantam bagian hulu abutmen, dan selanjutnya terjadi lagi pemisahan aliran. Jalur vortex akan menyebabkan terjadinya lobang gerusan pada dasar saluran.

Menurut Graf (1998) dalam Rinaldi (2002:11) pola aliran dan gerusan pada abutmen agak mirip dengan pilar tunggal. Aliran vertikal ke bawah menyebabkan terjadinya prinsip vortex, yang aktif menyebabkan proses gerusan. Panjang abutmen ( $L_a$ ), adalah sangat menentukan adanya arus balik pada daerah *dead-water* di bagian hulu abutmen, dan akan mengganggu prinsip tegangan vortex. Selanjutnya jika panjang abutmen semakin besar maka gerusan yang terjadi bukan hanya disebabkan oleh adanya abutmen tetapi juga disebabkan oleh adanya penyempitan (*constriction*).

## 2.2. Landasan Teori

### 2.2.1. Bilangan Froude

Interaksi gaya gravitasi dan gaya inersia aliran pada saluran dinyatakan dengan bilangan Froude ( $Fr$ ) yang didefinisikan sebagai :

$$Fr = \frac{U}{\sqrt{gY_o}} \quad (1)$$

dengan :

$U$  = nilai kecepatan aliran rata-rata, m/s.

$Y_o$  = kedalaman aliran, m.

$g$  = percepatan gravitasi,  $m/s^2$ .

$Fr$  = bilangan Froude.

Bilangan Froude dapat digunakan untuk menentukan regime aliran yang terjadi pada saluran. Regime aliran dapat dibagi menjadi 3 kategori (Rinaldi, 2002:20) yaitu :

1. Regime aliran sub-kritis jika nilai  $Fr < 1$ . Pada aliran sub-kritis peranan gaya tarik bumi lebih menonjol, sehingga aliran mempunyai kecepatan rendah dan sering dikatakan tenang.
2. Regime aliran kritis jika nilai  $Fr = 1$ . Kedalaman aliran pada regime ini adalah kedalaman kritis.
3. Regime aliran super-kritis terjadi jika  $Fr > 1$ . Dalam keadaan ini gaya-gaya inersia sangat menonjol, sehingga aliran mempunyai kecepatan tinggi dan kedalaman aliran pada regime ini lebih kecil dari kedalaman kritis,  $D < D_{kr}$ .

### 2.2.2. Koefisien Kekasaran Dasar

Perilaku aliran terhadap konfigurasi dasar dapat digambarkan sebagai hubungan besaran Manning, koefisien Chesy (C) yang dirumuskan sebagai berikut :

$$C = \frac{r^{1/6}}{n} \quad (2)$$

$$n = \frac{d^{1/6}}{21.1} \quad (3)$$

dengan :

n = angka kekasaran Manning.

d = diameter butir seragam pada dasar saluran, mm.

r = jari-jari hidrolis, m.

Kecepatan rata-rata menurut Chezy dirumuskan sebagai berikut :

$$U = C\sqrt{rS_f} \quad (4)$$

dengan :

U = kecepatan aliran rata-rata, m/s.

$S_f$  = kemiringan dasar energi.

$S_o$  = kemiringan dasar saluran.

$S_w$  = kemiringan permukaan air.

Pengujian di laboratorium diusahakan pada kondisi aliran seragam sehingga garis energi, muka air dan dasar saluran saling sejajar, berarti kemiringannya sama atau  $S_f = S_w = S_o$ .

### 2.2.3. Awal Gerak Butiran

Akibat adanya aliran air, timbul gaya-gaya yang bekerja pada material sedimen. Gaya-gaya tersebut mempunyai kecenderungan untuk menggerakkan atau menyeret butiran material sedimen. Pada waktu gaya-gaya yang bekerja pada butiran sedimen mencapai suatu harga tertentu, sehingga apabila sedikit gaya ditambah akan menyebabkan butiran sedimen bergerak, maka kondisi tersebut disebut kondisi kritik. Parameter aliran pada kondisi tersebut, seperti tegangan geser dasar ( $\tau_0$ ), kecepatan aliran ( $U$ ) juga mencapai kondisi kritik (Kironoto, (1997) dalam Sucipto (1994:36)).

Garde dan Raju (1977) dalam Sucipto (2004:36) menyatakan bahwa yang dikatakan sebagai awal gerakan butiran adalah salah satu dari kondisi berikut :

1. Satu butiran bergerak,
2. Beberapa (sedikit) butiran bergerak,
3. Butiran bersama-sama bergerak dari dasar, dan
4. Kecenderungan pengangkutan butiran yang ada sampai habis.

Tiga faktor yang berkaitan dengan awal gerak butiran sedimen yaitu :

1. Kecepatan aliran dan diameter/ukuran butiran,
2. Gaya angkat yang lebih besar dari gaya berat butiran, dan
3. Gaya geser kritis

Distribusi ukuran partikel menurut Raudkivi (1991) dalam Gunawan (2006:20) dinyatakan dalam diameter rata-rata geometrik ( $d_{50}$ ), standar geometri ( $\sigma_g$ ) adalah sebagai berikut :



$$\sigma_g = \left( \frac{d_{84}}{d_{50}} \right)^{0,5} \quad (5)$$

Shield dalam Gunawan (2006:20) mengungkapkan suatu diagram untuk awal gerak butiran pada material dasar seragam. Shield menyatakan parameter mobilitas kritis yang dinamakan parameter Shields :

$$\theta_c = \frac{\tau_c}{\rho \cdot g \cdot \Delta \cdot d} = \frac{u_{*c}^2}{g \cdot \Delta \cdot d} \quad (6)$$

Tegangan geser :

$$\tau_0 = \rho \cdot g \cdot y_0 \cdot I \quad (7)$$

Kecepatan geser :

$$u_* = \left( \frac{\tau_0}{\rho} \right)^{0,5} \quad (8)$$

Angka Reynold :

$$Re = \frac{Uh}{\nu} \quad (9)$$

Kecepatan kritik dihitung di atas dasar rumus sebagai berikut :

$$U_c = u_{*c} \left( 5,75 \log \left( \frac{y_0}{2 \cdot d_{50}} \right) + 6 \right) \quad (10)$$

Kecepatan geser kritik diberikan :

$$u_{*c} = \sqrt{\theta_c \cdot g \cdot \Delta \cdot d} \quad (11)$$

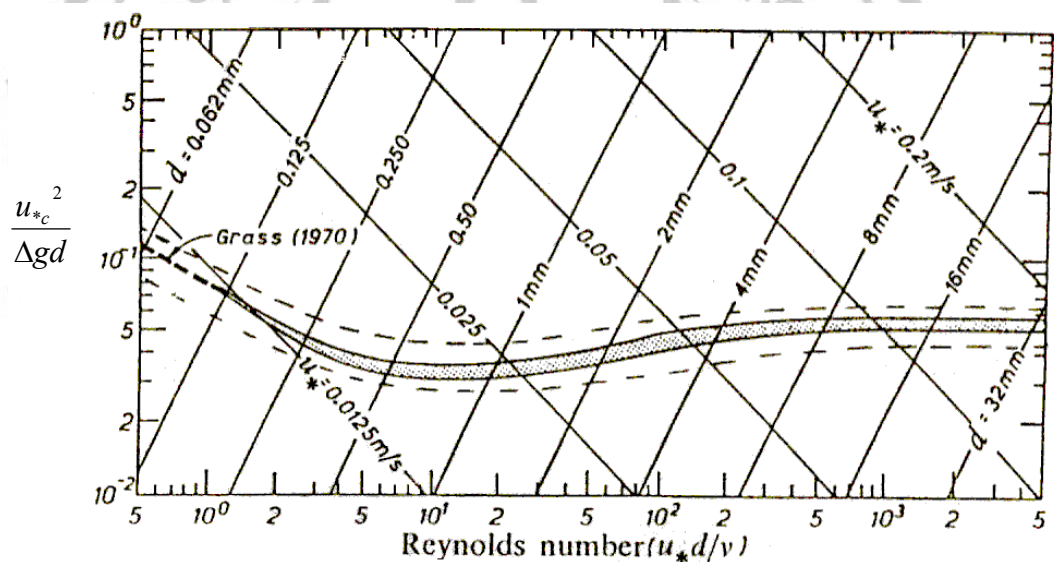
dengan :

$\sigma_g$  = standar geometri

$d$  = diameter butiran  $d_{50}$ , m

$g$  = percepatan grafitasi, m/s<sup>2</sup>

- $\Delta$  = relatif densiti
- $\rho$  = massa jenis air,  $\text{kg/m}^3$
- $u_{*c}$  = kecepatan geser kritis,  $\text{m/s}$
- $\tau_c$  = nilai kritik,  $\text{N/m}^2$
- $\theta_c$  = parameter mobilitas kritik
- $R$  = jari-jari hidraulik,  $\text{m}$
- $y_0$  = kedalaman aliran,  $\text{m}$
- $I$  = kemiringan dasar sungai



Gambar 5. Diagram Shields, Hubungan Tegangan Geser Kritis dengan Bilangan Reynolds

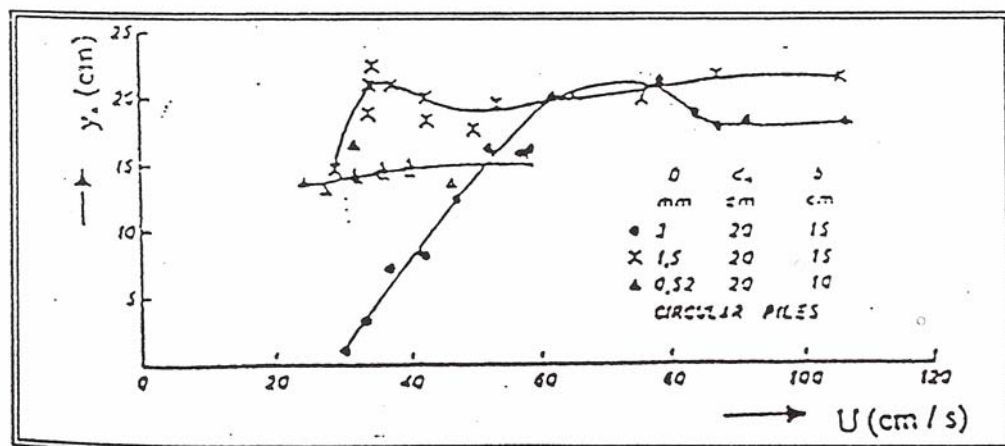
## 2.2.4. Faktor yang Mempengaruhi Kedalaman Gerusan

### 2.2.4.1. Kecepatan Aliran

Menurut Breusers (1977) dalam Hanwar (1999:22), perkembangan proses gerusan tergantung pada kecepatan aliran dan intensitas turbulen pada transisi

antara *fixed* dan *erodible bed*, oleh karena itu tidak diperlukan informasi mengenai kecepatan dan turbulensi dekat dasar pada lubang gerusan.

Chabert dan Engeldinger (1956) dalam Hanwar (1999) menyimpulkan bahwa kedalaman gerusan maksimum diperoleh pada kecepatan yang mendekati kecepatan aliran kritis, sedangkan gerusan mulai kira – kira pada setengah kecepatan aliran kritis, seperti Gambar 6



Gambar 6. hubungan kedalaman gerusan dengan kecepatan aliran

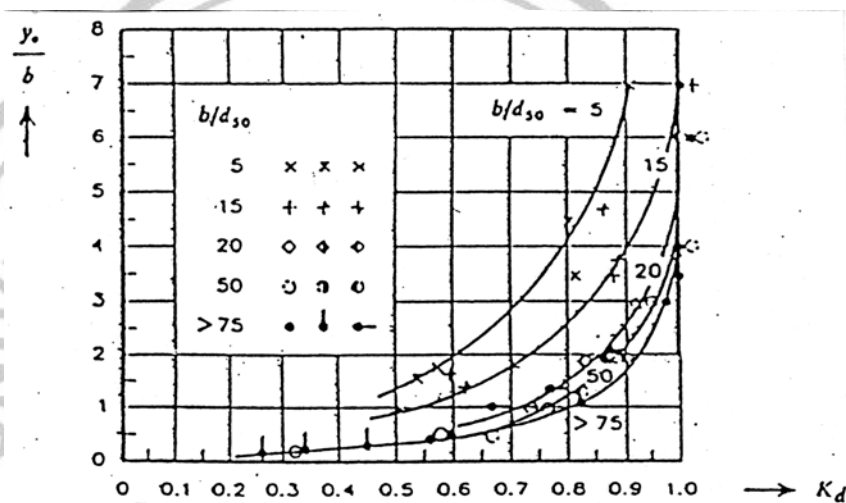
(Breusers, 1977)

#### 2.2.4.2. Kedalaman Aliran

Dalam gerusan lokal yang terjadi dipengaruhi oleh kedalaman dasar sungai dari muka air (tinggi aliran zat air), maka kecepatan relatif  $U^*/U^*_c$  dan kedalaman relatif ( $y_o/b$ ) merupakan faktor penting untuk mengestimasi kedalaman gerusan lokal ini. Neil (1964) dalam Breuser (1991:70) : kedalaman gerusan lokal merupakan fungsi dari tinggi aliran dengan persamaan sebagai berikut :

$$Y_s/Y_o = 1.5(b/Y_o)^{0.70} \quad (12)$$

Keseimbangan gerusan lokal pada aliran rendah akan tercapai jika telah terjadi kesamaan nilai  $\sigma/d_{50}$  dan  $Y_o/b$ , dan pengaruh dari  $Y_o/b$  tidak dapat dibedakan antara kondisi *clear water scour* dan *live bed scour*. Pada  $U^*/U_{*c}$  yang konstan, faktor pengaruh dari kedalaman aliran dapat diabaikan untuk  $Y_o/b \geq 2$ , sedangkan korelasi antara kedalaman relatif ( $y_o/b$ ) dan koefisien kedalaman air ( $K_{da}$ ) seperti Gambar 7 dibawah ini.



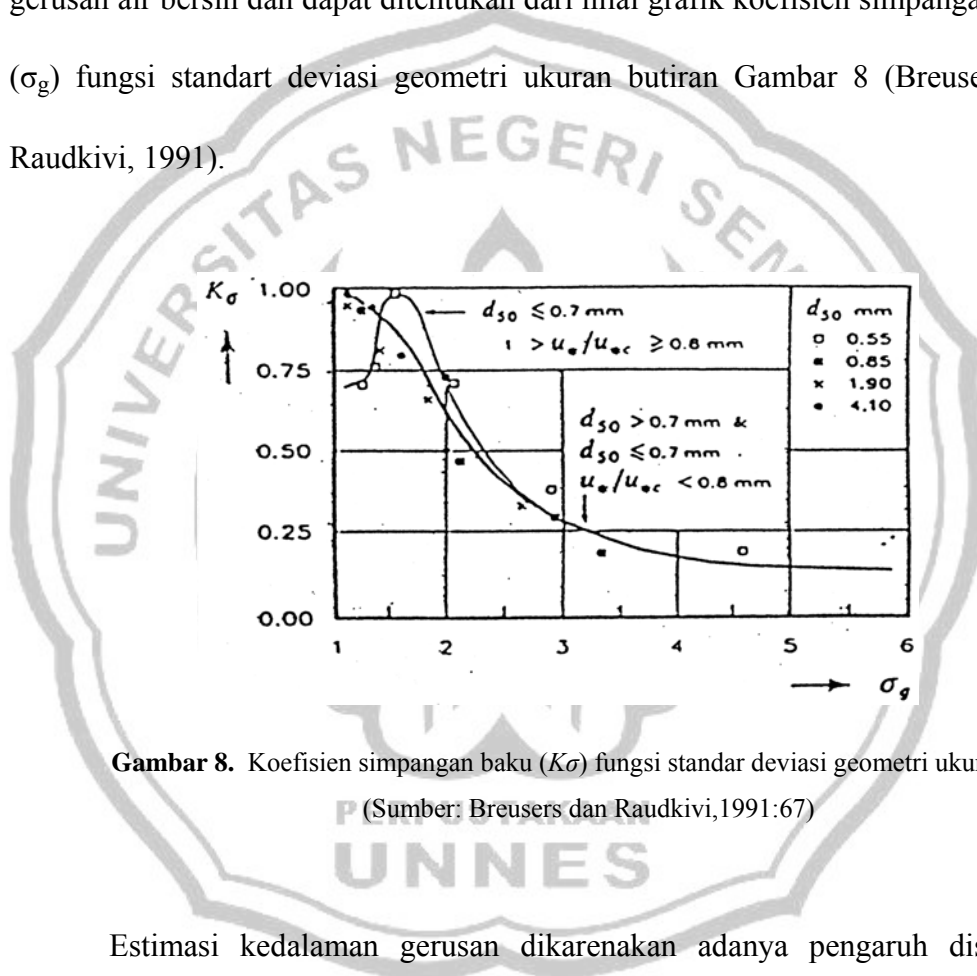
**Gambar 7.** Hubungan koefisien aliran ( $K_d$ ) dan kedalaman aliran relatif ( $Y_o/b$ ) dengan ukuran relatif ( $b/d_{50}$ ) (Sumber : Breuser dan Raudkivi,1991)

### 2.2.4.3. Ukuran Butiran

Ukuran butiran dari transpor sedimen merupakan salah satu faktor yang mempengaruhi kedalaman gerusan pada kondisi air bersih (*clear water scour*). Kedalaman gerusan ( $y_s/b$ ) tak berdimensi merupakan fungsi dari karakteristik ukuran butiran material dasar ( $\sigma/d_{50}$ ). Dimana  $\sigma$  adalah standar deviasi untuk ukuran butiran dan  $d_{50}$  adalah ukuran partikel butiran rerata. Nilai kritis dari  $\sigma/d_{50}$  untuk melindunginya hanya dapat dicapai dengan bidang dasar, tetapi tidak

dengan lubang gerusan dimana kekuatan lokal pada butirannya tinggi yang disebabkan meningkatnya pusaran air.

Dengan demikian nilai koefisien simpangan baku geometrik ( $\sigma_g$ ) dari distribusi ukuran butiran material dasar akan berpengaruh pada kedalaman gerusan air bersih dan dapat ditentukan dari nilai grafik koefisien simpangan baku ( $\sigma_g$ ) fungsi standart deviasi geometri ukuran butiran Gambar 8 (Breusers dan Raudkivi, 1991).



**Gambar 8.** Koefisien simpangan baku ( $K\sigma$ ) fungsi standart deviasi geometri ukuran butir  
(Sumber: Breusers dan Raudkivi, 1991:67)

Estimasi kedalaman gerusan dikarenakan adanya pengaruh distribusi material dasar mempunyai nilai maksimum dalam kondisi setimbang pada aliran air bersih (*clear water*) menurut Breuser dan Raudviki (1991:67) adalah sebagai berikut :

$$Y_{se}(\sigma)/b = K_d \cdot Y_{se}/b \quad (13)$$

#### 2.2.4.4. Bentuk Abutmen

Abutmen jembatan merupakan salah satu bagian konstruksi jembatan yang ditempatkan pada pangkal konstruksi jembatan. Simon dan Senturk (1992) dalam Hanwar (1999) menyatakan bahwa ada dua bentuk umum abutmen yaitu *vertical wall abutment* dengan *wing* atau *box wall* dan *spill – thourgh abutment*. Kedalaman gerusan untuk *vertical wall abutment* kurang lebih dua kali dibanding dengan *spill through abutment*.

Breusers (1991) dalam Hanwar (1999) menyatakan bahwa kedalaman gerusan untuk *wing –wall (WW)*, *spill-through (ST)* dan *vertical wall pointing downstream (TS1)* adalah sekitar 70% dibanding *semi-circular-end-abutment (SCE)*.



**Gambar 9.** Model abutmen *semi-circular-end abutment*

## 2.2.5. Persamaan Empiris untuk Kedalaman Gerusan

### 2.2.5.1. Persamaan Laursen (1980), dalam Hanwar (1999)

Untuk menentukan kedalaman gerusan pada kondisi *clear water scour* pada *vertical wall abutment* dengan  $\tau_o < \tau_c$  dipakai persamaan berikut :

$$\frac{La}{do} = 2,75 \cdot \frac{ds}{do} \cdot \left( \frac{(ds/11,5 do + 1)^{7/6}}{(\tau_o / \tau_c)} - 1 \right) \quad (10)$$

dengan :

$La$  = panjang abutment, m

$do$  = kedalaman aliran, m

$ds$  = kedalaman gerusan, m

$\tau_o$  = tegangan geser dasar saluran, N/m<sup>2</sup>

$\tau_c$  = tegangan geser kritis, N/m<sup>2</sup>

### 2.2.5.2. Persamaan Froehlich (1987), dalam Hanwar (1999)

Untuk menentukan kedalaman gerusan pada kondisi *clear water scour* pada abutmen, Froehlich (1987), menggunakan analisa dimensi dan analisa multiple regresi terhadap 164 percobaan pada saluran air ( flume) laboratorium, sehingga diperoleh persamaan berikut :

$$\frac{ds}{do} = 0,78 \cdot K_1 \cdot K_2 \left( \frac{La}{do} \right)^{0,63} \cdot Fr^{1,16} \cdot \left( \frac{do}{d_{50}} \right)^{0,43} \cdot \sigma^{1,87} \quad (11)$$

dengan :

$K_1$  = koefisien untuk bentuk abutmen

$K_2$  = koefisien untuk sudut *embankment* terhadap aliran

- $L_a$  = panjang abutmen, m  
 $Fr$  = bilangan Froude dari aliran upstream pada abutmen  
 $\sigma$  = deviasi standar geometri dari material dasar  
 $d_o$  = kedalaman aliran, m  
 $d_s$  = kedalaman gerusan, m

**Tabel 1.** Koefisien untuk bentuk abutmen

Bentuk Abutmen	nilai $K_1$
Abutmen vertikal	1,0
Abutmen vertikal dengan ujung wing-wall	0,82
Abutmen spill through	0,55

sedangkan nilai  $K_2 = \left(\frac{\theta}{90}\right)^{0,13}$

dengan :

$\theta$  = sudut *embankment* terhadap aliran.

$\sigma = \left(\frac{d_{84}}{d_{16}}\right)^{0,5}$ ,  $d_{84}$  dan  $d_{16}$  ukuran dari material dasar.

### 2.2.5.3. Persamaan Garde dan Raju (1977) dalam Hanwar (1999)

Persamaan Garde dan Raju (1977) digunakan pada gerusan lokal di sekitar pilar jembatan, spur dan abutmen jembatan untuk aliran transportasi

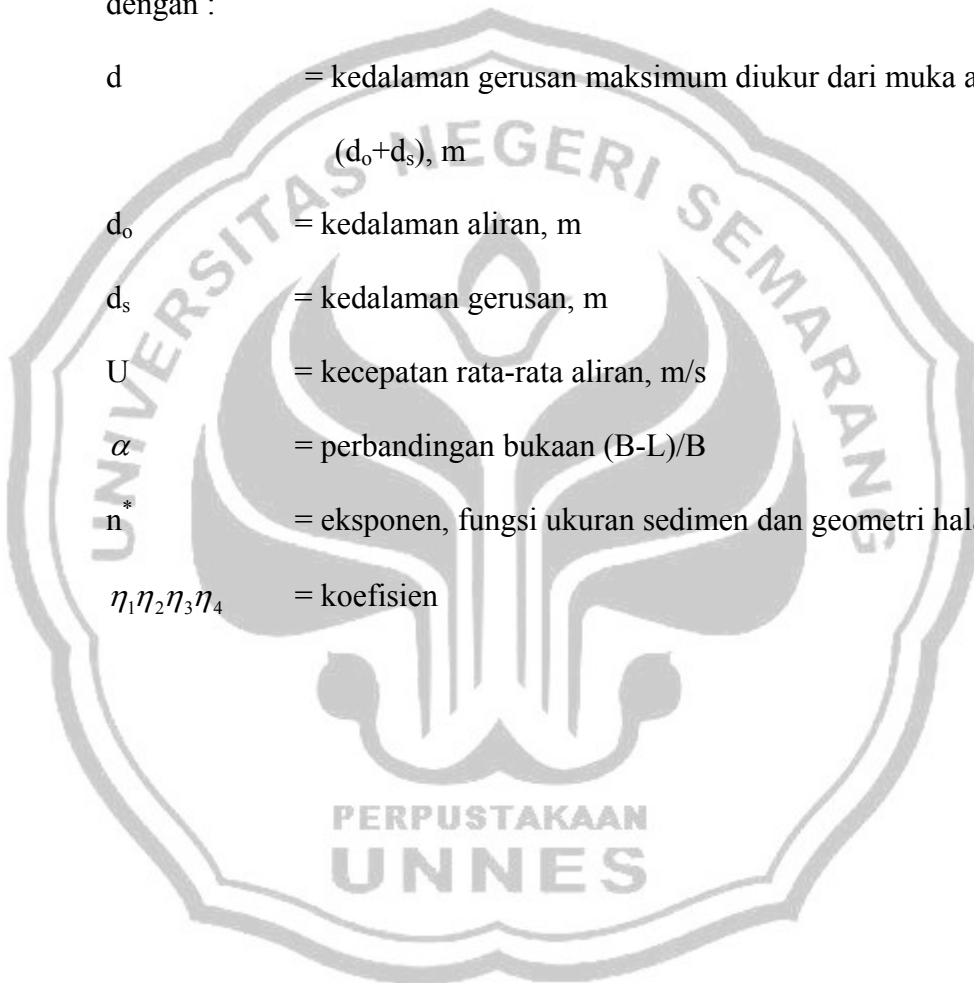


sedimen dan *clear water*. Kedalaman gerusan tak berdimensi ( $d/d_o$ ) dinyatakan sebagai berikut :

$$\frac{d}{d_o} = \frac{4,0}{\alpha} \eta_1 \eta_2 \eta_3 \eta_4 \left( \frac{U}{\sqrt{gd_o}} \right)^{n^*} \quad (12)$$

dengan :

- $d$  = kedalaman gerusan maksimum diukur dari muka air  
 $(d_o + d_s)$ , m
- $d_o$  = kedalaman aliran, m
- $d_s$  = kedalaman gerusan, m
- $U$  = kecepatan rata-rata aliran, m/s
- $\alpha$  = perbandingan bukaan  $(B-L)/B$
- $n^*$  = eksponen, fungsi ukuran sedimen dan geometri halangan
- $\eta_1 \eta_2 \eta_3 \eta_4$  = koefisien



## **BAB III**

### **METODE PENELITIAN**

#### **3.1. Tempat Penelitian**

Penelitian dilaksanakan di Laboratorium Hidraulika Jurusan Teknik Sipil Fakultas Teknik Universitas Negeri Semarang. Urutan penelitian dilakukan menjadi dua bagian utama, yaitu :

1. Penelitian secara fisik, dilakukan di Laboratorium Hidraulika Jurusan Teknik Sipil Fakultas Teknik Universitas Negeri Semarang dengan pengamatan dan pencatatan fenomena yang ada di model, dan
2. Penelitian secara hipotetik dan analitik, dilaksanakan dengan tujuan menemukan beberapa variable yang saling berpengaruh.

Penelitian fisik di laboratorium yang menyangkut tahapan studi literatur, persiapan alat, persiapan bahan, pembuatan model dan pengumpulan data dari penyajian model. Sedangkan penelitian hipotetik dan analitik berupa analisis data dan membuat kesimpulan hasil penelitian secara ringkas.

#### **3.2. Bahan Penelitian**

Bahan yang digunakan pada penelitian ini adalah sebagai berikut :

1. Pasir

Material yang digunakan dalam penelitian ini adalah pasir yang sebelumnya sudah disaring dan lolos ayakan no.10 dan tertahan di ayakan no.200. Hal ini dimaksudkan agar material yang dipakai tidak mengandung banyak

lumpur, karena material yang lolos ayakan 200 adalah *clay*, sehingga kondisi aliran mudah diamati.

## 2. Air

Air yang digunakan adalah air yang tersedia di Laboratorium Hidraulika Jurusan Teknik Sipil Fakultas Teknik Universitas Negeri Semarang

## 3. Bahan Model

Bahan yang digunakan untuk pembuatan model abutmen adalah kayu bengkirai.

### 3.3. Alat Penelitian

Peralatan untuk membuat model fisik dan pengujian berada di laboratorium Hidrolika Teknik Sipil FT UNNES secara spesifik dapat disampaikan nama dan fungsi dari alat yang digunakan tersebut.

#### 1. *Recirculating Sediment Flume*

Alat ini berukuran panjang 6 m, tinggi 0,40 m dan lebar 0,20 m, dilengkapi dengan pompa kapasitas 6 liter/detik. Dioperasikan melalui *indicator operational* yang terdiri kontrol debit aliran, dan kran pembuka. Kemiringan dasar saluran dan pintu di bagian hilir. Pintu berfungsi untuk mengontrol kedalaman aliran yang diinginkan. Pada bagian hulu dan hilir dipasang *rigid bed* sepanjang 20 cm yang berfungsi agar selama proses penelitian berlangsung dasar saluran bagian hulu dan hilir tidak mengalami gerusan. Alat tersebut dapat dilihat pada Gambar 10. Di depan *rigid bed* dipasang *gravel* sepanjang 60 cm yang dikemas dengan kawat BRC.

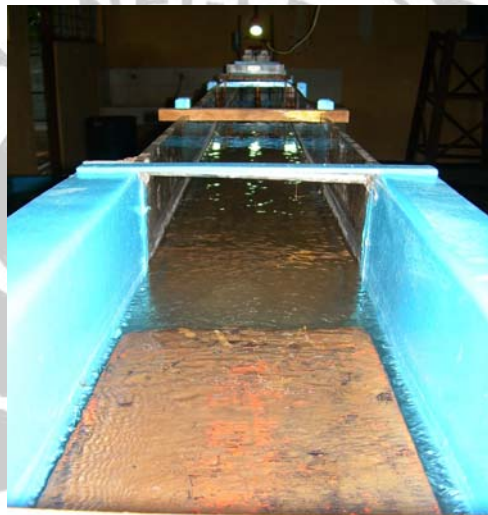
Sistem aliran pelaksanaan model hidrolik dibuat dengan sistem sirkuit tertutup, agar pengamatan pola aliran dapat dilakukan secara kontinyu tanpa adanya kehilangan banyak air. Air dari kolam tampungan dipompa masuk kedalam tandom air yang berfungsi sebagai control tekanan air (*constant head*) yang dilengkapi dengan kran pengatur debit, dan dipasang pipa pembuangan untukantisipasi kelebihan air. Selanjutnya air akan mengalir melewati saluran terbuka dan melewati model abutmen *semi-circular-end abutment* sehingga terjadi proses penggerusan, kemudian air akan mengalir masuk ke dalam bak penampung. Air masuk ke dalam bak pengatur dan pintu pengatur muka air hilir, yang kemudian masuk kembali ke dalam saluran terbuka. Prosedur pengaliran di atas akan terus berulang selama percobaan atau *running* berlangsung.



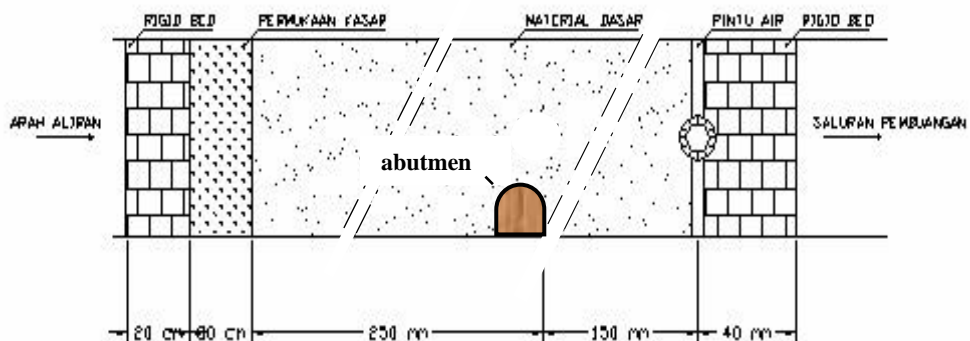
**Gambar 10.** Alat *Recirculating Sediment Flume*

Pada bagian hulu dasar saluran dipasang *rigid bed* sepanjang 20 cm dan permukaan kasar sepanjang 60 cm dengan ketebalan 10 cm. Penempatan *rigid bed* adalah untuk menghindari terjadinya erosi pada material dasar pada saat flume dialiri air. Pada bagian hilir dasar saluran dipasang rigid bed sepanjang 40 cm dan

permukaan kasar sepanjang 60 cm dengan ketebalan 10 cm. Penempatan *rigid bed* adalah untuk menghindari terjadinya penggerusan awal material dasar akibat terjunan. Di bagian tengah disebarakan material dasar seragam (*movable bed*) sepanjang 400 cm dengan ketebalan 10 cm. Pintu air dipasang pada bagian hilir di atas *rigid bed* yang berfungsi untuk mengatur ketinggian muka air, seperti terlihat pada Gambar 12.



Gambar 11. Tampak atas *flume*



Gambar 12. Tampak atas abutmen pada *flume* (tanpa skala)

## 2. *Point Gauge*

Alat ini digunakan untuk mengukur kedalaman aliran dan kedalaman gerusan yang terjadi dengan ujung runcing *point gauge* yang diturunkan hingga kedalaman yang sudah terbentuk oleh aliran. Kedalaman aliran diukur dengan lokasi tiap 1 cm ke arah hulu. Kedalaman gerusan diukur terhadap waktu selama penelitian berlangsung, sedangkan kontur gerusan di sekitar abutmen semi-circular-end abutment diukur setelah *running* selesai dilakukan. Alat ini seperti terlihat pada Gambar 13.



Gambar 13. *Point gauge*

## 3. Pintu air

Pintu air dipasang pada bagian hilir di atas *rigid bed* yang berfungsi untuk mengatur ketinggian muka air, seperti terlihat pada Gambar 14.



**Gambar 14.** Pintu air

#### 4. *Stop Watch*

Alat ini digunakan untuk menentukan waktu tiap satuan waktu yang ditentukan untuk pengambilan data kedalaman gerusan selama running berlangsung. Alat ini juga digunakan bersama-sama alat tampung air untuk mengukur debit aliran pada *flume*.



**Gambar 15.** *Stop watch*

#### 5. Model abutmen

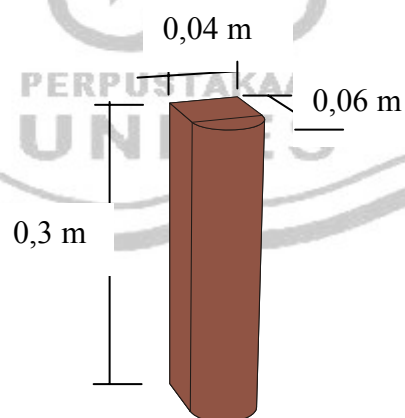
Model abutmen yang digunakan pada penelitian ini terbuat dari kayu bengkirai yang dibentuk sesuai model, kemudian dihaluskan agar model yang



dibuat mendekati kekasaran yang diinginkan. Penelitian menggunakan abutmen *semi-circular-end abutment* dengan panjang ( $L_a$ ) = 0,06 m, lebar = 0,04 m dan tinggi = 0,3 m. Model abutmen diletakkan di pinggir *flume* pada jarak 3,5 m dari hulu dengan aliran air (dianggap) seragam.

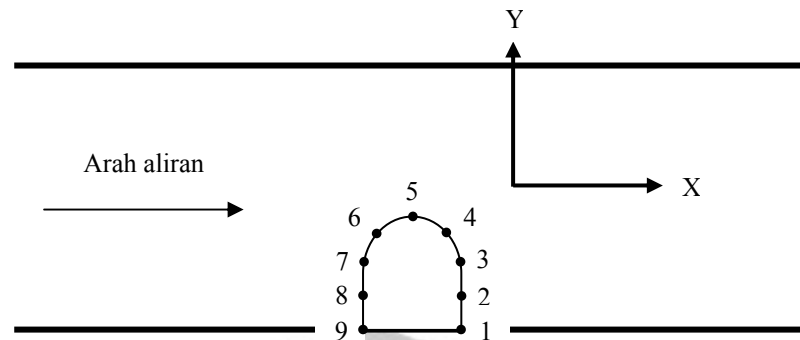


**Gambar 16.** Model abutmen *semi-circular-end abutment*



**Gambar 17.** Model 3 Dimensi abutmen *semi-circular-end abutment*





**Gambar 18.** Tampak Atas Penempatan Model abutmen *semi-circular-end abutment*

#### 6. Kamera

Alat ini digunakan pengambilan data serta dokumentasi selama percobaan berlangsung.

#### 7. Meteran, penggaris, dan skala

Alat ini untuk mengukur tinggi material dasar dan kedalaman aliran di sepanjang *flume*. Serta acuan guna pembacaan data kedalaman gerusan pada sekitar abutmen. Skala ditulis di abutmen untuk membaca proses gerusan ketika *running*.

#### 8. Alat bantu lainnya, (alat tulis, tang, lampu dll)

### 3.4. Alur Pelaksanaan penelitian

#### 1. Persiapan peralatan

##### a. Persiapan material sedimen

Material dasar yang dipakai untuk penelitian adalah pasir. Material yang digunakan adalah material yang lolos saringan No.10 dan tertahan saringan No. 200, sehingga material dasar pasir yang relatif seragam dengan  $d_{50}$ .

b. Uji gradasi butiran material sedimen

Pengujian ini dilakukan di laboratorium bahan Fakultas Teknik UNNES. Dari pengujian itu diperoleh nilai  $d_{50} = 0.49$  mm. Gradasi sedimen tercantum pada Gambar 20.

c. Pengecekan alat *flume*

Sebelum digunakan untuk penelitian alat *flume* ini dicek apakah berfungsi dengan baik sehingga tidak menghambat dalam melakukan penelitian.

d. Kalibrasi alat

Hal ini perlu dilakukan agar data yang di peroleh akurat. Langkah awal yaitu dengan mengadakan pengecekan debit aliran yang mengalir dengan cara manual yaitu dengan menampung air yang keluar dari saluran dalam sebuah penampung sampai penuh lalu catat waktu dan hitung volume air dalam penampung tersebut sehingga diperoleh debit aliran yang terjadi.

e. Penghamparan material sedimen

Setelah dilakukan uji gradasi selanjutnya pasir dihamparkan dan diratakan dengan tebal 100 mm dengan pertimbangan bahwa gerusan yang terjadi nanti pada saat penelitian tidak melebihi kedalaman pasir yang dihamparkan.

2. Percobaan pendahuluan

Percobaan pendahuluan dimaksudkan untuk mengetahui kapasitas debit maksimum yang mampu di berikan oleh pompa. Dengan diketahui debit maksimum, sehingga dapat menentukan debit yang akan digunakan.

### 3. Pelaksanaan penelitian

Pada pelaksanaan penelitian direncanakan dengan menggunakan model abutmen *semi-circular-end abutment* dengan 4 variasi kedalaman aliran.

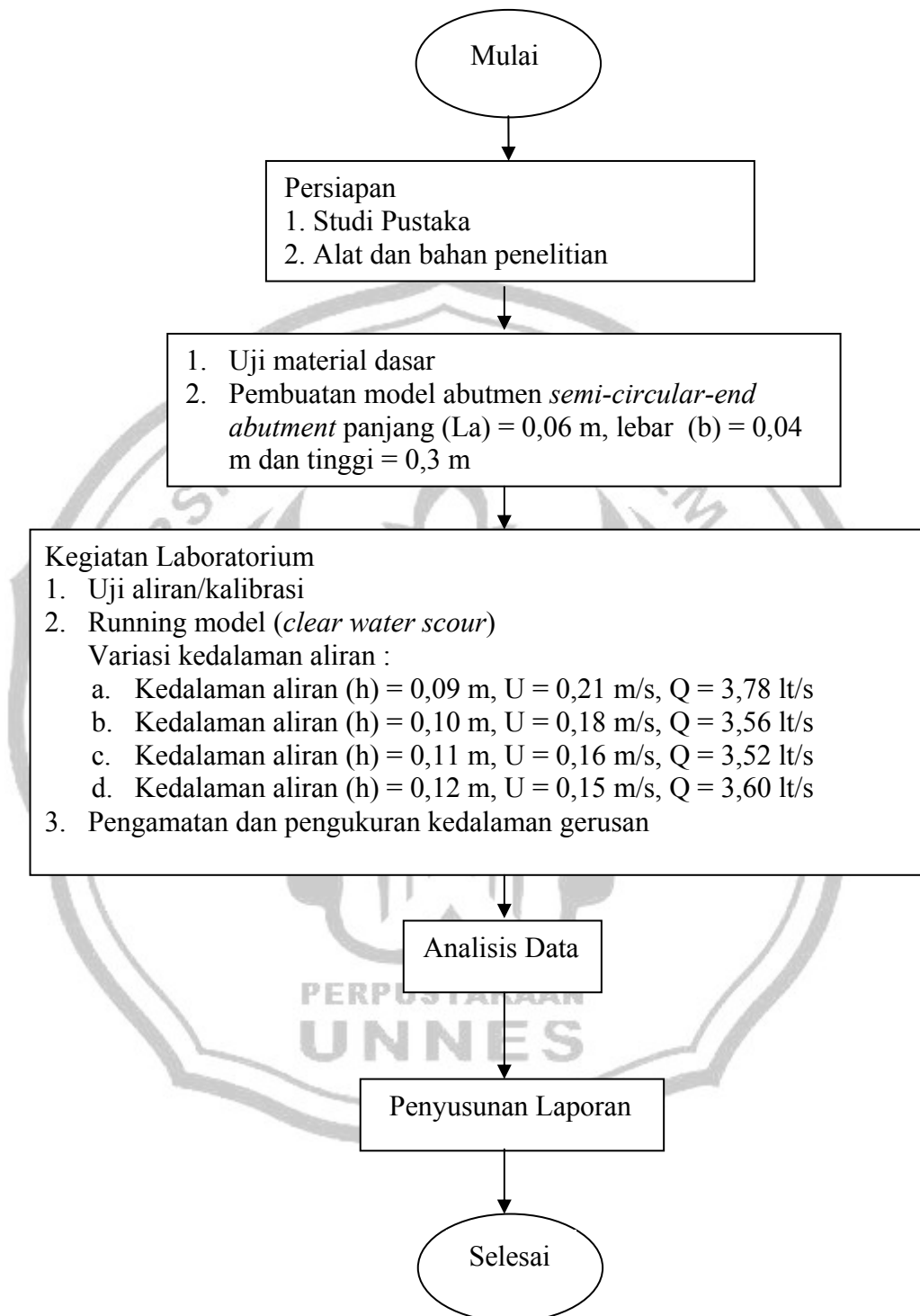
Langkah-langkah pelaksanaan penelitian :

- a. Model abutmen *semi-circular-end abutment* diletakkan di pinggir *flume* dengan jarak 3,5 m dari hulu, kemudian diatur dengan material pasir dalam keadaan rata.
- b. Air dialirkan dari debit kecil sampai debit yang ditentukan sehingga mencapai konstan.
- c. Pengamatan kedalaman gerusan, dilakukan melalui pengamatan setiap percobaan dengan mencatat kedalaman gerusan dari awal *running* setiap selang waktu tertentu, yaitu 1 – 10 menit dicatat setiap selang waktu 1 menit, 10 – 40 menit dicatat setiap selang waktu 5 menit, 40 – 70 menit dicatat setiap selang waktu 10 menit, 70 – 250 menit dicatat setiap selang waktu 15 menit. Pengamatan kedalaman gerusan dicatat terus menerus selama waktu kesetimbangan.
- d. Pengambilan data kontur, data kontur gerusan di sekitar abutmen diukur setelah *running* selesai, dengan cara memperkecil debit aliran secara perlahan agar gerusan di sekitar abutmen tidak terganggu oleh adanya perubahan debit. Hal ini dilakukan agar diperoleh data kontur yang mewakili gerusan tersebut. Data kontur diukur dengan menggunakan alat *point gauge*. Daerah gerusan yang diukur elevasinya dibagi atas beberapa bagian yaitu arah sejajar aliran dan arah melintang aliran.

- e. Setelah dilakukan pengukuran tiga dimensi, pasir diratakan kembali untuk selanjutnya dilakukan *running* dengan variasi lain.

Untuk mempermudah dalam pelaksanaan penelitian dibuat alur penelitian. Secara lengkap bagan alur penelitian perilaku gerusan lokal pada abutmen *semi-circular-end abutment* akibat pengaruh kedalaman aliran dapat dilihat pada Gambar 19





**Gambar 19.** Diagram alur penelitian

#### 4. Analisis hasil percobaan

Pada penelitian ini diusahakan agar aliran yang terjadi adalah aliran sub kritis dengan nilai  $Fr < 1$ . Kedalaman aliran ( $y_o$ ) diukur pada titik tertentu yang belum terganggu akibat adanya abutmen. Pencatatan kedalaman aliran dilakukan beberapa kali pada saat yang bersamaan untuk mendapatkan data rata-rata kedalaman aliran yang optimal. Kedalaman gerusan ( $y_s$ ) diukur pada daerah gerusan yang paling maksimal yaitu disekitar ujung abutmen.

Kecepatan aliran rata-rata ( $U$ ) adalah perbandingan data debit yang telah dikalibrasi dengan luas penampang basah  $U = \frac{Q}{B.y_o}$ . Kecepatan aliran kritis ( $U_c$ ) diambil pada saat material dasar mulai bergerak.

Kemiringan dasar saluran yang akurat sulit diperoleh karena perbedaan tinggi dasar saluran atau kedalaman aliran yang relatif kecil dan panjang flume yang terbatas. Untuk mendapatkan kemiringan dasar saluran,  $S_0$ , dihitung dengan menggunakan rumus,  $S_f = \frac{(U/C)^2}{R}$ , aliran dianggap seragam maka  $S_0 = S_f = S_w$ .

Data kontur hasil pengukuran kemudian diolah menggunakan *software* (program komputer) *surfer* untuk mendapatkan tampilan kontur permukaan di sekeliling abutmen.

## BAB IV

### HASIL PENELITIAN DAN PEMBAHASAN

#### 4.1 Pemeriksaan Material Dasar

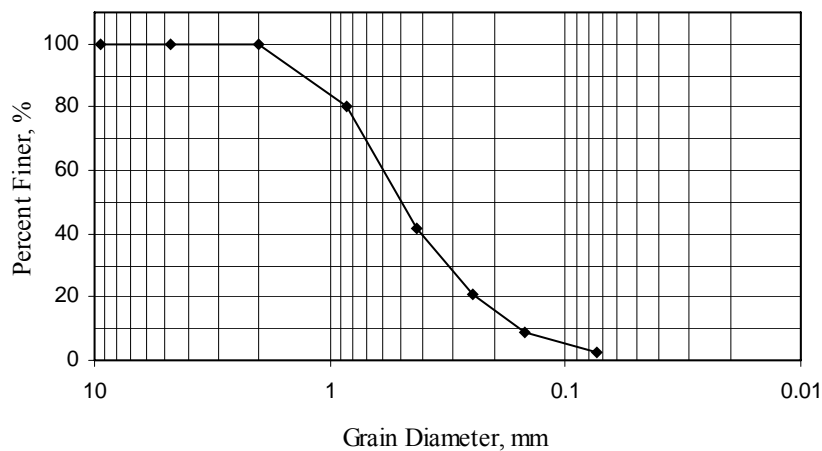
Pengujian dilakukan di Laboratorium Bahan Jurusan Teknik Sipil Universitas Negeri Semarang. Pasir yang digunakan dalam penelitian ini adalah pasir lolos saringan ASTM no. 10 dan tertahan pada no. 200 Spesifik Gravity 2.99 serta kadar lumpur 2.65 % dan nilai  $d_{50}$  diperoleh dari pengujian analisa gradasi butiran. Pasir sebagai material dasar diayak terlebih dahulu untuk mendapatkan ukuran butiran yang besarnya relatif merata. Hasil analisa gradasi butiran dapat dilihat di Tabel 2

**Tabel 2.** Analisa gradasi butiran

Ayakan No.	Ayakan dalam (mm)	Berat tertahan (gr)	Barat lolos (gr)	% berat lolos $e/W \times 100\%$	
4	4.750	$d_1 = 0$	$E_1 = 1000.00$	100.00	$e_7 = W - \Sigma d$
10	2.000	$d_2 = 0$	$E_2 = 1000.00$	100.00	$e_6 = d_7 + e_7$
20	0.850	$d_3 = 197$	$E_3 = 803.00$	80.30	$e_5 = d_6 + e_6$
40	0.425	$d_4 = 383.5$	$E_4 = 419.50$	41.95	$e_4 = d_5 + e_5$
60	0.250	$d_5 = 208.5$	$E_5 = 211.00$	21.10	$e_3 = d_4 + e_4$
100	0.150	$d_6 = 124$	$E_6 = 87.00$	8.70	$e_2 = d_3 + e_3$
200	0.074	$d_7 = 60.5$	$E_7 = 26.50$	2.65	$e_1 = d_2 + e_2$
		$\Sigma d = 973.50$			

( Sumber: Hasil penelitian )

Hasil analisa gradasi butiran dimasukkan dalam bentuk *grain diameter* (Gambar 20) yang kemudian dapat diketahui nilai  $d_{50}$ . Dari Gambar 20 tersebut terlihat bahwa  $d_{50}$  adalah 0.49 mm.



**Gambar 20.** Gradasi sedimen

#### 4.2 Karakteristik Aliran

Pada penelitian karakteristik aliran tahap pengamatan awal dilakukan tanpa menggunakan abutmen. Pengamatan ini dilakukan bertujuan untuk mengetahui kecepatan aliran kritis pada material sedimen pasir dengan  $d_{50} = 0.49$  mm yang telah diuji di Laboratorium Bahan Teknik Sipil Universitas Negeri Semarang. Dari hasil pengamatan tersebut diperoleh data-data yang menunjukkan bahwa kecepatan aliran kritik atau kecepatan aliran pada saat butiran mulai bergerak tercatat bahwa  $U_c = 0.262$  m/s dengan kedalaman aliran yang terjadi pada saluran  $h_{cr} = 73$  mm sehingga debit kritik yang terjadi  $Q_c = 3.83$  lt/s. Berdasarkan data-data hasil penelitian yang telah dilakukan maka dapat diketahui besarnya debit aliran yang mengalir pada saluran ( $Q$ ), kecepatan aliran rata-rata ( $U$ ), angka Froude ( $Fr$ ), dan angka Reynold ( $Re$ ).



#### 4.2.1. Karakteristik Aliran pada Kedalaman Aliran 0,09 m

Penelitian ini menggunakan kedalaman aliran ( $h$ ) = 0,09 m dengan debit aliran ( $Q$ ) = 3,78 lt/s, sehingga besarnya kecepatan aliran rata-rata yang terjadi adalah sebesar ( $U$ ) = 0,21 m/s dengan kondisi aliran seragam permanen (*steady uniform*). Dari data dapat dihitung intensitas aliran ( $U/U_c$ ) = 0,802 dan bilangan Froude ( $Fr$ ) = 0,224 serta angka Reynolds ( $Re$ ) = 18900.

Tahap berikutnya, dilakukan pengamatan proses gerusan pada abutmen. Proses gerusan yang terjadi adalah *clear water scour* yaitu gerusan pada lapisan dasar tanpa disertai terbawanya material oleh aliran. Selanjutnya dari definisi *clear water scour* terjadi saat  $0,5 \leq U/U_c < 1$  dan *live bed scour* terjadi saat  $U/U_c \geq 1$  maka, gerusan yang terjadi termasuk dalam kondisi *clear water scour*. Syarat terjadinya kondisi *clear water scour* yaitu kecepatan aliran yang terjadi lebih kecil dari kecepatan aliran kritiknya (kecepatan aliran pada saat butiran mulai bergerak) atau  $U < U_c$ . Klasifikasi aliran melalui saluran terbuka akan turbulen apabila angka Reynolds  $Re > 1000$ , dan laminar apabila  $Re < 500$ . Aliran disebut sub kritis apabila  $Fr < 1$ , kritis apabila  $Fr = 1$ , dan super kritis apabila  $Fr > 1$ . Dan berdasarkan bilangan Froude dan angka Reynolds aliran yang terjadi untuk  $Fr < 1$  dan  $Re > 1000$  adalah termasuk aliran turbulen sub kritis.

#### 4.2.2. Karakteristik Aliran pada Kedalaman Aliran 0,10 m

Penelitian ini menggunakan kedalaman aliran ( $h$ ) = 0,10 m dengan debit aliran ( $Q$ ) = 3,56 lt/s, sehingga besarnya kecepatan aliran rata-rata yang terjadi adalah sebesar ( $U$ ) = 0,18 m/s dengan kondisi aliran seragam permanen (*steady*

*uniform*). Dari data dapat dihitung intensitas aliran ( $U/U_c$ ) = 0,687 dan bilangan Froude ( $Fr$ ) = 0,182 serta angka Reynolds ( $Re$ ) = 18000.

Tahap berikutnya, dilakukan pengamatan proses gerusan pada abutmen. Proses gerusan yang terjadi adalah *clear water scour* yaitu gerusan pada lapisan dasar tanpa disertai terbawanya material oleh aliran. Selanjutnya dari definisi *clear water scour* terjadi saat  $0,5 \leq U/U_c < 1$  dan *live bed scour* terjadi saat  $U/U_c \geq 1$  maka, gerusan yang terjadi termasuk dalam kondisi *clear water scour*. Syarat terjadinya kondisi *clear water scour* yaitu kecepatan aliran yang terjadi lebih kecil dari kecepatan aliran kritiknya (kecepatan aliran pada saat butiran mulai bergerak) atau  $U < U_c$ . Klasifikasi aliran melalui saluran terbuka akan turbulen apabila angka Reynolds  $Re > 1000$ , dan laminar apabila  $Re < 500$ . Aliran disebut sub kritis apabila  $Fr < 1$ , kritis apabila  $Fr = 1$ , dan super kritis apabila  $Fr > 1$ . Dan berdasarkan bilangan Froude dan angka Reynolds aliran yang terjadi untuk  $Fr < 1$  dan  $Re > 1000$  adalah termasuk aliran turbulen sub kritis.

#### **4.2.3. Karakteristik Aliran pada Kedalaman Aliran 0,11 m**

Penelitian ini menggunakan kedalaman aliran ( $h$ ) = 0,11 m dengan debit aliran ( $Q$ ) = 3,52 lt/s, sehingga besarnya kecepatan aliran rata-rata yang terjadi adalah sebesar ( $U$ ) = 0,16 m/s dengan kondisi aliran seragam permanen (*steady uniform*). Dari data dapat dihitung intensitas aliran ( $U/U_c$ ) = 0,611 dan bilangan Froude ( $Fr$ ) = 0,154 serta angka Reynolds ( $Re$ ) = 17600.

Selanjutnya, dilakukan pengamatan proses gerusan pada abutmen. Proses gerusan yang terjadi adalah *clear water scour* yaitu gerusan pada lapisan dasar tanpa disertai terbawanya material oleh aliran. Selanjutnya dari definisi *clear*

*water scour* terjadi saat  $0,5 \leq U/U_c < 1$  dan *live bed scour* terjadi saat  $U/U_c \geq 1$  maka, gerusan yang terjadi termasuk dalam kondisi *clear water scour*. Syarat terjadinya kondisi *clear water scour* yaitu kecepatan aliran yang terjadi lebih kecil dari kecepatan aliran kritiknya (kecepatan aliran pada saat butiran mulai bergerak) atau  $U < U_c$ . Klasifikasi aliran melalui saluran terbuka akan turbulen apabila angka Reynolds  $Re > 1000$ , dan laminar apabila  $Re < 500$ . Aliran disebut sub kritis apabila  $Fr < 1$ , kritis apabila  $Fr = 1$ , dan super kritis apabila  $Fr > 1$ . Dan berdasarkan bilangan Froude dan angka Reynolds aliran yang terjadi untuk  $Fr < 1$  dan  $Re > 1000$  adalah termasuk aliran turbulen sub kritis.

#### 4.2.4. Karakteristik Aliran pada Kedalaman Aliran 0,12 m

Penelitian ini menggunakan kedalaman aliran ( $h$ ) = 0,12 m dengan debit aliran ( $Q$ ) = 3,60 lt/s, sehingga besarnya kecepatan aliran rata-rata yang terjadi adalah sebesar ( $U$ ) = 0,15 m/s dengan kondisi aliran seragam permanen (*steady uniform*). Dari data dapat dihitung intensitas aliran ( $U/U_c$ ) = 0,573 dan bilangan Froude ( $Fr$ ) = 0,138 serta angka Reynolds ( $Re$ ) = 18000.

Selanjutnya, dilakukan pengamatan proses gerusan pada abutmen. Proses gerusan yang terjadi adalah *clear water scour* yaitu gerusan pada lapisan dasar tanpa disertai terbawanya material oleh aliran. Selanjutnya dari definisi *clear water scour* terjadi saat  $0,5 \leq U/U_c < 1$  dan *live bed scour* terjadi saat  $U/U_c \geq 1$  maka, gerusan yang terjadi termasuk dalam kondisi *clear water scour*. Syarat terjadinya kondisi *clear water scour* yaitu kecepatan aliran yang terjadi lebih kecil dari kecepatan aliran kritiknya (kecepatan aliran pada saat butiran mulai bergerak) atau  $U < U_c$ . Klasifikasi aliran melalui saluran terbuka akan turbulen apabila angka

Reynolds  $Re > 1000$ , dan laminar apabila  $Re < 500$ . Aliran disebut sub kritis apabila  $Fr < 1$ , kritis apabila  $Fr = 1$ , dan super kritis apabila  $Fr > 1$ . Dan berdasarkan bilangan Froude dan angka Reynolds aliran yang terjadi untuk  $Fr < 1$  dan  $Re > 1000$  adalah termasuk aliran turbulen sub kritis.

**Tabel 3.** Karakteristik aliran

b (mm)	h (mm)	Q (l/s)	U (m/s)	So	d50 (mm)	Qc (l/s)	Uc (m/s)	Fr	Re
40	90	3,78	0,21	0.00045	0.49	3.83	0.262	0.224	18900
40	100	3.56	0.18	0.00031	0.49	3.83	0.262	0.182	18000
40	110	3.52	0.16	0.00023	0.49	3.83	0.262	0.154	17600
40	120	3.60	0.15	0.00019	0.49	3.83	0.262	0.138	18000

( Sumber: Hasil penelitian )

### 4.3 Perkembangan Kedalaman Gerusan terhadap Waktu

Pengamatan gerusan meliputi kedalaman aliran dan kedalaman gerusan maksimum. Pengamatan ini dilakukan dengan menggunakan variabel waktu 1 menit, 5 menit, 10 menit dan 15 menit. Cara mengamati gerusan pada tiap kali percobaan adalah dengan mencatat besarnya kedalaman gerusan tiap selang waktu 1 menit selama 10 menit, tiap selang waktu 5 menit selama 30 menit, tiap selang waktu 10 menit selama 30 menit dan tiap selang waktu 15 menit selama 180 menit sampai tercapai kondisi setimbang. Titik yang diukur diambil mulai dari titik pengamatan 1 yang terletak pada abutmen bagian samping kemudian berputar berlawanan arah jarum jam sampai semua titik terukur, yaitu pada titik pengamatan 9.

Pada awal pengamatan dari setiap percobaan untuk kisaran waktu dari 0 sampai 1 menit, terjadi penambahan kedalaman gerusan yang kecil. Hal ini disebabkan pada saat awal pengamatan pintu air dibuka perlahan-lahan dari kecil

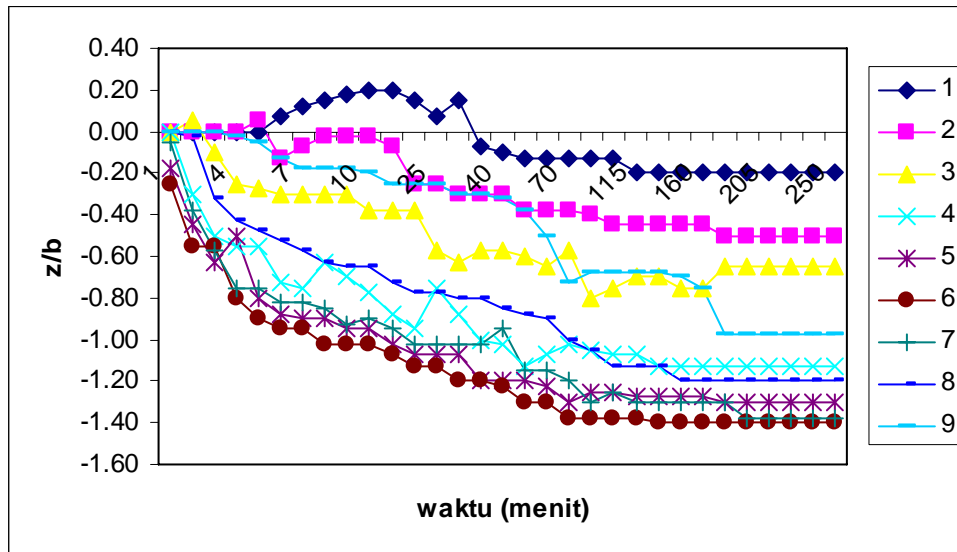
kemudian ditingkatkan sampai mencapai bukaan pintu yang ditentukan. Hal ini bertujuan untuk memperoleh kedalaman aliran yang ditentukan. Setelah mencapai kedalaman aliran yang ditentukan dan kedalamannya konstan maka penambahan kedalaman gerusan akan terlihat semakin besar seiring dengan lama waktu pengamatan dan selanjutnya besarnya penambahan kedalaman gerusan semakin kecil setelah mendekati kondisi kesetimbangan (*equilibrium scour depth*).

Untuk setiap kali pengamatan gerusan dilakukan selama 250 menit, karena dapat dianggap hingga waktu tersebut tidak lagi terjadi perubahan kedalaman gerusan atau dengan kata lain telah mendekati kondisi kesetimbangan. Hal ini ditunjukkan oleh *trend* grafik yang dibentuk mendekati garis lurus seperti terlihat pada Gambar 28.

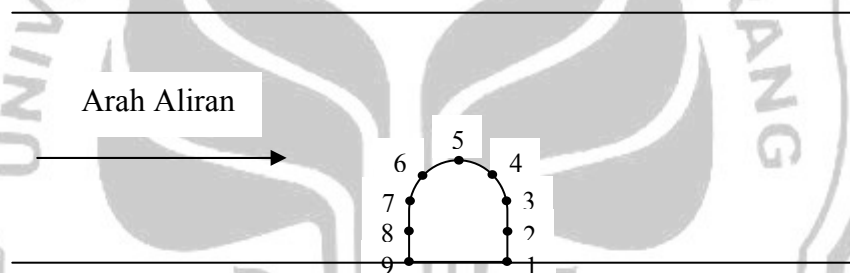
Perkembangan kedalaman gerusan terhadap waktu pada abutmen dengan variasi kedalaman aliran untuk masing-masing abutmen adalah sebagai berikut :

#### **4.3.1. Perkembangan Kedalaman Gerusan terhadap Waktu pada Abutmen dengan Kedalaman Aliran 0.09 m**

Berdasarkan hasil pengamatan perkembangan kedalaman gerusan terhadap waktu pada abutmen dengan kedalaman aliran 0.09 m seperti yang terdapat pada Lampiran 2, dapat diketahui hubungan kedalaman gerusan terhadap waktu seperti yang tersaji dalam Gambar 21 berikut ini.



**Gambar 21.** Perkembangan kedalaman gerusan terhadap waktu pada abutmen dengan kedalaman aliran 0.09 m



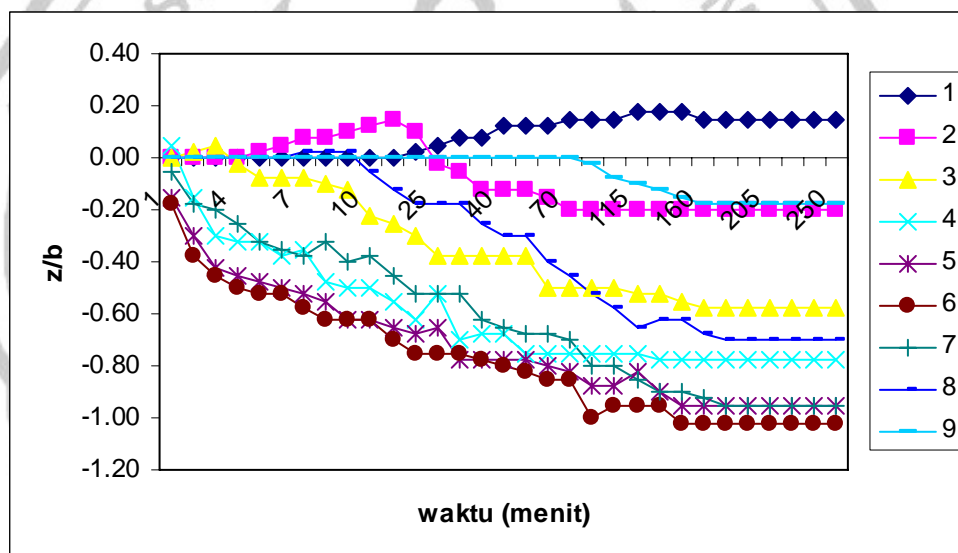
**Gambar 22.** Titik pengamatan pada abutmen dengan kedalaman aliran 0.09 m

Dari *trend* grafik di atas dapat dilihat bahwa gerusan yang terjadi pada abutmen dengan kedalaman aliran 0.09 m mengalami peningkatan kedalaman gerusan yang pada awalnya besar kemudian semakin lama penambahan kedalaman gerusannya semakin mengecil hingga pada saat menit tertentu telah mencapai kesetimbangan (*equilibrium scour depth*). Pada Gambar 21 terlihat bahwa perkembangan gerusan terbesar tercapai pada titik pengamatan 6 pada sisi samping abutmen bagian depan dan perkembangan gerusan terkecil tercapai pada titik pengamatan 1. Pada titik pengamatan 1 mulai menit 6 sampai 30 terlihat adanya penumpukan material butiran dasar, setelah itu terjadi gerusan yang

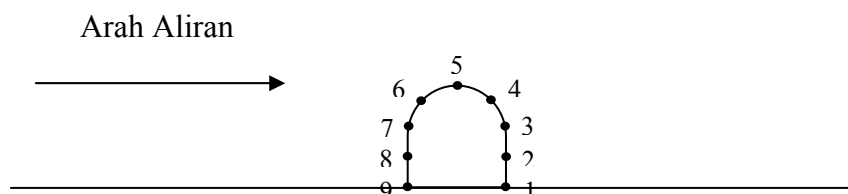
hingga pada saat menit tertentu kembali pada kondisi semula sampai mendekati kondisi setimbang.

#### 4.3.2. Perkembangan Kedalaman Gerusan terhadap Waktu pada Abutmen dengan Kedalaman Aliran 0.10 m

Berdasarkan hasil pengamatan perkembangan kedalaman gerusan terhadap waktu pada abutmen dengan kedalaman aliran 0,10 m seperti yang terdapat pada Lampiran 3, dapat diketahui hubungan kedalaman gerusan terhadap waktu seperti yang tersaji dalam Gambar 23 berikut ini.



Gambar 23. Perkembangan kedalaman gerusan terhadap waktu pada abutmen dengan kedalaman aliran 0.10 m



Gambar 24. Titik pengamatan pada abutmen dengan kedalaman aliran 0.10 m

Dari *trend* grafik di atas dapat dilihat bahwa gerusan yang terjadi pada abutmen dengan kedalaman aliran 0,10 m mengalami peningkatan kedalaman gerusan yang pada awalnya besar kemudian semakin lama penambahan kedalaman gerusannya semakin mengecil hingga pada saat menit tertentu telah mendekati kondisi kesetimbangan (*equilibrium scour depth*). Pada titik pengamatan 2 mulai menit 5 sampai 20 terlihat adanya penumpukan material butiran dasar, setelah itu terjadi gerusan yang hingga pada saat menit tertentu kembali pada kondisi semula sampai mendekati kondisi setimbang.

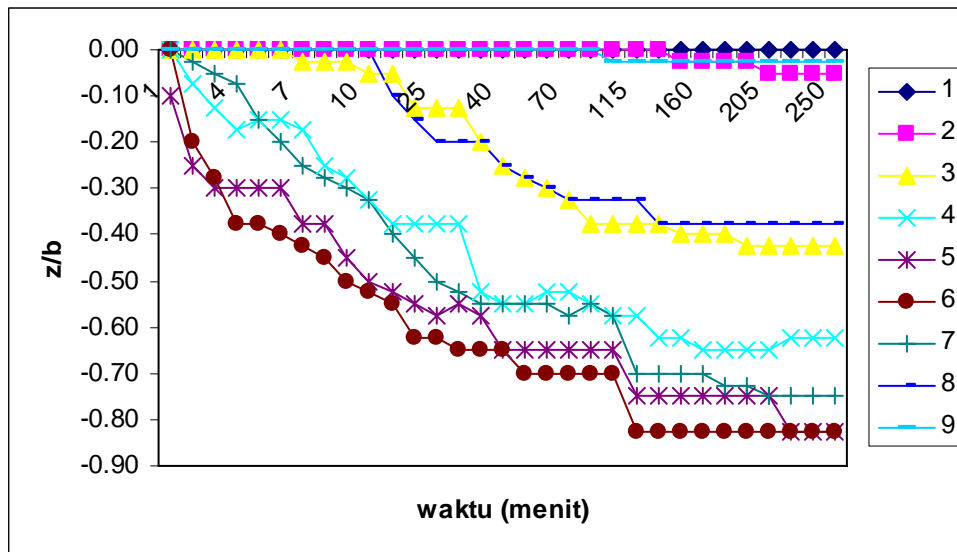
Pada titik pengamatan 1 antara menit 20 sampai 250 terjadi penumpukan material butiran dasar, pada titik pengamatan 1 proses transpor sedimen yang terjadi terlihat sangat jelas. Hal ini dikarenakan adanya material butiran dasar dari arah hulu yang terangkut menutupi bagian hilir pada abutmen.

Pada Gambar 23 terlihat bahwa perkembangan gerusan terbesar tercapai pada titik pengamatan 6 pada sisi samping abutmen bagian depan. Perkembangan gerusan terkecil tercapai pada titik pengamatan 1, dimana terjadi penumpukan material butiran dasar pada sisi samping bagian belakang abutmen.

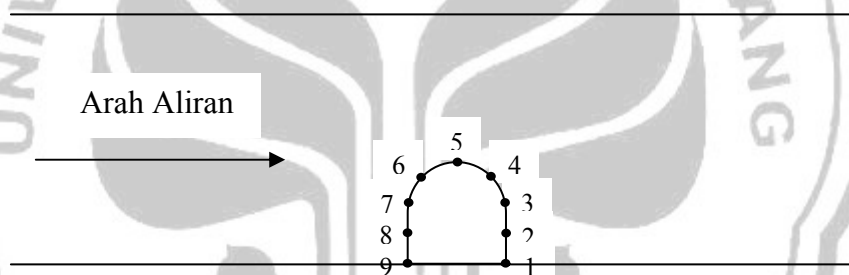
#### **4.3.3. Perkembangan Kedalaman Gerusan terhadap Waktu pada Abutmen dengan Kedalaman Aliran 0.11 m**

Berdasarkan hasil pengamatan perkembangan kedalaman gerusan terhadap waktu pada abutmen dengan kedalaman aliran 0,11 m seperti yang terdapat pada Lampiran 4, dapat diketahui hubungan kedalaman gerusan terhadap waktu seperti yang tersaji dalam Gambar 25 berikut ini.





**Gambar 25.** Perkembangan kedalaman gerusan terhadap waktu pada abutmen dengan kedalaman aliran 0.11 m



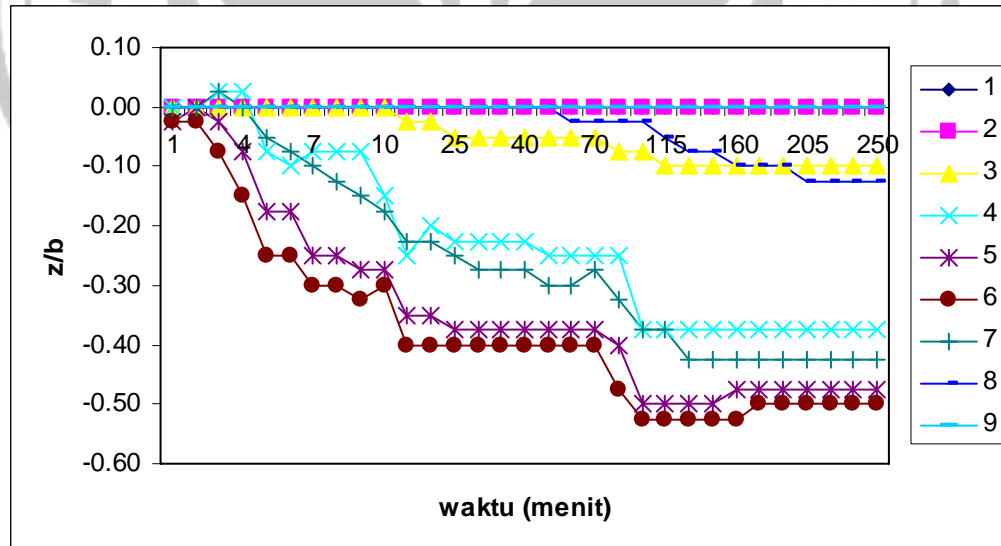
**Gambar 26.** Titik pengamatan pada abutmen dengan kedalaman aliran 0.11 m

Dari *trend* grafik di atas dapat dilihat bahwa gerusan yang terjadi pada abutmen dengan kedalaman aliran 0,11 m mengalami peningkatan kedalaman gerusan yang pada awalnya besar kemudian semakin lama penambahan kedalaman gerusannya semakin mengecil hingga pada saat menit tertentu telah mendekati kondisi kesetimbangan (*equilibrium scour depth*). Seperti pada titik pengamatan 3, 4, 5, 6, 7 dan 8 dimana proses transpor sedimen yang ada mengakibatkan kedalaman gerusan yang terjadi mengalami peningkatan hingga pada menit tertentu telah mendekati kondisi setimbang.

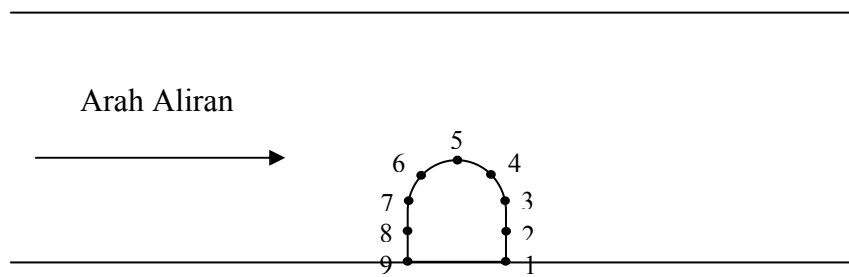
Pada Gambar 25 terlihat bahwa perkembangan gerusan terbesar tercapai pada titik pengamatan 5 dan 6 pada sisi depan dan sisi samping abutmen bagian depan. Perkembangan gerusan terkecil tercapai pada titik pengamatan 1, dimana terlihat tidak terjadi gerusan maupun penumpukan material butiran dasar dari awal *running* hingga pada saat *running* berakhir.

#### 4.3.4. Perkembangan Kedalaman Gerusan terhadap Waktu pada Abutmen dengan Kedalaman Aliran 0,12 m

Berdasarkan hasil pengamatan perkembangan kedalaman gerusan terhadap waktu pada abutmen dengan kedalaman aliran 0,12 m seperti yang terdapat pada Lampiran 5, dapat diketahui hubungan kedalaman gerusan terhadap waktu seperti yang tersaji dalam Gambar 27 berikut ini.



**Gambar 27.** Perkembangan kedalaman gerusan terhadap waktu pada abutmen dengan kedalaman aliran 0.12 m



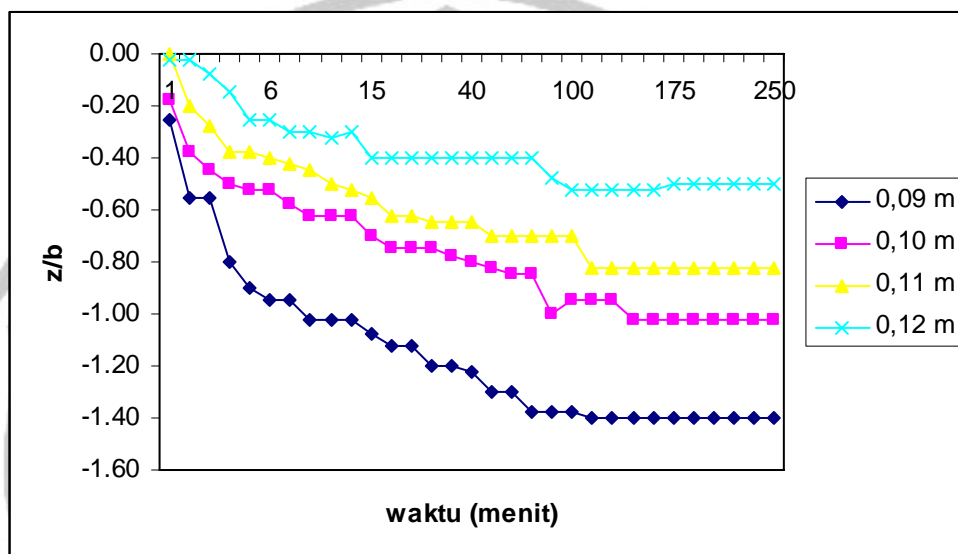
**Gambar 28.** Titik pengamatan pada abutmen dengan kedalaman aliran 0.12 m

Dari *trend* grafik di atas dapat dilihat bahwa gerusan yang terjadi pada abutmen dengan kedalaman aliran 0,12 m mengalami peningkatan kedalaman gerusan yang pada awalnya besar kemudian semakin lama penambahan kedalaman gerusannya semakin mengecil hingga pada saat menit tertentu telah mendekati kondisi kesetimbangan (*equilibrium scour depth*). Pada titik pengamatan 5 dan 6 antara menit 70 sampai 175, terlihat terjadi proses transpor sedimen yang sangat jelas. Hal ini dikarenakan setelah terjadi proses penggerusan, terjadi pendangkalan kedalaman gerusan yang diakibatkan adanya material butiran dasar dari arah hulu yang terangkat menutupi lubang gerusan yang terjadi sebelumnya.

Pada Gambar 27 terlihat bahwa perkembangan gerusan terbesar tercapai pada titik pengamatan 6 pada sisi samping abutmen bagian depan dan Perkembangan gerusan terkecil tercapai pada titik pengamatan 1, 2 dan 9, dimana terlihat tidak terjadi gerusan maupun penumpukan material butiran dasar dari awal *running* hingga pada saat *running* berakhir.

### Perkembangan Kedalaman Gerusan Maksimum terhadap Waktu pada Abutmen *Semi-Circular-End Abutment*

Dari Gambar 21, 23, 25 dan 27 dapat diketahui besarnya kedalaman gerusan maksimum yang terjadi pada masing-masing kedalama aliran seperti pada Gambar 29 berikut ini.

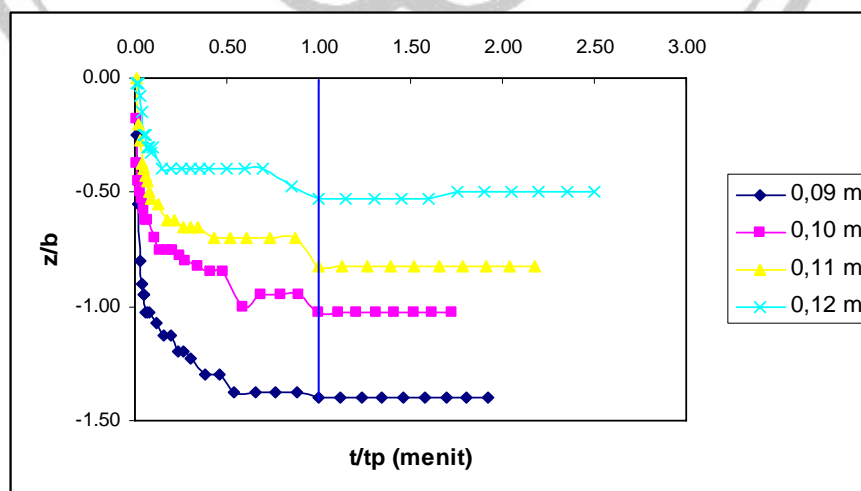


**Gambar 29.** Perkembangan kedalaman gerusan maksimum terhadap waktu pada abutmen *semi-circular-end abutment*

Dari Gambar 29 dapat dilihat bahwa gerusan yang terjadi pada semua abutmen *semi-circular-end abutment* di berbagai kedalaman aliran terlihat mengalami peningkatan kedalaman gerusan yang pada awalnya besar kemudian semakin lama penambahan kedalamannya mengecil hingga pada saat menit tertentu telah mendekati kondisi kesetimbangan (*equilibrium scour depth*). Hal ini ditunjukkan oleh *trend* grafik yang dibentuk mendekati garis lurus seperti terlihat pada gambar hasil analisis. Perkembangan kedalaman gerusan terhadap waktu pada abutmen dengan kedalaman aliran untuk masing-masing kedalaman

aliran terlihat bahwa gerusan awal yang terjadi pada umumnya dimulai dari titik pengamatan 6 pada sisi samping abutmen bagian depan. Kedalaman gerusan awal maksimum terjadi pada abutmen depan di titik pengamatan 6. Menurut Yulistianto dkk. (1998) dalam Abdurrasyid (2005:37), gerusan yang terjadi di sekitar abutmen jembatan adalah akibat sistem pusaran (*vortex system*) yang timbul karena aliran dirintangi oleh bangunan tersebut. Sistem pusaran yang menyebabkan lubang gerusan (*scour hole*), berawal dari sebelah hulu abutmen yaitu pada saat mulai timbul komponen aliran dengan arah aliran ke bawah, karena aliran yang datang dari hulu dihalangi oleh abutmen, maka aliran akan berubah arah menjadi arah vertikal menuju dasar saluran dan sebagian berbelok arah menuju depan abutmen selanjutnya diteruskan ke hilir.

Dari masing-masing perkembangan kedalaman gerusan maksimum yang ada pada berbagai kedalaman aliran, dapat diketahui  $t_p$  ( $t$  pada saat waktu puncak mulai terjadi gerusan maksimum). Sehingga dapat diketahui perbedaan  $t$  puncak dari berbagai kedalaman aliran yang ada.



**Gambar 30.** Perkembangan kedalaman gerusan maksimum abutmen terhadap waktu pada saat  $t$  puncak

**Tabel 4.** Kedalaman gerusan pada saat waktu puncak

Kedalaman aliran (mm)	Kedalaman Gerusan (z/b)	Waktu Puncak (tp)
90	1,40	130
100	1,03	145
110	0,83	115
120	0,53	100

( Sumber: Hasil penelitian )

Keterangan : Waktu puncak berubah-ubah tergantung kedalaman aliran

Dari Tabel 4 dapat dilihat bahwa dari berbagai kedalaman aliran yang ada terdapat perbedaan waktu puncak pada saat gerusan mulai mencapai kedalaman maksimum. Waktu puncak mulai terjadinya gerusan maksimum pada abutmen dengan kedalaman aliran 90 mm, 100 mm, 110 mm dan 120 mm secara berturut-turut adalah menit 130, 145, 115 dan menit 100.

Dari Tabel 4 ternyata untuk waktu yang sama terjadi perbedaan kedalaman gerusan yang disebabkan oleh perbedaan kedalaman aliran. Perkembangan kedalaman gerusan terhadap kedalaman aliran terbesar terjadi pada abutmen dengan kedalaman aliran 90 mm. Perkembangan kedalaman gerusan terhadap kedalaman aliran terkecil terjadi pada abutmen dengan kedalaman aliran 120 mm. Kedalaman gerusan yang terjadi semakin bertambah dengan berkurangnya kedalaman aliran. Hal ini dikarenakan kedalaman aliran mempengaruhi waktu yang diperlukan bagi gerusan lokal pada kondisi *clear-water* sampai kedalaman terakhir. Apabila kedalaman aliran berkurang maka kedalaman gerusan semakin bertambah. Begitu juga sebaliknya semakin dalam kedalaman aliran yang digunakan, maka kedalaman gerusan yang dihasilkan akan semakin kecil.

#### 4.4. Pola Gerusan

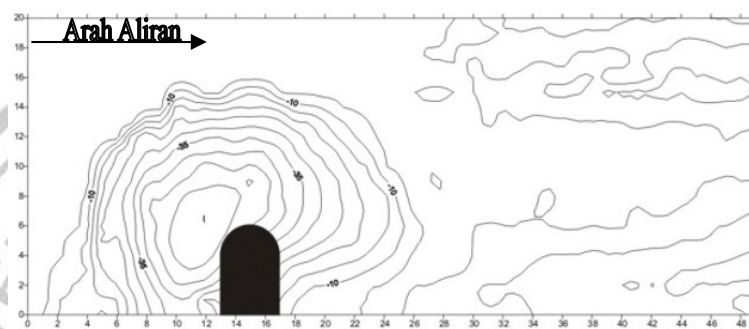
Dari hasil pengamatan proses perkembangan kedalaman gerusan yang dilaksanakan di laboratorium menunjukkan bahwa besarnya kedalaman gerusan bervariasi sesuai dengan kedalaman aliran pada saat *running*. Proses penggerusan dimulai dari sisi samping bagian depan abutmen sebelah hulu. Lubang gerusan awal kemudian menyebar ke bagian depan dan sepanjang sisi abutmen dan berhenti sampai jarak tertentu dari sebelah hilir abutmen. Proses ini terjadi dari awal penggerusan sampai kondisi stabil. Pada setiap kali *running* selesai dilakukan pengukuran kontur. Pengukuran kontur ini dilakukan dengan *point gauge* yang berguna untuk mengukur kedalaman gerusan dan deposisi yang terjadi pada material dasar saluran di sekitar abutmen. Pengambilan koordinat kontur yaitu untuk X searah aliran, Y tegak lurus arah aliran (horizontal) dan Z tegak lurus arah aliran (vertikal). Kedalaman gerusan (arah Z) diukur dengan interval jarak untuk arah X sebesar 1 cm dan untuk arah Y sebesar 1 cm. Hasil pembacaan *point gauge* menghasilkan titik-titik kedalaman (arah Z) tiap koordinat arah X dan arah Y di permukaan material dasar dengan pola gerusan yang berbeda untuk setiap variasi penelitian. Selanjutnya data-data dan hasil pengukuran diolah untuk mendapatkan peta kontur.

Pola gerusan di sekitar abutmen *semi-circular-end abutment* untuk masing-masing kedalaman aliran adalah sebagai berikut :

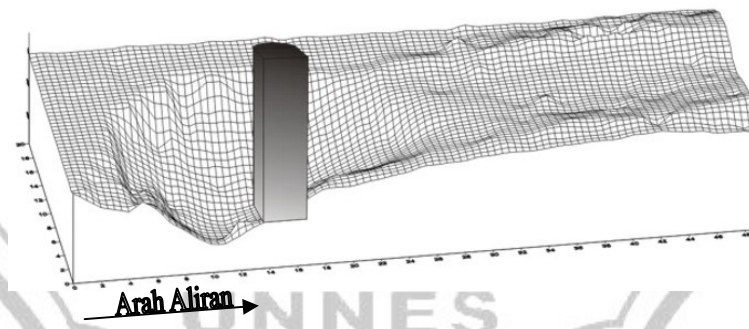
##### 4.4.1. Pola Gerusan di Sekitar Abutmen dengan Kedalaman Aliran 0,09 m

Pengukuran gerusan di sekitar abutmen dengan menggunakan *point gauge* menghasilkan titik-titik kedalaman gerusan (arah Z) tiap koordinat arah X dan

arah Y di permukaan material dasar. Hasil pengukuran *point gauge* kedalaman gerusan di sekitar abutmen dengan kedalaman aliran terlihat seperti pada Lampiran 6. Berdasarkan hasil pengukuran *point gauge* kedalaman gerusan di sekitar abutmen dengan kedalaman aliran 0,09 m ditampilkan sebagai kontur gerusan dalam Gambar 31 dan isometri gerusan dalam Gambar 32.



**Gambar 31.** Kontur pola gerusan pada abutmen dengan kedalaman aliran 0,09 m



**Gambar 32.** Isometri pola gerusan pada abutmen dengan kedalaman aliran 0,09 m

Gerusan yang terjadi di sekitar abutmen adalah akibat sistem pusaran (*vortex system*) yang timbul karena aliran dirintangi oleh abutmen. Sistem pusaran menyebabkan lubang gerusan (*scour hole*), berawal dari sebelah hulu abutmen yaitu pada saat mulai timbul komponen aliran dengan arah aliran ke bawah, karena aliran yang datang dari hulu dihalangi oleh abutmen, maka aliran akan



berubah arah menjadi arah vertikal menuju dasar saluran dan sebagian berbelok arah menuju depan abutmen selanjutnya diteruskan ke hilir. Aliran arah vertikal akan terus menuju dasar yang selanjutnya akan membentuk pusaran. Di dekat dasar saluran komponen aliran berbalik arah vertikal ke atas, peristiwa ini diikuti dengan terbawanya material dasar sehingga terbentuk aliran spiral yang akan menyebabkan gerusan dasar. Hal ini akan terus berlanjut hingga tercapai keseimbangan.

Dari gambar kontur dan gambar isometri pola gerusan pada abutmen dengan kedalaman aliran 0,09 m seperti yang ditunjukkan dalam Gambar 31 dan Gambar 32. Lubang gerusan terjadi dengan jarak 100 mm dari abutmen bagian depan, sedangkan lebar lubang gerusan yang dihasilkan adalah 250 mm. Bentuk kontur yang tidak beraturan dengan perkembangan gerusan terbesar tercapai pada titik pengamatan 6 pada sisi samping abutmen bagian depan. Perkembangan gerusan terkecil terjadi pada titik pengamatan 1 pada sisi samping bagian belakang abutmen sebelah hilir, dimana pada bagian abutmen tersebut terjadi sedikit gerusan.

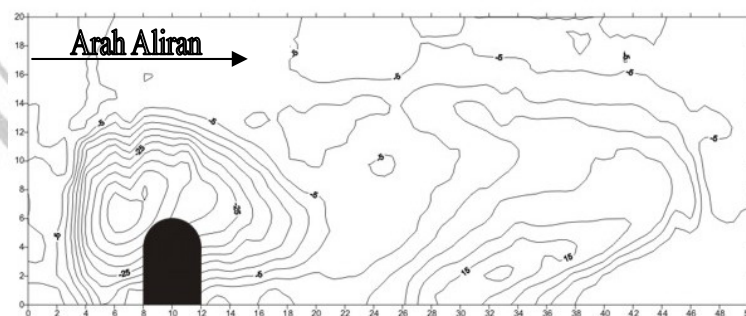
Bentuk kontur di dekat abutmen cenderung rapat karena tegangan geser di sekeliling abutmen lebih tinggi. Semakin ke hilir tegangan geser yang terjadi semakin kecil sehingga material yang tergerus semakin sedikit. Hal ini tampak dari jarak garis kontur yang semakin ke hilir terlihat semakin renggang. Pergerakan aliran di hilir abutmen cenderung kembali stabil seperti aliran sebelum membentur abutmen, sehingga hal ini menyebabkan pendangkalan gerusan di

samping abutmen sebelah hilir dan setelah jarak tertentu di samping abutmen sebelah hilir terjadi penumpukan material dasar.

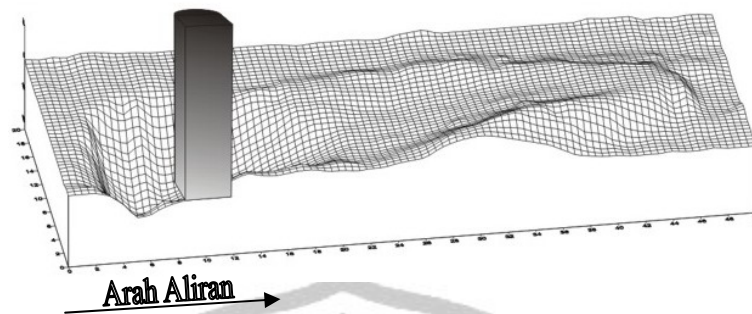
Dari peta kontur yang didapat terlihat bahwa permukaan-permukaan dasar saluran yang terjadi karena penggerusan membentuk suatu pola gerusan yang khas yaitu berupa lubang dengan diameter dan kedalaman yang cukup besar, dimana lubang gerusan di bagian depan dan bagian hulu abutmen lebih besar dibandingkan dengan bagian hilir abutmen.

#### 4.4.2. Pola Gerusan di Sekitar Abutmen dengan Kedalaman Aliran 0,10 m

Hasil pengukuran *point gauge* kedalaman gerusan di sekitar abutmen dengan kedalaman aliran 0,10 m terlihat seperti pada Lampiran 7. Berdasarkan hasil pengukuran *point gauge* kedalaman gerusan di sekitar abutmen dengan kedalaman aliran 0,10 m ditampilkan sebagai kontur gerusan dalam Gambar 33 dan isometri gerusan dalam Gambar 34.



**Gambar 33.** Kontur pola gerusan pada abutmen dengan kedalaman aliran 0,10 m



**Gambar 34.** Isometri pola gerusan pada abutmen dengan kedalaman aliran 0,10 m

Secara umum, pola gerusan yang terjadi pada abutmen dengan kedalaman aliran 0,10 m relatif sama dengan pola gerusan yang terjadi pada abutmen dengan kedalaman aliran 0,09 m. Gerusan yang terjadi di sekitar abutmen adalah akibat sistem pusaran (*vortex system*) yang timbul karena aliran dirintangi oleh abutmen. Sistem pusaran menyebabkan lubang gerusan (*scour hole*), berawal dari sebelah hulu abutmen yaitu pada saat mulai timbul komponen aliran dengan arah aliran ke bawah, karena aliran yang datang dari hulu dihalangi oleh abutmen, maka aliran akan berubah arah menjadi arah vertikal menuju dasar saluran dan sebagian berbelok arah menuju depan abutmen selanjutnya diteruskan ke hilir. Aliran arah vertikal akan terus menuju dasar yang selanjutnya akan membentuk pusaran. Di dekat dasar saluran komponen aliran berbalik arah vertikal ke atas, peristiwa ini diikuti dengan terbawanya material dasar sehingga terbentuk aliran spiral yang akan menyebabkan gerusan dasar. Hal ini akan terus berlanjut hingga tercapai keseimbangan.

Dari gambar kontur dan gambar isometri pola gerusan pada abutmen dengan kedalaman aliran 0,10 m seperti yang ditunjukkan dalam Gambar 33 dan Gambar 34. Lubang gerusan terjadi dengan jarak 80 mm dari pilar bagian depan,

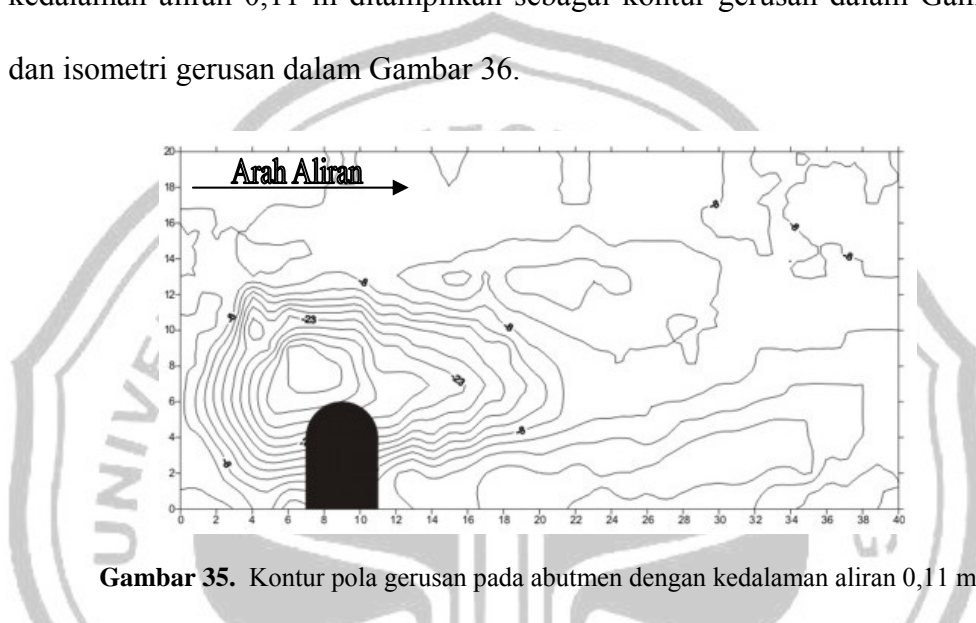
sedangkan lebar lubang gerusan yang dihasilkan adalah 190 mm. Bentuk kontur yang tidak beraturan dengan perkembangan gerusan terbesar tercapai pada titik pengamatan 6 pada sisi samping abutmen bagian depan. Perkembangan gerusan terkecil terjadi pada titik pengamatan 1 pada sisi samping bagian belakang abutmen sebelah hilir, dimana pada bagian tersebut terlihat penumpukan material dasar sedimen yang diakibatkan adanya proses transpor sedimen.

Bentuk kontur di dekat abutmen cenderung rapat karena tegangan geser di sekeliling abutmen lebih tinggi. Semakin ke hilir tegangan geser yang terjadi semakin kecil sehingga material yang tergerus semakin sedikit. Hal ini tampak dari jarak garis kontur yang semakin ke hilir terlihat semakin renggang. Pergerakan aliran di hilir abutmen cenderung kembali stabil seperti aliran sebelum membentur abutmen, sehingga hal ini menyebabkan pendangkalan gerusan di samping abutmen sebelah hilir dan setelah jarak tertentu di samping abutmen sebelah hilir terjadi penumpukan material dasar.

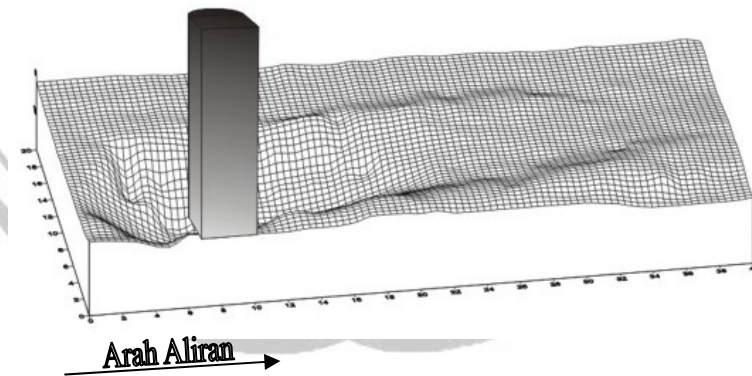
Dari peta kontur yang didapat terlihat bahwa permukaan-permukaan dasar saluran yang terjadi karena penggerusan membentuk suatu pola gerusan yang khas yaitu berupa lubang dengan diameter dan kedalaman yang cukup besar, dimana lubang gerusan di bagian depan lebih besar dibandingkan dengan bagian hulu dan bagian hilir abutmen. Dengan pola kedalaman gerusan yang terjadi, pola kedalaman gerusan pada abutmen dengan kedalaman aliran 0,10 m terlihat lebih kecil dari pada abutmen dengan kedalaman aliran 0,09 m.

#### 4.4.3. Pola Gerusan di Sekitar Abutmen dengan Kedalaman Aliran 0,11 m

Hasil pengukuran *point gauge* kedalaman gerusan di sekitar abutmen dengan kedalaman aliran 0,11 m terlihat seperti pada Lampiran 8. Berdasarkan hasil pengukuran *point gauge* kedalaman gerusan di sekitar abutmen dengan kedalaman aliran 0,11 m ditampilkan sebagai kontur gerusan dalam Gambar 35 dan isometri gerusan dalam Gambar 36.



Gambar 35. Kontur pola gerusan pada abutmen dengan kedalaman aliran 0,11 m



Gambar 36. Isometri pola gerusan pada abutmen dengan kedalaman aliran 0,11 m

Pola gerusan yang terjadi pada abutmen dengan kedalaman aliran 0,11 m relatif sama dengan pola gerusan yang terjadi pada abutmen dengan kedalaman aliran 0,10 m. Gerusan yang terjadi di sekitar abutmen adalah akibat sistem pusaran (*vortex system*) yang timbul karena aliran dirintangi oleh abutmen. Sistem

pusaran menyebabkan lubang gerusan (*scour hole*), berawal dari sebelah hulu abutmen yaitu pada saat mulai timbul komponen aliran dengan arah aliran ke bawah, karena aliran yang datang dari hulu dihalangi oleh abutmen, maka aliran akan berubah arah menjadi arah vertikal menuju dasar saluran dan sebagian berbelok arah menuju depan abutmen selanjutnya diteruskan ke hilir. Aliran arah vertikal akan terus menuju dasar yang selanjutnya akan membentuk pusaran. Di dekat dasar saluran komponen aliran berbalik arah vertikal ke atas, peristiwa ini diikuti dengan terbawanya material dasar sehingga terbentuk aliran spiral yang akan menyebabkan gerusan dasar. Hal ini akan terus berlanjut hingga tercapai keseimbangan.

Dari gambar kontur dan gambar isometri pola gerusan pada abutmen dengan kedalaman aliran 0,11 m seperti yang ditunjukkan dalam Gambar 35 dan Gambar 36. Lubang gerusan terjadi dengan jarak 70 mm dari abutmen bagian depan, sedangkan lebar lubang gerusan yang dihasilkan adalah 210 mm. Bentuk kontur yang tidak beraturan dengan perkembangan gerusan terbesar tercapai pada titik pengamatan 6 pada sisi samping abutmen bagian depan. Perkembangan gerusan terkecil terjadi pada titik pengamatan 1 pada sisi samping bagian belakang abutmen sebelah hilir, dimana pada bagian abutmen tersebut tidak terjadi penumpukan maupun penggerusan.

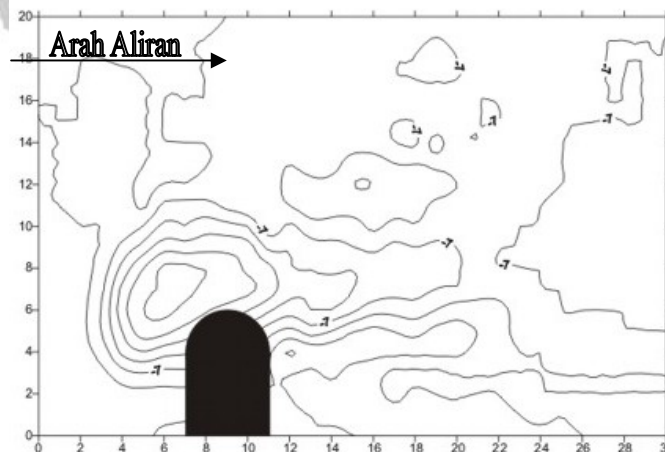
Bentuk kontur di dekat abutmen cenderung rapat karena tegangan geser di sekeliling abutmen lebih tinggi. Semakin ke hilir tegangan geser yang terjadi semakin kecil sehingga material yang tergerus semakin sedikit. Hal ini tampak dari jarak garis kontur yang semakin ke hilir terlihat semakin renggang.

Pergerakan aliran di hilir abutmen cenderung kembali stabil seperti aliran sebelum membentur abutmen, sehingga hal ini menyebabkan pendangkalan gerusan di samping abutmen sebelah hilir dan setelah jarak tertentu di samping abutmen sebelah hilir terjadi penumpukan material dasar.

Dari peta kontur yang didapat terlihat bahwa permukaan-permukaan dasar saluran yang terjadi karena penggerusan membentuk suatu pola gerusan yang khas yaitu berupa lubang dengan diameter dan kedalaman yang cukup besar, dimana lubang gerusan di bagian depan lebih besar dibandingkan dengan bagian hulu dan bagian hilir abutmen. Dengan pola kedalaman gerusan yang terjadi, pola kedalaman gerusan pada abutmen dengan kedalaman aliran 0,11 m terlihat lebih kecil dari pada abutmen dengan kedalaman aliran 0,10 m.

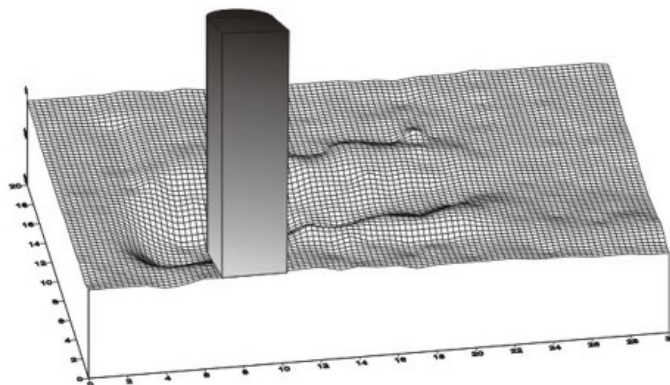
#### 4.4.4. Pola Gerusan di Sekitar Abutmen dengan Kedalaman Aliran 0,12 m

Hasil pengukuran *point gauge* kedalaman gerusan di sekitar abutmen dengan kedalaman aliran 0,12 m terlihat seperti pada Lampiran 9. Berdasarkan hasil pengukuran *point gauge* kedalaman gerusan di sekitar abutmen dengan kedalaman aliran 0,12 m ditampilkan sebagai kontur gerusan dalam Gambar 37 dan isometri gerusan dalam Gambar 38.



**Gambar 37.** Kontur pola gerusan pada abutmen dengan kedalaman aliran 0,12 m





**Gambar 38.** Isometri pola gerusan pada abutmen dengan kedalaman aliran 0,12 m

Pola gerusan yang terjadi pada abutmen dengan kedalaman aliran 0,12 m relatif sama dengan pola gerusan yang terjadi pada abutmen dengan kedalaman aliran 0,11 m. Gerusan yang terjadi di sekitar abutmen adalah akibat sistem pusaran (*vortex system*) yang timbul karena aliran dirintangi oleh abutmen. Sistem pusaran menyebabkan lubang gerusan (*scour hole*), berawal dari sebelah hulu abutmen yaitu pada saat mulai timbul komponen aliran dengan arah aliran ke bawah, karena aliran yang datang dari hulu dihalangi oleh abutmen, maka aliran akan berubah arah menjadi arah vertikal menuju dasar saluran dan sebagian berbelok arah menuju depan abutmen selanjutnya diteruskan ke hilir. Aliran arah vertikal akan terus menuju dasar yang selanjutnya akan membentuk pusaran. Di dekat dasar saluran komponen aliran berbalik arah vertikal ke atas, peristiwa ini diikuti dengan terbawanya material dasar sehingga terbentuk aliran spiral yang akan menyebabkan gerusan dasar. Hal ini akan terus berlanjut hingga tercapai keseimbangan.

Dari gambar kontur dan gambar isometri pola gerusan pada abutmen dengan kedalaman aliran 0,12 m seperti yang ditunjukkan dalam Gambar 37 dan



Gambar 38. Lubang gerusan terjadi dengan jarak 50 mm dari abutmen bagian depan, sedangkan lebar lubang gerusan yang dihasilkan adalah 180 mm. Bentuk kontur yang tidak beraturan dengan perkembangan gerusan terbesar tercapai pada titik pengamatan 6 pada sisi samping abutmen bagian depan. Perkembangan gerusan terkecil terjadi pada titik pengamatan 1, 2 dan 9 pada sisi samping bagian belakang abutmen, dimana pada bagian abutmen tersebut tidak terjadi penumpukan maupun penggerusan.

Bentuk kontur di dekat abutmen cenderung rapat karena tegangan geser di sekeliling abutmen lebih tinggi. Semakin ke hilir tegangan geser yang terjadi semakin kecil sehingga material yang tergerus semakin sedikit. Hal ini tampak dari jarak garis kontur yang semakin ke hilir terlihat semakin renggang. Pergerakan aliran di hilir abutmen cenderung kembali stabil seperti aliran sebelum membentur abutmen, sehingga hal ini menyebabkan pendangkalan gerusan di samping abutmen sebelah hilir dan setelah jarak tertentu di samping abutmen sebelah hilir terjadi penumpukan material dasar.

Dari peta kontur yang didapat terlihat bahwa permukaan-permukaan dasar saluran yang terjadi karena penggerusan membentuk suatu pola gerusan yang khas yaitu berupa lubang dengan diameter dan kedalaman yang cukup besar, dimana lubang gerusan di bagian depan dan hulu abutmen lebih besar dibandingkan dengan bagian hilir abutmen. Dengan pola kedalaman gerusan yang terjadi, pola kedalaman gerusan pada abutmen dengan kedalaman aliran 0,12 m terlihat lebih kecil dari pada abutmen dengan kedalaman aliran 0,11 m.

#### 4.4.5. Pola Gerusan di Sekitar Abutmen sebagai Fungsi Kedalaman Aliran

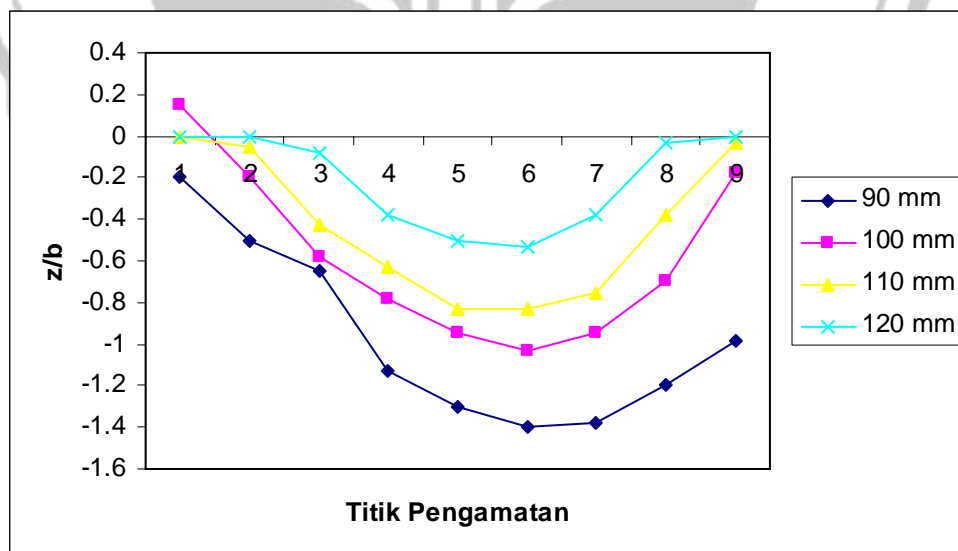
Perbandingan kedalaman gerusan maksimum terhadap kedalaman aliran pada tiap kedalaman aliran seperti terlihat dalam Tabel 5 berikut ini.

**Tabel 5.** Kedalaman gerusan maksimum di sekitar abutmen sebagai fungsi kedalaman aliran

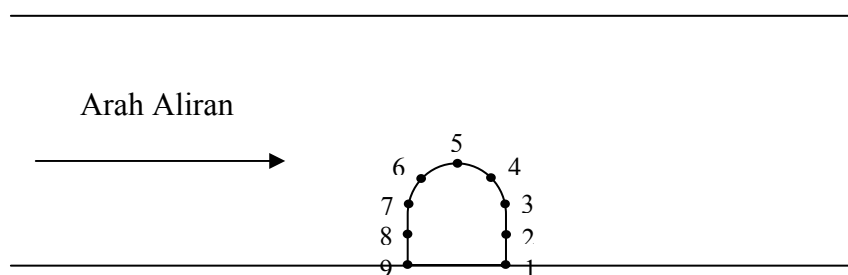
Kedalaman Aliran (mm)	Kedalaman Gerusan z/b								
	Titik Pengamatan								
	1	2	3	4	5	6	7	8	9
90	-0.20	-0.50	-0.65	-1.13	-1.30	-1.40	-1.38	-1.20	-0.98
100	0.15	-0.20	-0.58	-0.78	-0.95	-1.03	-0.95	-0.70	-0.18
110	0.00	-0.05	-0.43	-0.63	-0.83	-0.83	-0.75	-0.38	-0.03
120	0.00	0	-0.08	-0.38	-0.50	-0.53	-0.38	-0.03	0.00

(sumber : Hasil penelitian)

Berdasarkan Tabel 5 hasil pengukuran kedalaman gerusan maksimum di sekitar abutmen dengan berbagai kedalaman aliran ditampilkan dalam grafik hubungan kedalaman gerusan maksimum pada abutmen sebagai fungsi kedalaman aliran, seperti terlihat dalam Gambar 39.



**Gambar 39.** Kedalaman gerusan maksimum pada abutmen sebagai fungsi kedalaman aliran



**Gambar 40.** Titik pengamatan pada abutmen

Dari gambar kontur dan gambar isometri pola gerusan pada abutmen *semi-circular-end abutment* mulai dari Gambar 31 sampai Gambar 38, serta dari gambar kedalaman gerusan maksimum sebagai fungsi kedalaman aliran seperti terlihat pada Gambar 39. Pola gerusan yang terjadi pada semua abutmen dengan berbagai kedalaman aliran relatif sama. Kedalaman gerusan maksimum dari semua abutmen terjadi pada kedalaman aliran 90 mm pada titik pengamatan 6 dengan kedalaman gerusan maksimum 1,40. Sedangkan kedalaman gerusan minimum dari semua abutmen terjadi pada kedalaman aliran 120 mm dengan kedalaman gerusan maksimum 0,53. Kedalaman gerusan yang terjadi semakin berkurang seiring dengan bertambahnya atau peningkatan kedalaman aliran. Nilai kedalaman gerusan maksimum terhadap kedalaman aliran pada abutmen dengan kedalaman aliran 90 mm, 100 mm, 110 mm, dan 120 mm secara berturut-turut adalah 1,40; 1,03; 0,83 dan 0,53.

Pola gerusan yang terjadi di sisi samping abutmen bagian belakang sebelah hulu maupun hilir dengan berbagai kedalaman aliran terlihat adanya pendangkalan kedalaman gerusan seiring dengan peningkatan kedalaman aliran. Pola gerusan yang terjadi di semua abutmen dengan berbagai kedalaman aliran relatif sama meskipun dengan lebar dan kedalaman gerusan yang berbeda.

## 4.5 Perhitungan Empiris

### 1. Karakteristik Aliran

#### a. Karakteristik aliran pada kedalaman aliran 0,09 m

Data parameter aliran :

$$\begin{aligned} B &= 0.20 \text{ m} \\ h &= 0.09 \text{ m} \\ Q &= 3.78 \text{ liter/s} \\ d_{50} &= 0.49 \text{ mm} \\ G_s &= 2.99 \end{aligned}$$

Menghitung kecepatan :

$$U = \frac{Q}{A} = \frac{Q}{Bh} = \frac{0.00378}{0.20 \times 0.09} = 0.21 \text{ m/s}$$

Menghitung angka Reynolds :

$$Re = \frac{Uh}{\nu} = \frac{0.21 \times 0.09}{10^{-6}} = 18900 \quad \rightarrow \text{Re} > 1000 \text{ disebut aliran turbulen}$$

Menghitung angka Froude :

$$Fr = \frac{U}{\sqrt{gh}} = \frac{0.21}{\sqrt{9.81 \times 0.09}} = 0.224 \quad \rightarrow \text{Fr} < 1 \text{ disebut aliran sub kritis}$$

Menghitung jari-jari Hidraulis :

$$A = Bh$$

$$P = B + 2h$$

$$R = \frac{A}{P} = \frac{Bh}{B + 2h} = \frac{0.20 \times 0.09}{0.20 + 2(0.09)} = 0.0473 \text{ m}$$

Menghitung koefisien Manning :

$$n = \frac{d_{50}^{\frac{1}{6}}}{21.1} = \frac{0.00049^{\frac{1}{6}}}{21} = 0.0133$$

Menghitung kemiringan saluran :

$$U = C\sqrt{RS}$$

$$C = \frac{1}{n} R^{\frac{1}{6}}$$

$$U = \frac{1}{n} R^{\frac{2}{3}} S^{\frac{1}{2}}$$

$$S = \left( \frac{Uxn}{R^{\frac{2}{3}}} \right)^2 = \left( \frac{0.21 \times 0.0133}{0.0473^{\frac{2}{3}}} \right)^2 = 0.00045$$

**b. Karakteristik aliran pada kedalaman aliran 0,10 m**

Data parameter aliran :

$$\begin{aligned} B &= 0.20 \text{ m} \\ h &= 0.10 \text{ m} \\ Q &= 3.56 \text{ liter/s} \\ d_{50} &= 0.49 \text{ mm} \\ G_s &= 2.99 \end{aligned}$$

Menghitung kecepatan :

$$U = \frac{Q}{A} = \frac{Q}{Bh} = \frac{0.00356}{0.20 \times 0.10} = 0.18 \text{ m/s}$$

Menghitung angka Reynolds :

$$Re = \frac{Uh}{\nu} = \frac{0.18 \times 0.20}{10^{-6}} = 18000 \rightarrow Re > 1000 \text{ disebut aliran } \mathbf{turbulen}$$

Menghitung angka Froude :

$$Fr = \frac{U}{\sqrt{gh}} = \frac{0.18}{\sqrt{9.81 \times 0.10}} = 0.182 \rightarrow Fr < 1 \text{ disebut aliran } \mathbf{sub \text{ kritis}}$$

Menghitung jari-jari Hidraulis :

$$A = Bh$$

$$P = B + 2h$$

$$R = \frac{A}{P} = \frac{Bh}{B + 2h} = \frac{0.20 \times 0.10}{0.20 + 2(0.10)} = 0.05 \text{ m}$$

Menghitung koefisien Manning :

$$n = \frac{d_{50}^{\frac{1}{6}}}{21.1} = \frac{0.00049^{\frac{1}{6}}}{21} = 0.0133$$

Menghitung kemiringan saluran :

$$U = C\sqrt{RS}$$

$$C = \frac{1}{n} R^{\frac{1}{6}}$$

$$U = \frac{1}{n} R^{\frac{2}{3}} S^{\frac{1}{2}}$$

$$S = \left( \frac{Uxn}{R^{\frac{2}{3}}} \right)^2 = \left( \frac{0.18 \times 0.0133}{0.05^{\frac{2}{3}}} \right)^2 = 0.00031$$

**c. Karakteristik aliran pada kedalaman aliran 0,11 m**

Data parameter aliran :

$$\begin{aligned} B &= 0.20 \text{ m} \\ h &= 0.11 \text{ m} \\ Q &= 3.52 \text{ liter/s} \\ d_{50} &= 0.49 \text{ mm} \\ G_s &= 2.99 \end{aligned}$$

Menghitung kecepatan :

$$U = \frac{Q}{A} = \frac{Q}{Bh} = \frac{0.00352}{0.20 \times 0.11} = 0.16 \text{ m/s}$$

Menghitung angka Reynolds :

$$Re = \frac{Uh}{\nu} = \frac{0.16 \times 0.11}{10^{-6}} = 17600 \quad \rightarrow \text{Re} > 1000 \text{ disebut aliran } \mathbf{turbulen}$$

Menghitung angka Froude :

$$Fr = \frac{U}{\sqrt{gh}} = \frac{0.16}{\sqrt{9.81 \times 0.11}} = 0.154 \quad \rightarrow \text{Fr} < 1 \text{ disebut aliran } \mathbf{sub \text{ kritis}}$$

Menghitung jari-jari Hidraulis :

$$A = Bh$$

$$P = B + 2h$$

$$R = \frac{A}{P} = \frac{Bh}{B + 2h} = \frac{0.20 \times 0.11}{0.20 + 2(0.11)} = 0.052 \text{ m}$$

Menghitung koefisien Manning :

$$n = \frac{d_{50}^{\frac{1}{6}}}{21.1} = \frac{0.00049^{\frac{1}{6}}}{21} = 0.0133$$

Menghitung kemiringan saluran :

$$U = C\sqrt{RS}$$

$$C = \frac{1}{n} R^{\frac{1}{6}}$$

$$U = \frac{1}{n} R^{\frac{2}{3}} S^{\frac{1}{2}}$$

$$S = \left( \frac{Uxn}{R^{\frac{2}{3}}} \right)^2 = \left( \frac{0.16 \times 0.0133}{0.052^{\frac{2}{3}}} \right)^2 = 0.00023$$

**d. Karakteristik aliran pada kedalaman aliran 0,12 m**

Data parameter aliran :

$$\begin{aligned} B &= 0.20 \text{ m} \\ h &= 0.12 \text{ m} \\ Q &= 3.60 \text{ liter/s} \\ d_{50} &= 0.49 \text{ mm} \\ G_s &= 2.99 \end{aligned}$$

Menghitung kecepatan :

$$U = \frac{Q}{A} = \frac{Q}{Bh} = \frac{0.00360}{0.20 \times 0.12} = 0.15 \text{ m/s}$$

Menghitung angka Reynolds :

$$Re = \frac{Uh}{\nu} = \frac{0.15 \times 0.12}{10^{-6}} = 18000 \quad \rightarrow \text{Re} > 1000 \text{ disebut aliran } \mathbf{turbulen}$$

Menghitung angka Froude :

$$Fr = \frac{U}{\sqrt{gh}} = \frac{0.15}{\sqrt{9.81 \times 0.12}} = 0.138 \quad \rightarrow \text{Fr} < 1 \text{ disebut aliran } \mathbf{sub \text{ kritis}}$$

Menghitung jari-jari Hidraulis :

$$A = Bh$$

$$P = B + 2h$$

$$R = \frac{A}{P} = \frac{Bh}{B + 2h} = \frac{0.20 \times 0.12}{0.20 + 2(0.12)} = 0.054 \text{ m}$$

Menghitung koefisien Manning :

$$n = \frac{d_{50}^{\frac{1}{6}}}{21.1} = \frac{0.00049^{\frac{1}{6}}}{21} = 0.0133$$

Menghitung kemiringan saluran :

$$U = C\sqrt{RS}$$

$$C = \frac{1}{n} R^{\frac{1}{6}}$$

$$U = \frac{1}{n} R^{\frac{2}{3}} S^{\frac{1}{2}}$$

$$S = \left( \frac{Uxn}{R^{\frac{2}{3}}} \right)^2 = \left( \frac{0.15 \times 0.0133}{0.054^{\frac{2}{3}}} \right)^2 = 0.00019$$

## 2. Kedalaman Gerusan Lokal Menurut Persamaan Garde dan Raju (1977), dalam Hanwar (1999)

Persamaan kedalaman gerusan pada pilar dan abutmen untuk *clear - water scour* menurut Garde dan Raju (1977) sebagai berikut :

$$\frac{d}{d_o} = \frac{4,0}{\alpha} \eta_1 \eta_2 \eta_3 \eta_4 \left( \frac{U}{\sqrt{gd_o}} \right)^{n^*} \text{ atau dapat ditulis :}$$

$$\frac{d}{d_o} = 4,0 \eta_1 \eta_2 \eta_3 \eta_4 \frac{1}{\alpha} (Fr)^{n^*}$$

dengan :

d = kedalaman gerusan maksimum diukur dari muka air  
( $d_o + d_s$ ), m

$d_o$  = kedalaman aliran, m

$d_s$  = kedalaman gerusan, m

U = kecepatan rata-rata aliran, m/s



$\alpha$  = perbandingan bukaan (B-L)/B

$n^*$  = eksponen, fungsi ukuran sedimen dan geometri halangan

$\eta_1\eta_2\eta_3\eta_4$  = koefisien

**Tabel 6.** Nilai  $\eta_1$  dan  $n^*$  untuk berbagai diameter butiran sedimen (Garde dan Raju, 1977)

D (mm)	0,29	0,45	1	2,15	4	7,5	10,5
$\eta_1$	1	1,09	1,15	1	0,85	0,66	0,54
$n^*$	0,68	0,85	0,85	0,93	1,05	0,9	0,85



**Gambar 41.** Hubungan  $\eta_3$  dengan  $\theta$

(Garde dan Raju, 1977)

**Tabel 7.** Pengaruh bentuk *pier nouse* terhadap gerusan (Garde dan Raju , 1977)

Bentuk	$\eta_4$
<i>Rectangular</i> .....	1,00
<i>Circular (or semicircular nose)</i> .....	0,81-0,90
<i>Lenticular nose (2:1)</i> .....	0,80
(3:1).....	0,70
(4:1).....	0,56
<i>Joukowsky pier (5:1)</i> .....	0,67
<i>Elliptic nose (2:1)</i> .....	0,80
(3:1).....	0,75
<i>Triangular nose 15° appex angel</i> .....	0,38
30° .....	0,52
60° .....	0,64
90° .....	0,75
120° .....	0,80
150° .....	0,86

**a. Kedalaman Gerusan pada Kedalaman Aliran 0,09 m**

Data :

$$d_o = 0,09 \text{ m}$$

$$U = 0,21 \text{ m/s}$$

$$\eta_1 = 1,094$$

$$n^* = 0,85$$

$$\eta_2 = 1,5$$

$$\eta_3 = 1,05$$

$$\eta_4 = 0,9$$

$$\alpha = (B-L)/B = (0,2-0,06)/0,2 = 0,7$$

$$d = d_o + d_s$$

$$Fr = 0,224$$

dari data di atas dapat diketahui kedalaman gerusan :

$$\frac{d}{d_o} = 4,0\eta_1\eta_2\eta_3\eta_4 \frac{1}{\alpha} (Fr)^{n^*}$$

$$\frac{d}{0,09} = 4,0 \times 1,094 \times 1,5 \times 1,05 \times 0,9 \times \frac{1}{0,7} (0,224)^{0,85} = 2,48$$

$$\frac{d}{0,09} = 2,48$$

$$d = 0,09 \times 2,48 = 0,223$$

$$0,09 + d_s = 0,223$$

Kedalaman gerusan lokal :

$$d_s = 0,1332 \text{ m}$$

$$\frac{d_s}{b} = \frac{0,1332}{0,04} = 3,33$$

**b. Kedalaman Gerusan pada Kedalaman Aliran 0,10 m**

Data :

$$d_o = 0,10 \text{ m}$$

$$U = 0,18 \text{ m/s}$$

$$\eta_1 = 1,094$$

$$n^* = 0,85$$

$$\eta_2 = 1,5$$

$$\eta_3 = 1,05$$

$$\eta_4 = 0,9$$

$$\alpha = (B-L)/B = (0,2-0,06)/0,2 = 0,7$$

$$d = d_o + d_s$$

$$Fr = 0,182$$

dari data di atas dapat diketahui kedalaman gerusan :

$$\frac{d}{d_o} = 4,0\eta_1\eta_2\eta_3\eta_4 \frac{1}{\alpha} (Fr)^{n^*}$$

$$\frac{d}{0,10} = 4,0 \times 1,094 \times 1,5 \times 1,05 \times 0,9 \times \frac{1}{0,7} (0,182)^{0,85} = 2,08$$

$$\frac{d}{0,10} = 2,08$$

$$d = 0,10 \times 2,08 = 0,208$$

$$0,10 + d_s = 0,208$$

Kedalaman gerusan lokal :

$$d_s = 0,108 \text{ m}$$

$$\frac{d_s}{b} = \frac{0,108}{0,04} = 2,70$$

**c. Kedalaman Gerusan pada Kedalaman Aliran 0,11 m**

Data :

$$d_o = 0,11 \text{ m}$$

$$U = 0,16 \text{ m/s}$$

$$\eta_1 = 1,094$$

$$n^* = 0,85$$

$$\eta_2 = 1,5$$

$$\eta_3 = 1,05$$

$$\eta_4 = 0,9$$

$$\alpha = (B-L)/B = (0,2-0,06)/0,2 = 0,7$$

$$d = d_o + d_s$$

$$Fr = 0,154$$

dari data di atas dapat diketahui kedalaman gerusan :

$$\frac{d}{d_o} = 4,0 \eta_1 \eta_2 \eta_3 \eta_4 \frac{1}{\alpha} (Fr)^{n^*}$$

$$\frac{d}{0,11} = 4,0 \times 1,094 \times 1,5 \times 1,05 \times 0,9 \times \frac{1}{0,7} (0,154)^{0,85} = 1,81$$

$$\frac{d}{0,11} = 1,81$$

$$d = 0,11 \times 1,81 = 0,199$$

$$0,11 + d_s = 0,199$$

Kedalaman gerusan lokal :

$$d_s = 0,089 \text{ m}$$

$$\frac{d_s}{b} = \frac{0,089}{0,04} = 2,23$$

**d. Kedalaman Gerusan pada Kedalaman Aliran 0,12 m**

Data :

$$d_o = 0,12 \text{ m} \quad U = 0,15 \text{ m/s}$$

$$\eta_1 = 1,094 \quad n^* = 0,85$$

$$\eta_2 = 1,5 \quad \eta_3 = 1,05$$

$$\eta_4 = 0,9 \quad \alpha = (B-L)/B = (0,2-0,06)/0,2 = 0,7$$

$$d = d_o + d_s \quad Fr = 0,138$$

dari data di atas dapat diketahui kedalaman gerusan :

$$\frac{d}{d_o} = 4,0 \eta_1 \eta_2 \eta_3 \eta_4 \frac{1}{\alpha} (Fr)^{n^*}$$

$$\frac{d}{0,12} = 4,0 \times 1,094 \times 1,5 \times 1,05 \times 0,9 \times \frac{1}{0,7} (0,138)^{0,85} = 1,62$$

$$\frac{d}{0,12} = 1,62$$

$$d = 0,12 \times 1,62 = 0,194$$

$$0,12 + d_s = 0,194$$

Kedalaman gerusan lokal :

$$d_s = 0,074 \text{ m}$$

$$\frac{d_s}{b} = \frac{0,074}{0,04} = 1,86$$

### 3. Persamaan Froehlich (1987), dalam Hanwar (1999)

$$\frac{ds}{do} = 0,78.K_1.K_2 \left( \frac{La}{do} \right)^{0,63} .Fr^{1,16} \left( \frac{do}{d_{50}} \right)^{0,43} .\sigma^{-1,87}$$

dengan :

$K_1$  = koefisien untuk bentuk abutmen

$K_2$  = koefisien untuk sudut *embankment* terhadap aliran

$La$  = panjang abutmen, m

$Fr$  = bilangan Froude dari aliran upstream pada abutmen

$\sigma$  = deviasi standar geometri dari material dasar

$do$  = kedalaman aliran, m

$ds$  = kedalaman gerusan, m

#### a. Kedalaman Gerusan pada Kedalaman Aliran 0,09 m

$do$  = 0,09 m       $K_1$  = 1,0

$La$  = 0,06 m       $K_2$  =  $(90/90)^{0,13} = 1$

$Fr$  = 0,224       $d_{50}$  = 0,00049 m

$\sigma$  =  $(d_{84}/d_{16})^{0,5}$   
 =  $(1,3/0,8)^{0,5} = 1,27$

$$\frac{ds}{do} = 0,78.K_1.K_2 \left( \frac{La}{do} \right)^{0,63} .Fr^{1,16} \left( \frac{do}{d_{50}} \right)^{0,43} .\sigma^{-1,87}$$

$$\frac{ds}{0,09} = 0,78.1.1 \left( \frac{0,06}{0,09} \right)^{0,63} .0,224^{1,16} \left( \frac{0,09}{0,00049} \right)^{0,43} .1,27^{-1,87}$$

$$\frac{ds}{0,09} = 0,693$$

$$ds = 0,0575 \longrightarrow \frac{ds}{b} = 1,44$$

**b. Kedalaman Gerusan pada Kedalaman Aliran 0,10 m**

$$\begin{aligned} d_o &= 0,10 \text{ m} & K_1 &= 1,0 \\ La &= 0,06 \text{ m} & K_2 &= (90/90)^{0,13} = 1 \\ Fr &= 0,182 & d_{50} &= 0,00049 \text{ m} \\ \sigma &= (d_{84}/d_{16})^{0,5} \\ &= (1,3/0,8)^{0,5} = 1,27 \end{aligned}$$

$$\frac{ds}{do} = 0,78 \cdot K_1 \cdot K_2 \left( \frac{La}{do} \right)^{0,63} \cdot Fr^{1,16} \cdot \left( \frac{do}{d_{50}} \right)^{0,43} \cdot \sigma^{-1,87}$$

$$\frac{ds}{0,10} = 0,78 \cdot 1 \cdot 1 \cdot \left( \frac{0,06}{0,10} \right)^{0,63} \cdot 0,182^{1,16} \cdot \left( \frac{0,10}{0,00049} \right)^{0,43} \cdot 1,27^{-1,87}$$

$$\frac{ds}{0,10} = 0,49$$

$$ds = 0,049 \longrightarrow \frac{ds}{b} = 1,23$$

**c. Kedalaman Gerusan pada Kedalaman Aliran 0,11 m**

$$\begin{aligned} d_o &= 0,11 \text{ m} & K_1 &= 1,0 \\ La &= 0,06 \text{ m} & K_2 &= (90/90)^{0,13} = 1 \\ Fr &= 0,154 & d_{50} &= 0,00049 \text{ m} \\ \sigma &= (d_{84}/d_{16})^{0,5} \\ &= (1,3/0,8)^{0,5} = 1,27 \end{aligned}$$

$$\frac{ds}{do} = 0,78 \cdot K_1 \cdot K_2 \left( \frac{La}{do} \right)^{0,63} \cdot Fr^{1,16} \cdot \left( \frac{do}{d_{50}} \right)^{0,43} \cdot \sigma^{-1,87}$$

$$\frac{ds}{0,11} = 0,78 \cdot 1 \cdot 1 \cdot \left( \frac{0,06}{0,11} \right)^{0,63} \cdot 0,154^{1,16} \cdot \left( \frac{0,11}{0,00049} \right)^{0,43} \cdot 1,27^{-1,87}$$

$$\frac{ds}{0,11} = 0,398$$

$$ds = 0,044 \longrightarrow \frac{ds}{b} = 1,10$$



**d. Kedalaman Gerusan pada Kedalaman Aliran 0,12 m**

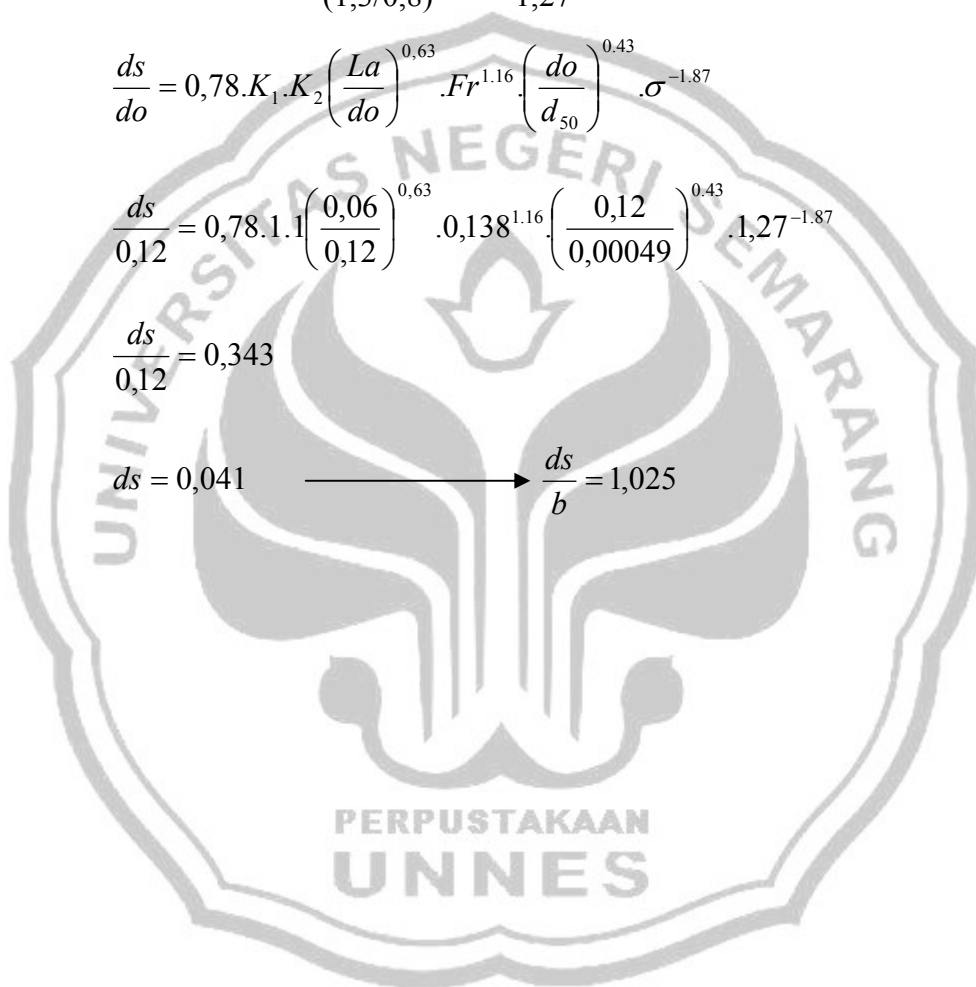
$$\begin{aligned}
 d_o &= 0,12 \text{ m} & K_1 &= 1,0 \\
 La &= 0,06 \text{ m} & K_2 &= (90/90)^{0,13} = 1 \\
 Fr &= 0,138 & d_{50} &= 0,00049 \text{ m} \\
 \sigma &= (d_{84}/d_{16})^{0,5} \\
 &= (1,3/0,8)^{0,5} = 1,27
 \end{aligned}$$

$$\frac{ds}{do} = 0,78 \cdot K_1 \cdot K_2 \left( \frac{La}{do} \right)^{0,63} \cdot Fr^{1,16} \cdot \left( \frac{do}{d_{50}} \right)^{0,43} \cdot \sigma^{-1,87}$$

$$\frac{ds}{0,12} = 0,78 \cdot 1 \cdot 1 \cdot \left( \frac{0,06}{0,12} \right)^{0,63} \cdot 0,138^{1,16} \cdot \left( \frac{0,12}{0,00049} \right)^{0,43} \cdot 1,27^{-1,87}$$

$$\frac{ds}{0,12} = 0,343$$

$$ds = 0,041 \quad \longrightarrow \quad \frac{ds}{b} = 1,025$$



**Tabel 8.** Perbandingan hasil penelitian laboratorium dengan perhitungan menggunakan persamaan empiris

Kedalaman Aliran	Karakteristik Aliran	Ds/b (Penelitian di Laboratorium)	Ds/b (Persamaan Garde dan Raju )	Ds/b (Persamaan Froehlich)
1.Kedalaman aliran 0,09 m	Q = 3.78 lt/s h = 0.09 m d <sub>50</sub> = 0.49 mm Gs = 2.99	1,40	3,33	1,44
2.Kedalaman aliran 0,10 m	Q = 3.56 lt/s h = 0.10 m d <sub>50</sub> = 0.49 mm Gs = 2.99	1,03	2,70	1,23
3.Kedalaman aliran 0,11 m	Q = 3.52 lt/s h = 0.11 m d <sub>50</sub> = 0.49 mm Gs = 2.99	0,83	2,23	1,10
4.Kedalaman aliran 0,12 m	Q = 3.6 lt/s h = 0.12 m d <sub>50</sub> = 0.49 mm Gs = 2.99	0,53	1,86	1,025

Berdasarkan Tabel 8 di atas terlihat bahwa hasil perhitungan kedalaman gerusan dengan menggunakan rumus empiris dan hasil penelitian di laboratorium diperoleh perbedaan yang cukup signifikan. Hal ini secara umum dapat disebabkan oleh beberapa faktor. Pada perhitungan dengan rumus empiris, parameter-parameter yang mempengaruhi diperoleh berdasarkan pembacaan tabel dan grafik. Sedangkan hasil penelitian di laboratorium dapat dipengaruhi oleh banyak hal, diantaranya adalah kurang ketelitian pada saat pengambilan data, pengaruh suhu dan tekanan di ruang laboratorium.

## BAB V

### KESIMPULAN DAN SARAN

#### 5.1. Kesimpulan

Hasil yang didapat dari penelitian gerusan pada abutmen *semi-circular-end abutment* dengan berbagai kedalaman aliran ini adalah sebagai berikut :

1. Penambahan kedalaman gerusan pada menit-menit awal terjadi secara cepat pada berbagai kedalaman aliran.
2. Dari hasil pengamatan diperoleh  $d_{50} = 0,49$  mm,  $U_c = 0,262$  m/s,  $h_c = 0,073$  m,  $Q_c = 3,83$  lt/s. Untuk aliran dengan kedalaman aliran 0,09 m diperoleh  $U = 0,21$  m/s,  $Q = 3,78$  lt/s,  $U/U_c = 0,802$ ,  $Fr = 0,224$  dan  $Re = 18900$ . Untuk aliran dengan kedalaman aliran 0,10 m diperoleh  $U = 0,18$  m/s,  $Q = 3,56$  lt/s,  $U/U_c = 0,687$ ,  $Fr = 0,182$  dan  $Re = 18000$ . Untuk aliran dengan kedalaman aliran 0,11 m diperoleh  $U = 0,16$  m/s,  $Q = 3,52$  lt/s,  $U/U_c = 0,611$ ,  $Fr = 0,154$  dan  $Re = 17600$ . Untuk aliran dengan kedalaman aliran 0,12 m diperoleh  $U = 0,15$  m/s,  $Q = 3,60$  lt/s,  $U/U_c = 0,573$ ,  $Fr = 0,138$  dan  $Re = 18000$ .
3. Berdasarkan bilangan Froude dan angka Reynolds aliran yang terjadi untuk  $Fr < 1$  dan  $Re > 1000$  adalah termasuk aliran turbulen sub kritis.
4. Gerusan maksimum untuk variasi kedalaman aliran 0,09 m, 0,10 m, 0,11 m dan 0,12 m terjadi pada sisi samping bagian depan abutmen sebelah hulu yaitu pada titik pengamatan 6. Perkembangan gerusan terkecil terjadi

pada bagian belakang abutmen sebelah hulu maupun hilir yaitu pada titik pengamatan 1,2 dan 9.

5. Kedalaman gerusan maksimum dari semua abutmen dengan berbagai kedalaman aliran terjadi pada kedalaman aliran 0,09 m, sedangkan kedalaman gerusan minimum dari terjadi pada kedalaman aliran 0,12 m.
6. Nilai kedalaman gerusan maksimum terhadap kedalaman aliran pada abutmen dengan kedalaman aliran 0,09 m, 0,10 m, 0,11 m, dan 0,12 m secara berturut-turut adalah 1,40; 1,03; 0,83 dan 0,53.
7. Semakin bertambah kedalaman aliran maka gerusan yang terjadi semakin kecil.
8. Pola gerusan yang terjadi di semua abutmen dengan berbagai kedalaman aliran relatif sama meskipun dengan lebar dan kedalaman gerusan yang berbeda.

## 5.2. Saran

1. Untuk penelitian sebaiknya kecepatan yang digunakan mendekati kecepatan kritik.
2. Untuk penelitian lanjutan, perlu dilakukan penelitian menggunakan bentuk abutmen yang lain seperti *vertical wall abutment* dengan *wing* atau *box wall* dan *spill – though abutment.*, sehingga dapat diketahui perbandingan kedalaman gerusannya.
3. Perlu dilakukan juga penelitian mengenai cara pengendalian gerusan di sekitar abutmen, baik pada kondisi *clear-water scour* maupun *live-bed scour*.

## DAFTAR PUSTAKA

- Abdurrasyid, J. 2005. *Pengendalian Gerusan dengan Pelat di Sekitar Abutmen Jembatan pada Kondisi Ada Angkutan Sedimen (Live Bed Scour)*. Jurnal Teknik Gelagar. Volume 16 Nomer 01. April 2005. Surakarta : UMS
- Breuser. H.N.C. and Raudkivi. A.J. 1991. *Scouring*. IAHR Hydraulic Structure Design Manual. Rotterdam : AA Balkema.
- Chow, V.T. 1992. *Hidraulika Saluran Terbuka*. Jakarta : Erlangga
- Gunawan, H.A. 2006. *Pengaruh Lebar Pilar Segiempat Terhadap Perilaku Gerusan Lokal*. Skripsi. Semarang : UNNES
- Hanwar, S. 1999. *Gerusan Lokal di Sekitar Abutment Jembatan*. Tesis. Yogyakarta : PPS UGM
- Miller, W. 2003. *Model For The Time Rate Of Local Sediment Scour At A Cylindrical Structure*. Disertasi. Florida : PPS Universitas Florida.
- Mira, S. 2004. *Pola Gerusan Lokal Berbagai Bentuk Abutment dengan Adanya Variasi Debit*. Tugas Akhir. Yogyakarta : UGM
- Rinaldi. 2002. *Model Fisik Pengendalian Gerusan di Sekitar Abutmen Jembatan*. Tesis. Yogyakarta : PPS UGM
- Sucipto dan Nur Qudus. 2004. *Analisis Gerusan Lokal di Hilir Bed Protection*. Jurnal Teknik Sipil dan Perencanaan . Nomer 1 Volume 6. Januari 2004. Semarang : UNNES
- Triatmodjo, B. 2003a. *Hidraulika I*. Yogyakarta. Beta Offset
- Triatmodjo, B. 2003b. *Hidraulika II*. Yogyakarta. Beta Offset

Lampiran 1

## ANALISIS DISTRIBUSI UKURAN BUTIR TANAH

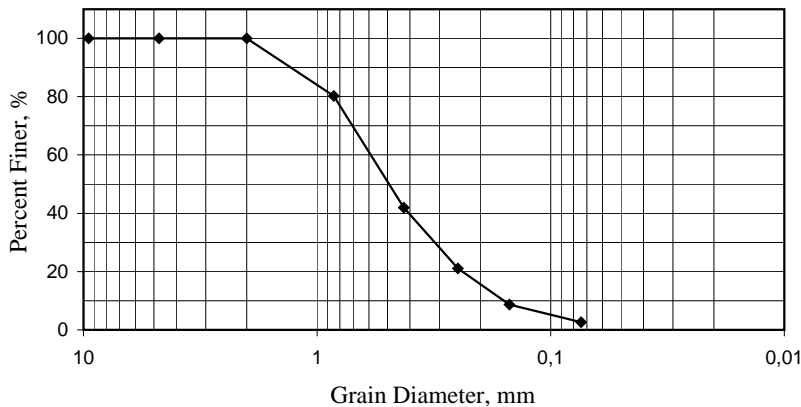
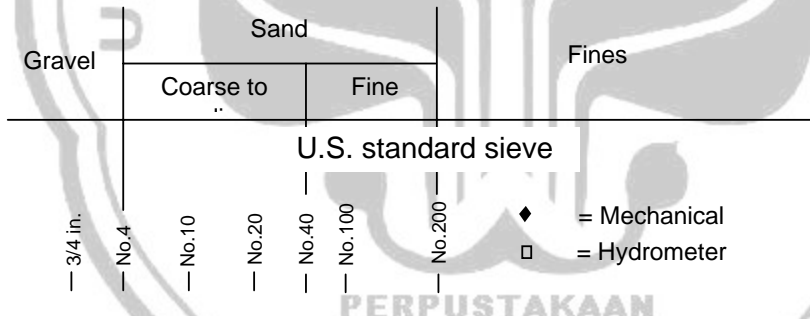
Proyek : Skripsi  
 Bahan : Pasir Muntilan

Dikerjakan : Risyal, Okky, Tulus  
 Tanggal : -

Berat Sampel = 1000 gr  
 Specific Gravity = 2,99  
 $K_2 = a/W \times 100 =$   
 Dispersing agent = -

No. Hydrometer = -  
 Koreksi Hydrometer = -  
 Koreksi Meniscus, m = -

Ayakan No.	Ayakan dalam (mm)	Berat tertahan (gr)	Barat lolos (gr)	% berat lolos $e/W \times 100\%$	
4	4,750	$d_1 = 0$	$e_1 = 1000,00$	100,00	$e_7 = W - \Sigma d$
10	2,000	$d_2 = 0$	$e_2 = 1000,00$	100,00	$e_6 = d_7 + e_7$
20	0,850	$d_3 = 197$	$e_3 = 803,00$	80,30	$e_5 = d_6 + e_6$
40	0,425	$d_4 = 383,5$	$e_4 = 419,50$	41,95	$e_4 = d_5 + e_5$
60	0,250	$d_5 = 208,5$	$e_5 = 211,00$	21,10	$e_3 = d_4 + e_4$
100	0,150	$d_6 = 124$	$e_6 = 87,00$	8,70	$e_2 = d_3 + e_3$
200	0,074	$d_7 = 60,5$	$e_7 = 26,50$	2,65	$e_1 = d_2 + e_2$
		$\Sigma d = 973,50$			



# GRAIN SIZE ANALYSIS

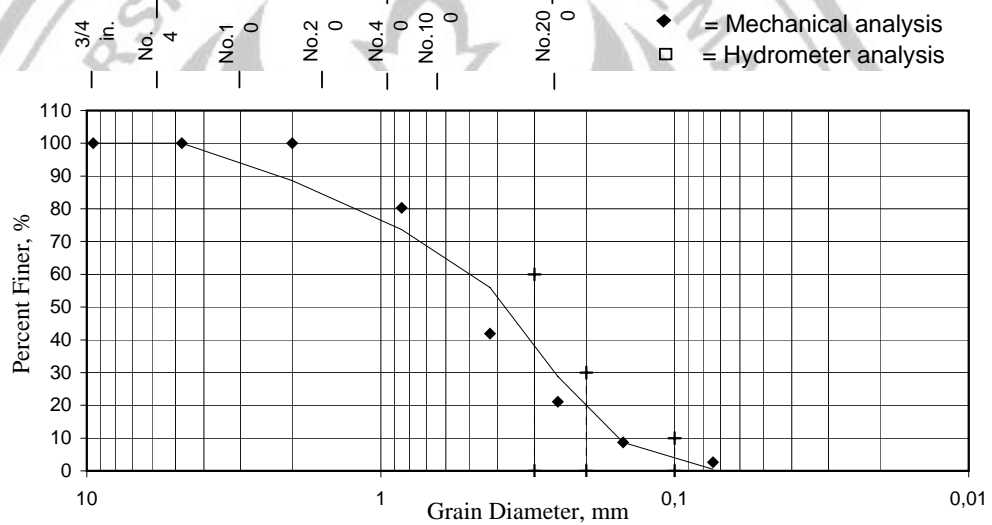
Project	<u>Perencanaan Cargo Area di</u> <u>Bandar Udara Soekarno-Hatta</u>	Location	<u>Cengkareng, Kodya Tangerang</u>
Test/Boring no.	<u>BH 1</u>	Date	<u>31-Jul-98</u>
Depth	<u>4.00 - 4.45 m</u>	Made by	<u>Ris</u>

Specific Gravity 2,57

Description of soil \_\_\_\_\_

Gravel	Sand	Fines
	Coarse to medium	Fine

U.S. standard sieve sizes



Finer # 200	=	2,65 %
< 0.002 mm	=	#DIV/0! %
Gravel	=	0,00 %
Sand	=	97,35 %
Silt/Clay	=	2,65 %

D <sub>10</sub>	D <sub>30</sub>	D <sub>60</sub>	C <sub>u</sub>	C <sub>z</sub>

Lampiran 5

**Perkembangan Kedalaman Gerusan terhadap Waktu  
pada Abutmen dengan Kedalaman Aliran 0,09 m**

Waktu (menit)	Kedalaman Gerusan (z/b)								
	Titik Pengamatan								
	1	2	3	4	5	6	7	8	9
1	0.00	0.00	0.00	0.00	-0.18	-0.25	-0.05	0.00	0.00
2	0.00	0.00	0.05	-0.30	-0.45	-0.55	-0.38	-0.03	0.00
3	0.00	0.00	-0.10	-0.50	-0.63	-0.55	-0.58	-0.33	0.00
4	0.00	0.00	-0.25	-0.55	-0.50	-0.80	-0.75	-0.43	-0.03
5	0.00	0.05	-0.28	-0.55	-0.80	-0.90	-0.75	-0.48	-0.05
6	0.08	-0.13	-0.30	-0.73	-0.88	-0.95	-0.83	-0.53	-0.13
7	0.13	-0.08	-0.30	-0.75	-0.90	-0.95	-0.83	-0.58	-0.18
8	0.15	-0.03	-0.30	-0.63	-0.90	-1.03	-0.85	-0.63	-0.18
9	0.18	-0.03	-0.30	-0.70	-0.95	-1.03	-0.93	-0.65	-0.18
10	0.20	-0.03	-0.38	-0.78	-0.95	-1.03	-0.90	-0.65	-0.20
15	0.20	-0.08	-0.38	-0.88	-1.03	-1.08	-0.95	-0.73	-0.25
20	0.15	-0.25	-0.38	-0.95	-1.08	-1.13	-1.03	-0.78	-0.25
25	0.08	-0.25	-0.58	-0.75	-1.08	-1.13	-1.03	-0.78	-0.25
30	0.15	-0.30	-0.63	-0.88	-1.08	-1.20	-1.03	-0.80	-0.30
35	-0.08	-0.30	-0.58	-1.00	-1.20	-1.20	-1.03	-0.80	-0.30
40	-0.10	-0.30	-0.58	-1.03	-1.20	-1.23	-0.95	-0.85	-0.33
50	-0.13	-0.38	-0.60	-1.13	-1.20	-1.30	-1.15	-0.88	-0.38
60	-0.13	-0.38	-0.65	-1.08	-1.23	-1.30	-1.15	-0.90	-0.50
70	-0.13	-0.38	-0.58	-1.03	-1.30	-1.38	-1.20	-1.00	-0.73
85	-0.13	-0.40	-0.80	-1.05	-1.25	-1.38	-1.30	-1.05	-0.68
100	-0.13	-0.45	-0.75	-1.08	-1.25	-1.38	-1.25	-1.13	-0.68
115	-0.20	-0.45	-0.70	-1.08	-1.28	-1.38	-1.30	-1.13	-0.68
130	-0.20	-0.45	-0.70	-1.13	-1.28	-1.40	-1.30	-1.13	-0.68
145	-0.20	-0.45	-0.75	-1.13	-1.28	-1.40	-1.30	-1.20	-0.70
160	-0.20	-0.45	-0.75	-1.13	-1.28	-1.40	-1.30	-1.20	-0.75
175	-0.20	-0.50	-0.65	-1.13	-1.30	-1.40	-1.30	-1.20	-0.98
190	-0.20	-0.50	-0.65	-1.13	-1.30	-1.40	-1.38	-1.20	-0.98
205	-0.20	-0.50	-0.65	-1.13	-1.30	-1.40	-1.38	-1.20	-0.98
220	-0.20	-0.50	-0.65	-1.13	-1.30	-1.40	-1.38	-1.20	-0.98
235	-0.20	-0.50	-0.65	-1.13	-1.30	-1.40	-1.38	-1.20	-0.98
250	-0.20	-0.50	-0.65	-1.13	-1.30	-1.40	-1.38	-1.20	-0.98



Lampiran 5

**Perkembangan Kedalaman Gerusan terhadap Waktu  
pada Abutmen dengan Kedalaman Aliran 0,10 m**

Waktu (menit)	Kedalaman Gerusan (z/b)								
	Titik Pengamatan								
	1	2	3	4	5	6	7	8	9
1	0.00	0.00	0.00	0.05	-0.15	-0.18	-0.05	0.00	0.00
2	0.00	0.00	0.03	-0.15	-0.30	-0.38	-0.18	0.00	0.00
3	0.00	0.00	0.05	-0.30	-0.43	-0.45	-0.20	0.00	0.00
4	0.00	0.00	-0.03	-0.33	-0.45	-0.50	-0.25	0.00	0.00
5	0.00	0.03	-0.08	-0.33	-0.48	-0.53	-0.33	0.00	0.00
6	0.00	0.05	-0.08	-0.38	-0.50	-0.53	-0.35	0.00	0.00
7	0.00	0.08	-0.08	-0.35	-0.53	-0.58	-0.38	0.03	0.00
8	0.00	0.08	-0.10	-0.48	-0.55	-0.63	-0.33	0.03	0.00
9	0.00	0.10	-0.13	-0.50	-0.63	-0.63	-0.40	0.03	0.00
10	0.00	0.13	-0.23	-0.50	-0.63	-0.63	-0.38	-0.05	0.00
15	0.00	0.15	-0.25	-0.55	-0.65	-0.70	-0.45	-0.13	0.00
20	0.03	0.10	-0.30	-0.63	-0.68	-0.75	-0.53	-0.18	0.00
25	0.05	-0.03	-0.38	-0.53	-0.65	-0.75	-0.53	-0.18	0.00
30	0.08	-0.05	-0.38	-0.70	-0.78	-0.75	-0.53	-0.18	0.00
35	0.08	-0.13	-0.38	-0.68	-0.78	-0.78	-0.63	-0.25	0.00
40	0.13	-0.13	-0.38	-0.68	-0.78	-0.80	-0.65	-0.30	0.00
50	0.13	-0.13	-0.38	-0.75	-0.78	-0.83	-0.68	-0.30	0.00
60	0.13	-0.15	-0.50	-0.75	-0.80	-0.85	-0.68	-0.40	0.00
70	0.15	-0.20	-0.50	-0.75	-0.83	-0.85	-0.70	-0.45	0.00
85	0.15	-0.20	-0.50	-0.75	-0.88	-1.00	-0.80	-0.53	-0.03
100	0.15	-0.20	-0.50	-0.75	-0.88	-0.95	-0.80	-0.58	-0.08
115	0.18	-0.20	-0.53	-0.75	-0.83	-0.95	-0.85	-0.65	-0.10
130	0.18	-0.20	-0.53	-0.78	-0.90	-0.95	-0.90	-0.63	-0.13
145	0.18	-0.20	-0.55	-0.78	-0.95	-1.03	-0.90	-0.63	-0.15
160	0.15	-0.20	-0.58	-0.78	-0.95	-1.03	-0.93	-0.68	-0.18
175	0.15	-0.20	-0.58	-0.78	-0.95	-1.03	-0.95	-0.70	-0.18
190	0.15	-0.20	-0.58	-0.78	-0.95	-1.03	-0.95	-0.70	-0.18
205	0.15	-0.20	-0.58	-0.78	-0.95	-1.03	-0.95	-0.70	-0.18
220	0.15	-0.20	-0.58	-0.78	-0.95	-1.03	-0.95	-0.70	-0.18
235	0.15	-0.20	-0.58	-0.78	-0.95	-1.03	-0.95	-0.70	-0.18
250	0.15	-0.20	-0.58	-0.78	-0.95	-1.03	-0.95	-0.70	-0.18

Lampiran 5

**Perkembangan Kedalaman Gerusan terhadap Waktu  
pada Abutmen dengan Kedalaman Aliran 0,11 m**

Waktu (menit)	Kedalaman Gerusan (z/b)								
	Titik Pengamatan								
	1	2	3	4	5	6	7	8	9
1	0.00	0.00	0.00	0.00	-0.10	0.00	0.00	0.00	0.00
2	0.00	0.00	0.00	-0.08	-0.25	-0.20	-0.03	0.00	0.00
3	0.00	0.00	0.00	-0.13	-0.30	-0.28	-0.05	0.00	0.00
4	0.00	0.00	0.00	-0.18	-0.30	-0.38	-0.08	0.00	0.00
5	0.00	0.00	0.00	-0.15	-0.30	-0.38	-0.15	0.00	0.00
6	0.00	0.00	0.00	-0.15	-0.30	-0.40	-0.20	0.00	0.00
7	0.00	0.00	-0.03	-0.18	-0.38	-0.43	-0.25	0.00	0.00
8	0.00	0.00	-0.03	-0.25	-0.38	-0.45	-0.28	0.00	0.00
9	0.00	0.00	-0.03	-0.28	-0.45	-0.50	-0.30	0.00	0.00
10	0.00	0.00	-0.05	-0.33	-0.50	-0.53	-0.33	0.00	0.00
15	0.00	0.00	-0.05	-0.38	-0.53	-0.55	-0.40	-0.10	0.00
20	0.00	0.00	-0.13	-0.38	-0.55	-0.63	-0.45	-0.15	0.00
25	0.00	0.00	-0.13	-0.38	-0.58	-0.63	-0.50	-0.20	0.00
30	0.00	0.00	-0.13	-0.38	-0.55	-0.65	-0.53	-0.20	0.00
35	0.00	0.00	-0.20	-0.53	-0.58	-0.65	-0.55	-0.20	0.00
40	0.00	0.00	-0.25	-0.55	-0.65	-0.65	-0.55	-0.25	0.00
50	0.00	0.00	-0.28	-0.55	-0.65	-0.70	-0.55	-0.28	0.00
60	0.00	0.00	-0.30	-0.53	-0.65	-0.70	-0.55	-0.30	0.00
70	0.00	0.00	-0.33	-0.53	-0.65	-0.70	-0.58	-0.33	0.00
85	0.00	0.00	-0.38	-0.55	-0.65	-0.70	-0.55	-0.33	0.00
100	0.00	0.00	-0.38	-0.58	-0.65	-0.70	-0.58	-0.33	-0.03
115	0.00	0.00	-0.38	-0.58	-0.75	-0.83	-0.70	-0.33	-0.03
130	0.00	0.00	-0.38	-0.63	-0.75	-0.83	-0.70	-0.38	-0.03
145	0.00	-0.03	-0.40	-0.63	-0.75	-0.83	-0.70	-0.38	-0.03
160	0.00	-0.03	-0.40	-0.65	-0.75	-0.83	-0.70	-0.38	-0.03
175	0.00	-0.03	-0.40	-0.65	-0.75	-0.83	-0.73	-0.38	-0.03
190	0.00	-0.03	-0.43	-0.65	-0.75	-0.83	-0.73	-0.38	-0.03
205	0.00	-0.05	-0.43	-0.65	-0.75	-0.83	-0.75	-0.38	-0.03
220	0.00	-0.05	-0.43	-0.63	-0.83	-0.83	-0.75	-0.38	-0.03
235	0.00	-0.05	-0.43	-0.63	-0.83	-0.83	-0.75	-0.38	-0.03
250	0.00	-0.05	-0.43	-0.63	-0.83	-0.83	-0.75	-0.38	-0.03

Lampiran 5

**Perkembangan Kedalaman Gerusan terhadap Waktu  
pada Abutmen dengan Kedalaman Aliran 0,12 m**

Waktu (menit)	Kedalaman Gerusan (z/b)								
	Titik Pengamatan								
	1	2	3	4	5	6	7	8	9
1	0.00	0.00	0.00	0.00	-0.03	-0.03	0.00	0.00	0.00
2	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	-0.03	0.00	0.00	0.00
3	0.00	0.00	0.00	0.03	-0.03	-0.08	0.03	0.00	0.00
4	0.00	0.00	0.00	0.03	-0.08	-0.15	0.00	0.00	0.00
5	0.00	0.00	0.00	-0.08	-0.18	-0.25	-0.05	0.00	0.00
6	0.00	0.00	0.00	-0.10	-0.18	-0.25	-0.08	0.00	0.00
7	0.00	0.00	0.00	-0.08	-0.25	-0.30	-0.10	0.00	0.00
8	0.00	0.00	0.00	-0.08	-0.25	-0.30	-0.13	0.00	0.00
9	0.00	0.00	0.00	-0.08	-0.28	-0.33	-0.15	0.00	0.00
10	0.00	0.00	0.00	-0.15	-0.28	-0.30	-0.18	0.00	0.00
15	0.00	0.00	-0.03	-0.25	-0.35	-0.40	-0.23	0.00	0.00
20	0.00	0.00	-0.03	-0.20	-0.35	-0.40	-0.23	0.00	0.00
25	0.00	0.00	-0.05	-0.23	-0.38	-0.40	-0.25	0.00	0.00
30	0.00	0.00	-0.05	-0.23	-0.38	-0.40	-0.28	0.00	0.00
35	0.00	0.00	-0.05	-0.23	-0.38	-0.40	-0.28	0.00	0.00
40	0.00	0.00	-0.05	-0.23	-0.38	-0.40	-0.28	0.00	0.00
50	0.00	0.00	-0.05	-0.25	-0.38	-0.40	-0.30	0.00	0.00
60	0.00	0.00	-0.05	-0.25	-0.38	-0.40	-0.30	-0.03	0.00
70	0.00	0.00	-0.05	-0.25	-0.38	-0.40	-0.28	-0.03	0.00
85	0.00	0.00	-0.08	-0.25	-0.40	-0.48	-0.33	-0.03	0.00
100	0.00	0.00	-0.08	-0.38	-0.50	-0.53	-0.38	-0.03	0.00
115	0.00	0.00	-0.10	-0.38	-0.50	-0.53	-0.38	-0.05	0.00
130	0.00	0.00	-0.10	-0.38	-0.50	-0.53	-0.43	-0.08	0.00
145	0.00	0.00	-0.10	-0.38	-0.50	-0.53	-0.43	-0.08	0.00
160	0.00	0.00	-0.10	-0.38	-0.48	-0.53	-0.43	-0.10	0.00
175	0.00	0.00	-0.10	-0.38	-0.48	-0.50	-0.43	-0.10	0.00
190	0.00	0.00	-0.10	-0.38	-0.48	-0.50	-0.43	-0.10	0.00
205	0.00	0.00	-0.10	-0.38	-0.48	-0.50	-0.43	-0.13	0.00
220	0.00	0.00	-0.10	-0.38	-0.48	-0.50	-0.43	-0.13	0.00
235	0.00	0.00	-0.10	-0.38	-0.48	-0.50	-0.43	-0.13	0.00
250	0.00	0.00	-0.10	-0.38	-0.48	-0.50	-0.43	-0.13	0.00

Lampiran 6

Data hasil pengukuran *point gauge*

Pada : Abutmen dengan kedalaman aliran 0.09 m

Y	X																																																				
	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20	21	22	23	24	25	26	27	28	29	30	31	32	33	34	35	36	37	38	39	40	41	42	43	44	45	46	47	48	49			
0	0	-5	-10	-12	-14	-8	-14	-23	-28	-34	-38	-38	-34						-9	-9	-9	-7	-6	-4	-3	0	0	1	1	3	3	4	4	4	4	5	6	6	6	7	7	7	9	9	10	9	8	8	6	6	6	4	
1	-3	-2	-10	-10	-13	-14	-15	-23	-30	-35	-39	-39	-28						-10	-9	-8	-6	-5	-5	-3	-1	1	0	2	3	4	6	5	4	6	5	6	6	6	6	7	8	9	8	9	9	8	6	6	3	4		
2	-2	-3	-8	-10	-12	-19	-20	-27	-32	-40	-45	-44	-43						-15	-10	-10	-9	-8	-5	-5	-2	0	0	1	2	5	5	5	6	8	9	8	7	7	10	10	11	4	11	12	10	10	10	9	8			
3	-2	-2	-8	-8	-10	-20	-21	-28	-36	-43	-48	-50	-48						-17	-17	-15	-14	-12	-10	-8	-6	-2	-2	-1	-1	1	4	4	4	6	7	9	8	8	8	8	8	7	7	10	10	11	11	12	13			
4	-2	-2	-3	-8	-12	-24	-22	-29	-40	-45	-51	-52	-52						-25	-22	-19	-17	-17	-14	-11	-9	-4	-3	-2	-1	0	2	3	3	4	5	5	6	5	5	6	6	6	7	8	8	9	10	11				
5	-2	-2	-3	-8	-10	-26	-23	-33	-41	-48	-52	-53	-53						-31	-28	-25	-22	-21	-17	-14	-10	-6	-4	-1	-1	0	2	2	0	3	3	3	3	3	4	4	3	4	4	5	5	5	7	6	9			
6	-2	-2	-2	-3	-8	-26	-28	-32	-42	-46	-52	-54	-55						-35	-30	-28	-25	-21	-18	-16	-12	-7	-4	-2	-1	0	0	0	0	0	0	-1	-1	0	-1	-1	2	2	2	3	3	5	5	6	7			
7	-2	-2	-2	-3	-8	-24	-29	-32	-45	-46	-50	-54	-55	-52	-50	-47	-46	-42	-37	-33	-29	-26	-22	-19	-17	-10	-4	-1	-1	0	-1	0	-1	0	0	0	-1	-2	-1	-1	-1	1	-1	-1	1	2	3	3	4	5			
8	-2	-2	-2	-2	-6	-20	-28	-33	-45	-44	-48	-52	-52	-53	-51	-48	-46	-40	-37	-33	-29	-25	-21	-18	-17	-8	-3	-1	0	0	0	-1	-1	-3	-2	3	-3	-3	-2	-2	-3	-2	-2	-3	-2	-1	-3	-2	0	1	1	2	3
9	-2	-2	-2	-2	-3	-19	-25	-30	-39	-40	-44	-46	-48	-49	-48	-51	-48	-40	-37	-33	-28	-25	-20	-16	-11	-6	-2	0	0	-1	-1	-1	-3	-3	-3	-2	-1	-2	-3	-3	-4	-2	-2	-2	0	0	1	0	0				
10	-2	-2	-2	-2	-3	-15	-22	-28	-34	-36	-40	-43	-48	-45	-43	-46	-42	-38	-34	-30	-25	-22	-16	-15	-5	-4	-2	0	-1	-1	-2	-3	-3	-2	-2	-2	-2	-2	-2	-3	-3	-4	-2	-2	-2	-1	-2	0	-2				
11	-2	-2	-2	-2	-2	-8	-20	-24	-30	-30	-37	-39	-38	-40	-39	-40	-40	-36	-30	-25	-24	-19	-14	-10	-5	-2	-2	-2	-4	-3	-2	-3	-2	-2	-2	-1	-1	-1	-2	-2	-2	-2	-3	-2	-3	-2	-2	-2	-2	-2			
12	-2	-2	-2	-2	-2	-3	-2	-23	-30	-23	-30	-32	-35	-35	-32	-35	-32	-31	-28	-23	-18	-14	-10	-7	-3	-3	-2	-2	-4	-3	-3	-2	-3	-2	-2	-1	-1	-1	-1	-1	-1	-1	-1	-1	-2	-2	-2	-4	1	-1	-2		
13	-2	-1	-2	-2	-2	-2	-2	-3	-16	-15	-27	-24	-26	-26	-28	-28	-28	-26	-20	-20	-15	-11	-8	-5	-2	-3	-2	-3	-2	-3	-3	2	-2	0	-1	-1	0	0	0	0	1	1	0	0	1	1	2	2	2	3	4	4	3
14	-2	-1	-2	-2	-2	-2	-2	-2	-3	-3	-22	-18	-20	-18	-20	-19	-20	-18	-12	-11	-9	-5	-4	-3	0	-2	-1	-1	-1	-3	-1	1	0	2	1	2	3	1	1	1	1	2	2	2	3	2	3	4	4	4	3		
15	-1	-1	-1	-1	-2	-2	-2	-3	-2	-2	-12	-10	-3	-4	-12	-15	-13	-4	-4	-4	-3	-5	-3	-3	-2	0	0	1	1	0	0	1	4	4	3	6	6	6	6	3	7	6	7	6	7	5	8	7	6	6	5		
16	-1	-1	-1	-1	-1	-1	-3	-2	-2	-2	-2	-2	-2	-3	-3	-3	-3	-3	-4	-4	-4	-5	-5	-5	-4	-2	-2	-2	-2	-2	0	0	-1	1	3	4	3	5	6	-5	-5	-4	-1	5	7	5	5	4	5	4			
17	-1	-1	-1	-1	-1	-1	-3	-2	-2	-2	-2	-2	-2	-2	-3	-3	-3	-3	-4	-4	-4	-4	-5	-4	-4	-4	-4	-4	-5	-5	-5	4	-3	-1	-2	0	0	-2	3	2	3	4	-2	4	4	4	4	3	4	2			
18	-1	0	-1	-1	-1	-1	-3	-2	-2	-2	-2	-2	-2	-2	-3	-3	-3	-2	-4	-3	-4	-4	-4	-4	-4	-4	-5	-5	-5	-5	-5	-4	-2	-4	-3	-2	-3	-1	-1	0	-1	-2	-2	-1	3	3	2	0	1	1			
19	-1	0	-1	-1	-1	-1	-1	-1	-1	-1	-2	-2	-2	-2	-2	-3	-3	-2	-4	-3	-4	-4	-4	-4	-4	-4	-5	-4	-5	-5	-5	-6	-6	-5	-5	-5	-5	-5	-6	-5	-5	-5	-3	-2	-2	-4	-2	-2	-3	-4	-3	-3	
20	0	0	-1	-1	-1	-1	-1	0	-1	-1	-1	-2	-2	-1	-2	-2	-2	-1	-4	-3	-3	-4	-4	-4	-4	-4	-4	-5	-4	-5	-5	-6	-3	-5	-5	-5	-5	-5	-6	-6	-5	-6	-6	-5	-6	-6	-5	-5	-5	-6	-6		

Lampiran 7

Data hasil pengukuran *point gauge*

Pada : Abutmen dengan kedalaman aliran 0.1 m

Y	X																																																								
	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20	21	22	23	24	25	26	27	28	29	30	31	32	33	34	35	36	37	38	39	40	41	42	43	44	45	46	47	48	49	50						
0	0	0	0	-2	-8	-17	-16	-12						5	3	2	3	4	4	2	2	1	2	2	4	5	6	11	14	16	17	16	14	12	10	8	4	0	-1	-2	-2	-3	-3	-3	-2	-3	-3	-2	-3	-3	-3	-3					
1	0	0	0	-6	-12	-20	-18	-12						2	1	1	2	4	2	2	3	2	0	2	3	4	6	10	15	15	17	17	16	15	12	9	7	4	0	-2	-2	-4	-3	-3	-3	-4	-3	-3	-3	-3	-3	-3	-3				
2	-2	-2	-5	-9	-20	-24	-25	-23						-6	-7	-5	-5	-2	-2	-1	0	-2	-1	-1	1	3	5	8	11	14	15	18	20	21	17	15	13	10	4	3	-2	-4	-4	-3	-4	-4	-3	-4	-3	-3							
3	-1	-1	-5	-11	-23	-28	-31	-31						-12	-14	-12	-11	-8	-8	-6	-3	-3	-3	-3	-1	0	2	4	8	10	11	14	16	18	19	19	13	15	14	10	7	0	-2	-3	-3	-4	-2	-3	-3	-3							
4	-1	0	-5	-12	-28	-34	-36	-35						-21	-20	-15	-15	-14	-12	-8	-6	-3	-4	-4	-3	-2	-1	2	4	6	8	10	13	14	16	16	17	15	14	13	9	5	1	-2	-3	-2	-2	-3	-3	-4							
5	-1	-1	-5	-13	-30	-36	-41	-40						-25	-24	-18	-20	-15	-13	-10	-7	-5	-4	-4	-2	-2	-2	-1	1	6	6	8	9	10	15	13	13	13	14	14	13	12	10	8	3	-2	-1	-3	-4	-3	-2						
6	-1	-2	-2	-12	-30	-37	-44	-44						-27	-26	-24	-19	-17	-14	-11	-7	-4	-4	-5	-4	-4	-2	-1	0	2	4	5	7	8	10	9	9	10	10	10	10	11	11	11	9	8	-1	4	-4	-5	-6	-2					
7	-1	-1	-2	-11	-28	-36	-44	-42	-41	-38	-34	-31	-32	-29	-27	-23	-19	-16	-11	-9	-7	-4	-4	-4	-4	-4	-2	-2	-1	1	3	4	6	8	8	9	8	8	8	8	8	8	8	9	10	9	10	4	7	-4	-6	-6	-6				
8	-1	-2	-2	-11	-26	-35	-41	-36	-42	-39	-36	-31	-33	-29	-26	-20	-16	-12	-9	-4	-4	-4	-5	-4	-4	-4	-4	-2	-1	0	1	3	3	5	6	6	7	7	7	8	8	8	9	9	9	6	6	-5	-6	-7	-7						
9	-1	-2	-1	-2	-27	-30	-35	-31	-39	-38	-36	-36	-27	-26	-21	-18	-15	-9	-3	-3	-2	-2	-4	-4	-5	-5	-4	-3	-2	-2	0	2	2	3	4	5	5	5	6	7	8	8	8	8	8	6	3	-6	-7	-7	-7						
10	-1	-1	-1	-1	-18	-23	-29	-25	-32	-33	-30	-34	-24	-21	-18	-13	-8	-5	-1	-1	0	-2	-3	-5	-5	-6	-4	-3	-2	-1	-1	0	1	2	3	4	5	5	6	7	7	7	8	7	7	4	2	-7	-7	-6	-8						
11	-1	-1	-1	-1	-17	-18	-24	-16	-26	-28	-25	-28	-19	-15	-12	-8	-5	-3	-1	-1	-1	-1	-2	-3	-4	-3	-3	-2	-1	-1	0	2	2	3	4	5	5	6	7	6	7	7	6	5	2	-3	-7	-6	-6	-8							
12	-1	-1	-2	-1	-1	-11	-12	-10	-18	-19	-17	-16	-11	-8	-5	-2	-2	-4	0	0	0	1	-1	-1	-2	-3	-2	-1	-1	0	1	2	3	4	4	4	5	5	6	5	4	3	3	1	2	0	-3	-4	-4	-5	-7						
13	-1	-1	-2	-1	-1	-1	-9	-1	-10	-10	-9	-6	-5	-4	-3	-1	1	-1	0	-1	0	0	-1	-1	-2	-1	-2	0	1	1	3	4	4	1	4	3	3	3	3	0	1	0	1	0	-2	-2	-4	-4	-4	-6	-6						
14	-1	-1	-2	-2	-1	-1	-1	-2	-3	-3	-3	-3	-3	-3	-3	-4	-4	-3	-1	-2	-1	-1	-1	0	1	-1	-1	2	2	2	4	4	2	0	0	-1	-1	0	-1	-1	-1	-1	-1	-1	-2	-3	-2	-7	-5	-7	-7	-6					
15	-2	-1	-2	-2	-1	-1	-1	-2	-1	-2	-3	-2	-3	-3	-4	-4	-4	-4	-4	-4	-4	-4	-4	-4	-3	-2	-3	-3	-1	0	0	-1	-1	0	-2	0	-4	-3	-3	-3	-3	-4	-4	-4	-4	-5	-6	-7	-8	-7	-8	-8					
16	-2	-1	-3	-2	-1	-1	-2	-2	-1	-1	-3	-2	-3	-3	-4	-4	-4	-4	-5	-5	-6	-6	-6	-6	-6	-6	-6	-5	-4	-3	-3	-3	-2	-3	-4	-4	-5	-5	-5	-5	-5	-5	-5	-5	-5	-5	-5	-5	-6	-7	-8	-7	-8	-9			
17	-2	-2	-3	-2	-1	-1	-2	-2	-1	-2	-3	-2	-3	-3	-4	-4	-4	-4	-5	-5	-6	-6	-6	-6	-6	-6	-6	-6	-5	-4	-5	-4	-5	-4	-5	-5	-5	-5	-5	-5	-5	-5	-5	-5	-5	-5	-5	-5	-5	-5	-6	-7	-8	-7	-6	-7	
18	-2	-2	-3	-3	-1	-1	-2	-2	-1	-2	-3	-3	-3	-3	-4	-4	-4	-4	-5	-5	-7	-6	-6	-6	-6	-6	-6	-5	-5	-5	-5	-5	-5	-5	-5	-5	-5	-5	-5	-5	-5	-5	-5	-5	-5	-5	-5	-5	-5	-5	-5	-7	-8	-8	-7	-8	-8
19	-2	-2	-3	-2	0	0	-2	-2	-2	-3	-3	-3	-3	-3	-4	-4	-4	-4	-5	-5	-6	-6	-6	-6	-6	-6	-6	-6	-5	-5	-5	-5	-5	-5	-5	-5	-5	-5	-5	-5	-5	-5	-5	-5	-5	-5	-5	-5	-5	-5	-5	-6	-7	-8	-7	-7	-7
20	-1	-2	-1	-2	0	0	-1	-2	-2	-3	-3	-3	-3	-3	-3	-4	-4	-4	-4	-5	-6	-5	-5	-5	-5	-6	-6	-6	-4	-3	-2	-5	-5	-5	-5	-5	-5	-5	-5	-5	-5	-5	-5	-5	-5	-5	-5	-5	-5	-5	-5	-6	-7	-6	-7		

Lampiran 8

Data hasil pengukuran *point gauge*

Pada : Abutmen dengan kedalaman aliran 0.11 m

Y	X																																									
	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20	21	22	23	24	25	26	27	28	29	30	31	32	33	34	35	36	37	38	39	40	
0	0	0	-1	-2	-5	-6	0						-3	-2	-2	-2	-1	2	2	2	1	2	0	0	0	0	0	0	0	0	0	-1	-2	-4	-5	-5	-5	-5	-5	-5	-4	
1	-2	-2	-3	-4	-7	-8	-4						-2	-1	-1	0	0	2	2	2	3	2	2	1	1	2	1	2	1	0	0	0	-1	-3	-3	-5	-6	-5	-6	-5	-5	-5
2	-3	-2	-4	-9	-12	-13	-12						-2	-1	-3	-2	-1	1	2	2	1	1	2	1	1	1	2	2	3	3	2	3	2	0	0	2	-4	-4	-5	-5	-5	
3	-3	-2	-6	-11	-17	-20	-19						-9	-6	-10	-6	-5	-2	-1	-1	-2	-1	0	0	0	0	-1	1	2	3	3	3	3	3	2	2	-2	-1	-4	-5	-4	
4	-4	-4	-10	-15	-21	-26	-26						-19	-14	-17	-12	-13	-8	-7	-6	-5	-4	-3	-3	-2	-2	-3	-2	0	1	2	2	3	3	2	1	-1	-1	-2	-3	-3	
5	-4	-8	-13	-19	-25	-31	-30						-25	-20	-20	-18	-18	-13	-13	-11	-9	-8	-6	-5	-5	-5	-5	-4	-2	-2	-1	-1	0	1	1	1	0	-1	-2	-3	-3	
6	-4	-9	-15	-21	-27	-33	-34						-28	-25	-24	-22	-22	-17	-17	-13	-12	-9	-6	-6	-6	-5	-5	-5	-5	-4	-3	-3	-2	-1	-1	0	0	-1	-2	-3	-3	
7	-4	-8	-15	-20	-27	-32	-35	-36	-36	-35	-32	-28	-28	-27	-26	-24	-23	-20	-17	-15	-12	-9	-6	-7	-6	-6	-6	-6	-6	-6	-5	5	-4	-5	-2	-2	-2	-2	-2	-3	-4	
8	-5	-5	-13	-19	-25	-30	-35	-37	-36	-35	-30	-25	-25	-25	-23	-22	-20	-17	-15	-12	-9	-8	-6	-6	-5	-5	-6	-6	-5	-5	-6	-6	-5	-4	-5	-4	-4	-4	-4	-4	-4	
9	-5	-5	-10	-16	-21	-22	-36	-37	-33	-32	-30	-24	-24	-20	-20	-18	-18	-15	-17	-9	-8	-7	-6	-5	-5	-5	-5	-5	-5	-5	-6	-6	-5	-5	-5	-5	-5	-5	-4	-4	-4	
10	-5	-5	-12	-27	-21	-25	-27	-27	-26	-26	-19	-19	-18	-17	-16	-16	-11	-9	-7	-6	-5	-4	-4	-3	-4	-4	-5	-5	-5	-5	-5	-6	-6	-6	-6	-6	-6	-6	-5	-5	-5	-5
11	-5	-5	-5	-7	-23	-16	-23	-20	-20	-20	-21	-13	-14	-10	-11	-9	-8	-10	-6	-5	-4	-3	-2	-3	-3	-4	-4	-5	-5	-5	-5	-6	-6	-7	-7	-7	-6	-6	-6	-6	-6	
12	-6	-5	-5	-6	-17	-10	-11	-11	-12	-12	-13	-8	-8	-6	-6	-4	-4	-6	-3	-2	-2	-1	-1	-3	-2	-2	-3	-4	-4	-5	-5	-6	-6	-7	-7	-7	-7	-7	-7	-7	-7	
13	-5	-5	-6	-6	-5	-5	-6	-7	-9	-9	-7	6	-5	-4	-2	-1	-1	-6	-2	-1	-1	0	0	-2	-1	-2	-3	-3	-3	-4	-5	-6	-6	-7	-8	-8	-8	-7	-8	-8	-8	
14	-5	-5	-6	-5	-5	-5	-5	-5	-6	-6	6	6	-6	-6	-6	-6	-4	-4	-3	-3	-3	-3	-2	-2	-3	-3	-3	-3	-4	-4	-5	-6	-8	-8	-8	-8	-8	-8	-8	-8	-9	-9
15	-5	-5	-5	-5	-5	-5	-5	-6	-6	-6	6	6	-6	-6	-6	-6	-6	-6	-5	-5	-5	-5	-4	-4	-6	-5	-5	-5	-5	-7	-8	-8	-8	-8	-7	-8	-8	-8	-9	-9	-9	
16	-5	-5	-5	-5	-5	-6	-6	-5	-6	-6	-6	-7	-6	-6	-6	-6	-6	-6	-6	-5	-6	-6	-5	-6	-6	-6	-6	-7	-7	-7	-7	-8	-8	-8	-8	-8	-9	-8	-9	-9	-9	
17	-5	-5	-5	-4	-4	-5	-5	-5	-6	-6	-6	-6	-6	-6	-6	-6	-5	-6	-6	-5	-6	-5	-5	-5	-6	-6	-6	-6	-7	-7	-8	-8	-8	-8	-8	-8	-8	-9	-9	-9	-8	-8
18	-4	-4	-4	-4	-4	-4	-4	-4	-5	-5	-5	-7	-6	-6	-6	-5	-6	-6	-6	-5	-6	-5	-5	-5	-5	-6	-6	-6	-6	-7	-7	-8	-8	-8	-8	-8	-8	-8	-9	-9	-8	-8
19	-4	-4	-4	-4	-4	-4	-4	-4	-5	-5	-5	-6	-6	-6	-6	-4	-6	-6	-6	-5	-6	-5	-5	-5	-6	-6	-6	-6	-7	-7	-8	-8	-8	-8	-8	-8	-8	-8	-8	-8	-8	-8
20	-3	-3	-3	-3	-3	-3	-4	-4	-5	-5	-5	-6	-5	-5	-5	-4	-5	-6	-6	-5	-6	-5	-5	-5	-6	-6	-6	-6	-7	-7	-8	-8	-8	-7	-8	-8	-8	-8	-8	-8	-7	-9



Lampiran 10



**Hasil Gerusan pada Abutmen dengan Kedalaman Aliran 90 mm**



**Hasil Gerusan pada Abutmen dengan Kedalaman Aliran 100 mm**



Lampiran 10



**Hasil Gerusan pada Abutmen dengan Kedalaman Aliran 110 mm**



**Hasil Gerusan pada Abutmen dengan Kedalaman Aliran 120 mm**

Lampiran 10

