



**PENGARUH ARAH ALIRAN TERHADAP
GERUSAN LOKAL DISEKITAR PILAR
JEMBATAN**

Skripsi

*Diajukan dalam Rangka Penyelesaian Studi Strata S1
Untuk Mencapai Gelar Sarjana*

Disusun Oleh :

**Nama : Okky Martanto Wibowo
Nim : 5150402029
Prodi : Teknik Sipil S1
Jurusan : Teknik Sipil**

**FAKULTAS TEKNIK
UNIVERSITAS NEGERI SEMARANG**

2007

PERSETUJUAN PEMBIMBING

Skripsi dengan judul ” Pengaruh Arah Aliran Terhadap Gerusan Lokal Disekitar
Pilar Jembatan ” telah disetujui oleh dosen pembimbing Jurusan Teknik Sipil
Fakultas Teknik Universitas Negeri Semarang pada :

Hari :
Tanggal :

Dosen Pembimbing I

Dosen Pembimbing II

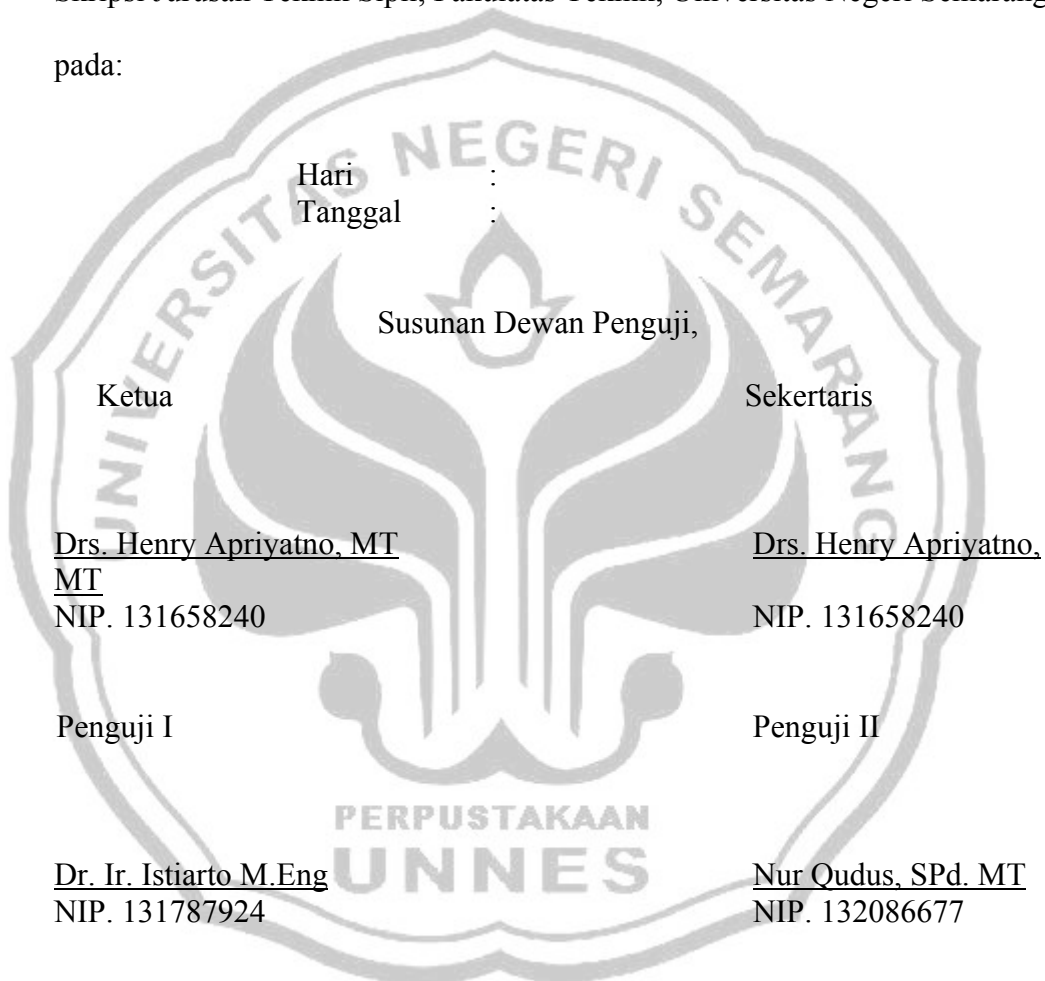
Dr. Ir. Istiarto M.Eng
NIP. 131787924

Nur Qudus, SPd. MT
NIP. 132086677



HALAMAN PENGESAHAN

Skripsi dengan judul ” Pengaruh Arah Aliran Terhadap Gerusan Lokal Disekitar Pilar Jembatan ” telah dipertahankan dihadapan sidang panitia Ujian Skripsi Jurusan Teknik Sipil, Fakultas Teknik, Universitas Negeri Semarang pada:



Mengetahui :

Dekan Fakultas Teknik
Sipil

Prof Dr. Soesanto
NIP. 130875753

Ketua Jurusan Teknik

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,

Okky
NIM

Martanto W.
5150402029



MOTTO DAN PERSEMBAHAN

MOTTO

ADA KEMUDAHAN DALAM KESULITAN APABILA KITA MAU
BERSUNGGUH-SUNGGUH BERUSAHA DAN BERDO'A SERTA
JADIKAN SHOLAT DAN SABAR SEBAGAI PENOLONGMU

PERSEMBAHAN

1. Abi dan Ummi yang telah memberikan kasih sayangnya hingga tak berujung.
2. *My Brother and my sweet sister*, Gorby dan Sofia yang menjadi inspirasi.
3. Keluarga Besar Kadimin dan Kadiman yang slalu mendo'akan..
4. *my special girl in other place*, A. Sadewi *you are still the one in my heart*.
5. Untuk Ikhwah terimakasih atas segalanya.
6. Genk Galaxy (Risyah, Bowo and Rhinow) yang slalu setia menemani kemalasanku.
7. CIVILIAN Community angkatan 2002 sebagai teman seperjuangan, sukses buat kalian (i love you all guy's).

KATA PENGANTAR

Segala curah Puji dan tutur syukur penulis panjatkan hanya untuk Zat yang telah memberikan berkelimpahan nikmatNya. KasihNya yang tiada batas telah diberikan meskipun banyak kesalahan dan kekhilafan. Segala Puji bagi Allah SWT yang telah memberikan kesempatan untuk penyusunan skripsi ini. Sholawat serta salam untuk Nabi Muhammad SAW semoga kita selalu menauladani Beliau.

Skripsi ini disusun sebagai salah satu syarat guna memperoleh gelar Sarjana Teknik Sipil Strata I (SI) di Fakultas Teknik Universitas Negeri Semarang.

Dibalik sebuah karya yang besar tentulah ada orang-orang yang besar pula dibaliknya. Seperti halnya skripsi ini, tentu 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. Risyal dan Tulus yang selalu kompak,
9. Hendra dan Adi yang telah membimbing dalam penelitian.
10. M. Tri Wibowo, M. Risyal A. Dan Rhinow Astrea yang telah memberikan inspirasi untuk berjuang.
11. Rekan-rekan seperjuangan mahasiswa S1 Teknik Sipil UNNES angkatan 2002 yang telah membantu pada saat pelaksanaan penelitian,
12. 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,

Penulis

DAFTAR ISI

	Halaman
HALAMAN JUDUL	i
PERSETUJUAN PEMBIMBING	ii
HALAMAN PENGESAHAN	iii
PERNYATAAN	iv
MOTTO DAN PERSEMBAHAN	v
KATA PENGANTAR	vi
DAFTAR ISI	viii
DAFTAR GAMBAR	xi
DAFTAR TABEL	xiv
DAFTAR LAMPIRAN	xv
DAFTAR NOTASI xvi
INTISARI xix
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	5
1.6 Sistematika Penelitian	6

BAB II TINJAUAN PUSTAKA DAN LANDASAN TEORI

2.1 Tinjauan Pustaka	7
2.1.1 Sungai	7
2.1.2 Pengertian Gerusan	8
2.1.3 Mekanisme Gerusan ...	11
2.1.4 Transpor Sedimen	17
2.1.5 Pola aliran	18
2.2 Landasan Teori	19
2.2.1 Awal Gerak Butiran	19
2.2.2 Faktor yang Mempengaruhi Kedalaman Gerusan	22
2.2.3 Persamaan Gerusan Untuk Aliran Beraturan	35

BAB III METODE PENELITIAN

3.1 Tempat Penelitian	39
3.2 Bahan Penelitian	39
3.3 Alat Penelitian	40
3.4 Alur Pelaksanaan Penelitian	46

BAB IV HASIL PENELITIAN DAN PEMBAHASAN

4.1	Pemeriksaan Material Dasar	51
4.2	Karakteristik Aliran	52
4.3	Kedalaman Gerusan	53

4.3.1	Perkembangan Kedalaman Gerusan terhadap Waktu	54	
4.3.2	Perkembangan Kedalaman Gerusan Maksimum terhadap Waktu pada Pilar <i>lenticular</i>		62
4.3.3	Pola Gerusan di Sekitar Pilar <i>lenticular</i>		64
4.3.4	Pengaruh Sudut Pilar terhadap kedalaman gerusan		74
4.4	Perhitungan Empiris Kedalaman Gerusan Lokal		76
BAB V KESIMPULAN DAN SARAN			
5.1	Kesimpulan		85
5.2	Saran		86
DAFTAR PUSTAKA			
LAMPIRAN			



DAFTAR GAMBAR

	Halaman
Gambar 1. gerusan akibat pola aliran air disekitar pilar	12
Gambar 2. Hubungan kedalaman gerusan (y_s) dengan waktu	14
Gambar 3. Hubungan kedalaman gerusan (y_s) dengan kecepatan geser (u^*)	14
Gambar 4. Hubungan kedalaman gerusan (y_s) dengan kecepatan geser (u^*) dan waktu (t).....	16
Gambar 5. Pola arus penyebab gerusan lokal pada pilar silinder	19
Gambar 6. Diagram Shields, Hubungan tegangan geser kritis dengan Bilangan Reynolds	22
Gambar 7a. Kedalaman Gerusan sebagai fungsi waktu ($u < u_c$).....	24
Gambar 7b. Kedalaman Gerusan sebagai fungsi waktu ($u < u_c$).....	24
Gambar 8. Kedalaman gerusan lokal maksimum rata-rata untuk pilar silinder.....	26
Gambar 9. Kedalaman gerusan setimbang di sekitar pilar fungsi ukuran butir relatif untuk kondisi air bersih.....	27
Gambar 10. Koefisien simpangan baku ($K\sigma$) fungsi standar deviasi eometri ukuran butir	27
Gambar 11. Hubungan kedalaman gerusan setimbang (y_{se}) dengan ukuran butir relatif (b/d_{50}) untuk kondisi aliran air bersih dan bersedimen	31
Gambar 12. Hubungan koefisien reduksi ukuran butir relatif $K(b/d_{50})$ dengan ukuran butir relatif (b/d_{50}) untu kondisi aliran air bersih dan bersedimen.....	31
Gambar 13. Hubungan koefisien aliran ($kd\alpha$) dan kedalaman aliran relatif (y_0/b) dengan ukuran relatif (b/d_{50}).....	32
Gambar 14. Koefisien arah sudut datang aliran ($Kd\alpha$)	35
Gambar 15. Alat Recirculating Sediment Flume	41
Gambar 16. Tampak atas pilar pada Flume	42
Gambar 17. Alat Point gauge.....	43
Gambar 18. Pintu air	43
Gambar 19. Model pilar lenticular.....	44

Gambar 20. Model 3 dimensi pilar lenticular	45
Gambar 21. Tampak atas penempatan pilar lenticular.....	45
Gambar 22. Diagram alur penelitian.....	49
Gambar 23. Gradasi sedimen	52
Gambar 24. Perkembangan kedalaman gerusan terhadap waktu pada pilar lenticular sudut 00	55
Gambar 25. Posisi titik pengamatan pada pilar lenticular sudut 00.....	55
Gambar 26 Perkembangan kedalaman gerusan terhadap waktu pada pilar lenticular sudut 50	57
Gambar 27 Posisi titik pengamatan pada pilar lenticular sudut 50.....	57
Gambar 28 Perkembangan kedalaman gerusan terhadap waktu pada pilar lenticular sudut 100	59
Gambar 29 Posisi titik pengamatan pada pilar lenticular sudut 100.....	59
Gambar 30 Perkembangan kedalaman gerusan terhadap waktu pada pilar lenticular sudut 150	61
Gambar 31 Posisi titik pengamatan pada pilar lenticular sudut 150.....	61
Gambar 32 Perkembangan kedalaman gerusan maksimum terhadap waktu pada pilar lenticular.....	62
Gambar 33 Perkembangan kedalaman gerusan maksimum pilar lenticular terhadap waktu pada saat t puncak.....	63
Gambar 34 Kontur pola gerusan pada pilar lenticular dengan sudut pilar 00....	66
Gambar 35. Isometri pola gerusan pada pilar lenticular dengan sudut pilar 00.....	66
Gambar 36. Kontur pola gerusan pada pilar lenticular dengan sudut pilar 50....	68
Gambar 37 Isometri pola gerusan pada pilar lenticular dengan sudut pilar	50
Gambar 38. Kontur pola gerusan pada pilar lenticular dengan sudut pilar 100.....	70
Gambar 39 Isometri pola gerusan pada pilar lenticular dengan sudut pilar 100.....	71
Gambar 40. Kontur pola gerusan pada pilar lenticular dengan sudut pilar 150.....	72
Gambar 41 Isometri pola gerusan pada pilar lenticular dengan sudut pilar 150.....	73
Gambar 42 Kedalaman gerusan maksimum pada pilar lenticular sebagai fungsi sudut pilar.....	75

DAFTAR TABEL

	Halaman
Tabel 1 Koefisien faktor bentuk pilar	33
Tabel 2. Analisa gradasi butiran.....	51
Tabel 3 Karakteristik aliran.....	53
Tabel 4. Kedalaman gerusan pada saat t puncak.....	63
Tabel 5. Kedalaman gerusan maksimum di sekitar pilar lenticular sebagai fungsi sudut pilar.....	74
Tabel 6. Nilai Koefisien arah sudut aliran ($K\alpha$) pada α : 00 , 50, 100 dan 150.....	79
Tabel 7. Perbandingan hasil penelitian dengan penelitian sebelumnya.....	82

PERPUSTAKAAN
UNNES

DAFTAR LAMPIRAN

- Lampiran 1 Data Hasil Uji Laboratorium Material Dasar
- Lampiran 2 Data Perkembangan kedalaman gerusan terhadap waktu pada pilar lenticular sudut 00
- Lampiran 3 Data Perkembangan kedalaman gerusan terhadap waktu pada pilar lenticular sudut 50
- Lampiran 4 Data Perkembangan kedalaman gerusan terhadap waktu pada pilar lenticular sudut 100
- Lampiran 5 Data Perkembangan kedalaman gerusan terhadap waktu pada pilar lenticular sudut 150
- Lampiran 6 Data Hasil Pengukuran Point Gauge pada pilar lenticular sudut 00
- Lampiran 7 Data Hasil Pengukuran Point Gauge pada pilar lenticular sudut 50
- Lampiran 8 Data Hasil Pengukuran Point Gauge pada pilar lenticular sudut 100
- Lampiran 9 Data Hasil Pengukuran Point Gauge pada pilar lenticular sudut 150
- Lampiran 10 Dokumentasi penelitian

DAFTAR NOTASI

A	luas penampang aliran	m^2
B	lebar saluran	m
b	lebar pilar jembatan	m
C	koefisien Chezy	$m^{1/2}/dt$
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/dt^2
G_s	Spesific Grafity	-
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_{dt}	faktor ukuran pilar	-
K_s	faktor bentuk pilar	-
K_α	faktor posisi pilar	-

K_{σ}	fungsi dari standar deviasi geometrik ukuran distribusi butiran	-
k_s	koefisien kekasaran Nikuradse	m
L_A	diameter pilar	m
Q	debit aliran	m^3/dt
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	dt
t	waktu	dt
t_1	waktu seketika $y_m=b$	dt
t_p	waktu pada saat t puncak	dt
U	kecepatan aliran rata-rata	m/dt
U_c	kecepatan kritik	m/dt
U^*	kecepatan geser	m/dt
U^*_c	kecepatan geser kritik	m/dt
y_m	kedalaman maksimum gerusan pada saat t	m
$y_{m,e}$	kedalaman gerusan maksimum pada saat setimbang	m
Δ	rapat massa relatif	-
$\acute{\alpha}$	perbandingan bukaan (B-L)/B	-
κ	konstanta Von Karman	-

ν	viskositas kinematik	m^2/dt
γ	berat jenis material dasar	-
ρ	massa jenis air	kg/m^3
α	sudut datang aliran	-
τ_0	tegangan gesek dasar	N/m^2
τ_c	tegangan geser kritik	N/m^2
θ	parameter Shields	-
η^*	eksponen, fungsi ukuran sedimen dan geometri halangan	-



SARI

Wibowo. O.M. 2007. *Pengaruh Arah Aliran Terhadap Gerusan Lokal Disekitar Pilar 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, pilar *lenticular* dan arah aliran.

Aliran yang terjadi pada sungai biasanya disertai proses penggerusan/erosi dan endapan sedimen/deposisi. Proses penggerusan yang terjadi dapat diakibatkan karena kondisi morfologi sungai dan adanya bangunan sungai yang menghalangi aliran. Bangunan seperti pilar jembatan dapat merubah pola aliran, sehingga secara umum dapat menyebabkan terjadinya gerusan lokal. Penelitian tentang pola gerusan di sekitar pilar dengan variasi sudut pilar terhadap arah aliran dilakukan untuk mempelajari pengaruh sudut pilar terhadap pola gerusan dan besarnya kedalaman gerusan.

Penelitian gerusan di sekitar pilar dilakukan di Laboratorium Hidraulika Teknik Sipil Universitas Negeri Semarang menggunakan alat *flume* dengan panjang 6 m, tinggi 0.40 m dan lebar 0.20 m. Penelitian dilakukan dengan pengukuran pola dan kedalaman gerusan disekitar pilar *lenticular* dengan sudut pilar terhadap arah aliran sebesar 0° , 5° , 10° dan 15° . Material yang digunakan berupa pasir yang lolos saringan No.10 dan tertahan saringan No.200 dengan nilai $d_{50} = 0.49$ mm. Model diuji dengan menggunakan debit (Q) = 3.56 lt/det selama 250 menit untuk setiap kali *running*. Penelitian ini dilakukan dengan kondisi aliran *clear water scour*.

Dari hasil eksperimen yang telah dilakukan didapat bahwa penambahan kedalaman gerusan pada menit-menit awal terjadi sangat cepat dengan kedalaman gerusan bertambah seiring dengan lama waktu pengamatan dan selanjutnya besarnya penambahan kedalaman gerusan semakin kecil setelah mendekati kondisi kesetimbangan (*equilibrium scour depth*). Hasil penelitian menunjukkan gerusan terbesar pada pilar terjadi pada bagian hulu pilar pada titik pengamatan 12. Kedalaman gerusan maksimum dari semua pilar *lenticular* terjadi pada sudut pilar 15° , sedangkan kedalaman gerusan minimum terjadi pada sudut pilar 0° . Kedalaman gerusan yang terjadi semakin bertambah seiring dengan peningkatan nilai sudut pilar terhadap arah aliran. Nilai kedalaman gerusan maksimum pada variasi sudut pilar 0° , 5° , 10° dan 15° secara berturut-turut adalah 9 mm, 12 mm, 14 mm dan 16 mm. Salah satu faktor yang mempengaruhi proses gerusan adalah sudut pilar terhadap arah aliran. Besar sudut pilar mempengaruhi waktu yang diperlukan bagi gerusan lokal pada kondisi *clear-water scour* sampai kedalaman terakhir, sehingga semakin besar sudut pilar yang digunakan maka semakin banyak waktu yang diperlukan untuk melakukan penggerusan.

BAB I

PENDAHULUAN

1.1. Latar Belakang

Sungai merupakan suatu saluran terbuka atau 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 mengakibatkan semakin dalamnya tanah dasar yang tergerus. Proses gerusan dapat terjadi karena adanya pengaruh morfologi sungai yang berupa tikungan atau adanya penyempitan saluran sungai. 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. Kondisi fisik saluran terbuka jauh lebih bervariasi di banding dengan saluran tertutup karena penampang melintang sungai dapat beraneka ragam dari bentuk bundar sampai bentuk tak beraturan. Hasil pola gerusan yang terjadi akan menjadi sangat kompleks dan sulit untuk dapat ditaksir perilaku hidrodinamikanya, terutama pola aliran di hulu dan hilir pilar.

Pada pembuatan suatu ruas jalan untuk transportasi darat, melintasi suatu alur sungai tentu tidak dapat dielakkan. Sehingga dibutuhkan konstruksi

jembatan. Dalam perancangannya telah diperhitungkan beberapa aspek seperti letak jembatan, aspek hidraulik sungai serta bentuk pilar 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 pilar jembatan yang selalu berhubungan langsung dengan aliran sungai.

Pilar jembatan mempunyai berbagai macam bentuk seperti *lenticular*, bulat maupun *ellips* yang dapat memberikan pengaruh terhadap pola aliran. Aliran yang terjadi pada sungai biasanya disertai proses penggerusan/erosi dan endapan sedimen/deposisi.

Proses penggerusan yang terjadi dapat diakibatkan karena kondisi morfologi sungai dan adanya bangunan sungai yang menghalangi aliran. Pembuatan pilar jembatan akan menyebabkan perubahan pola aliran sungai dan terbentuknya aliran tiga dimensi di sekitar pilar tersebut. Perubahan pola aliran tersebut akan menimbulkan terjadinya gerusan lokal di sekitar konstruksi pilar.

Gerusan lokal (*local scouring*) merupakan proses alamiah yang terjadi di sungai akibat pengaruh morfologi sungai atau adanya bangunan air yang menghalangi aliran, misalnya pangkal jembatan, pilar jembatan, abutmen, krib sungai dll. Adanya bangunan air tersebut menyebabkan perubahan karakteristik aliran seperti kecepatan aliran dan turbulensi, sehingga menimbulkan perubahan transpor sedimen dan terjadinya gerusan. Gerusan lokal umumnya terjadi pada alur sungai yang terhalang pilar jembatan yang

menyebabkan adanya pusaran. Gerakan dari pusaran akan membawa butiran dasar menjauh dari asalnya dan jika tingkat debit sedimen yang keluar dari gerusan lebih besar dari yang masuk, maka akan terbentuk lubang akibat penggerusan. Pusaran tersebut terjadi di bagian hulu pilar.

Pilar dengan bentuk *lenticular* adalah salah satu dari berbagai macam bentuk pilar yang dipakai dalam perencanaan pembangunan jembatan. Pilar dengan bentuk *lenticular* ini cukup banyak ditemukan dalam perencanaan pembangunan jembatan yang melewati alur sungai. Hal ini dikarenakan dari bentuk pilar *lenticular* itu sendiri yang cukup mudah dalam pembuatannya. Sehingga dilapangan sangat sering ditemukan. Selain itu pilar *lenticular* memiliki bentuk sisi depan berupa setengah lingkaran. Secara teori, gerusan yang terjadi pada pilar tipe *lenticular* ini lebih kecil dibanding dengan tipe pilar yang memiliki sisi depan berbentuk datar. Sebagai contoh pilar segiempat, dimana sisi depan berbentuk datar.

Sudut yang terbentuk pada pilar terhadap aliran merupakan salah satu parameter yang mempengaruhi besarnya gerusan lokal yang terjadi di sekitar pilar jembatan. Besarnya sudut ini akan sangat mempengaruhi waktu yang diperlukan bagi gerusan lokal. Semakin besar sudutnya maka waktu yang diperlukan untuk melakukan gerusan akan berbeda, sehingga besarnya gerusan yang diakibatkan adanya pengaruh sudut yang terbentuk pada pilar terhadap aliran juga akan berbeda.

Banyak kasus-kasus tentang runtuhnya bangunan jembatan bukan hanya disebabkan oleh faktor konstruksi, namun persoalan gerusan di sekitar

pilar bisa menjadi penyebab lain, hal ini ditunjukkan karena proses gerusan yang terjadi secara terus menerus sehingga terjadi penurunan pada pangkal pilar.

Mengingat kompleks dan pentingnya permasalahan di atas, kajian tentang *local scouring* di sekitar pilar jembatan *lenticular* akibat adanya pengaruh pilar yang membentuk sudut terhadap aliran pada sungai 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 pilar jembatan.

1.2. Rumusan Masalah

Rumusan masalah dalam mempelajari gerusan lokal disekitar pilar *lenticular* dengan pengaruh variasi sudut pilar terhadap arah aliran adalah :

1. Bagaimana pola gerusan lokal disekitar pilar *lenticular* dengan variasi sudut pilar terhadap aliran?
2. Bagaimana hubungan antara kedalaman gerusan disekitar pilar dengan variasi sudut pilar terhadap arah aliran?

1.3. Batasan Penelitian

Penelitian ini mempunyai batasan sebagai berikut:

1. Penelitian menggunakan pilar *lenticular* dengan perbandingan $p:l = 2:1$ yaitu panjang 6 cm dan lebar 3 cm.

2. Pilar dipasang searah aliran dengan posisi pilar memanjang.
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 dan 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.
7. Sudut pilar terhadap arah aliran yang diteliti yaitu 0° , 5° , 10° dan 15° .
8. Menggunakan *Flume* dengan panjang 6 m, tinggi 0,4 m dan lebar 0,2 m.

1.4. Tujuan Penelitian

Tujuan yang akan dicapai dalam penelitian ini :

1. Mengetahui pengaruh arah aliran terhadap gerusan lokal disekitar pilar jembatan.
2. Mengetahui karakteristik gerusan dan kedalaman gerusan yang terjadi disekitar pilar *lenticular* akibat pengaruh yang terbentuk terhadap arah aliran.

1.5. Manfaat Penelitian

Manfaat yang dapat diambil dalam penelitian ini antara lain adalah :

1. Hasil dari penelitian diharapkan memberikan manfaat dalam pengembangan ilmu pengetahuan dan teknologi terutama bidang hidrolika yang berkaitan dengan konsep gerusan lokal pada pilar jembatan.
2. Hasil penelitian ini diharapkan dapat digunakan sebagai salah satu masukan bagi para konsultan perencana dalam kaitannya dengan perencanaan bangunan air.
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, awal gerak butiran, faktor yang mempengaruhi gerusan di sekitar pilar, persamaan gerusan untuk aliran beraturan.

BAB III Metodologi Penelitian

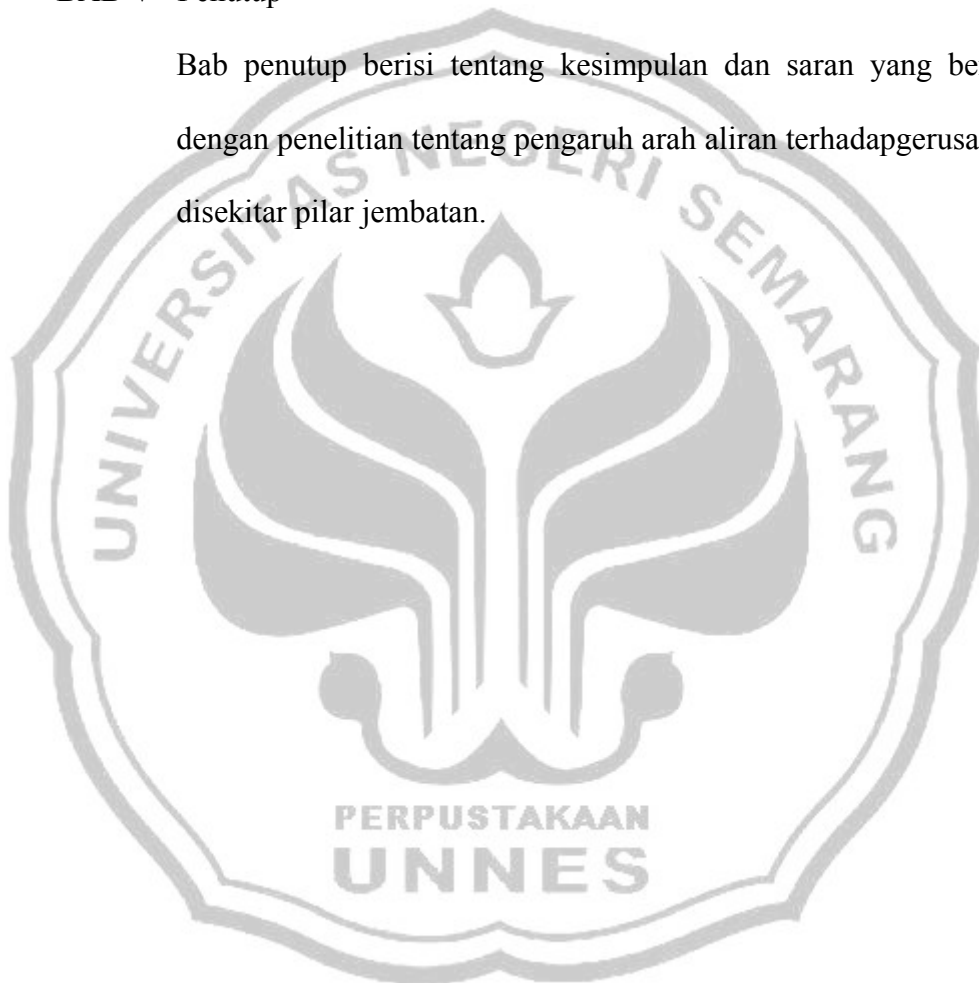
Bab ini membahas tentang metode pengumpulan data dan langkah penelitian

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 arah aliran terhadap gerusan lokal disekitar pilar jembatan.



BAB II

TINJAUAN PUSTAKA DAN LANDASAN TEORI

2.1. Tinjauan Pustaka

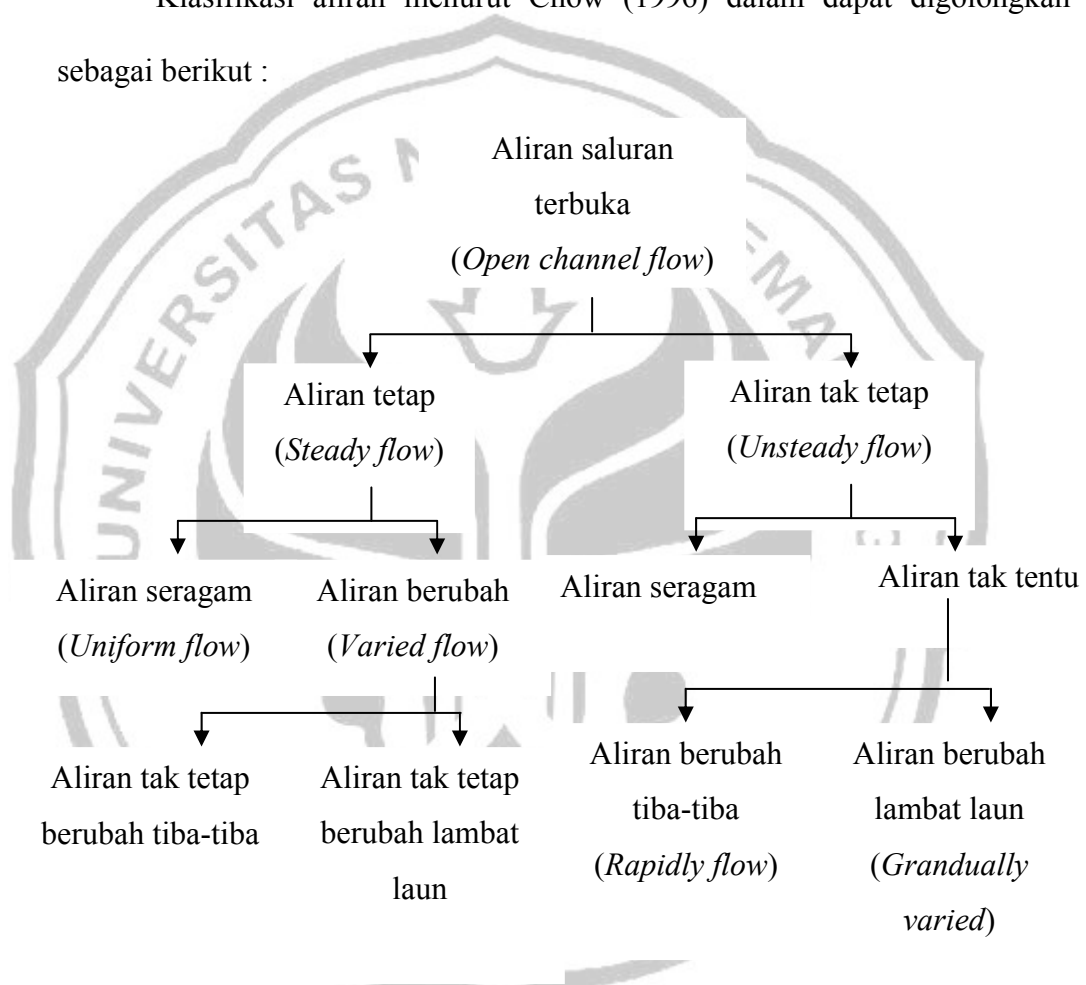
2.1.1 Sungai

Sungai atau saluran terbuka menurut Triatmodjo (2003:103) 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 (2003:104) 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 dapat digolongkan sebagai berikut :



2.1.2 Pengertian 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 dan abutmen jembatan, krib sungai, pintu air dan sebagainya. Bangunan

semacam ini dipandang dapat merubah geometri alur dan pola aliran yang selanjutnya diikuti gerusan lokal disekitar bangunan (Legono,(1990) dalam Sucipto, (2004:33)).

Menurut Laursen (1952) dalam Sucipto (2004:34), gerusan didefinisikan sebagai pembesaran dari suatu aliran yang disertai pemindahan material melalui aksi gerakan fluida. Gerusan lokal (*local scouring*) terjadi pada suatu kecepatan aliran dimana sedimen ditranspor lebih besar dari sedimen yang disuplai. Transpor sedimen bertambah dengan meningkatnya tegangan geser sedimen, gerusan terjadi ketika perubahan kondisi aliran menyebabkan peningkatan tegangan geser dasar.

Perbedaan tipe gerusan yang diberikan oleh Raudkivi dan Ettema (1982) dalam Sucipto (2004:34) adalah sebagai berikut:

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

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 $\tau_o > \tau_c$.

Yuwono Sosrodarsono dan Kazuno Nakazawa (1981) dalam Indra (2000:6) mengemukakan bahwa kerusakan pada pilar jembatan akibat banjir sebagian besar disebabkan oleh arus sehingga terjadi pengurangan luas penampang sungai dengan adanya sejumlah tiang-tiang (terutama pada jembatan kayu) pada aliran sungai dan hampir semua kerusakan pada jembatan disebabkan oleh perubahan dasar sungai atau penggerusan lokal (local scouring).

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.

Gerusan Lokal (local scouring) dipengaruhi langsung dari akibat bentuk / pola aliran. Penggerusan lokal (Garde dan Raju, 1977) terjadi akibat adanya turbulensi air yang disebabkan oleh terganggunya aliran, baik besar

maupun arahnya, sehingga menyebabkan hanyutnya material-material dasar atau tebing sungai. Turbulensi disebabkan oleh berubahnya kecepatan terhadap tempat, waktu dan keduanya. Pengerusan lokal pada material dasar dapat terjadi secara langsung oleh kecepatan aliran sedemikian rupa sehingga daya tahan material terlampaui. Secara teoristik tegangan geser yang terjadi lebih besar daripada tegangan geser kritis dari butiran dasar.

2.1.3 Mekanisme Gerusan

Gerusan lokal umumnya terjadi pada alur sungai yang terhalang pilar jembatan akibatnya menyebabkan adanya pusaran. Pusaran tersebut terjadi pada bagian hulu pilar. Isnugroho (1992) dalam Aisyah (2004:5) menyatakan bahwa adanya pilar akan mengganggu kestabilan butiran dasar. Bila perubahan air hulu tertahan akan terjadi gangguan pada elevasi muka air di sekitar pilar. Selanjutnya aliran akan berubah secara cepat. Karena adanya percepatan aliran maka elevasi muka air akan turun.

Pola aliran disekitar pilar pada aliran saluran terbuka cukup kompleks. Bertambahnya *complexity* disertai semakin luasnya lubang gerusan. Suatu studi mengenai bentuk/pola aliran yang telah dilanjutkan oleh Melville dalam Indra (2000:8) agar lebih mengerti mekanisme dan peran penting pola aliran hingga terbentuknya lubang gerusan. Pola aliran dibedakan dalam beberapa komponen :

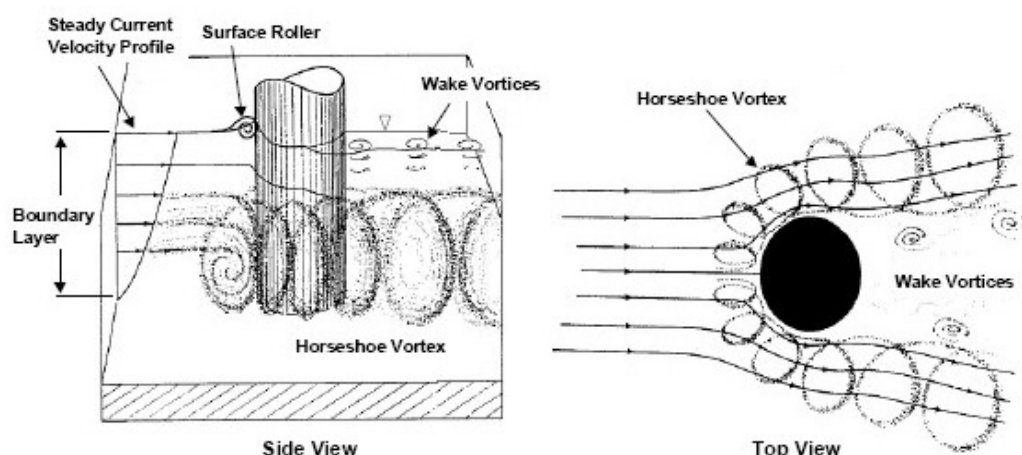
1. arus bawah didepan pilar.
2. pusaran sepatu kuda (horse shoes vortex).
3. pusaran yang terangkat (cast-off vortices) dan menjalar (wake)

4. punggung gelombang (bow wave)

Herbich (1984), dargahi (1987) dalam Breuser & Raudkivi (1991) mendeskripsikan tentang pola aliran yang terjadi pada daerah sekitar pilar jembatan dan keruwetan pola aliran di dalam lubang gerusan. Bagian utama pusaran gelombang dan pusaran tapal kuda berkolaborasi pada arus bawah. Pada sumbu horisontal terdapat pusaran gelombang dan pelindung bawah sekitar pilar dalam bentuk tapal kuda.

Menurut Miller (2003:6) jika struktur ditempatkan pada suatu arus air, aliran air di sekitar struktur tersebut akan berubah, dan gradien kecepatan vertikal (*vertical velocity gradient*) dari aliran akan berubah menjadi gradien tekanan (*pressure gradient*) pada ujung permukaan struktur tersebut. Gradien tekanan (*pressure gradient*) ini merupakan hasil dari aliran bawah yang membentur bed. Pada dasar struktur, aliran bawah ini membentuk pusaran yang pada akhirnya menyapu sekeliling dan bagian bawah struktur dengan memenuhi seluruh aliran. Hal ini dinamakan pusaran tapal kuda (*horseshoe vortex*), karena dilihat dari atas bentuk pusaran ini mirip tapal kuda.

Pada permukaan air, interaksi aliran dan struktur membentuk busur ombak (*bow wave*) yang disebut sebagai gulungan permukaan (*surface roller*). Pada saat terjadi pemisahan aliran pada struktur bagian dalam mengalami *wake vortices*.



Gambar 1. Mekanisme gerusan akibat pola aliran air di sekitar pilar
(Sumber : Miller, 2003:6)

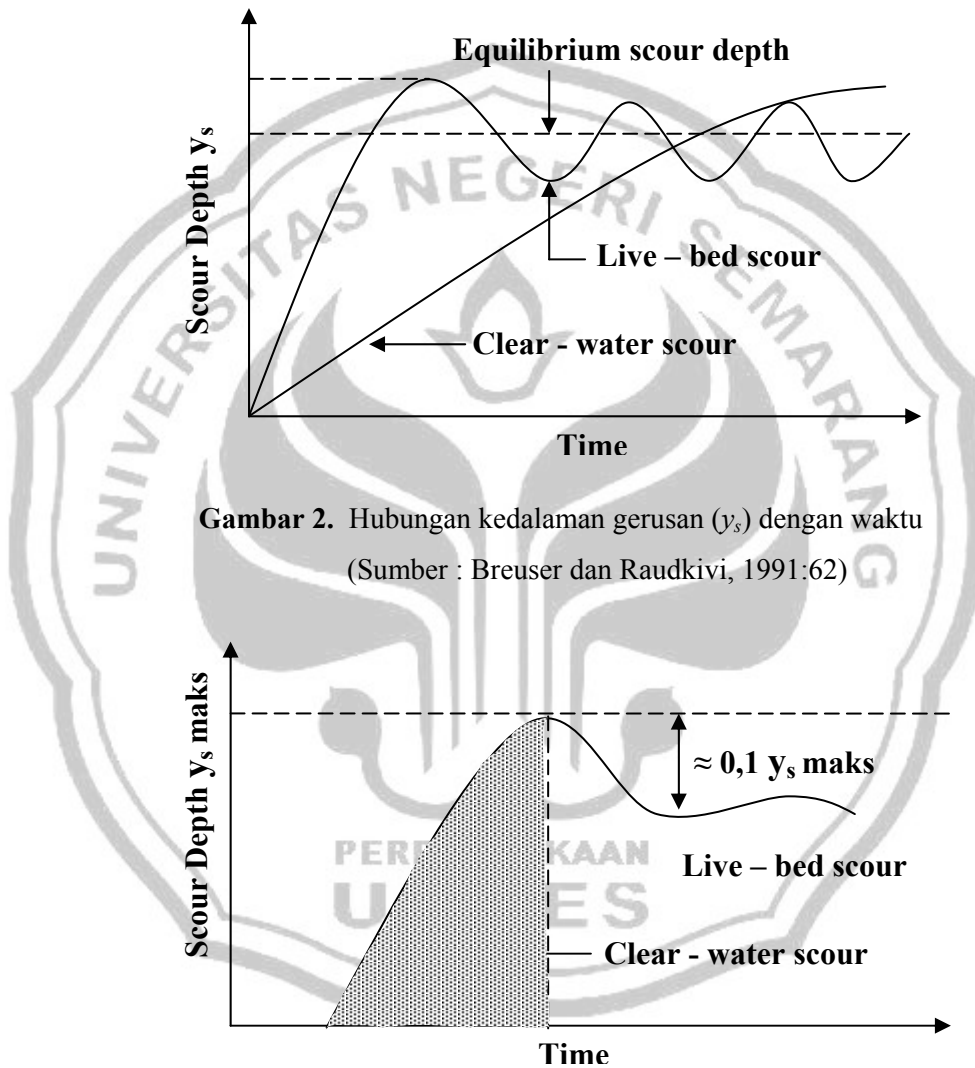
Berdasarkan Vanoni (1975) dalam Indra (2000:8) ada tiga jenis sistem gaya pusaran yang bekerja disekitar pilar, yaitu sistem pusaran tapal kuda (*horse shoes system*), sistem pusaran belakang (*wake vortek system*) dan sistem pusaran seret (*trailling vortex system*).

Pada umumnya tegangan geser (*shear stress*) meningkat pada *bed* bagian depan struktur. Bila *bed* mudah tergerus maka lubang gerusan akan terbentuk disekitar struktur. Fenomena ini disebut gerusan lokal (*local or structure-induced sediment scour*) (Gambar 1).

Ujung tumpul pilar membantu pemusatan pusaran yang ditimbulkan oleh aliran, dimana bentuk geometri pilar sangat penting didalam menentukan kekuatan dari pusaran tapal kuda (*horseshoes vortex*).

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 2). Sedangkan Breusers dan Raudkivi (1991:61) menyatakan bahwa kedalaman gerusan maksimum merupakan fungsi kecepatan geser (Gambar 3).

Kesetimbangan kedalaman gerusan dicapai pada daerah transisi antara *live-bed scour* dan *clear-water scour*.



Gambar 2. Hubungan kedalaman gerusan (y_s) dengan waktu
(Sumber : Breuser dan Raudkivi, 1991:62)

Gambar 3. Hubungan kedalaman gerusan (y_s) dengan kecepatan geser (u_*)
(Sumber : Breuser dan Raudkivi, 1991:62)

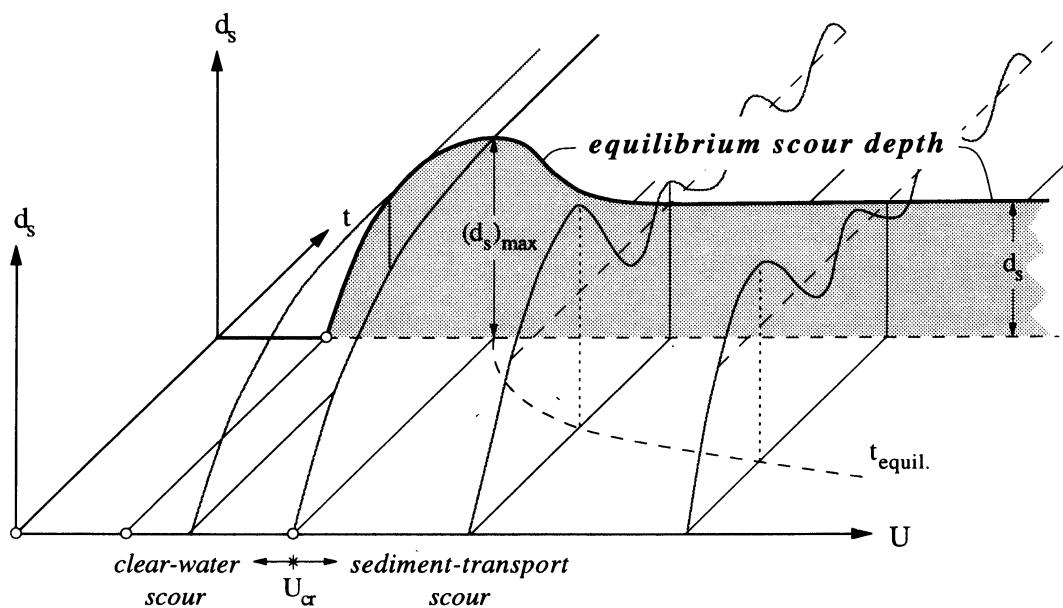
Pada grafik diatas memeperlihatkan bahwa kedalaman gerusan untuk *clear water scour* dan *live-bed scour* merupakan fungsi dari kecepatan geser.

Kesetimbangan gerusan tergantung pada keadaan yang ditinjau yaitu gerusan dengan air tanpa sedimen (*clear-water scour*) atau gerusan dengan air besedimen (*live-bed scour*). Pada *clear-water scour*, gerakan dasar sungai diasumsikan hanya terjadi pada sekitar pilar. Kesetimbangan tercapai bila tegangan geser yang terjadi di dekat permukaan lubang gerusan sudah tidak mampu untuk mengangkut material karena *clear-water scour* cenderung terjadi pada material dasar yang kasar. Sedangkan pada keadaan *live-bed scour*, gerakan dasar sungai terjadi pada hampir sepanjang dasar sungai. Kesetimbangan kedalaman gerusan untuk *live-bed scour* pada pilar hanya sekitar 10 % lebih besar dari maksimal gerusan untuk *clear-water scour* (Shen, Schnider dan Karaki, 1969 dalam Indra 2000:10).

Kesetimbangan gerusan dicapai pada saat jumlah angkutan sedimen yang masuk kedalam lubang gerusan sama dengan jumlah angkutan sedimen yang keluar dari lubang gerusan.

Proses terjadinya gerusan ditandai dengan berpindahnya sedimen yang menutupi pilar jembatan serta erosi dasar sungai yang terjadi akan mengikuti pola aliran. Proses terus berlanjut dan lubang gerusan akan semakin berkembang, semakin lama semakin besar dengan mencapai kedalaman tertentu (maksimum). Pengaruh kecepatan aliran akan lebih dominan (U/U_c) sehingga menjadi penyebab terjadi keluar dan masuknya partikel dasar ke dalam lubang gerusan, namun kedalaman tetap atau konstan. Dalam keadaan setimbang kedalaman maksimum akan lebih besar dari rerata kedalaman gerusan.

Waktu merupakan hal yang sangat dominan pada saat terjadi aliran yang beraturan dalam mencapai kesetimbangan dalamnya gerusan, tergantung pada tipe aliran yang mengangkut sedimen ($U/U_c > 1$ atau $U/U_c < 1$) seperti pada Gambar 4. Kejadian pada pembentukan lubang gerusan ke sisi pilar akan terjadi perubahan bentuk menyerupai kerucut di daerah hulu yang mempunyai dimensi kedalaman gerusan sama panjang pada sisi pilarnya. Material dasar sungai yang ditranspor ke daerah hilir dapat menjadi endapan ataupun gradasi dan dapat pula ditranspor ke daerah hilir tanpa menimbulkan pengaruh pada pilarnya. Untuk menentukan kondisi gerusan yang terjadi (*clear water scour* atau *live bed scour*) perlu kiranya diidentifikasi sifat alirannya serta komposisi material granulernya.



Gambar 4. Hubungan kedalaman gerusan (y_s) dengan kecepatan geser (u_*) dan waktu (t)

Melville (1975) dalam Miller (2003:9) menjelaskan tahap-tahap gerusan yang terjadi antara lain sebagai berikut:

1. Peningkatan aliran yang terjadi pada saat perubahan garis aliran di sekeliling pilar
2. Pemisahan aliran dan peningkatan pusaran tapal kuda yang lebih intensif sehingga menyebabkan pembesaran lubang gerusan.
3. Longsor/turunnya material disekitar lubang gerusan pada saat lubang cukup besar setelah terkena pusaran tapal kuda.

Melville menemukan bahwa sudut kemiringan sisi lubang adalah sudut yang menyebabkan pemindahan sedimen. Sudut ini tidak berubah selama membesarnya lubang gerusan.

Nakagawa dan Suzuki (1975) dalam Miller (2003:10) membedakan gerusan dalam empat tahap:

1. Gerusan di sisi (kanan dan kiri) pilar yang disebabkan kekuatan tarikan dari arus utama (*main flow*).
2. Gerusan di depan pilar yang diakibatkan *horseshoe vortex* (pusaran tapal kuda).
3. Pembesaran gerusan oleh pusaran stabil yang mengalir melewati pilar.
4. Periode reduksi gerusan selama penurunan kapasitas transpor di lubang gerusan.

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.

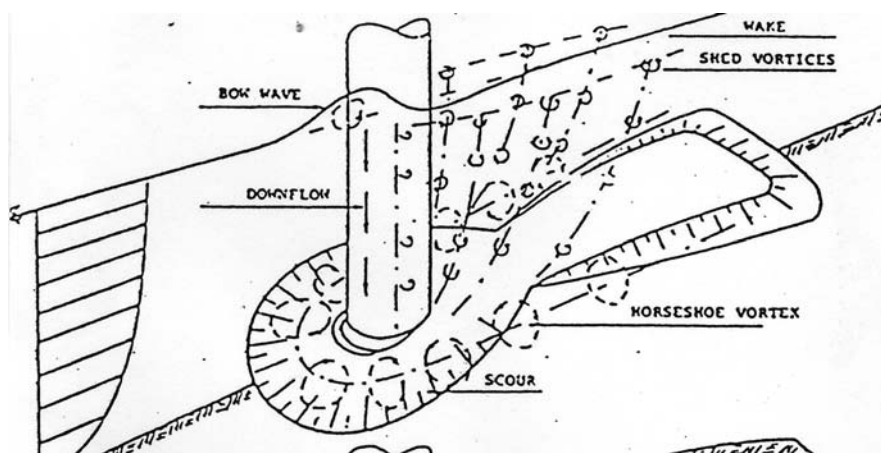
2.1.5 Pola aliran

Kondisi aliran dalam saluran terbuka berdasarkan pada kedudukan permukaan bebas cenderung berubah menurut ruang dan waktu, disamping itu ada hubungan ketergantungan antara kedalaman aliran, debit air, kemiringan dasar saluran dan permukaan bebas. Kondisi fisik saluran terbuka jauh lebih bervariasi dibandingkan dengan saluran tertutup.

Berbagai pendekatan umum mengestimasi pola arus yang terjadi di sekitar pilar jembatan umumnya diperoleh dari hasil-hasil penelitian mengingat

kompleksitas permasalahan tersebut seperti estimasi perilaku hidrodinamika yang terjadi pada hulu pilar jembatan. Pola arus dari aliran yang terjadi akan berkembang sesuai dengan mekanisme lubang gerusan yang terjadi di daerah amatan serta dipengaruhi adanya bentuk pilar dan telapak pilar. Berkaitan dengan hal tersebut di atas Shen (1971) dan Raudkivi (1991) dalam Aisyah (2004:7) dari hasil penelitiannya didapat bentuk pola arus yang berbeda yang menyebabkan adanya gerusan lokal di sekitar pilar seperti pada Gambar 5. Dengan demikian maka pola arus sangat dipengaruhi adanya bentuk pilar, tapak pilar serta pola debit yang terjadi.

Menurut Breuser (1996) dalam Aisyah (2004:7), 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. Dalam Breuser (1991:63) dikatakan bahwa bentuk aliran pada lubang gerusan di saluran dua dimensi hampir mirip dengan lapis turbulen. Arus atau olakan air lunak terbentuk dekat dasar pada lubang gerusan dan berakhir pada lokasi kedalaman gerusan maksimum, di daerah ini aliran sangat turbulen dan menyebabkan transpor sedimen dasar. Pada lokasi di sebelah hilir kedalaman gerusan maksimum, profil kecepatan menurun perlahan kembali ke kondisi normal dan turbulensi berkurang.



Gambar 5. Pola arus penyebab gerusan lokal pada pilar silinder
(Sumber : Breusers dan Raudkivi, 1991:63)

2.2. Landasan Teori

2.2.1 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 (τ_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 Aisyah (2005:10) dinyatakan dalam diameter rata-rata geometrik (d_{50}), standar geometri (σ_g) adalah sebagai berikut :

$$\sigma_g = \left(\frac{d_{84}}{d_{50}} \right)^{0,5} \quad (1)$$

Shield dalam Aisyah (2005:11) mengungkapkan suatu diagram untuk awal gerak butiran pada material dasar seragam. Shield menyatakan parameter mobilitas kritis yang dinamakan parameter Shields :

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

Tegangan geser :

$$\tau_0 = \rho \cdot g \cdot y_0 \cdot I \quad (3)$$

Kecepatan geser :

$$u_* = \left(\frac{\tau_0}{\rho} \right)^{0,5} \quad (4)$$

Kecepatan kritik dihitung di atas dasar rumus sebagai berikut :

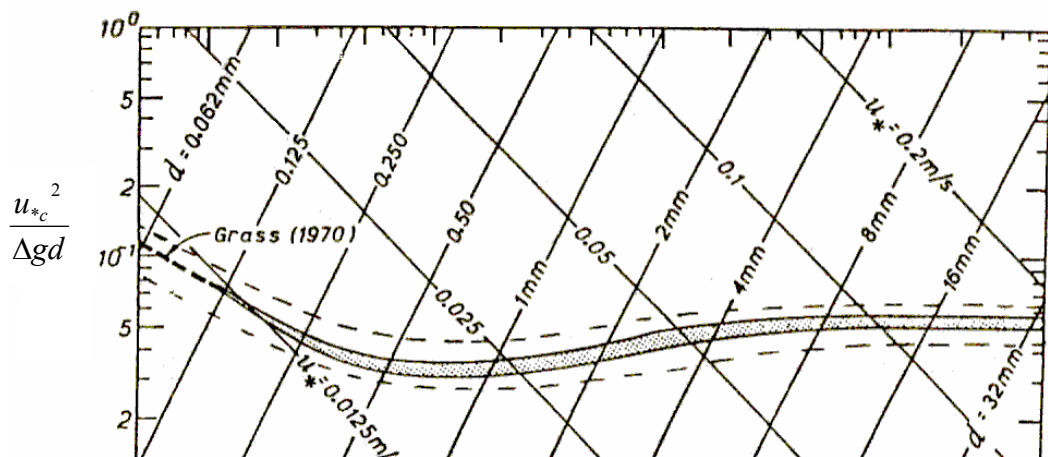
$$U_c = u_{*c} \left(5,75 \log \left(\frac{y_0}{2 \cdot d_{50}} \right) + 6 \right) \quad (5)$$

Kecepatan geser kritik diberikan :

$$u_{*c} = \sqrt{\theta_c \cdot g \cdot \Delta \cdot d} \quad (6)$$

dengan :

- σ_g = standar geometri
- d = diameter butiran d_{50} (m)
- g = percepatan grafitasi (m/s^2)
- Δ = relatif densiti (-)
- ρ = massa jenis air (kg/m^3)
- u_{*c} = kecepatan geser kritik (m/s)
- τ_c = nilai kritik (N/m^2)
- θ_c = parameter mobilitas kritik (-)
- R = jari-jari hidraulik (m)
- y_0 = kedalaman aliran (m)
- I = kemiringan dasar sungai



Gambar 6. Diagram Shields, Hubungan Tegangan Geser Kritis dengan Bilangan Reynolds

2.2.2 Faktor yang Mempengaruhi Kedalaman Gerusan

Kedalaman gerusan yang terjadi disekitar bangunan air, jembatan dan penyempitan air dipengaruhi oleh beberapa faktor, antara lain :

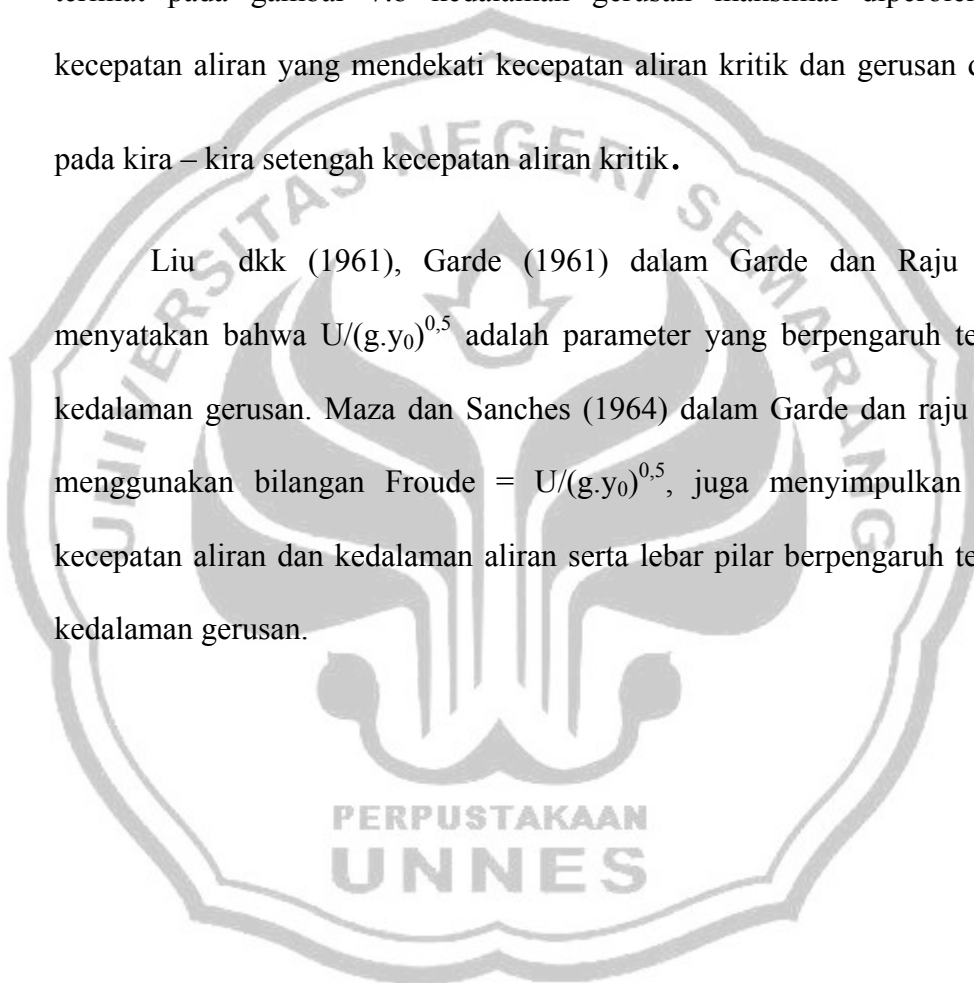
1. Kecepatan aliran pada alur sungai

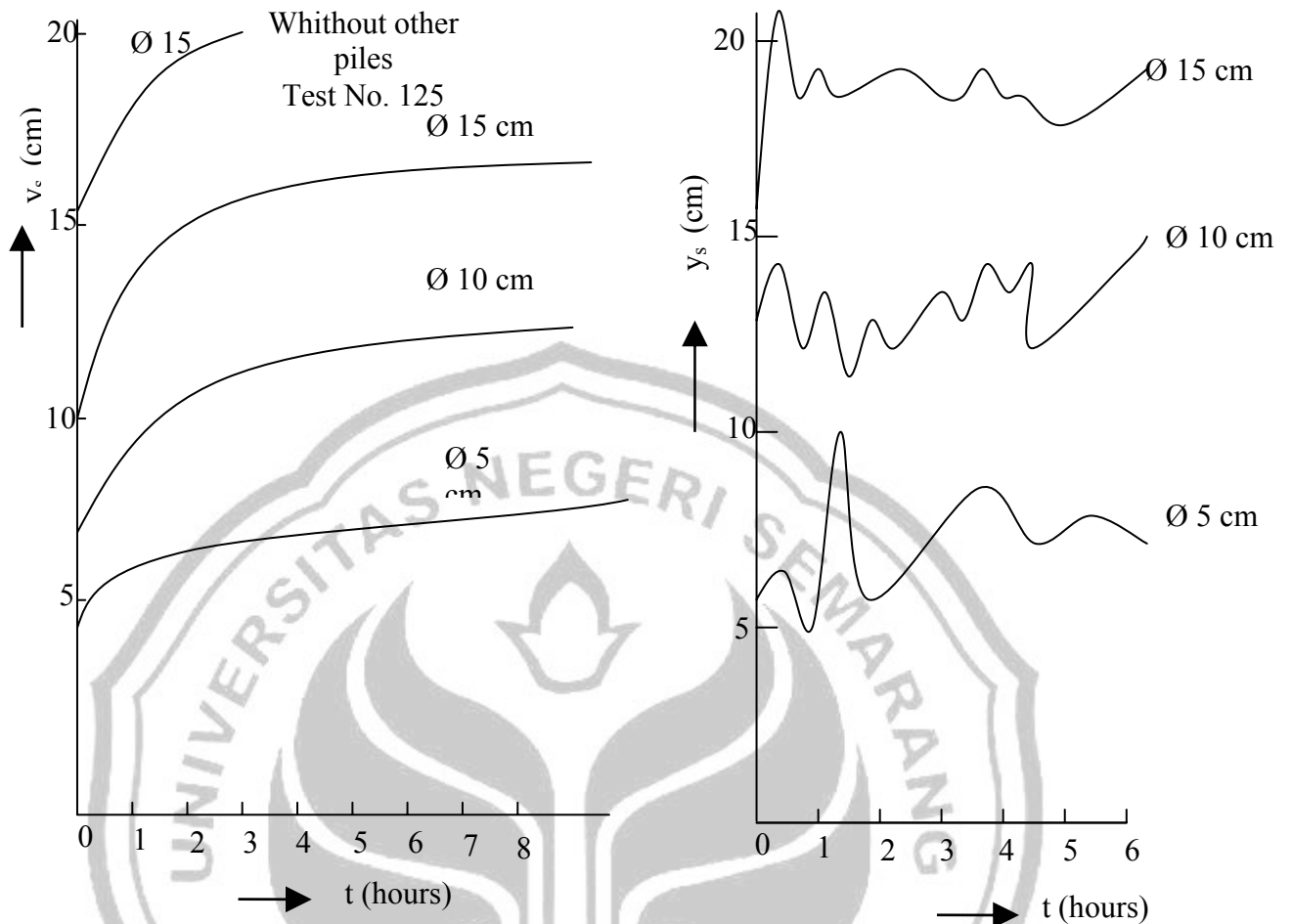
Kedalaman gerusan lokal maksimum rerata di sekitar pilar sangat tergantung nilai relatif kecepatan alur sungai (perbandingan antara kecepatan rerata aliran dan kecepatan geser), nilai diameter butiran (butiran seragam/tidak seragam) dan lebar pilar. Dengan demikian maka gerusan lokal maksimum rerata tersebut merupakan gerusan lokal maksimum dalam kondisi setimbang.

Chabert dan Engeldinger (1956) dalam Breuser dan Raudkivi (1971), melakukan penelitian secara intensif pengaruh berbagai variabel terhadap gerusan lokal disekitar pilar. Variabel utama adalah kecepatan aliran, diameter pilar (2,5 – 3,0 cm), kedalaman air (0,1 – 3,5 m), ukuran butir (0,26; 0,52; 1,5 dan 3,0 mm) dan bentuk pilar. Berdasarkan studi kecepatan aliran menunjukkan bahwa ada dua rejim yang berpengaruh yaitu untuk kecepatan aliran pada atau

dibawah kecepatan kritik ($u < u_c$), kedalaman gerusan hanya pada batas asimtosis, seperti terlihat pada gambar 7.a sedangkan untuk kecepatan yang lebih besar ($u > u_c$), kedalaman gerusan berfluktuasi akibat pengendapan material secara periodik pada lubang gerusan oleh gerakan bukit pasir, seperti terlihat pada gambar 7.b kedalaman gerusan maksimal diperoleh pada kecepatan aliran yang mendekati kecepatan aliran kritik dan gerusan dimulai pada kira – kira setengah kecepatan aliran kritik.

Liu dkk (1961), Garde (1961) dalam Garde dan Raju (1977) menyatakan bahwa $U/(g.y_0)^{0.5}$ adalah parameter yang berpengaruh terhadap kedalaman gerusan. Maza dan Sanches (1964) dalam Garde dan raju (1977) menggunakan bilangan Froude = $U/(g.y_0)^{0.5}$, juga menyimpulkan bahwa kecepatan aliran dan kedalaman aliran serta lebar pilar berpengaruh terhadap kedalaman gerusan.





Gambar 7.a. Kedalaman gerusan sebagai fungsi waktu ($u < u_c$) (Breuser dkk, 1977)

Gambar 7.b. Kedalaman gerusan sebagai fungsi waktu ($u < u_c$) (Breuser dkk, 1977)

Kedalaman gerusan lokal maksimum rerata di sekitar pilar sangat tergantung nilai relatif kecepatan alur sungai (perbandingan antara kecepatan rerata aliran dan kecepatan geser), nilai diameter butiran (butiran seragam/tidak seragam) dan lebar pilar. Dengan demikian maka gerusan lokal maksimum rerata tersebut merupakan gerusan lokal maksimum dalam kondisi setimbang.

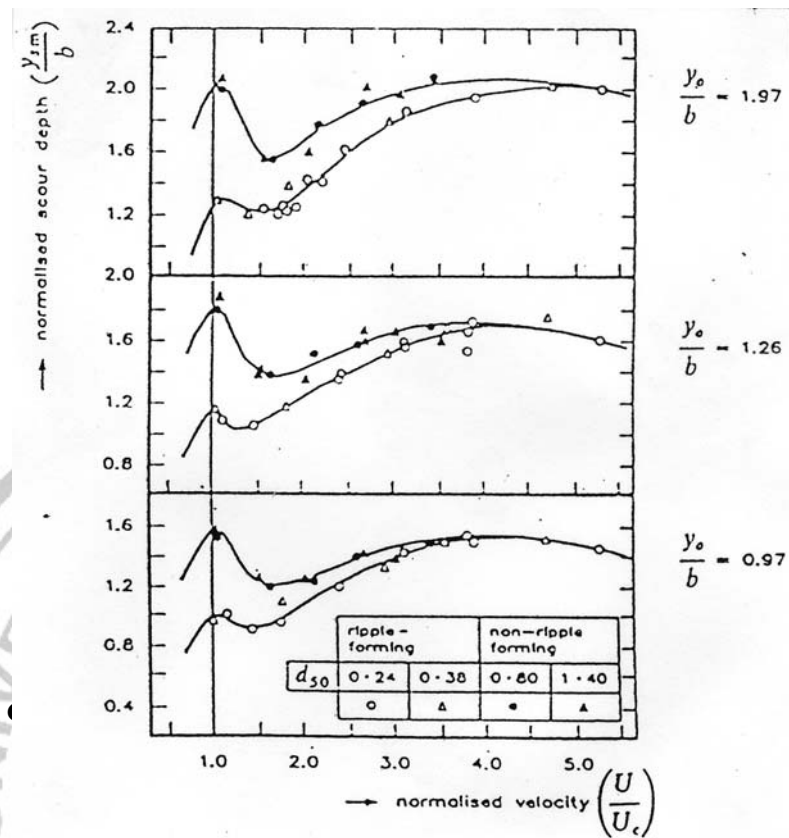
Pengaruh kecepatan relatif pada gerusan dapat ditunjukkan pada (U/U_c) pada kedalaman gerusan tak berdimensi (y_s/b) seperti diperlihatkan pada Gambar 8.

Perlu diperhatikan bila :

- a. apabila $0.50 > U/U_c$ tidak terjadi adanya pilar gerusan lokal dan tidak terjadi transportasi sedimen pada daerah sekitar pilar,
- b. apabila $1,0 > U/U_c > 0.50$, penyebab utama terjadinya proses gerusan adalah *clear water scour* dan ini akan terjadi gerusan lokal di daerah sekitar pilar namun tidak terjadi proses transportasi sedimen. Pada kondisi $U/U_c < 1,0$ maka kecepatan aliran sangat dominan dan menurut Shen (1972) dan Graff (1995) dalam Berlianadi (1998:13) : kekuatan *horseshoe vortex* dan angka Reynold pada pilar adalah :

$$y_{se} = 0.00022 \left(\frac{Ub}{\nu} \right)^{0.609} \quad (7)$$

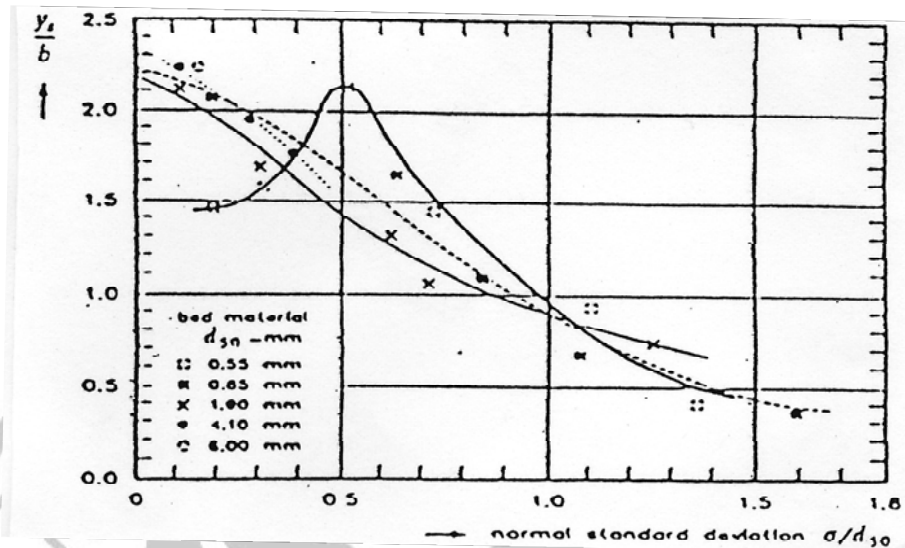
- c. apabila $1,0 < U/U_c$, penyebab utama adalah *live bed scour* karena proses transportasi sedimen berlangsung terus akan tetapi tidak menimbulkan dampak sampai tergerusnya dasar di sekitar pilar berarti pada daerah tersebut terjadi kesetimbangan antara pengendapan dan erosinya.



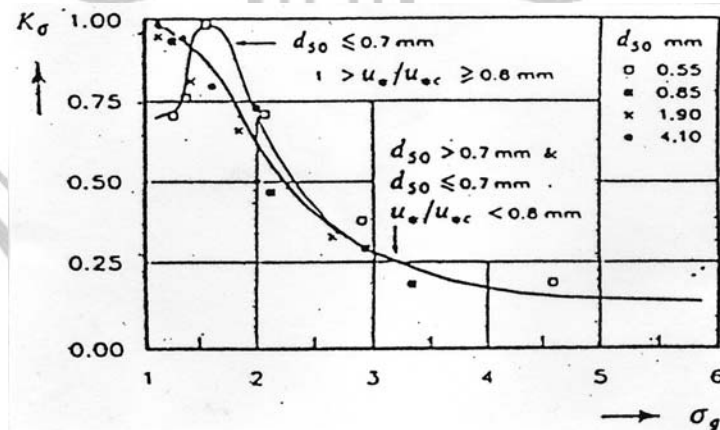
2. Gradasi sedimen

Gradasi sedimen dari sedimen transpor merupakan salah satu faktor yang mempengaruhi kedalaman gerusan pada kondisi air bersih (*clear water scour*). Dari Gambar 9 kedalaman gerusan (y_s/b) tak berdimensi sebagai fungsi dari karakteristik gradasi sedimen material dasar (σ/d_{50}). Dimana σ adalah standar deviasi untuk ukuran butiran dan d_{50} adalah ukuran partikel butiran rerata. Nilai kritikal dari σ/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 (σ_g) dari

distribusi gradasi sedimen akan berpengaruh pada kedalaman gerusan air bersih dan dapat ditentukan dari nilai grafik Gambar 10.



Gambar 9. Kedalaman gerusan setimbang di sekitar pilar fungsi ukuran butir relatif untuk kondisi aliran air bersih
(Sumber: Breusers dan Raudkivi,1991:66)



Gambar 10. Koefisien simpangan baku (K_σ) fungsi standar 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 Raudkivi (1991:67) adalah

sebagai berikut :

$$y_{se}(\sigma)/b = K_d \cdot y_{se} / b$$

(8)

3. Ukuran Pilar dan Ukuran Butir Material Dasar

Kedalaman gerusan maksimum pada media alir *clear water scour* sangat dipengaruhi adanya ukuran butiran material dasar relatif b/d_{50} pada sungai alami maupun buatan. Untuk sungai alami umumnya koefisien ukuran butir relatif b/d_{50} pada kecepatan relatif $U/U_c = 0,90$ pada kondisi *clear water* dan umumnya kedalaman gerusan relatif y_s/b tidak dipengaruhi oleh besarnya butiran dasar sungai selama $b/d_{50} > 25$.

Ukuran pilar mempengaruhi waktu yang diperlukan bagi gerusan lokal pada kondisi *clear-water* sampai kedalaman terakhir, tidak dengan jarak relatif (y_s/b), jika pengaruh dari kedalaman relatif (y_0/b) dan butiran relatif (b/d_{50}) pada kedalaman gerusan ditiadakan, maka nilai aktual dari (y_s/b) juga tergantung pada peningkatan dari *bed material*. Pada kasus gerusan yang mengangkut sedimen (*live bed*), waktu diberikan untuk mencapai keseimbangan gerusan dan tergantung pada rasio dari tekanan dasar ke tekanan kritikal.

(Breuser 1971, Akkerman 1976, Konter 1976, 1982, Nakagawa dan Suzuki 1976) melakukan percobaan-percobaan untuk mempraktekkan pendekatan yang sama terhadap proses gerusan di sekitar pilar jembatan. Hasil dari percobaan-percobaan tersebut diantaranya pada kolom dengan ukuran kecil dimana ($b/h_0 < 1$) kedalaman maksimum gerusan dapat digambarkan

dengan persamaan berikut yang berlaku pada seluruh fase dari proses gerusan asalkan $y_{m,e} > b$:

$$\frac{y_m}{y_{m,e}} = 1 - e^{-\ln\left[1 - \frac{b}{y_{m,e}}\right] \left[\frac{t}{t_1}\right]^\gamma} \quad (9)$$

dengan :

b = lebar pilar jembatan (m)

h_0 = kedalaman aliran mula-mula (m)

t = waktu (s)

t_1 = waktu ketika $y_m = b$ (s)

y_m = kedalaman maksimum gerusan pada saat t (m)

$y_{m,e}$ = kedalaman gerusan maksimum pada saat setimbang (m)

γ = koefisien (-), dimana $\gamma = 0.2-0.4$

Pada fase perluasan (*development phase*), untuk $t < t_1$, persamaan di atas menjadi:

$$\frac{y_m}{b} = \left[\frac{t}{t_1}\right]^\gamma \quad (10)$$

Menurut Nakagawa dan Suzuki (1976) dalam Miller (2003) nilai $\gamma = 0.22-0.23$

dan t_1 bisa ditulis sebagai berikut :

$$t_1 = 29.2 \frac{b}{\sqrt{2}U_0} \left[\frac{\sqrt{\Delta g d_{50}}}{\sqrt{2}U_0 - U_c} \right]^3 \left[\frac{b}{d_{50}} \right]^{1.9} \quad (11)$$

dengan :

b = lebar pilar jembatan (m)

d_{50} = diameter rata-rata partikel (m)

U_c = kecepatan kritis rata-rata (m/s)

U_0 = kecepatan rata-rata (m/s), dengan

$$U_0 = Q/A$$

Q = debit (m³/s)

A = luas penampang (m²)

Δ = berat jenis relatif (-)

Berdasarkan data Laursen dan Toch (1956) dalam Breuser dan Raudkivi (1971) menemukan persamaan untuk pilar bulat jembatan yaitu :

$$y_{m,e} = 1.35K_i b^{0.7} h^{0.3} \quad (12)$$

dengan :

b = lebar pilar jembatan (m)

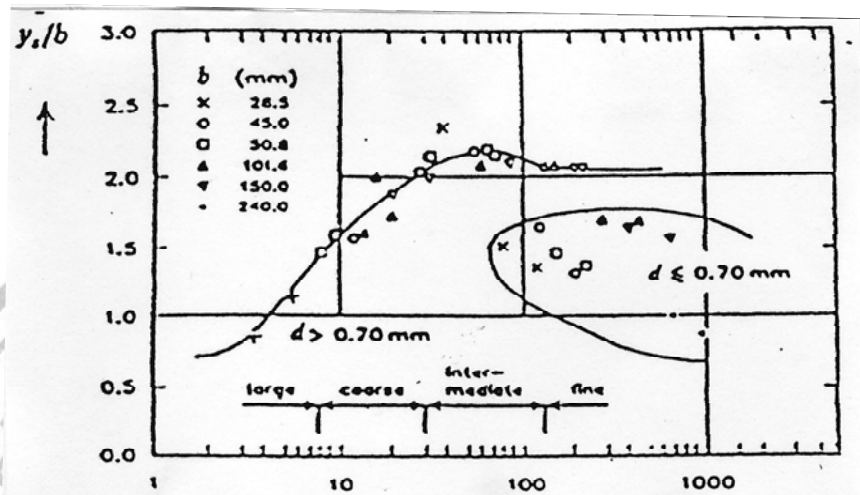
h_0 = kedalaman aliran (m)

K_i = faktor koreksi (untuk pilar bulat $K_i = 1.0$)

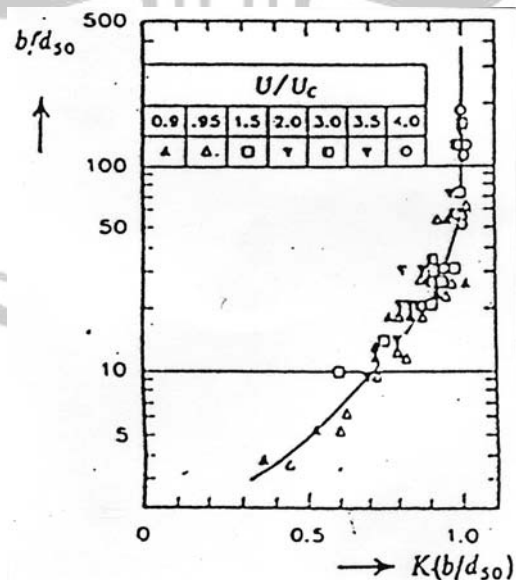
$y_{m,e}$ = kedalaman gerusan saat setimbang (m)

Volume lubang gerusan dibentuk untuk mengelilingi pilar dan berbanding diameter kubik dari pilar itu sendiri, berarti semakin lebar pilar semakin banyak gerusan dan semakin banyak pula waktu yang diperlukan untuk melakukan penggerusan. Koefisien pengaruh ukuran pilar dan ukuran butir material dasar (K_{dt}) ini menurut Ettema (1980) dalam Breuser (1991:68) dapat pula untuk *live bed scour*.

Dari uraian diatas lebih jelas dapat di lihat pada Gambar 11 dan Gambar 12 yang memperlihatkan korelasi antara nilai kedalaman gerusan relatif dengan ukuran butir relatif U/U_c dengan ukuran butir relatif.



Gambar 11. Hubungan kedalaman gerusan seimbang (y_{se}) dengan ukuran butir relatif (b/d_{50}) untuk kondisi aliran air bersih dan bersedimen (Sumber : Breuser dan Raudkivi, 1991:69)



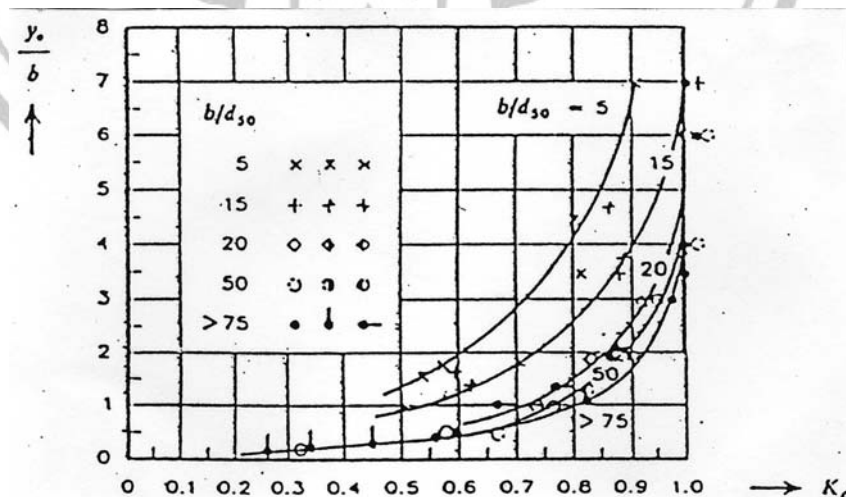
Gambar 12. Hubungan koefisien reduksi ukuran butir relatif $K(b/d_{50})$ dengan ukuran butir relatif (b/d_{50}) untuk kondisi aliran air bersih dan bersedimen (Sumber : Breuser dan Raudkivi, 1991:69)

4. Kedalaman Dasar Sungai dari Muka Air

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_0/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 :

$$y_s / y_0 = 1.5(b / y_0)^{0.70} \quad (13)$$

Keseimbangan gerusan lokal pada aliran rendah akan tercapai jika telah terjadi kesamaan nilai u^*/u^*_c dan y_0/b , dan pengaruh dari y_0/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 $y_0/b \geq 2$, sedangkan korelasi antara kedalaman relatif (y_0/b) dan koefisien kedalaman air (K_{da}) seperti Gambar 13 dibawah ini.

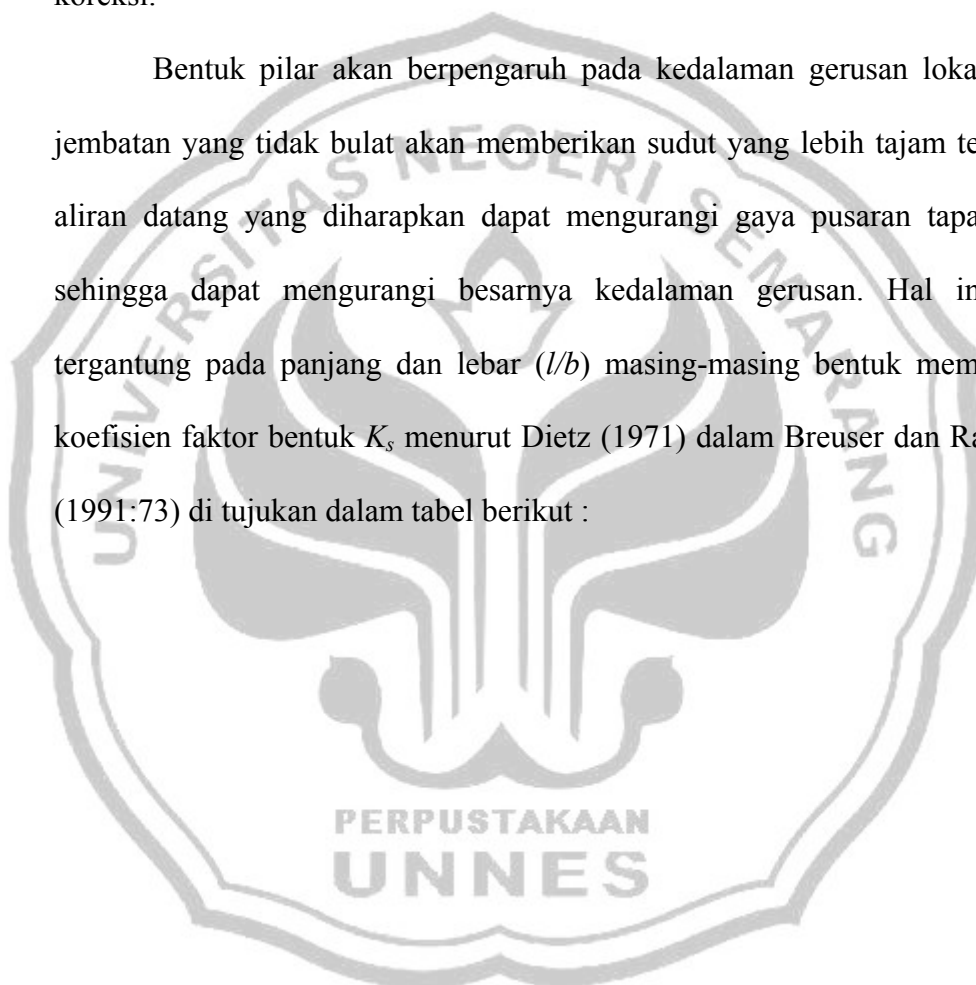




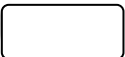
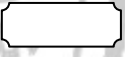
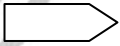
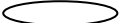

Gambar 13. Hubungan koefisien aliran (K_{da}) dan kedalaman aliran relatif (y_0/b) dengan ukuran relatif (b/d_{50}) (Sumber : Breuser dan Raudkivi, 1991:71)

5. Bentuk Pilar

Pengaruh bentuk pilar berdasarkan potongan horizontal dari pilar telah diteliti oleh Laursen dan Toch (1956), Neil (1973) dan Dietz (1972). Bentuk potongan vertikal pilar juga dapat dijadikan dasar untuk menentukan faktor koreksi.

Bentuk pilar akan berpengaruh pada kedalaman gerusan lokal, pilar jembatan yang tidak bulat akan memberikan sudut yang lebih tajam terhadap aliran datang yang diharapkan dapat mengurangi gaya pusaran tapal kuda sehingga dapat mengurangi besarnya kedalaman gerusan. Hal ini juga tergantung pada panjang dan lebar (l/b) masing-masing bentuk mempunyai koefisien faktor bentuk K_s menurut Dietz (1971) dalam Breuser dan Raudkivi (1991:73) di tujukan dalam tabel berikut :



Bentuk Pilar	$\frac{b}{l}$	$\frac{b'}{l'}$	K_s	Gambar Bentuk Pilar
Silinder			1.0	
Persegi (<i>Rectangular</i>)	1:1		1.22	
	1:5		0.99	
Persegi dengan ujung setengah lingkaran (rectangular with semi circular nose)	1:3		0.90	
Ujung setengah lingkaran dengan bentuk belakang lancip (semi circular nose with wedge shape tail)	1:5		0.86	
Persegi dengan sisi depan miring (rectangular with wedge shape nose)	1:3	1:2	0.76	
		1:4	0.65	
Elips (Elliptic)	1:2		0.83	
	1:3		0.80	
	1:5		0.61	
<i>Lenticular</i>	1:2		0.80	
	1:3		0.70	
Aerofoil	1:3.5		0.80	

(Sumber : Breuser dan Raudkivi,1991:73)

Tabel 1. Koefisien faktor bentuk pilar

6. Posisi Pilar (sudut kemiringan pilar)

Kedalaman gerusan lokal tergantung pada kedudukan / posisi pilar terhadap arah aliran yang terjadi serta panjang dan lebarnya pilar. Karena kedalaman gerusan merupakan rasio dari panjang dan lebar serta sudut dari tinjauan terhadap arah aliran.

Koefisien sudut datang aliran karena posisi pilar digunakan pada beberapa bentuk tertentu. Hanya bentuk silinder yang tidak menggunakan koefisien sudut datang (Laursen dan toch (1956) dalam Breuser (2004:72)). Koefisien sudut datang arah aliran seperti Gambar 14.

Menurut, Dietz (1972) dan Neil (1973) terhadap pengaruh bentuk pilar tampak *horisontal croos section*, mereka menegaskan dan merekomendasikan nilai faktor bentuk pilar (K_s). Laursen dan Touch (1956), mempelajari ini pada pilar *rectangular horisontal croos section* dengan memberikan sudut kemiringan terhadap aliran. Bila sudut terjang aliran terhadap pilar 0^0 maka $K_\alpha = 1$.

Nagasaki dan suzuki (1976) menyajikan beberapa pengujian gerusan disekitar pilar *rectingular horisontal croos section* dengan L_b/b berkisar 1,75 dengan variasi sudut $0^0 - 45^0$. Dari penelitian tersebut gerusan yang terjadi untuk sudut 30^0 hampir sama dengan 45^0 , namun itu lebih besar dari 0^0 yang mana $K_\alpha = 1,3 - 1,8$.

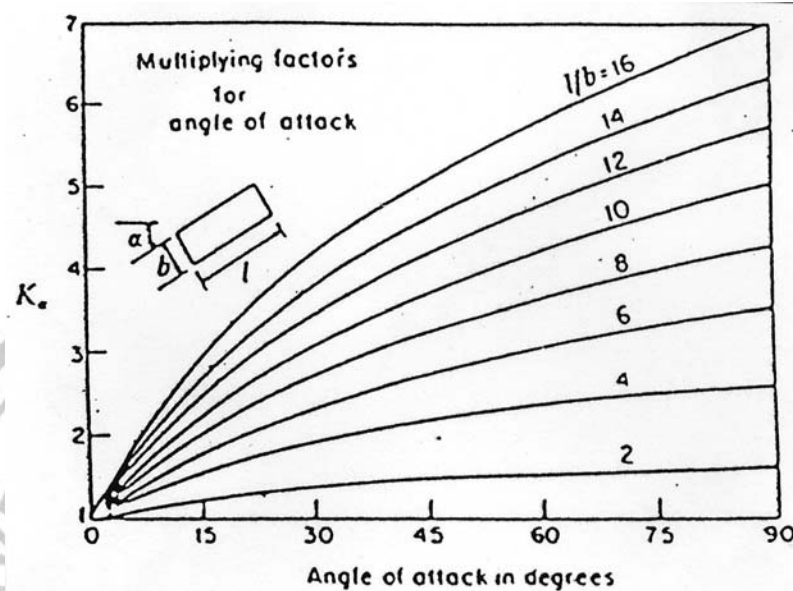
$$K_\alpha = (\cos \alpha + L_p/b \sin \alpha)^{0,62} \quad (14)$$

Dimana : K_α = faktor orientasi pilar terhadap aliran

B = sisi lebar bentuk pilar

L_p = sisi panjang bentuk pilar

α = Sudut datang aliran terhadap pilar



Gambar 14. Koefisien arah sudut aliran (K_a) pada pilar
(Sumber : Breuser dan Raudkivi, 1991:71)

2.2.3 Persamaan Gerusan Untuk Aliran Beraturan

Kedalaman gerusan tergantung dari beberapa variabel (lihat Breuser dan Raudkivi, 1991 dalam Hanwar, 1999:11) yaitu karakteristik zat cair, material dasar, aliran dalam saluran dan bentuk pilar jembatan yang dapat ditulis :

$$y_s = f(\rho, \nu, g, d, \rho_s, y_o, U, b) \quad (15)$$

Jika persamaan dibuat tidak berdimensi maka persamaan tersebut menjadi :

$$y_s / b = f\left(\frac{Ub}{\nu}, \frac{U^2}{gb}, \frac{y_o}{b}, \frac{d}{b}, \Delta\right)$$

$$= f \left(\frac{u_* b}{\nu}, \frac{u_*^2}{g d \Delta}, \frac{D_o}{b}, \frac{\sigma_g}{d_{50}}, \Delta \right) \quad (16)$$

dengan :

f = konstanta

u_* = kecepatan geser

ν = kekentalan kinematik zat cair

Δ = perbandingan selisih rapat massa butiran dan rapat massa air dengan rapat massa air

σ_g = standar deviasi geometrik

Persamaan di atas dapat juga dituliskan sebagai berikut ini.

$$y_s / b = f \left(\frac{u_* b}{\nu}, \frac{\rho u_*^5}{g(\rho - \rho_s)}, \frac{\rho_s}{\rho}, \frac{y_o}{b}, \frac{d}{b} \right) \quad (17)$$

Penggerusan pada dasar sungai di bawah pilar akibat adanya aliran sungai yang mengikis lapisan tanah dasar dapat dihitungkan kedalamannya. Kondisi *clear-water* untuk dalamnya penggerusan dapat dihitungkan melalui persamaan-persamaan Raudkivi (1991) yaitu sebagai berikut :

$$y_{se} = 2.3 K_\sigma K_s K_\alpha K_{dt} K_d b \quad (18)$$

dengan :

K_d = Faktor ketinggian aliran

K_s = Faktor bentuk pilar

K_{dt} = Faktor ukuran pilar

K_α = Faktor posisi pilar

K_σ = Fungsi dari standar deviasi geometrik distribusi ukuran partikel

α = Sudut datang aliran

Dalam Melville dan Satherland (1988) dalam Pamularso (2006:36) telah dijelaskan, bahwa kedalaman gerusan dari gerusan lokal, y_s , pada pilar dapat ditulis dalam persamaan :

$$Y_s = f(\rho, v, U, y_0, \rho_s, D50, U, g, b, s, \omega) \quad (19)$$

Dengan,

ρ = Massa jenis zat cair

v = Viskositas kinematik

U = Kecepatan rerata aliran

ρ_s = Massa jenis butiran

g = Gravitasi

b = Lebar pilar normal terhadap aliran

s = Bentuk pilar

$$Y_s / b = f\left(\frac{Ub}{v}, \frac{U^2}{gb}, \frac{y_0}{b}, \frac{\rho}{\rho_s}, \frac{d50}{b}, \omega, s, \omega\right) \quad (20)$$

Rasio dari massa jenis diasumsikan konstan dan pengaruh Renold number

UD/v diabaikan sebagai pertimbangan aliran turbulen yang tinggi, maka :

Hubungan fungsional telah dievaluasi menggunakan data laboratorium dengan menuliskan bentuk :

$$Y_{sc} = K_1 K_\alpha K_d K_{dt} K_s K_\sigma \quad (22)$$

Kd = Faktor ketinggian aliran

KI = Faktor intensitas aliran

Ks = Faktor bentuk pilar

K_{α} = Faktor posisi pilar $[0,78(yo/b)0,225]$

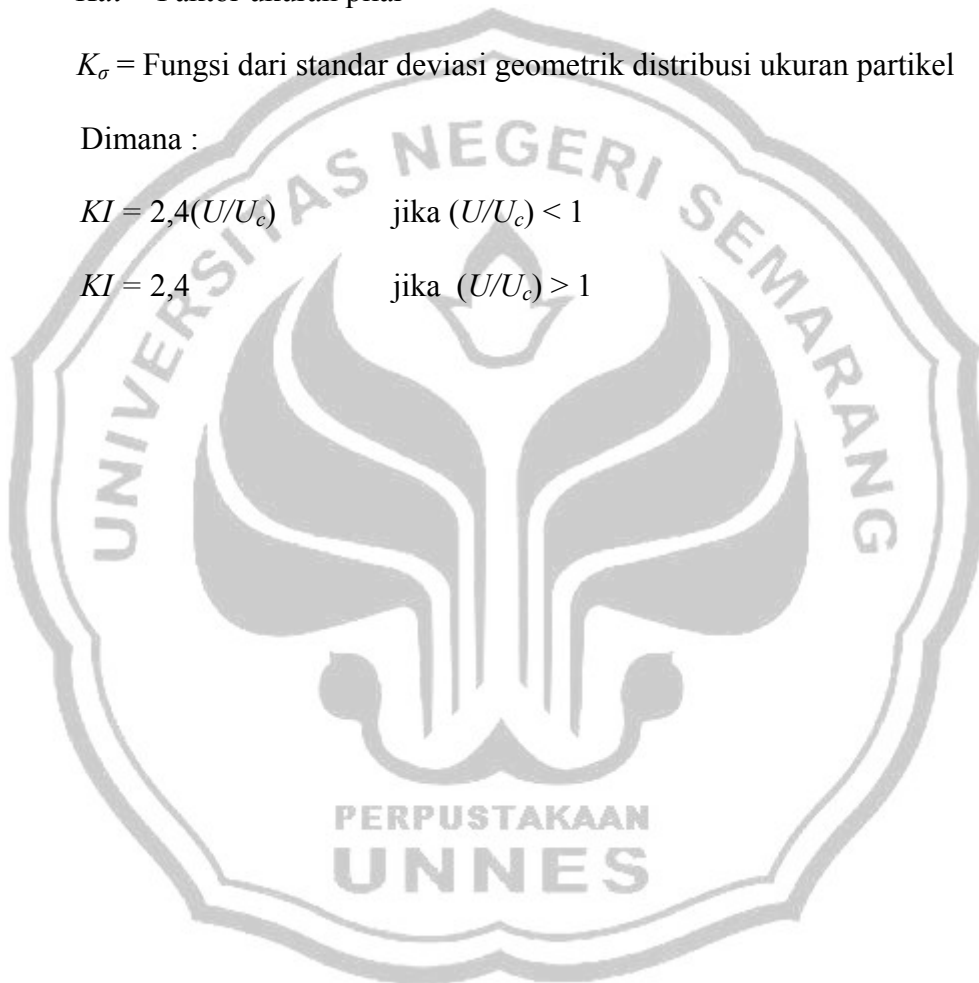
Kdt = Faktor ukuran pilar

K_{σ} = Fungsi dari standar deviasi geometrik distribusi ukuran partikel

Dimana :

$KI = 2,4(U/U_c)$ jika $(U/U_c) < 1$

$KI = 2,4$ jika $(U/U_c) > 1$



BAB III

METODE PENELITIAN

3.1 Tempat Penelitian

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

1. Penelitian secara fisik, dilaksanakan 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 variabel 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-bahan yang digunakan pada penelitian 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. Kayu

Kayu yang digunakan untuk pembuatan model miniatur pilar *lenticular* adalah jenis kayu jati.

3.3 Alat Penelitian

Peralatan untuk pembuatan model fisik dan pengujian berada di Laboratorium Hidraulika Jurusan Teknik Sipil Fakultas Teknik UNNES. Secara spesifik dapat disampaikan nama dan fungsi dari masing masing 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/sik. 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

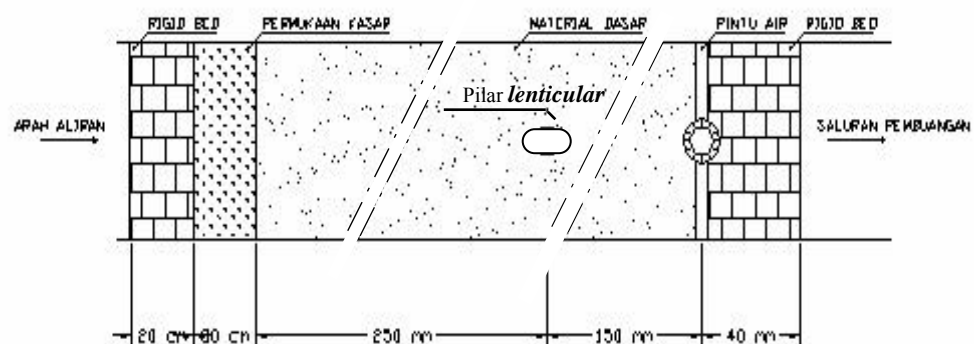
mengalami gerusan. Alat tersebut dapat dilihat pada Gambar 15. Didepan *rigid bed* dipasang *gravel* sepanjang 60 cm yang dikemas dengan kawat bendrat (BRC).

Sistem aliran pelaksanaan model hidrolika dibuat dengan sistem sirkuit tertutup, agar pengamatan pola aliran dapat dilakukan secara kontinyu tanpa adanya kehilangan banyak air. Sesuai dengan skema yang diberikan dalam Gambar 16 bahwa air dari kolam tampungan dipompa masuk ke dalam tandon air yang berfungsi sebagai kontrol 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 pilar 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 15. 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 16.



Gambar 16. Tampak atas pilar 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 pilar diukur setelah *running* selesai dilakukan.

Alat ini seperti terlihat pada Gambar 17.



Gambar 17. *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 18.



Gambar 18. Pintu air

4. *Stop watch*

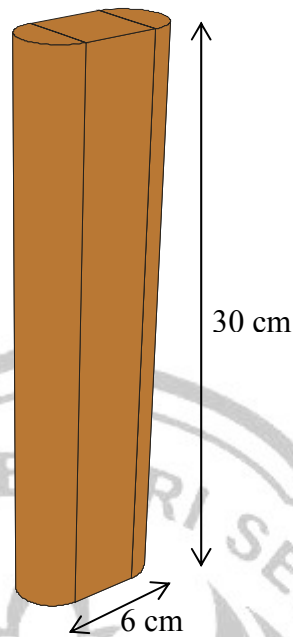
Alat ini digunakan untuk menentukan waktu tiap satuan waktu yang ditentukan untuk pengambilan data kedalaman gerusan selama running berlangsung. Alat ini juga digunakan bersama-sama alat tampung air untuk mengukur debit aliran pada *flume*.

5. Model Pilar

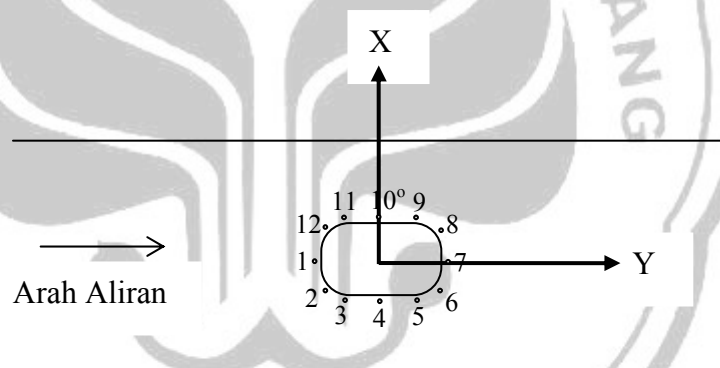
Model pilar yang digunakan pada penelitian ini terbuat dari kayu jati yang dibentuk sesuai model, kemudian dihaluskan dan diberi lapisan melamine agar model yang dibuat sesuai dengan kehalusan yang diinginkan. Penelitian menggunakan pilar *lenticular* dengan ketinggian 300 mm dan dengan lebar pilar 30 mm dan panjang 60 mm.. Model pilar diletakkan di tengah *flume* pada jarak 3,5 m dari hilir dan 10.5 cm terhadap dinding dengan aliran air (dianggap) seragam.



Gambar 19. Model Pilar *lenticular*



Gambar 20. Model 3 dimensi Pilar *lenticular*



Gambar 21. Tampak Atas Penempatan Model Pilar *lenticular*

6. Kamera

Alat ini digunakan pengambilan data serta dokumentasi selama percobaan berlangsung.

7. Meteran, penggaris, busur dan skala

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

gerusan ketika running. Untuk busur digunakan untuk mengukur sudut kemiringan pilar terhadap arah aliran.

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 $d_{50} = 0.77$ mm. Gradasi sedimen tercantum pada Gambar 23.

- c. Pengecekan alat *flume*

Sebelum digunakan untuk penelitian alat *flume* ini dicek apakah berfungsi dengan baik ataukah memerlukan perbaikan 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 wadah sampai penuh lalu catat waktu dan hitung volume air dalam wadah 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

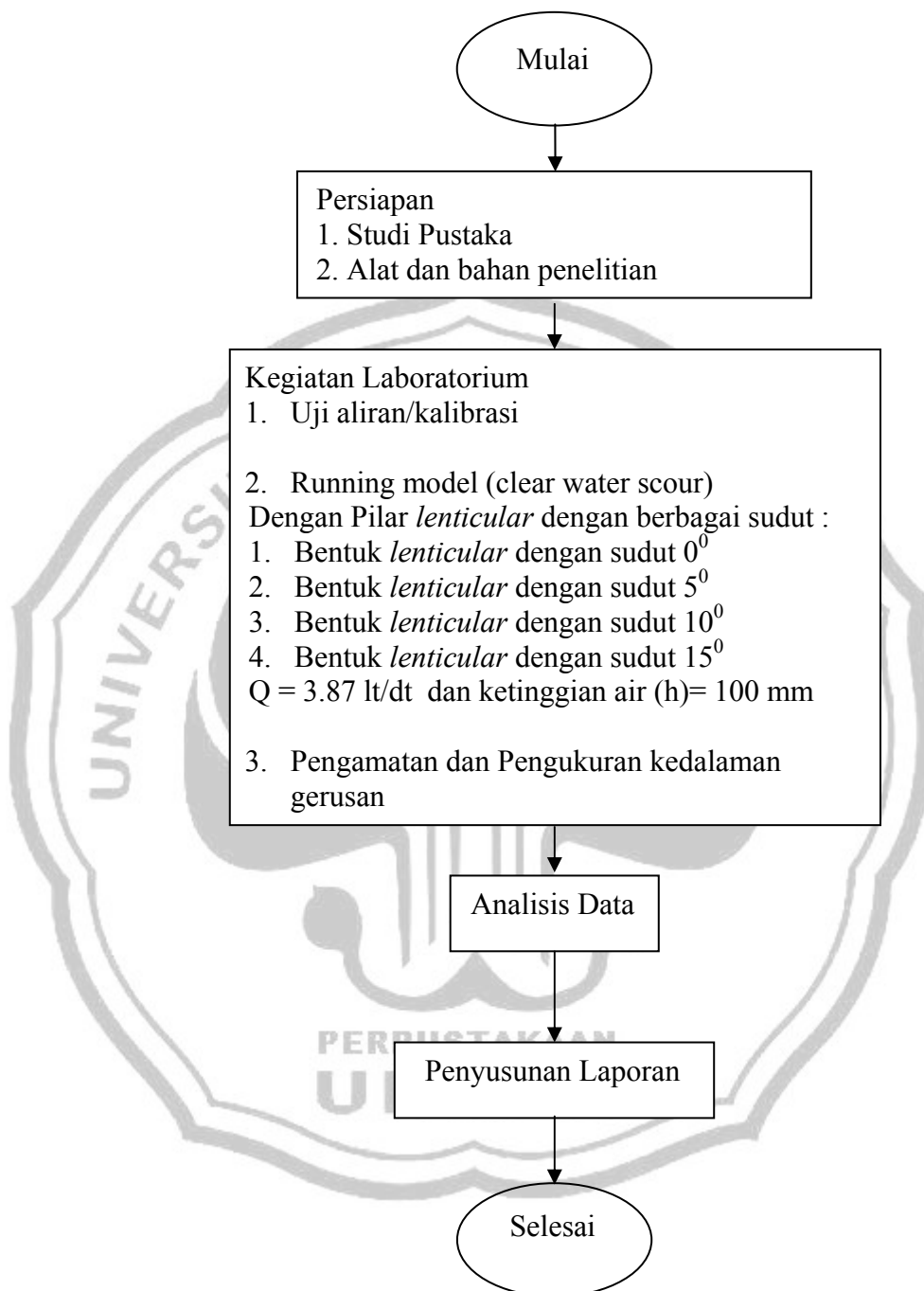
Pada pelaksanaan penelitian direncanakan dengan menggunakan model pilar *lenticular* dengan 4 variasi sudut yang terbentuk pada arah aliran .

Langkah-langkah pelaksanaan penelitian :

- a. Model pilar diletakkan di tengah *flume* dengan jarak 3.5 m dari hulu, kemudian diatur dengan material pasir dalam keadaan rata-rata.
- b. Pengaturan sudut pilar terhadap arah aliran disesuaikan dengan variasi yang ada yaitu, 0^0 , 5^0 , 10^0 dan 15^0 (penentuan sudut searah jarum jam).

- c. Air dialirkan dari debit kecil sampai debit yang ditentukan sehingga mencapai konstan.
- d. 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.
- e. Pengambilan data kontur, data kontur gerusan di sekitar pilar diukur setelah *running* selesai, dengan cara memperkecil debit aliran secara perlahan agar gerusan di sekitar pilar 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.
- f. 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 pilar *lenticular* akibat pengaruh lebar pilar dapat dilihat pada Gambar 22.



Gambar 22. 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 pilar. 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 pilar.

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 pilar.

BAB IV

HASIL PENELITIAN DAN PEMBAHASAN

4.1 Pemeriksaan Material Dasar

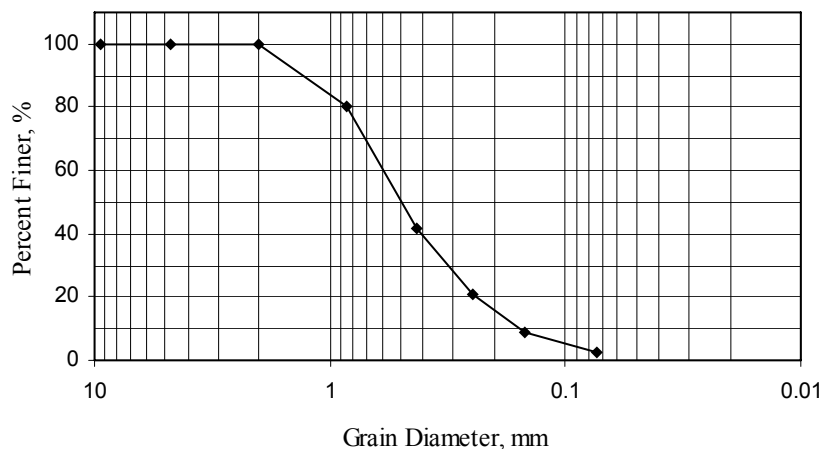
Pengujian dilakukan di Laboratorium Bahan Jurusan Teknik Sipil Universitas Negeri Semarang. Pasir yang digunakan dalam penelitian ini adalah pasir lolos saringan ASTM no. 10 dan tertahan pada no. 200 Spesifik Grafity 2.99 serta kadar lumpur 2.65 % dan nilai d_{50} diperoleh dari pengujian analisa gradasi 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	$e_7 = W - \sum d$
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	$e_1 = d_2 + e_2$
		$\sum d = 973.50$			

(Sumber: Hasil penelitian)

Hasil analisa gradasi butiran dimasukkan dalam bentuk *grain diameter* (Gambar 23) yang kemudian dapat diketahui nilai d_{50} . Dari Gambar 23 tersebut terlihat bahwa d_{50} adalah 0.49 mm.



Gambar 23. Gradasi sedimen

4.2 Karakteristik Aliran

Pada penelitian karakteristik aliran tahap pengamatan awal dilakukan tanpa menggunakan pilar. 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 kritis 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 kritis 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).

Pada penelitian ini menggunakan debit aliran (Q) = 3.56 lt/s dengan kedalaman aliran (h) = 100 mm, sehingga besarnya kecepatan aliran rata-rata yang terjadi adalah sebesar (U) = 0.178 m/dt dengan kondisi aliran seragam

(*steady uniform*). Dari data dapat dihitung intensitas aliran (U/U_c) = 0.687 dan bilangan Froude (Fr) = 0.17972 serta angka Reynolds (Re) = 17800.

Tahap berikutnya, dilakukan pengamatan proses gerusan pada pilar *lenticular*. 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 kritisnya (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)	sudut (...°)	h (mm)	Q (l/s)	U (m/s)	So	d50 (mm)	Qc (l/s)	Uc (m/s)	Fr	Re
60	0	100	3.56	0.178	0.00031	0.49	3.83	0.262	0.17972	17800
60	5	100	3.56	0.178	0.00031	0.49	3.83	0.262	0.17972	17800
60	10	100	3.56	0.178	0.00031	0.49	3.83	0.262	0.17972	17800
60	15	100	3.56	0.178	0.00031	0.49	3.83	0.262	0.17972	17800

(Sumber: Hasil penelitian)

4.3 Kedalaman Gerusan

Pengamatan gerusan meliputi sudut kemiringan pilar terhadap arah 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 pilar bagian depan kemudian berputar berlawanan arah jarum jam sampai semua titik terukur.

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 debitnya dibuka perlahan-lahan dari debit kecil kemudian ditingkatkan sampai debit yang ditentukan. Setelah mencapai debit yang ditentukan dan besarnya 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 hasil analisis.

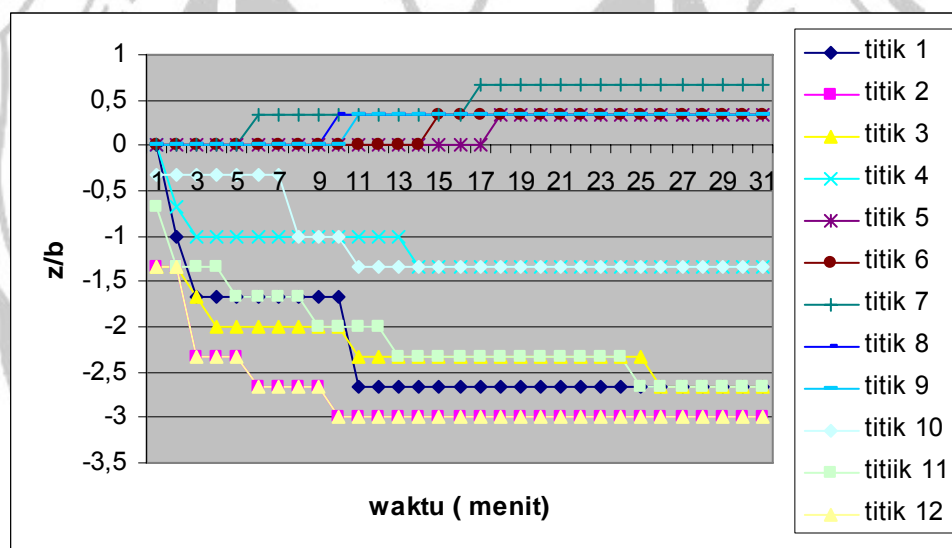
4.3.1 Perkembangan Kedalaman Gerusan terhadap Waktu

Perkembangan kedalaman gerusan terhadap waktu pada pilar *lenticular* dengan berbagai sudut untuk masing-masing pilar adalah sebagai berikut :

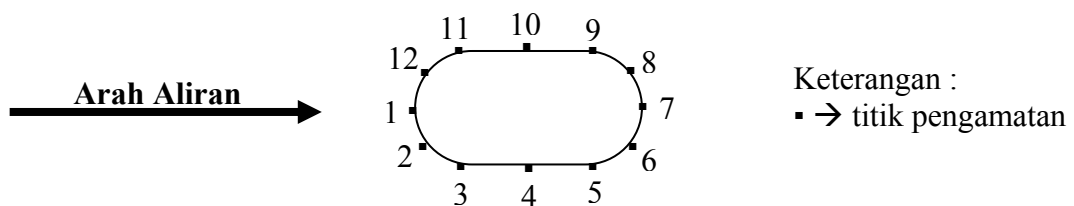
1. Perkembangan Kedalaman Gerusan terhadap Waktu pada Pilar

Lenticular dengan sudut kemiringan 0^0

Berdasarkan hasil pengamatan perkembangan kedalaman gerusan terhadap waktu pada pilar *lenticular* dengan sudut 0^0 seperti yang terdapat pada Lampiran 2, dapat diketahui hubungan kedalaman gerusan terhadap waktu seperti yang tersaji dalam Gambar 24 berikut ini.



Gambar 24. Perkembangan kedalaman gerusan terhadap waktu pada pilar *lenticular* sudut 0^0



Gambar 25. Posisi titik pengamatan pada pilar *lenticular* sudut 0^0

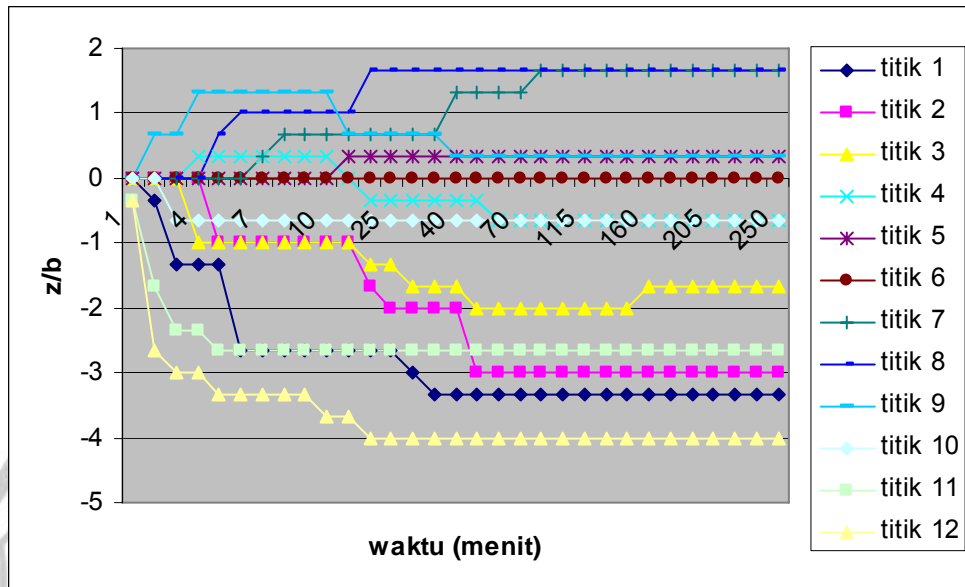
Dari *trend* grafik di atas dapat dilihat bahwa gerusan yang terjadi pada pilar *lenticular* dengan sudut 0^0 mengalami peningkatan kedalaman gerusan yang pada awalnya besar kemudian semakin lama penambahan kedalaman gerusannya semakin mengecil hingga pada saat menit tertentu telah mencapai kesetimbangan (*equilibrium scour depth*). Mulai menit pertama sampai menit ke 20 pada hampir semua titik pengamatan, terjadi penggerusan material butiran dasar yang cukup signifikan. Dari pola gerusan yang terjadi dapat dilihat bahwa gerusan yang terjadi hampir sama antara titik pengamatan yang saling berhadapan. Sebagai contoh antara titik pengamatan 3 dan 11, dalam *trend* grafik garis saling bersinggungan. Seperti halnya antara titik pengamatan 2 dan 12. Hal ini dikarenakan bentuk pilar yang simetris terhadap arah aliran. Sehingga kedalaman gerusan yang terjadi antara titik pengamatan yang berseberangan hampir sama.

Pada Gambar 24 terlihat bahwa perkembangan gerusan terbesar tercapai pada titik pengamatan 2 dan 12 pada sisi samping pilar bagian depan dan perkembangan gerusan terkecil tercapai pada titik pengamatan 7. Hingga terjadi penumpukan paling besar dibanding dengan kondisi gerusan pada titik pengamatan yang lainnya, yaitu sebesar 2 mm.

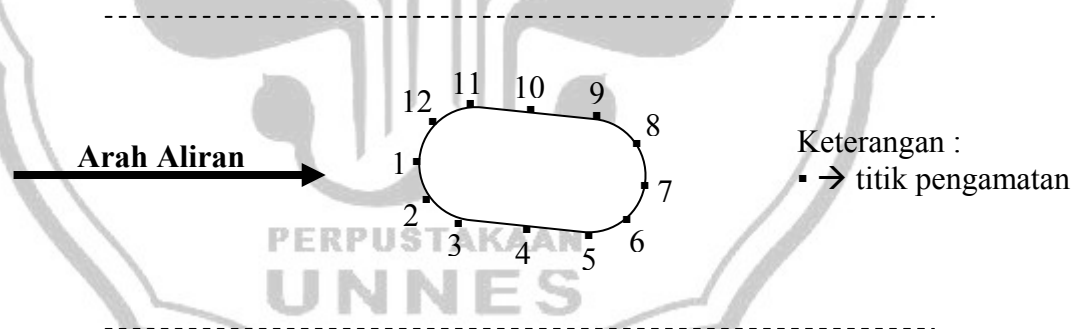
2. Perkembangan Kedalaman Gerusan terhadap Waktu pada Pilar *Lenticular* dengan sudut 5^0

Berdasarkan hasil pengamatan perkembangan kedalaman gerusan terhadap waktu pada pilar *lenticular* dengan sudut 5^0 seperti yang terdapat

pada Lampiran 3, dapat diketahui hubungan kedalaman gerusan terhadap waktu seperti yang tersaji dalam Gambar 26 berikut ini.



Gambar 26. Perkembangan kedalaman gerusan terhadap waktu pada pilar *lenticular* Sudut 5^0



Gambar 27. Posisi titik pengamatan pada pilar *lenticular* Sudut 5^0

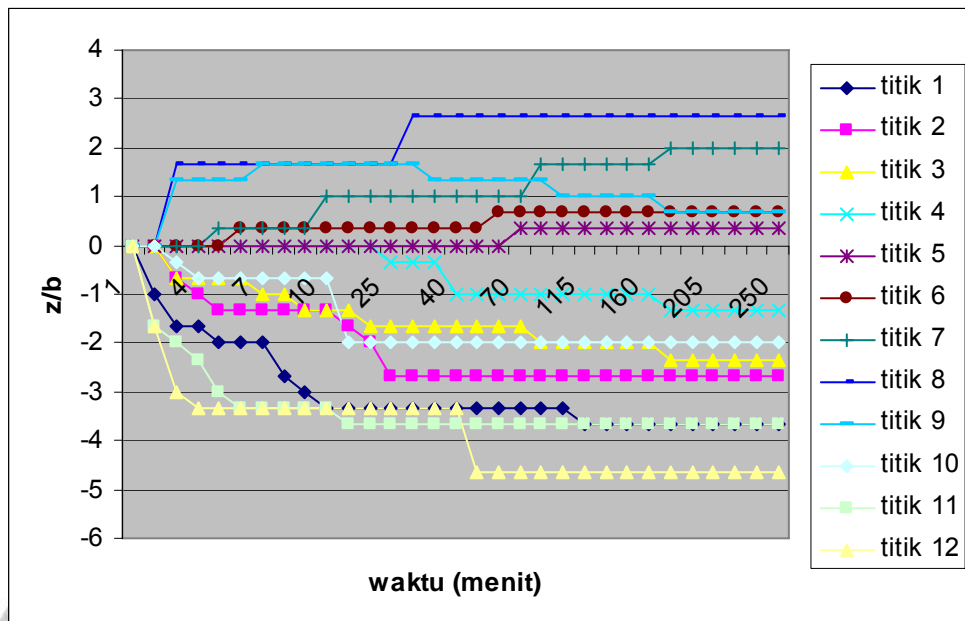
Dari *trend* grafik di atas seperti halnya pada *trend* grafik perkembangan kedalaman gerusan terhadap waktu untuk pilar *lenticular* dengan sudut 0^0 yaitu gerusan yang terjadi pada pilar *lenticular* dengan sudut 5^0 mengalami peningkatan kedalaman gerusan yang pada awalnya besar kemudian semakin lama penambahan kedalaman gerusannya semakin

mengecil hingga pada saat menit tertentu telah mendekati kondisi kesetimbangan (*equilibrium scour depth*). Sama juga halnya dengan pilar *lenticular* dengan sudut 0^0 , yaitu pada hampir seluruh titik pengamatan antara pada menit pertama hingga menit ke 25 mengalami gerusan yang cukup signifikan. Namun pola gerusan yang sangat berbeda ditunjukkan dengan pola gerusan yang terjadi di setiap titik pengamatan. Dalam *trend* grafik pilar *lenticular* dengan sudut 0^0 titik pengamatan yang berseberangan besarnya nilai kedalaman gerusan hampir sama. Sedangkan dalam trend pilar *lenticular* dengan sudut 5^0 masing-masing titik pengamatan memiliki kedalaman gerusan yang sangat berbeda. Hal ini dikarenakan sudut yang terbentuk telah merubah posisi simetris pilar terhadap arah aliran. Kondisi inilah yang mengakibatkan perbedaan pola gerusan yang terjadi pada masing-masing titik pengamatan.

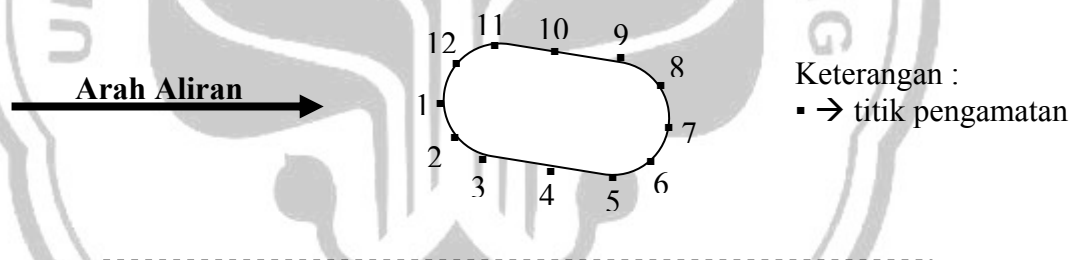
Pada Gambar 26 terlihat bahwa perkembangan gerusan terbesar tercapai pada titik pengamatan 12 pada sisi samping pilar bagian depan. Perkembangan gerusan terkecil tercapai pada titik pengamatan 7 dan 8. Hingga terjadi penumpukan yang cukup banyak dibanding dengan titik pengamatan yang lainnya yaitu sebesar 5 mm.

3. Perkembangan Kedalaman Gerusan terhadap Waktu pada Pilar *Lenticular* dengan sudut 10^0

Berdasarkan hasil pengamatan perkembangan kedalaman gerusan terhadap waktu pada pilar *lenticular* dengan sudut 10^0 seperti yang terdapat pada Lampiran 4, dapat diketahui hubungan kedalaman gerusan terhadap waktu seperti yang tersaji dalam Gambar 28 berikut ini.



Gambar 28. Perkembangan kedalaman gerusan terhadap waktu pada pilar lenticular 10°



Gambar 29. Posisi titik pengamatan pada pilar lenticular 10°

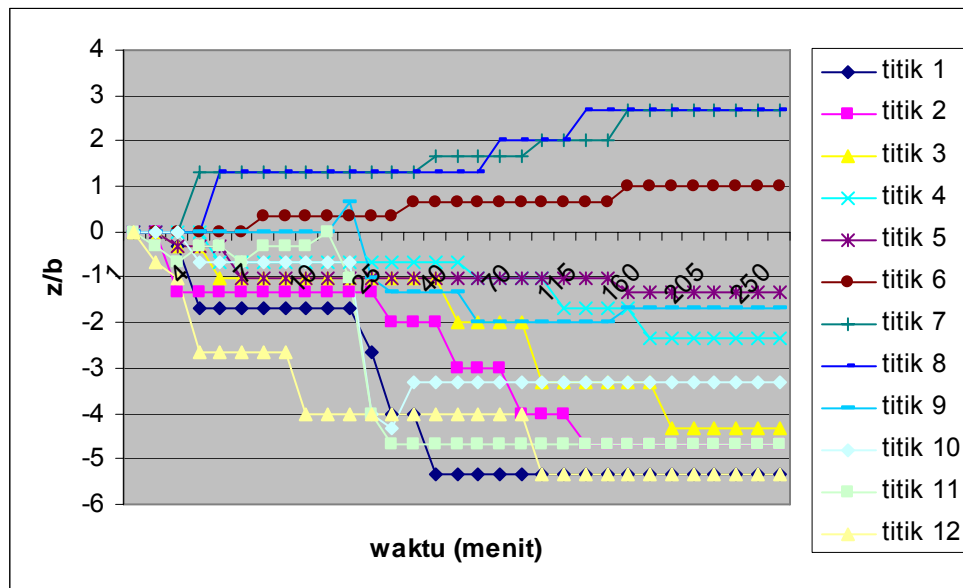
Kondisi yang sama dengan *trend* grafik pilar lenticular dengan sudut 5° diperlihatkan dalam *trend* grafik di atas. Dapat dilihat bahwa gerusan yang terjadi pada pilar lenticular dengan sudut 10° mengalami peningkatan kedalaman gerusan yang pada awalnya besar kemudian semakin lama penambahan kedalaman gerusannya semakin mengecil hingga pada saat menit tertentu telah mendekati kondisi kesetimbangan (*equilibrium scour depth*). Demikian pula dengan pola yang ditunjukkan dalam *trend* grafik diatas, yaitu

besarnya nilai kedalaman gerusan pada masing-masing titik pengamatan memiliki nilai yang berbeda. Kondisi ini juga ditunjukkan pada pilar *lenticular* dengan sudut 5^0 , namun untuk nilai kedalaman gerusan memiliki perbedaan yang cukup terlihat. Pada pilar *lenticular* dengan sudut 10^0 secara keseluruhan di titik pengamatan lebih besar nilai kedalaman gerusannya dibanding dengan pilar *lenticular* dengan sudut 5^0 . Hal ini tidak jauh dari alasan bahwa besarnya sudut sangat mempengaruhi besarnya nilai gerusan yang terjadi disekitar pilar.

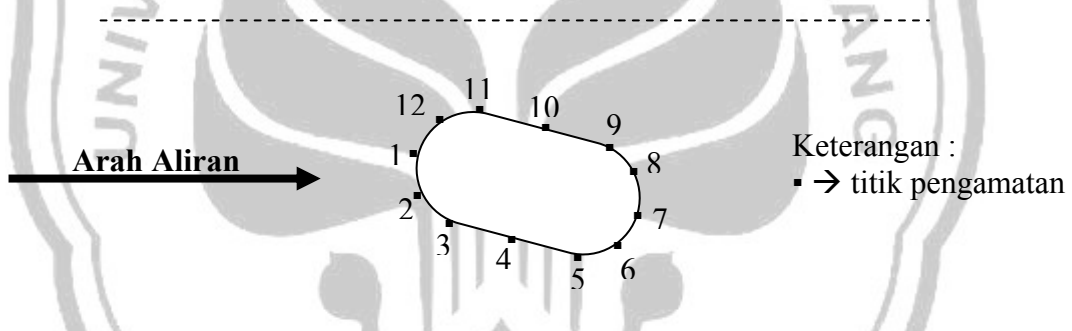
Seerti halnya pada pilar *lenticular* dengan sudut 5^0 perkembangan gerusan terbesar tercapai pada titik pengamatan 12. Hal ini dapat dilihat pada Gambar 28 dengan besarnya kedalaman gerusan sebesar 14 mm. Untuk nilai gerusan yang terkecil yaitu ditunjukkan pada titik pengamatan 7 dan 8. Dengan ditunjukkan adanya penumpukan sebesar 8 mm.

4. Perkembangan Kedalaman Gerusan terhadap Waktu pada Pilar *Lenticular* dengan sudut 15^0

Berdasarkan hasil pengamatan perkembangan kedalaman gerusan terhadap waktu pada pilar *lenticular* dengan sudut 15^0 seperti yang terdapat pada Lampiran 5, dapat diketahui hubungan kedalaman gerusan terhadap waktu seperti yang tersaji dalam Gambar 30 berikut ini.



Gambar 30. Perkembangan kedalaman gerusan terhadap waktu pada pilar *lenticular* Sudut 15^0



Gambar 31. Posisi titik pengamatan pada pilar *lenticular* Sudut 15^0

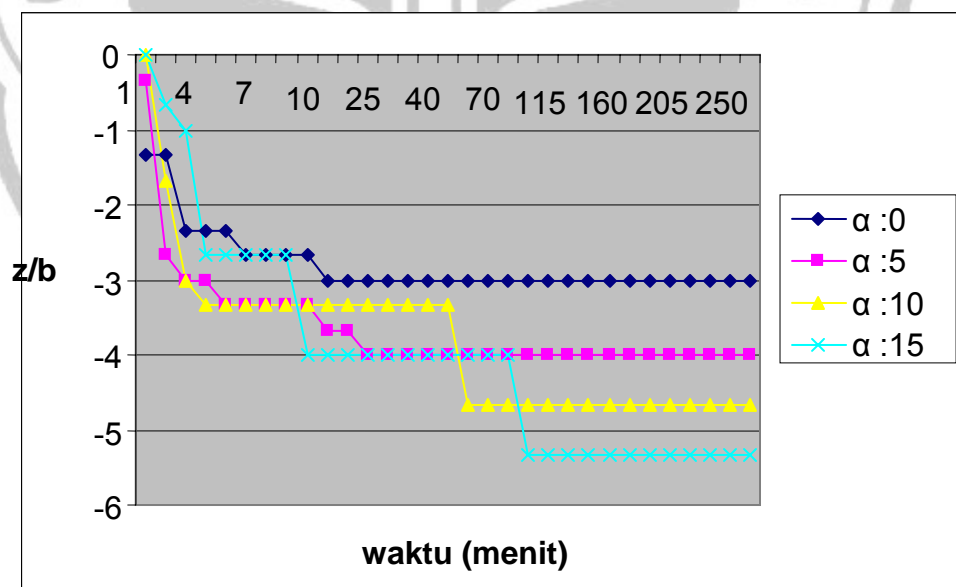
Pada pilar *lenticular* dengan sudut 15^0 *trend* grafik yang ditunjukkan dalam Gambar 30 di atas memiliki kesamaan dengan *trend* grafik yang ditunjukkan pada pilar *lenticular* dengan sudut 0^0 , 5^0 dan 10^0 . Bahwa gerusan yang terjadi pada pilar *lenticular* dengan sudut pilar 15^0 mengalami peningkatan kedalaman gerusan yang pada awalnya besar kemudian semakin lama penambahan kedalamannya semakin mengecil hingga pada saat menit tertentu telah mendekati kondisi kesetimbangan (*equilibrium scour*

depth). Pola gerusan yang terjadi pada masing-masing titik pengamatan hampir sama dengan pilar *lenticular* dengan sudut 5° dan 10° . Hal yang membedakan yaitu memiliki nilai gerusan yang lebih besar dibanding dengan keduanya.

Pada titik pengamatan 1 dan 12 terjadi gerusan yang paling besar yaitu 16 mm. Dapat dilihat pada Gambar 30, bahwa gerusan terkecil terjadi pada titik pengamatan 7 dan 8 dengan terjadinya penumpukan sebesar 8 mm.

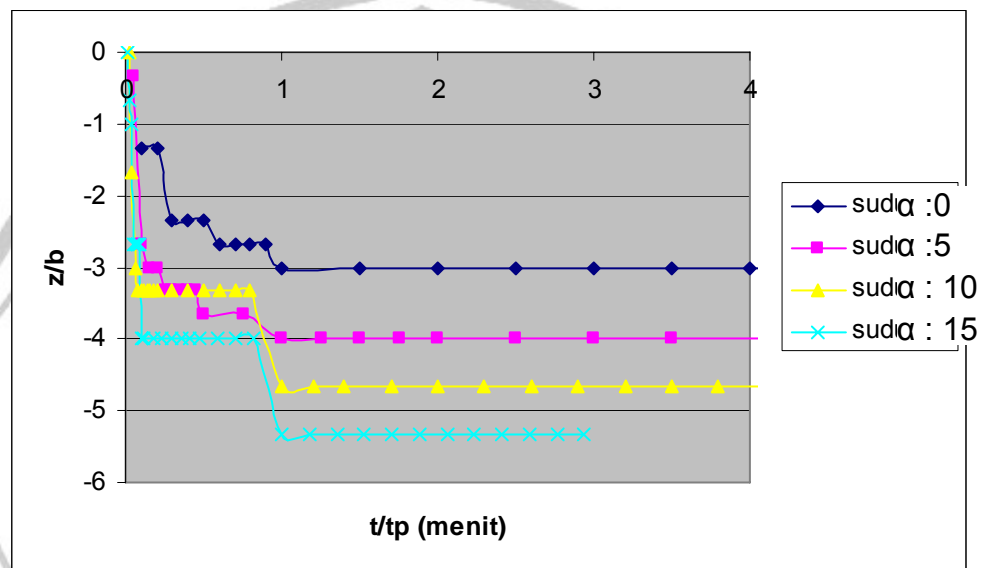
4.3.2 Perkembangan Kedalaman Gerusan Maksimum terhadap Waktu pada Pilar *Lenticular*

Dari Gambar 24 sampai dengan Gambar 30 dapat diketahui besarnya kedalaman gerusan maksimum yang terjadi pada masing-masing sudut pilar seperti yang tersaji pada Gambar 32 berikut ini.



Gambar 32. Perkembangan kedalaman gerusan maksimum terhadap waktu pada pilar *lenticular*

Sedangkan dari masing-masing perkembangan kedalaman gerusan maksimum yang ada pada berbagai sudut pilar, dapat diketahui t_p (t pada saat waktu puncak mulai terjadi gerusan maksimum). Sehingga dapat diketahui perbedaan t_p puncak dari berbagai sudut pilar yang ada, seperti yang tersaji pada Gambar 33 berikut ini.



Gambar 33. Perkembangan kedalaman gerusan maksimum pilar *lenticular* terhadap waktu pada saat t_p puncak

Tabel 4. Kedalaman gerusan pada saat waktu puncak

Sudut Pilar (α)	Kedalaman Gerusan (ds/b)	Waktu Puncak (t_p)
0	0.90	10
5	0.12	20
10	0.14	70
15	0.16	85

(Sumber: Hasil penelitian)

Keterangan : Waktu puncak berubah-ubah tergantung sudut pilar

Dari Gambar 33 dapat dilihat bahwa gerusan yang terjadi pada semua pilar *lenticular* di berbagai sudut terlihat mengalami peningkatan kedalaman gerusan yang pada awalnya besar kemudian semakin lama penambahan kedalaman gerusannya 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 pilar *lenticular* dengan sudut pilar untuk masing-masing pilar terlihat bahwa gerusan awal yang terjadi pada umumnya dimulai dari sisi samping pilar bagian depan. Kedalaman gerusan awal maksimum terjadi pada sisi pilar bagian depan di titik pengamatan 12.

Dari Gambar 33 dapat dilihat bahwa dari berbagai sudut pilar yang ada terdapat perbedaan waktu puncak pada saat gerusan mulai mencapai kedalaman maksimum. Waktu puncak mulai terjadinya gerusan maksimum pada masing-masing pilar *lenticular* dengan sudut 0° , 5° , 10° dan 15° secara berturut-turut adalah menit ke 10, 20, 70 dan 85.

Dari grafik ternyata untuk waktu yang sama terjadi perbedaan kedalaman gerusan yang disebabkan oleh perbedaan sudut pilar. Perkembangan kedalaman gerusan terhadap sudut pilar terbesar terjadi pada pilar *lenticular* dengan sudut pilar 15° . Perkembangan kedalaman gerusan terhadap sudut pilar terkecil terjadi pada pilar *lenticular* dengan sudut 0° . Kedalaman gerusan yang terjadi semakin bertambah seiring dengan bertambahnya atau peningkatan sudut pilar. Hal ini dikarenakan sudut pilar dapat mempengaruhi pola aliran yang terjadi disekitar pilar. Semakin besar sudut pilar yang digunakan, maka kedalaman gerusan yang dihasilkan akan semakin besar.

4.3.3 Pola Gerusan di Sekitar Pilar *Lenticular*

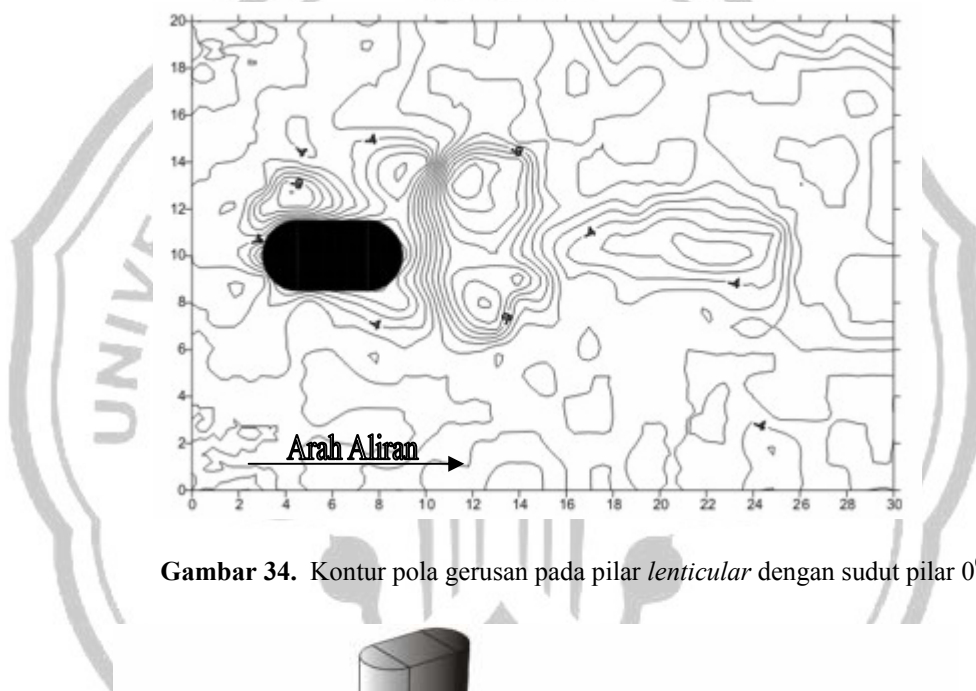
Dari hasil pengamatan proses perkembangan kedalaman gerusan yang dilaksanakan di laboratorium menunjukkan bahwa besarnya kedalaman gerusan bervariasi sesuai dengan sudut masing-masing pilar jembatan. Proses penggerusan dimulai dari ujung pilar sebelah hulu. Lubang gerusan awal kemudian menyebar ke sepanjang sisi pilar dan berhenti sampai jarak tertentu dari sebelah hilir pilar. 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 yang terjadi pada material dasar saluran di sekitar pilar. Pengambilan koordinat kontur yaitu untuk X tegak lurus arah aliran (horisontal), Y searah aliran 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 pilar *lenticular* untuk masing-masing sudut pilar adalah sebagai berikut :

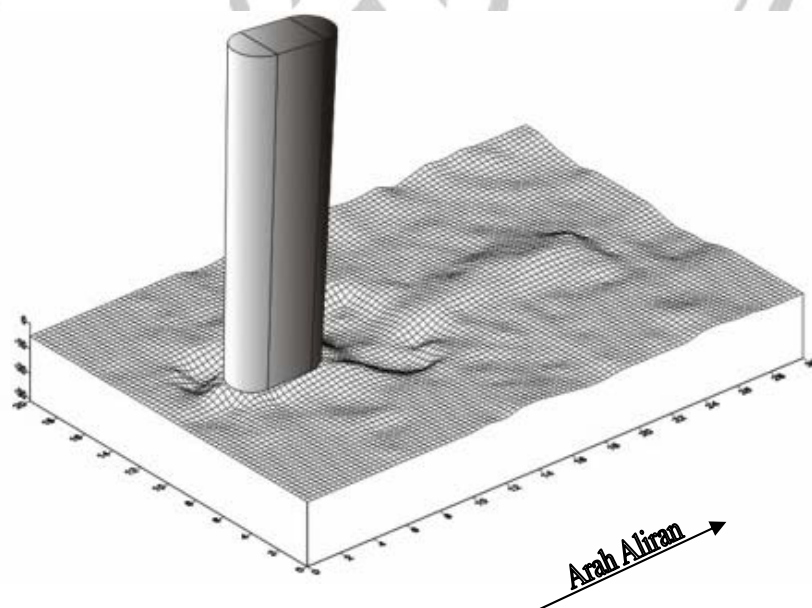
1. Pola Gerusan di Sekitar Pilar *Lenticular* dengan Sudut 0^0

Pengukuran gerusan di sekitar pilar *lenticular* 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 pilar *lenticular* dengan sudut pilar 0° terlihat seperti pada Lampiran 6. Berdasarkan hasil pengukuran *point gauge* kedalaman gerusan di sekitar pilar *lenticular* dengan sudut pilar 0° ditampilkan sebagai kontur gerusan dalam Gambar 34 dan isometri gerusan dalam Gambar 35.



Gambar 34. Kontur pola gerusan pada pilar *lenticular* dengan sudut pilar 0°



Gambar 35. Isometri pola gerusan pada pilar *lenticular* dengan sudut pilar 0°

Pola gerusan pada pilar *lenticular* dengan sudut pilar 0^0 berawal dari aliran yang berasal dari hulu yang terhalang dengan adanya pilar. Hal ini menyebabkan timbulnya pusaran yang terjadi akibat kecepatan aliran yang membentur pilar depan menjadi gaya tekan pada permukaan pilar depan tersebut. Gaya tekan ini menghasilkan aliran bawah (*down flow*) yang mengikis dasar saluran. Pada dasar pilar, aliran bawah ini membentuk pusaran yang pada akhirnya menyapu sekeliling dan bagian bawah pilar dengan memenuhi seluruh aliran. Pusaran yang terjadi dinamakan pusaran tapal kuda (*horseshoe vortex*). Pada permukaan air, interaksi aliran dengan pilar membentuk busur ombak (*bow wave*) yang biasa disebut sebagai gulungan permukaan (*surface roller*).

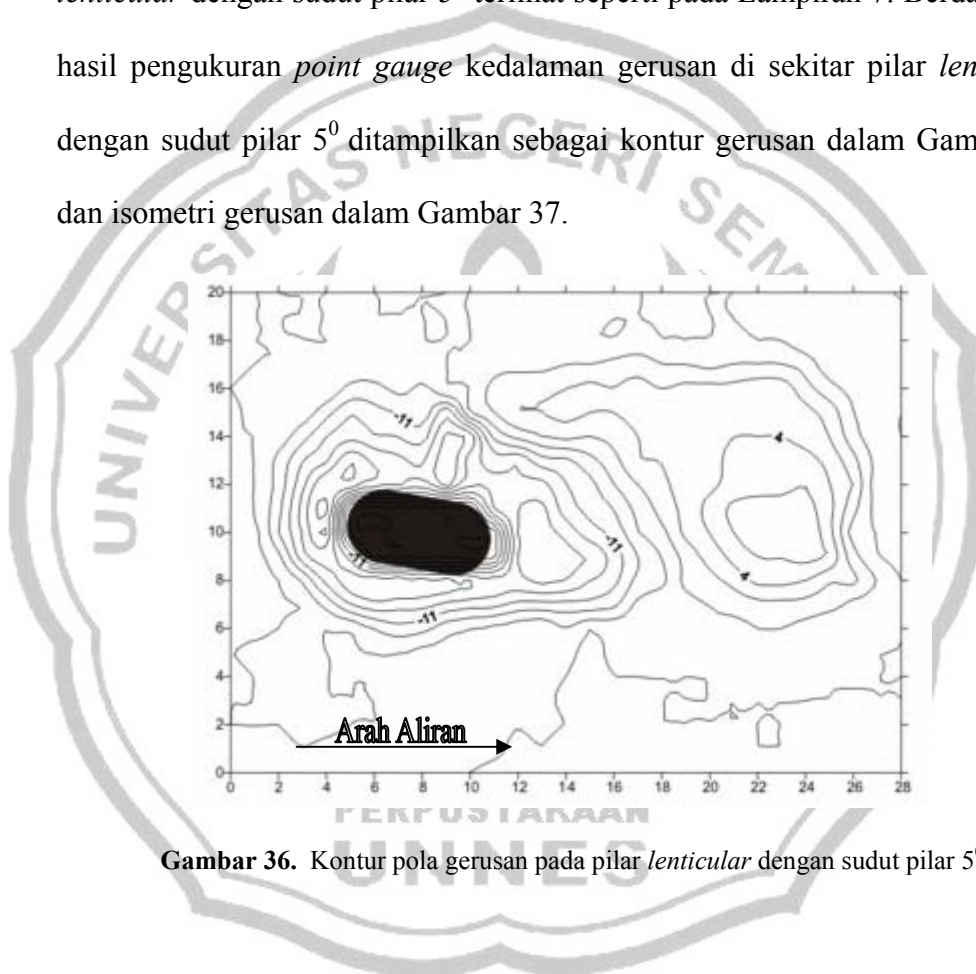
Tegangan geser (*shear stress*) meningkat pada dasar saluran di bagian depan pilar. Karena permukaan material dasar saluran mudah tergerus maka lubang gerusan terbentuk disekitar pilar *lenticular*. Fenomena ini menyebabkan terjadinya gerusan lokal (*local scour*) pada pilar *lenticular*.

Dari gambar kontur dan gambar isometri pola gerusan pada pilar *lenticular* dengan sudut pilar 0^0 yang ditunjukkan dalam Gambar 34 dan Gambar 35. Lubang gerusan terjadi dengan jarak 15 mm dari pilar bagian depan dan jarak 80 mm dari pilar bagian belakang. Sedangkan lebar lubang gerusan yang dihasilkan adalah 90 mm. Bentuk kontur yang tidak beraturan dengan perkembangan gerusan terbesar tercapai pada titik pengamatan 2 dan 12 pada sisi samping pilar bagian depan. Perkembangan gerusan terkecil terjadi pada titik pengamatan 7 pada bagian belakang pilar, dimana pada

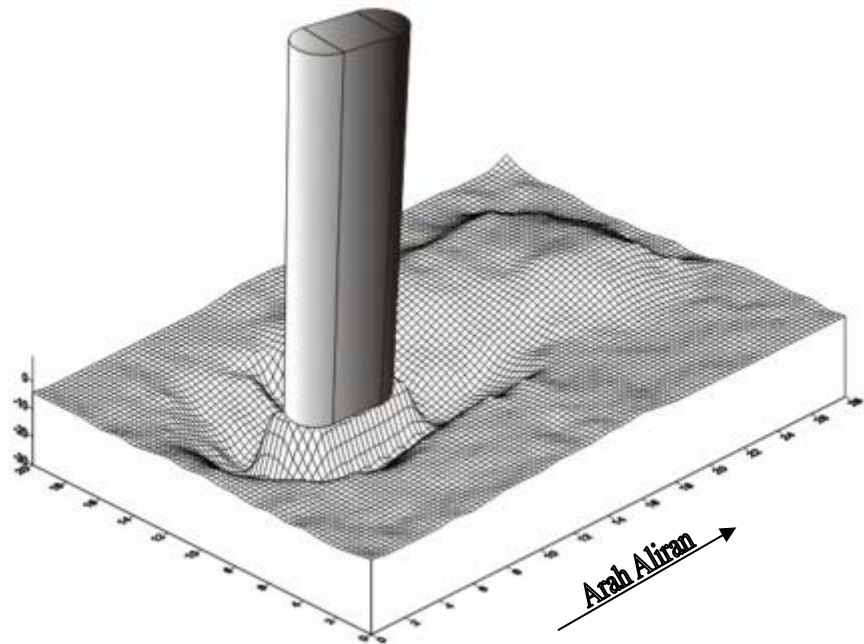
bagian belakang pilar terlihat penumpukan material dasar sedimen yang diakibatkan adanya proses transpor sedimen.

2. Pola Gerusan di Sekitar Pilar Lenticular dengan Sudut 5°

Hasil pengukuran *point gauge* kedalaman gerusan di sekitar pilar *lenticular* dengan sudut pilar 5° terlihat seperti pada Lampiran 7. Berdasarkan hasil pengukuran *point gauge* kedalaman gerusan di sekitar pilar *lenticular* dengan sudut pilar 5° ditampilkan sebagai kontur gerusan dalam Gambar 36 dan isometri gerusan dalam Gambar 37.



Gambar 36. Kontur pola gerusan pada pilar *lenticular* dengan sudut pilar 5°



Gambar 37. Isometri pola gerusan pada pilar *lenticular* dengan sudut pilar 5°

Secara umum, pola gerusan yang terjadi pada pilar *lenticular* dengan sudut pilar 5° relatif sama dengan pola gerusan yang terjadi pada pilar *lenticular* dengan sudut pilar 0° . Berawal dari aliran yang berasal dari hulu yang terhalang dengan adanya pilar *lenticular*. Hal ini menyebabkan timbulnya pusaran yang terjadi akibat kecepatan aliran yang membentur pilar depan menjadi gaya tekan pada permukaan pilar depan tersebut. Pusaran yang menggerus dari bagian depan pilar *lenticular* kemudian menggerus ke samping pilar dan menyebabkan terjadinya gerusan lokal (*local scour*) pada pilar *lenticular*. Gerusan yang terjadi pada pilar *lenticular* dengan sudut 5° ini tentulah berbeda polanya dengan pilar *lenticular* dengan sudut 0° . Karena pusaran yang menggerus bagian samping pilar *lenticular* pada sisi dalam

terbentuknya sudut terhadap arah aliran mengalami gerusan yang lebih besar dibanding dengan sisi pilar *lenticular* pada sisi luar terbentuknya sudut.

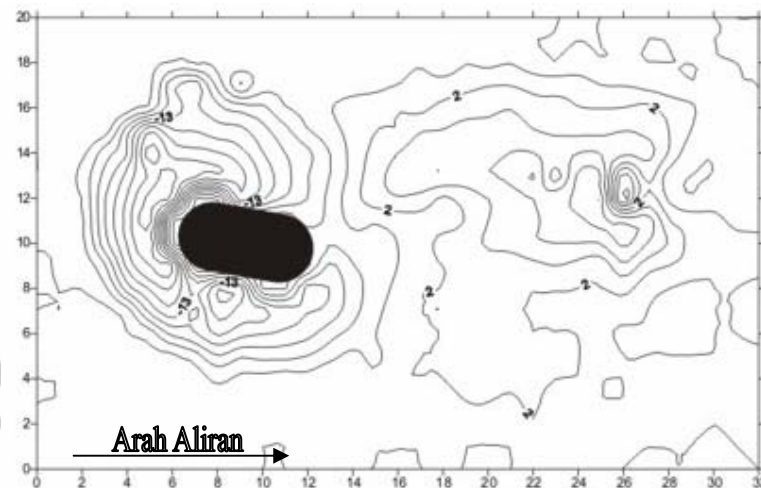
Dari gambar kontur dan gambar isometri pola gerusan pada pilar *lenticular* dengan sudut pilar 5^0 seperti yang ditunjukkan dalam Gambar 35 dan Gambar 36. Lubang gerusan terjadi dengan jarak 30 mm dari pilar bagian depan dan jarak 80 mm dari pilar bagian belakang, sedangkan lebar lubang gerusan yang dihasilkan adalah 100 mm. Bentuk kontur yang tidak beraturan dengan perkembangan gerusan terbesar tercapai pada titik pengamatan 12 pada sisi samping pilar bagian depan. Perkembangan gerusan terkecil terjadi pada titik pengamatan 7 pada bagian belakang pilar, dimana pada bagian belakang pilar terlihat penumpukan material dasar sedimen yang diakibatkan adanya proses transpor sedimen.

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 hulu pilar lebih besar dibandingkan dengan pada bagian hilir pilar. Dengan pola kedalaman gerusan yang terjadi, pada pilar *lenticular* dengan pilar 5^0 terlihat lebih besar dari pada pilar *lenticular* dengan sudut pilar 0^0 .

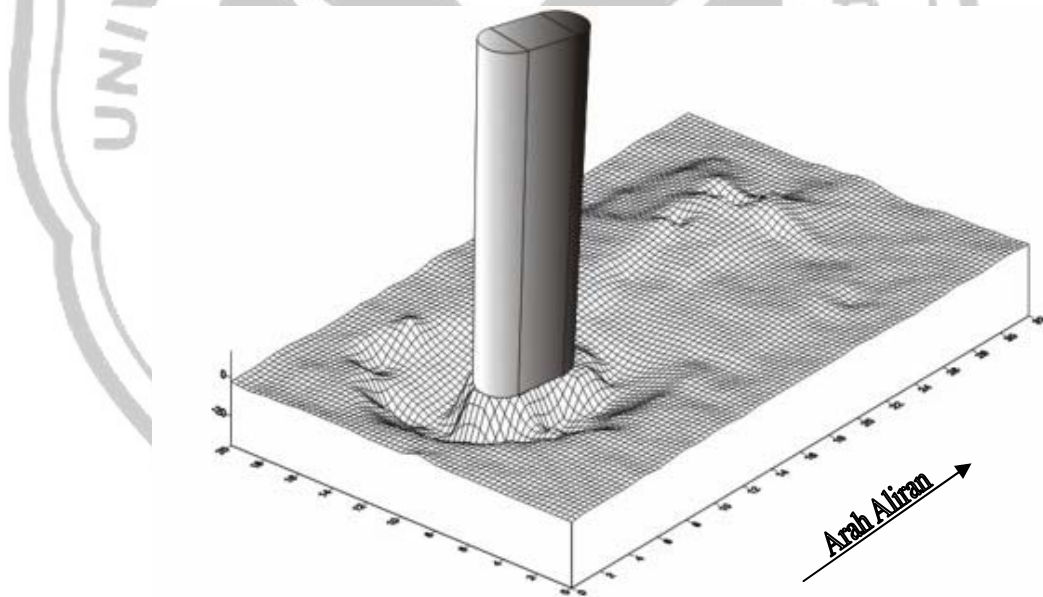
3. Pola Gerusan di Sekitar Pilar Lenticular dengan Sudut 10^0

Hasil pengukuran *point gauge* kedalaman gerusan di sekitar pilar *lenticular* dengan sudut pilar 10^0 terlihat seperti pada Lampiran 8. Berdasarkan hasil pengukuran *point gauge* kedalaman gerusan di sekitar pilar

lenticular dengan sudut pilar 10^0 ditampilkan sebagai kontur gerusan dalam Gambar 38 dan isometri gerusan dalam Gambar 39.



Gambar 38. Kontur pola gerusan pada pilar *lenticular* dengan sudut pilar 10^0



Gambar 39. Isometri pola gerusan pada pilar *lenticular* dengan sudut pilar 10^0

Pola gerusan yang terjadi pada pilar *lenticular* dengan sudut pilar 10^0 relatif sama dengan pola gerusan yang terjadi pada pilar *lenticular* dengan sudut pilar 5^0 . Berawal dari aliran yang berasal dari hulu yang terhalang dengan adanya pilar *lenticular*. Hal ini menyebabkan timbulnya pusaran yang

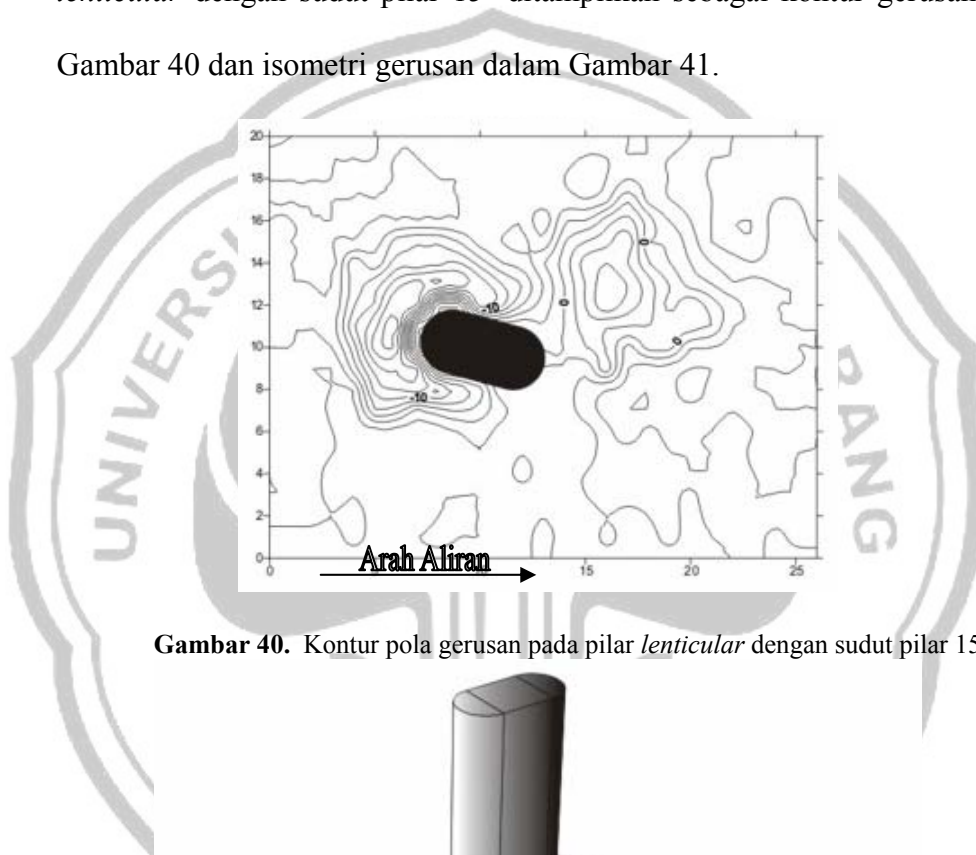
terjadi akibat kecepatan aliran yang membentur pilar depan menjadi gaya tekan pada permukaan pilar depan tersebut. Pusaran yang menggerus dari bagian depan pilar *lenticular* kemudian menggerus ke samping pilar dan menyebabkan terjadinya gerusan lokal (*local scour*) pada pilar *lenticular*.

Dari gambar kontur dan gambar isometri pola gerusan pada pilar *lenticular* dengan sudut pilar 10^0 seperti yang ditunjukkan dalam Gambar 38 dan Gambar 39. Lubang gerusan terjadi dengan jarak 40 mm dari pilar bagian depan dan jarak 160 dari pilar bagian belakang, sedangkan lebar lubang gerusan yang dihasilkan adalah 140 mm. Bentuk kontur yang tidak beraturan dengan perkembangan gerusan terbesar tercapai pada titik pengamatan 12 pada sisi samping pilar bagian depan. Perkembangan gerusan terkecil terjadi pada titik pengamatan 7 dan 8 pada bagian belakang pilar, dimana pada bagian belakang pilar terlihat penumpukan material dasar sedimen yang diakibatkan adanya proses transpor sedimen.

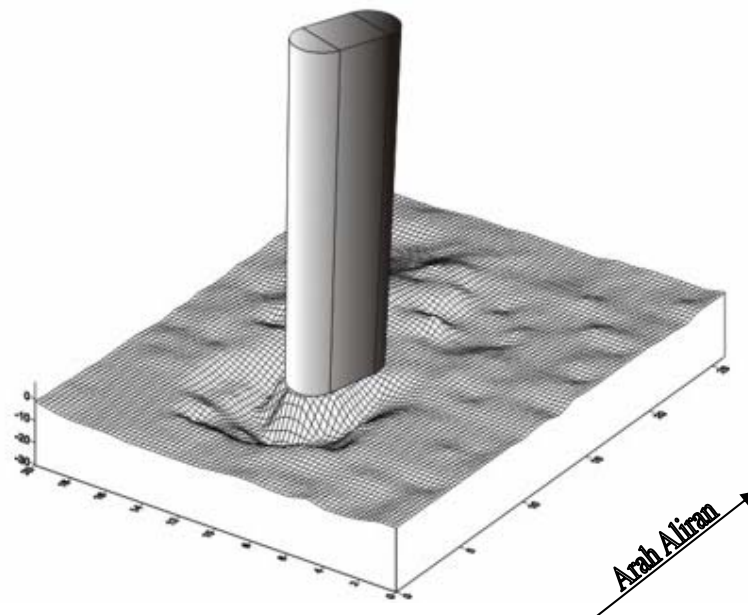
Dari peta kontur yang didapat terlihat bahwa permukaan-permukaan dasar saluran yang terjadi karena penggerusan membentuk suatu pola gerusan yang khas yaitu berupa lubang dengan diameter dan kedalaman yang cukup besar, dimana lubang gerusan di bagian hulu pilar lebih besar dibandingkan dengan pada bagian hilir pilar. Dengan pola kedalaman gerusan yang terjadi, pada pilar *lenticular* dengan sudut pilar 10^0 terlihat lebih besar dari pada pilar *lenticular* dengan sudut pilar 5^0 .

4. Pola Gerusan di Sekitar Pilar Lenticular dengan Sudut 15°

Hasil pengukuran *point gauge* kedalaman gerusan di sekitar pilar *lenticular* dengan sudut pilar 10° terlihat seperti pada Lampiran 9. Berdasarkan hasil pengukuran *point gauge* kedalaman gerusan di sekitar pilar *lenticular* dengan sudut pilar 15° ditampilkan sebagai kontur gerusan dalam Gambar 40 dan isometri gerusan dalam Gambar 41.



Gambar 40. Kontur pola gerusan pada pilar *lenticular* dengan sudut pilar 15°



Gambar 41. Isometri pola gerusan pada pilar *lenticular* dengan sudut pilar 15°

Pola gerusan yang terjadi pada pilar *lenticular* dengan sudut pilar 15° relatif sama dengan pola gerusan yang terjadi pada pilar *lenticular* dengan sudut pilar 10° . Berawal dari aliran yang berasal dari hulu yang terhalang dengan adanya pilar *lenticular*. Hal ini menyebabkan timbulnya pusaran yang terjadi akibat kecepatan aliran yang membentur pilar depan menjadi gaya tekan pada permukaan pilar depan tersebut. Pusaran yang menggerus dari bagian depan pilar *lenticular* kemudian menggerus ke samping pilar dan menyebabkan terjadinya gerusan lokal (*local scour*) pada pilar *lenticular*.

Dari gambar kontur dan gambar isometri pola gerusan pada pilar *lenticular* dengan sudut pilar 15° seperti yang ditunjukkan dalam Gambar 40 dan Gambar 41. Lubang gerusan terjadi dengan jarak 50 mm dari pilar bagian depan dan jarak 100 mm dari pilar bagian belakang, sedangkan lebar lubang gerusan yang dihasilkan adalah 110 mm. Bentuk kontur yang tidak beraturan dengan perkembangan gerusan terbesar tercapai pada titik pengamatan 12 pada sisi samping pilar bagian depan. Perkembangan gerusan terkecil terjadi pada titik pengamatan 7 dan 8 pada bagian belakang pilar, dimana pada bagian belakang pilar terlihat penumpukan material dasar sedimen yang diakibatkan adanya proses transpor sedimen.

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 hulu pilar lebih besar dibandingkan dengan pada bagian hilir pilar. Dengan pola kedalaman gerusan yang

terjadi, pada pilar *lenticular* dengan sudut pilar 15^0 terlihat lebih besar dari pada pilar *lenticular* dengan sudut pilar 10^0 .

4.3.4 Pengaruh Sudut Pilar Terhadap Kedalaman Gerusan

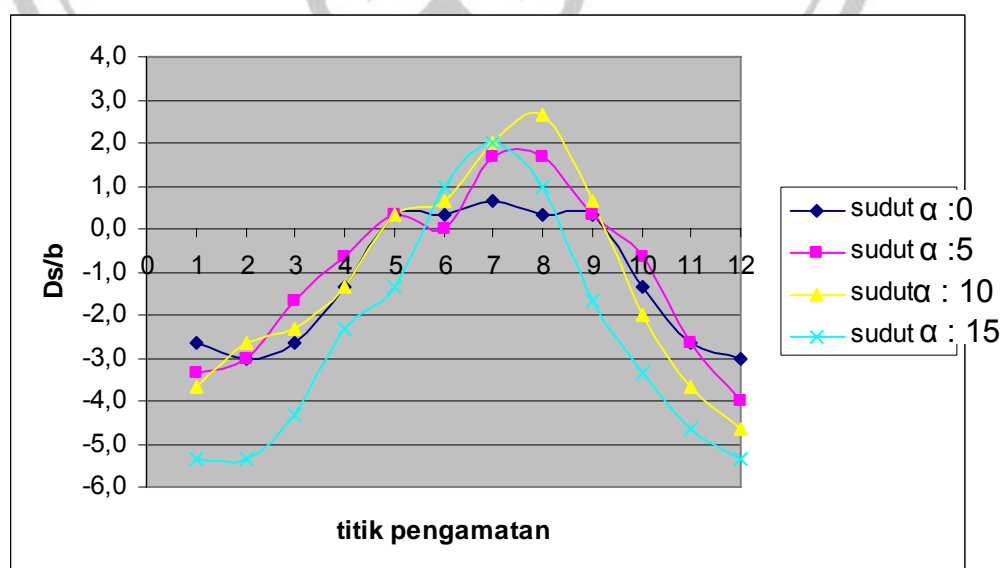
Perbandingan kedalaman gerusan maksimum terhadap sudut pilar pada tiap sudut pilar seperti terlihat dalam Tabel 5 berikut ini.

Tabel 5. Kedalaman gerusan maksimum di sekitar pilar *lenticular* sebagai fungsi sudut pilar

sudut Pilar (α)	Kedalaman Gerusan Ds/b Titik Pengamatan											
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12
0	-2,7	-3,0	-2,7	-1,3	0,3	0,3	0,7	0,3	0,3	-1,3	-2,7	-3,0
5	-3,3	-3,0	-1,7	-0,7	0,3	0,0	1,7	1,7	0,3	-0,7	-2,7	-4,0
10	-3,7	-2,7	-2,3	-1,3	0,3	0,7	2,0	2,7	0,7	-2,0	-3,7	-4,7
15	-5,3	-5,3	-4,3	-2,3	-1,3	1,0	2,0	1,0	-1,7	-3,3	-4,7	-5,3

(Sumber : Hasil penelitian)

Berdasarkan Tabel 5 hasil pengukuran kedalaman gerusan maksimum di sekitar pilar *lenticular* dengan berbagai sudut pilar ditampilkan dalam grafik hubungan kedalaman gerusan maksimum pada pilar *lenticular* sebagai fungsi sudut pilar, seperti terlihat dalam Gambar 42.



Gambar 42. Kedalaman gerusan maksimum pada pilar *lenticular* sebagai fungsi sudut pilar

Dari gambar kontur dan gambar isometri pola gerusan pada pilar *lenticular* mulai dari Gambar 34 sampai Gambar 41, serta dari gambar kedalaman gerusan maksimum sebagai fungsi sudut pilar seperti terlihat pada Gambar 42. Pola gerusan yang terjadi pada semua pilar *lenticular* dengan berbagai sudut pilar relatif sama. Kedalaman gerusan maksimum dari semua pilar *lenticular* terjadi pada sudut pilar 15° titik pengamatan 12. Sedangkan kedalaman gerusan minimum dari semua pilar *lenticular* terjadi pada sudut pilar 0° . Kedalaman gerusan yang terjadi semakin bertambah seiring dengan bertambahnya atau peningkatan sudut pilar. Nilai kedalaman gerusan maksimum terhadap sudut pilar pada pilar *lenticular* dengan sudut 0° , 5° , 10° dan 15° secara berturut-turut adalah 9 mm, 12 mm, 14 mm dan 16 mm.

Pola gerusan disekitar pilar *lenticular* dengan berbagai sudut pilar menunjukkan adanya pendangkalan kedalaman gerusan seiring dengan peningkatan sudut pilar pada pilar *lenticular*, dimana pada bagian belakang pilar terlihat penumpukan material dasar sedimen yang diakibatkan adanya proses transpor sedimen. Dari Gambar 42 di atas ternyata terjadi perbedaan pola kedalaman gerusan yang disebabkan oleh perbedaan sudut pilar. Hal ini dikarenakan sudut pilar mempengaruhi besarnya kedalaman proses penggerusan.

4.4 Perhitungan Empiris Kedalaman Gerusan Lokal

1. Karakteristik Aliran

Data parameter aliran :

$$B = 0.20 \text{ m}$$

$$h = 0.10 \text{ m}$$

$$Q = 3.56 \text{ liter/s}$$

$$d_{50} = 0.49 \text{ mm}$$

$$Gs = 2.99$$

Menghitung kecepatan :

$$U = \frac{Q}{A} = \frac{Q}{Bh} = \frac{0.00356}{0.20 \times 0.10} = 0.178 \text{ m/s}$$

Menghitung angka Reynolds :

$$Re = \frac{Uh}{\nu} = \frac{0.178 \times 0.10}{10^{-6}} = 17800 \rightarrow Re > 1000 \text{ disebut aliran turbulen}$$

Menghitung angka Froude :

$$Fr = \frac{U}{\sqrt{gh}} = \frac{0.178}{\sqrt{9.81 \times 0.10}} = 0.17972 \rightarrow Fr < 1 \text{ disebut aliran sub kritis}$$

Menghitung jari-jari Hidraulis :

$$A = Bh$$

$$P = B + 2h$$

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

Menghitung koefisien Manning :

$$n = \frac{d_{50}^{\frac{1}{6}}}{21.1} = \frac{0.00049^{\frac{1}{6}}}{21} = 0.0134$$

Menghitung kemiringan saluran :

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

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

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

$$S = \left(\frac{Uxn}{R^{\frac{2}{3}}} \right)^2 = \left(\frac{0.178 \times 0.0134}{0.05^{\frac{2}{3}}} \right)^2 = 0.00031$$

Menghitung selisih massa relatif :

$$\Delta = \frac{\rho_s - \rho}{\rho} = G_s - 1 = 2990 - 1000 = 1990$$

Menghitung tegangan geser :

$$\tau_0 = \rho \cdot g \cdot h \cdot S = 1000 \times 9,81 \times 0.10 \times 0.00031 = 0.30411 \text{ N/m}^2$$

Menghitung kecepatan geser :

$$u_* = \left(\frac{\tau_0}{\rho} \right)^{0.5} = \left(\frac{0.30411}{1000} \right)^{0.5} = 0.0174 \text{ m/s}$$

Berdasarkan grafik Shield untuk $d_{50} = 0.497$ dan $u_* = 0.0174$ didapat koefisien Shield (θ_c) = 0.04

Persamaan Shield:

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

Menghitung tegangan geser kritis

$$\tau_c = \theta_c \cdot g \cdot \Delta \cdot d = 0.04 \times 9.81 \times 1990 \times 0.00049 = 0.383 \text{ N/m}^2$$

Menghitung kecepatan geser kritis

$$u_{*c} = \sqrt{\theta_c \cdot g \cdot \Delta \cdot d} = \sqrt{0.04 \times 9.81 \times 1990 \times 0.00049} = 0.619 \text{ m/s}$$

dimana $\tau_c > \tau_0$

$$u_{*c} > u_* \text{ (butiran bergerak)}$$

Sehingga analisis didasarkan pada persamaan *clear water scour*, akan tetapi jika ditinjau rasio kecepatan aliran yang terjadi yaitu kecepatan aliran permukaan dan kecepatan aliran kritik, maka analisisnya adalah :

$$U_c = u_{*c} \left(5,75 \log \left(\frac{h}{2 \cdot d_{50}} \right) + 6 \right) = 0.619 \left(5,75 \log \left(\frac{0.10}{2 \times 0.00049} \right) + 6 \right) \\ = 10,864 \text{ m/s}$$

Dari hasil tersebut diatas bahwa $U_c = 10,864 \text{ m/s}$ dan $U = 0.178 \text{ m/s}$ sehingga $U_c > U$ untuk $U/U_c = 0.016 < 1,0$ yang berarti proses transportasi sedimen belum terjadi.

Menghitung standar deviasi geometrik :

$$\sigma_g = \left(\frac{d_{84}}{d_{50}} \right)^{0,5} = \left(\frac{1.45}{0.49} \right)^{0,5} = 1.72$$

Dari Gambar 10 hubungan diameter ukuran butiran material dasar dengan koefisien simpangan baku ($K\sigma$) fungsi standar deviasi geometri ukuran butir (σ_g) pada $1 > u^*/u_{*c} \geq 0.8$, di dapat nilai $K\sigma = 0.77$

Koefisien bentuk pilar (K_s) dapat dicari dari Tabel 1. Untuk pilar *lenticular* $K_s = 0,8$

Untuk koefisien arah sudut aliran (K_α) digunakan rumus:

$$K_\alpha = (\cos \alpha + 1/b \sin \alpha)^{0,62}$$

Tabel 6. Nilai Koefisien arah sudut aliran (K_α) pada $\alpha: 0^0, 5^0, 10^0$ dan 15^0

No	Sudut Pilar terhadap arah aliran (α)	Panjang pilar (l) dalam cm	Lebar pilar (b) dalam cm	K_α
1	0^0	6	3	1
2	5^0	6	3	1,103
3	10^0	6	3	1,195
4	15^0	6	3	1,277

$$\text{Nilai } \frac{b}{d_{50}} = \frac{30}{0.49} = 61,225$$

Dari nilai dapat dicari koefisien ukuran butiran (K_{dt}) = 0.98 pada Gambar 12

$$\text{Dari nilai } \frac{y_0}{b} = \frac{100}{15} = 6,667 \text{ dapat dicari Koefisien kedalaman aliran}$$

(K_d) = 1.0 pada Gambar 13.

2. Kedalaman Gerusan Lokal Menurut Persamaan Raudkivi (1991)

a. Pilar *lenticular* dengan sudut 0^0 terhadap arah aliran

Kedalaman gerusan lokal :

$$\frac{y}{b} = 2,3K_\sigma K_s K_\alpha K_{dt} K_d = 2,3 \times 0,77 \times 0,8 \times 1 \times 0,98 \times 1,0 = 1.3885$$

b. Pilar *lenticular* dengan sudut 5^0 terhadap arah aliran

Kedalaman gerusan lokal :

$$\frac{y}{b} = 2,3K_\sigma K_s K_\alpha K_{dt} K_d = 2,3 \times 0,77 \times 0,8 \times 1,103 \times 0,98 \times 1,0 = 1.5315$$

c. Pilar *lenticular* dengan sudut 10^0 terhadap arah aliran

Kedalaman gerusan lokal :

$$\frac{y}{b} = 2,3K_{\sigma}K_sK_{\alpha}K_{dt}K_d = 2,3 \times 0,77 \times 0,8 \times 1,195 \times 0,98 \times 1,0 = 1,6592$$

d. Pilar *lenticular* dengan sudut 15^0 terhadap arah aliran

Kedalaman gerusan lokal :

$$\frac{y}{b} = 2,3K_{\sigma}K_sK_{\alpha}K_{dt}K_d = 2,3 \times 0,77 \times 0,8 \times 1,277 \times 0,98 \times 1,0 = 1,7731$$

3. Kedalaman Gerusan Lokal Menurut Persamaan Melville dan Satherland (1988)

Karena nilai (U/U_c) : $0,687 < 1$ maka nilai $KI = 2,4x(U/U_c)$

$$KI = 2,4 \times 0,687 = 1,6488$$

Dengan rumus $Y_{se} = KIK_{\alpha}K_dK_{dt}K_sK_{\sigma}$, dapat dihitung ;

a. Pilar *lenticular* dengan sudut 0^0 terhadap arah aliran

Kedalaman gerusan lokal :

$$\frac{y}{b} = 1,6488K_{\sigma}K_sK_{\alpha}K_{dt}K_d = 1,6488 \times 0,77 \times 0,8 \times 1 \times 0,98 \times 1,0 = 0,99535$$

b. Pilar *lenticular* dengan sudut 5^0 terhadap arah aliran

Kedalaman gerusan lokal :

$$\frac{y}{b} = 1,6488K_{\sigma}K_sK_{\alpha}K_{dt}K_d = 1,6488 \times 0,77 \times 0,8 \times 1,103 \times 0,98 \times 1,0 = 1,09787$$

c. Pilar *lenticular* dengan sudut 10^0 terhadap arah aliran

Kedalaman gerusan lokal :

$$\frac{y}{b} = 1,6488K_{\sigma}K_sK_{\alpha}K_{dt}K_d = 1,6488x0,77x0,8x1,195x0,98x1,0 = 1,18944$$

d. Pilar *lenticular* dengan sudut 15° terhadap arah aliran

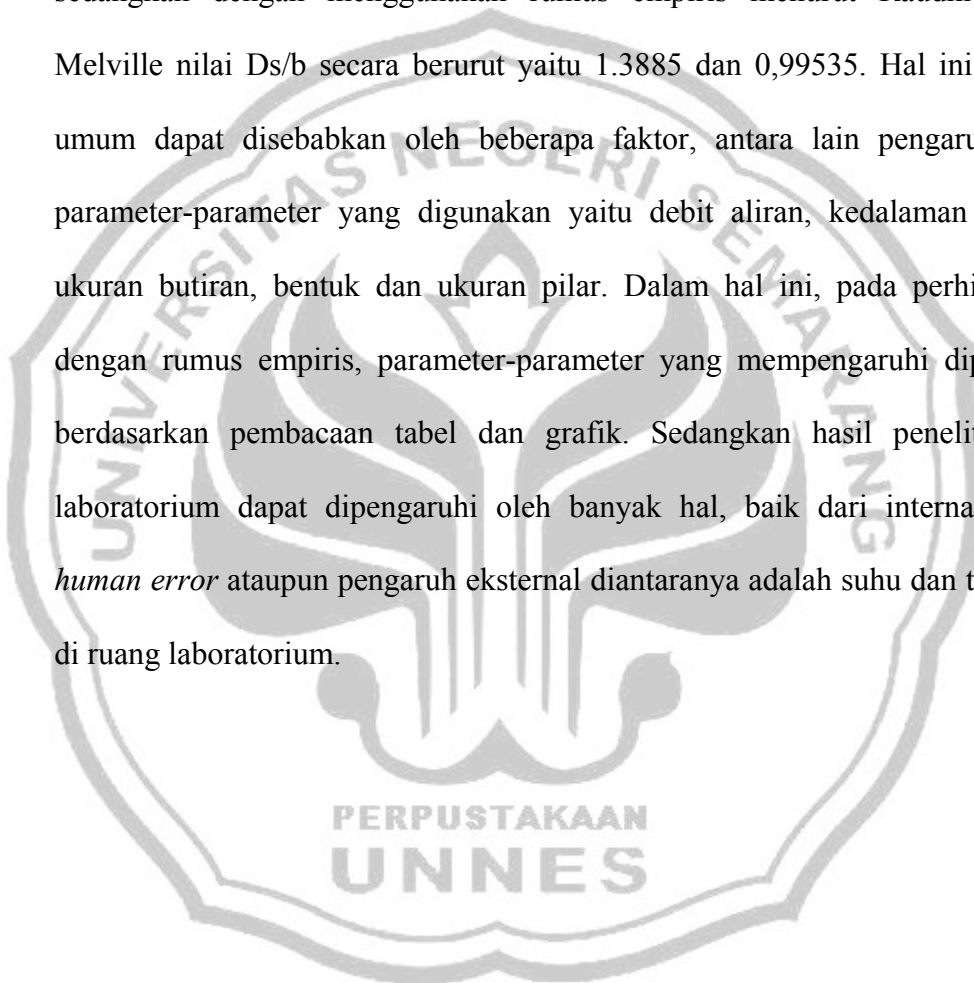
Kedalaman gerusan lokal :

$$\frac{y}{b} = 1,6488K_{\sigma}K_sK_{\alpha}K_{dt}K_d = 1,6488x0,77x0,8x1,277x0,98x1,0 = 1,27044$$

Tabel 7. Perbandingan hasil penelitian dengan penelitian sebelumnya

Peneliti	Karakteristik aliran	Jenis Pilar	Ds/b (uji lab)	Ds/b (pers.empiris)	
				Raudkivi	Melville
Aisyah, S (2004)	Q = 7 lt/s h = 0.085 m d ₅₀ = 0.74 mm Gs = 2.83	Pilar Silinder dengan diameter (b) = 40 mm	1.33	-	-
Setyaningrum , RM (2003)	Q = 7 lt/s h = 0.10 m d ₅₀ = 0.70 mm Gs = 2.83	Pilar Silinder dan tirai dgn diameter (b) = 80 mm	0.56	-	-
Yanuar, A (2005)	Q = 4.5 lt/s h = 0.065 m d ₅₀ = 0.43 mm Gs = 2.81	Pilar Silinder dengan diameter (b) = 40 mm	0.77	-	-
Agustina, AS (2006)	Q = 3.54 lt/s h = 0.090 m d ₅₀ = 0.39 mm Gs = 2.46	Pilar Silinder dengan diameter : 1. b = 21.95 mm 2. b = 26.25 mm 3. b = 32.95 mm 4. b = 41.75 mm 5. b = 47.50 mm	0.32 0.34 0.33 0.38 0.42	-	-
Gunawa, H.A. (2006)	Q = 3.85 lt/s h = 0.090 m d ₅₀ = 0.77 mm Gs = 2.99	Pilar Segiempat dengan lebar : 1. b = 15 mm 2. b = 22.5 mm 3. b = 30 mm 4. b = 37.5 mm 5. b = 45 mm	0.60 0.62 0.63 0.64 0.64	1.76 1.77 1.78 1.80 1.80	-
Hasil Penelitian di lab.	Q = 3.56 lt/s h = 0.10 m d ₅₀ = 0.49 mm Gs = 2.99	Pilar <i>lenticular</i> dengan variasi sudut terhadap arah aliran : 1. α = 0° 2. α = 5° 2. α = 10° 2. α = 15°	 0.30 0.40 0.47 0.53	 1.3885 1.5315 1.6592 1.7731	 0.99535 1.09787 1.18944 1.27044

Berdasarkan Tabel 7 di atas terlihat bahwa hasil perhitungan kedalaman gerusan dengan menggunakan rumus empiris dan hasil penelitian di laboratorium diperoleh perbedaan yang cukup signifikan. Dapat dilihat dari hasil penelitian di laboratorium pada sudut $\alpha : 0^\circ$ besarnya $Ds/b = 0,3$ sedangkan dengan menggunakan rumus empiris menurut Raudkivi dan Melville nilai Ds/b secara berurut yaitu 1.3885 dan 0,99535. Hal ini secara umum dapat disebabkan oleh beberapa faktor, antara lain pengaruh dari parameter-parameter yang digunakan yaitu debit aliran, kedalaman aliran, ukuran butiran, bentuk dan ukuran pilar. Dalam hal ini, 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, baik dari internal yaitu *human error* ataupun pengaruh eksternal diantaranya adalah suhu dan tekanan di ruang laboratorium.



BAB V

KESIMPULAN DAN SARAN

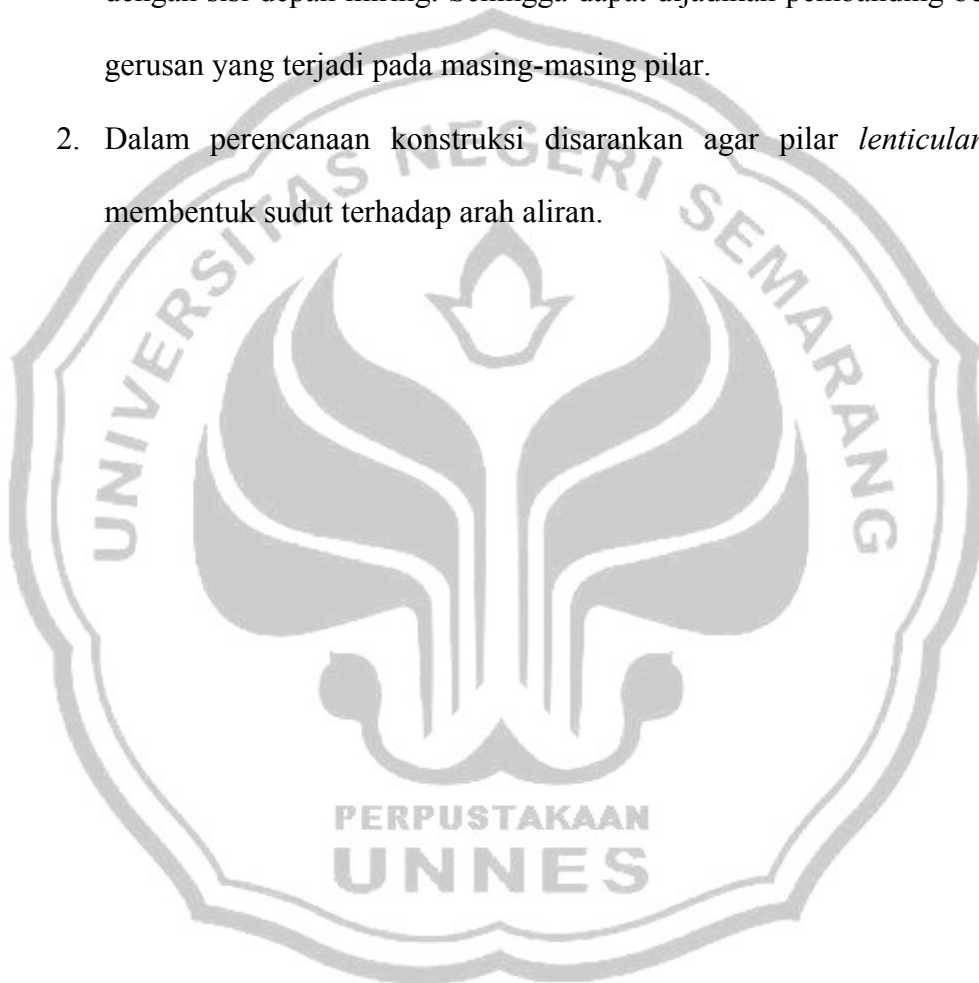
5.1 Kesimpulan

Hasil yang didapat dari penelitian gerusan pada pilar *lenticular* dengan berbagai variasi sudut pilar terhadap arah aliran ini adalah:

1. Penambahan kedalaman gerusan pada menit-menit awal terjadi secara cepat pada berbagai sudut pilar.
2. Salah satu faktor yang mempengaruhi besar kecilnya gerusan di sekitar pilar *lenticular* adalah sudut pilar terhadap arah aliran.
3. Gerusan terbesar pada pilar *lenticular* dengan berbagai variasi sudut pilar terhadap arah aliran terjadi pada bagian hulu pilar pada titik pengamatan 12. Kedalaman gerusan maksimum dari semua pilar *lenticular* terjadi pada pilar sudut 15^0 , sedangkan kedalaman gerusan minimum dari semua pilar *lenticular* terjadi pada pilar sudut 0^0 .
4. Kedalaman gerusan semakin bertambah seiring dengan bertambahnya sudut pilar terhadap arah aliran.
5. Nilai kedalaman gerusan maksimum pada pilar *lenticular* dengan sudut 0^0 , 5^0 , 10^0 dan 15^0 secara berturut-turut adalah 9 mm, 12 mm, 14 mm dan 16 mm.

Saran

1. Dilaksanakannya penelitian lanjutan mengenai pengaruh arah aliran terhadap gerusan lokal disekitar pilar dengan bentuk pilar yang berbeda. Seperti pilar persegi, persegi dengan ujung setengah lingkaran, persegi dengan sisi depan miring. Sehingga dapat dijadikan pembanding besarnya gerusan yang terjadi pada masing-masing pilar.
2. Dalam perencanaan konstruksi disarankan agar pilar *lenticular* tidak membentuk sudut terhadap arah aliran.



DAFTAR PUSTAKA

- Aisyah, S. 2004. *Pola Gerusan Lokal di Berbagai Bentuk Pilar Akibat Adanya Variasi Debit*. Tugas Akhir. Yogyakarta : UGM
- Breuser. H.N.C. and Raudkivi. A.J. 1991. *Scouring*. IAHR Hydraulic Structure Design Manual. Rotterdam : AA Balkema.
- Chow, V.T. 1985. *Hidraulika Saluran Terbuka*. Jakarta : Erlangga
- Garde, R.J and Raju K.G.R. 1997. *Mechanics Of Sediment Transportation and Alluvial Stream Problem*. New Delhi : Willy Limited
- Gunawan, H.A. 2006. *Pengaruh Lebar Pilar Segiempat Terhadap Perilaku Gerusan Lokal*. Skripsi. Semarang : UNNES
- Hanwar, S. 1991. *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
- Pamularso, A. 2006. *Pengaruh Bentuk Pilar Terhadap Perilaku Gerusan Lokal*. Skripsi. Semarang : UNNES
- Prasetya, S.P. 2001. *Model Pengendalian Gerusan Lokal Akibat Aliran Subkritik di Hilir Pintu Air*. Tesis. Yogyakarta : PPS UGM
- Indra, Purwo. 2000. *Pola Gerusan Lokal pada Pilar Jembatan dengan Variasi Sudut Posisi Pilar terhadap Arah Arus*. Tugas Akhir. Surakarta:UMS
- Rangga Raju, K.G. 1986. *Aliran Melalui Saluran Terbuka*. Jakarta : Erlangga
- Setianingrum, R.M. 2003. *Efektifitas Penanganan Gerusan Lokal di Sekitar Pilar Pada Kondisai Live-Bed Scour*. TA. Yogyakarta : 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

DOKUMENTASI PENELITIAN



Point gauge



Pintu Air



Pengatur Debit



Recirculating Sediment Flume



Model Pilar *lenticular*



Hasil Gerusan Pilar *lenticular* sudut 0°



Hasil Gerusan Pilar *lenticular* sudut 0° pada bagian belakang pilar



Hasil Gerusan Pilar *lenticular* sudut 5°



Hasil Gerusan Pilar *lenticular* sudut 5° pada bagian belakang pilar



Hasil Gerusan Pilar *lenticular* sudut 10°



Hasil Gerusan Pilar *lenticular* sudut 10^0 pada bagian belakang pilar



Hasil Gerusan Pilar *lenticular* sudut 10^0



Hasil Gerusan Pilar *lenticular* sudut 10° pada bagian belakang pilar

