

SKRIPSI

**PENGARUH PERUBAHAN VARIASI *COLAR* TERHADAP
GERUSAN LOKAL DI SEKITAR PILAR SECARA
EKSPERIMENTAL**

Disusun dan diajukan oleh:

**ADRIAN BHUWANA ABDI PADANG
D011 20 1118**



**PROGRAM STUDI SARJANA DEPARTEMEN TEKNIK SIPIL
FAKULTAS TEKNIK
UNIVERSITAS HASANUDDIN
GOWA
2024**

LEMBAR PENGESAHAN SKRIPSI

PENGARUH PERUBAHAN VARIASI COLAR TERHADAP GERUSAN LOKAL DI SEKITAR PILAR SECARA EKSPERIMENTAL

Disusun dan diajukan oleh

ADRIAN BHUWANA ABDI PADANG

D011 20 1118

Telah dipertahankan di hadapan Panitia Ujian yang dibentuk dalam rangka Penyelesaian Studi Program Sarjana Program Studi Teknik Sipil
Fakultas Teknik Universitas Hasanuddin
Pada tanggal 4 November 2024
dan dinyatakan telah memenuhi syarat kelulusan

Ketua Program Studi,



Prof. Dr. H. M. Wihardi Tjaronge, ST, M.Eng
NIP: 196805292002121002

Menyetujui,
Pembimbing Utama,



Prof. Dr. Ir. H. M. Saleh Pallu, M.Eng
NIP: 195409101983031003

PERNYATAAN KEASLIAN

Yang bertanda tangan dibawah ini ;

Nama : Adrian Bhuwana Abdi Padang

NIM : D011 20 1118

Program Studi : Teknik Sipil

Jenjang : S1

Menyatakan dengan ini bahwa karya tulisan saya berjudul

{ Pengaruh Perubahan Variasi *Colar* Terhadap Gerusan Lokal Di Sekitar Pilar Secara Eksperimental }

Adalah karya tulisan saya sendiri dan bukan merupakan pengambilan alihan tulisan orang lain dan bahwa skripsi yang saya tulis ini benar-benar merupakan hasil karya saya sendiri.

Semua informasi yang ditulis dalam skripsi yang berasal dari penulis lain telah diberi penghargaan, yakni dengan mengutip sumber dan tahun penerbitannya. Oleh karena itu semua tulisan dalam skripsi ini sepenuhnya menjadi tanggung jawab penulis. Apabila ada pihak manapun yang merasa ada kesamaan judul dan atau hasil temuan dalam skripsi ini, maka penulis siap untuk diklarifikasi dan mempertanggungjawabkan segala resiko.

Segala data dan informasi yang diperoleh selama proses pembuatan skripsi, yang akan dipublikasi oleh Penulis di masa depan harus mendapat persetujuan dari Dosen Pembimbing.

Apabila dikemudian hari terbukti atau dapat dibuktikan bahwa sebagian atau keseluruhan isi skripsi ini hasil karya orang lain, maka saya bersedia menerima sanksi atas perbuatan tersebut.

Gowa, 11 November 2024

Yang Menyatakan



Adrian Bhuwana Abdi Padang

KATA PENGANTAR

Puji syukur kehadiran Allah SWT atas segala rahmat, karunia, serta taufik dan hidayah-Nya, saya dapat menyelesaikan Tugas Akhir yang berjudul “Pengaruh Perubahan Variasi *Colar* Terhadap Gerusan Lokal di Sekitar Pilar Secara Eksperimental” yang merupakan salah satu persyaratan akademik untuk menyelesaikan Program Studi Strata Satu pada Jurusan Sipil Fakultas Teknik Universitas Hasanuddin.

Tidak dapat dipungkiri bahwa dalam pembuatan Tugas Akhir ini masih terdapat banyak kesalahan dan kekurangan. Oleh karena itu, penulis mengharapkan kritik dan saran yang membangun dari pembaca sebagai bahan evaluasi agar kedepannya Tugas Akhir ini dapat Penulis perbaiki dan menjadi lebih baik lagi. Terima kasih yang sebanyak-banyaknya kami haturkan kepada setiap pihak yang telah mendukung serta membantu saya selama proses penyelesaian Tugas Akhir ini, Terkhusus kepada :

1. **Bapak Prof Dr.Eng. Ir. Muhammad Isran Ramli, ST.,MT.,IPM., ASEAN.Eng. .**, selaku Dekan Fakultas Teknik Universitas Hasanuddin.
2. **Bapak Prof. Dr. H. M Wihardi Tjaronge ST., M.Eng.**, selaku Ketua Departemen Teknik Sipil Fakultas Teknik Universitas Hasanuddin.
3. **Bapak Prof. Dr. Ir. H. M. Saleh Pallu, M.Eng.** selaku dosen pembimbing yang telah meluangkan waktunya untuk memberikan bimbingan dan pengarahan mulai dari awal penelitian hingga selesainya penulisan ini.
4. Seluruh dosen Departemen Teknik Sipil Fakultas Teknik Universitas Hasanuddin.
5. Seluruh staf dan karyawan Departemen Teknik Sipil, staf dan karyawan Fakultas Teknik serta staf Laboratorium dan asisten Departemen Teknik Sipil Fakultas Teknik Universitas Hasanuddin.

Yang teristimewa penulis pesembahkan kepada :

1. Kedua orang tua tercinta, yaitu bapak Hendrikus Sinai, dan ibu Reni Limbong atas doa, kasih sayang, dan segala dukungan yang telah diberikan,

Serta kepada seluruh keluarga besar atas dorongan dan segala dukungan selama ini, baik spritiual maupun materi.

2. Saudaraku Ryan Ma'rup Ramadhan yang banyak memberi bantuan dalam pengerjaan skripsi ini. Arti Sahabat akan selalu hidup.
3. Kepada Pak Ahmad dan Pak Erwin yang selama ini membantu dalam penelitian data, doa serta dukungan dalam pengerjaan skripsi ini.
4. Kepada saudara-saudariku GENESIS yang selalu memberikan semangat dan bantuan selama pengerjaan skripsi ini.
5. Kepada seseorang yang special yang selama ini sudah memberikan support dan selalu memberikan dorongan secara langsung untuk menyelesaikan dengan cepat skripsi ini.
6. Saudara-saudariku ENTITAS 2021, yang banyak memberi banyak warna dan kenangan selama masa kuliah. Arti Sahabat akan selalu hidup, *We are the Champion Keep on Fighting Till the End.*

ABSTRAK

ADRIAN BHUWANA ABDI PADANG. PENGARUH PERUBAHAN VARIASI COLAR TERHADAP GERUSAN LOKAL DI SEKITAR PILAR SECARA EKSPERIMENTAL (dibimbing oleh **Prof. Dr. Ir. H. Muh. Saleh Pallu, M.Eng**)

Sungai adalah saluran terbuka yang terbentuk secara alami di muka bumi yang mengalir menurut kondisi permukaan bumi dari mata air melewati beberapa alur sungai menuju ke danau atau laut secara dinamis. Air yang mengalir di dalam sungai akan mengakibatkan penggerusan tanah dasarnya. Proses gerusan dapat terjadi karena adanya perubahan morfologi sungai berupa tikungan dan penyempitan saluran atau adanya bangunan-bangunan air seperti pilar, abutmen, bendung, dan sebagainya.

Selain itu, perubahan pola aliran akibat morfologi sungai terjadi karena adanya halangan yang melintang di sungai berupa bangunan sungai seperti pilar dan abutmen jembatan, krib sungai, pintu air dan sebagainya yang diikuti gerusan lokal disekitar bangunan. Ketika aliran dipisahkan oleh halangan (bangunan) tak bergerak di daerah dasar sungai maka akan berpotensi terjadinya gerusan dan sedimen yang timbul karena adanya akselerasi (percepatan) dan deselerasi (perlambatan) aliran di sekitar halangan.

Fenomena tersebut dapat menyebabkan degradasi dan agradasi di sekitar pilar. Degradasi ini berlangsung secara terus menerus hingga tercapainya keseimbangan antara suplai dengan angkutan sedimen yang saling memperbaiki. Dengan adanya pilar, maka terjadi ketidak seimbangan karena jumlah angkutan sedimen lebih besar dari pada suplai sedimennya. Hal ini menyebabkan semakin dalamnya lubang gerusan (scour hole) pada pilar.

Kata Kunci: Sungai, Gerusan, Pola Aliran

ABSTRACT

ADRIAN BHUWANA ABDI PADANG. *THE EFFECT OF CHANGES IN COLAR VARIATION ON LOCAL SCROLLING AROUND PILLARS EXPERIMENTALLY* (supervised by **Prof. Dr. Ir. H. Muh. Saleh Pallu, M.Eng**)

Rivers are open channels that form naturally on the surface of the earth which flow according to the conditions of the earth's surface from springs through several river channels to dynamically flow to lakes or seas. Water flowing in rivers will cause erosion of the underlying soil. The scouring process can occur due to changes in river morphology in the form of bends and narrowing of channels or the presence of water structures such as pillars, abutments, weirs, and so on.

Apart from that, changes in flow patterns due to river morphology occur due to obstacles across the river in the form of river structures such as bridge pillars and abutments, river cribs, sluice gates and so on, which are followed by local scouring around the buildings. When the flow is separated by an immovable obstacle (building) in the riverbed area, there is the potential for scour and sediment to occur due to acceleration (acceleration) and deceleration (slowing down) of the flow around the obstacle.

This phenomenon can cause degradation and aggradation around the pillars. This degradation occurs continuously until a balance is reached between supply and transport of sediment which improve each other. With the pillars, an imbalance occurs because the amount of sediment transported is greater than the sediment supply. This causes the scour holes in the pillars to deepen.

Keywords: River, Scrolling, Flow Pattern

DAFTAR ISI

LEMBAR PENGESAHAN SKRIPSI	i
PERNYATAAN KEASLIAN	ii
KATA PENGANTAR	iii
ABSTRAK	v
ABSTRACT	vi
DAFTAR ISI	vii
DAFTAR GAMBAR	ix
DAFTAR TABEL	xii
DAFTAR SINGKATAN DAN ARTI SIMBOL.....	xiii
DAFTAR LAMPIRAN	xv
BAB I PENDAHULUAN	16
1.1 Latar Belakang	16
1.2 Rumusan Masalah	19
1.3 Tujuan Penelitian/Perancangan	19
1.4 Manfaat Penelitian/Perancangan.....	19
1.5 Ruang Lingkup/Asumsi perancangan.....	20
BAB II TINJAUAN PUSTAKA	21
2.1 Saluran Terbuka	21
2.2 Perilaku Aliran	25
2.3 Kecepatan Aliran.....	29
2.4 Angka Reynold.....	32
2.5 Pengertian Gerusan.....	34
2.6 Jenis Jenis Gerusan.....	37
2.7 Mekanisme Gerusan	38
2.8 Konsep Kekasaran Permukaan	46
2.9 Faktor yang Mempengaruhi Kedalaman Gerusan.....	49
BAB III METODE PENELITIAN/PERANCANGAN	56
3.1 Lokasi Penelitian	56
3.2 Metode Penelitian.....	56
3.3 Metode Pengumpulan Data	57

	viii
3.4 Alat dan Bahan Penelitian	57
3.4.1 Bahan Penelitian	57
3.5 Prosedur Penelitian.....	62
3.6 Bagan Alir Penelitian	64
BAB IV HASIL DAN PEMBAHASAN.....	66
4.1. Perhitungan Bilangan Froude	66
4.2. Perhitungan Bilangan Reynolds	73
4.3. Pola Gerusan.....	79
4.4. Pengaruh waktu pengaliran terhadap kedalaman gerusan.....	82
4.5. Pengaruh Kecepatan Terhadap Kedalaman Gerusan.....	95
4.6. Pengaruh Perubahan Variasi Colar Terhadap Kedalaman Gerusan	108
4.7. Distribusi Kecepatan	114
BAB V KESIMPULAN DAN SARAN	123
5.1 Kesimpulan.....	123
5.2 Saran.....	123
DAFTAR PUSTAKA.....	125

DAFTAR GAMBAR

Gambar 1. Macam-macam bentuk penampang	23
Gambar 2. Geometri Penampang Persegi dan Trapesium	24
Gambar 3. Klasifikasi Aliran.....	28
Gambar 4. Pola Arus Disekitar Pilar Jembatan Bulat	35
Gambar 5. Kedalaman Gerusan (ds) sebagai Fungsi Kecepatan Geser (u^*). (Breusers dan Raudkivi,1991)	36
Gambar 6. Kedalaman Gerusan (ds) sebagai Fungsi Waktu (t)	36
Gambar 7. Gerusan Pada Aliran Sungai	38
Gambar 8. Mekanisme Gerusan Akibat Pola Aliran Air di Sekitar Pilar (Miller, 2003:6).....	40
Gambar 9. Hubungan Kedalaman Gerusan (Clear Water dan live bed scour) dengan waktu (Chabert & Engeldinger (1956) dalam (Dey and Barbhuiya, 2005).....	42
Gambar 10. Profil Aliran pada abutment jembatan (Kwan 1988 dalam (Dey and Barbhuiya, 2005)	43
Gambar 11. Hubungan kedalaman gerusan dengan kecepatan geser (Breuser dan Raudviki, 1991 dalam Prasetyo, 2007)	45
Gambar 12. Hubungan diameter butiran dan kecepatan (Miller 2003 dalam Rustiati, 2007)	46
Gambar 13. Sifat-sifat kekasaran permukaan (a) licin, (b) bergelombang, (c) kasar.....	47
Gambar 14. Lokasi Penelitian	56
Gambar 15. Saluran Terbuka.....	58
Gambar 16. <i>Portable Velocity Meter LS-100</i>	59
Gambar 17. Meteran.....	59
Gambar 18. Tampak depan Model Pilar Silinder Plastik	60
Gambar 19. Point Gauge	60
Gambar 20. Kamera	61
Gambar 21. Laser Distance Meter.....	61
Gambar 22. Titik Pengamatan	66
Gambar 23. Mawar Penelitian	66
Gambar 24. Hubungan bilangan Froude dengan kecepatan Q1	68
Gambar 25. Hubungan bilangan Froude dengan kecepatan Q2	70
Gambar 26. Hubungan bilangan Froude dengan kecepatan Q3	72
Gambar 27. Hubungan angka Reynolds dengan kecepatan Q1	74
Gambar 28. Hubungan angka Reynolds dengan kecepatan Q2	76
Gambar 29. Hubungan angka Reynolds dengan kecepatan Q3	78
Gambar 30. Pola gerusan di sekitar pilar dengan posisi colar C1	80
Gambar 31. Pola gerusan di sekitar pilar dengan posisi colar C2	81
Gambar 32. Pola gerusan di sekitar pilar dengan posisi C3	82
Gambar 33. Hubungan kedalaman gerusan dengan waktu pengaliran T = 15 menit pada Q1	84
Gambar 34. Hubungan kedalaman gerusan dengan waktu pengaliran T = 30 menit pada Q1	85

Gambar 35. Hubungan kedalaman gerusan dengan waktu pengaliran T = 45 menit pada Q1	86
Gambar 36. Hubungan kedalaman gerusan dengan waktu pengaliran T = 15 menit pada Q2	88
Gambar 37. Hubungan kedalaman gerusan dengan waktu pengaliran T = 30 menit pada Q2	89
Gambar 38. Hubungan kedalaman gerusan dengan waktu pengaliran T = 45 menit pada Q2	90
Gambar 39. Hubungan kedalaman gerusan dengan waktu pengaliran T = 15 menit pada Q3	92
Gambar 40. Hubungan kedalaman gerusan dengan waktu pengaliran T = 30 menit pada Q3	92
Gambar 41. Hubungan kedalaman gerusan dengan waktu pengaliran T = 45 menit pada Q3	93
Gambar 42. Hubungan kedalaman gerusan dengan debit Q1 pada waktu (t = 15 m).....	97
Gambar 43. Hubungan kedalaman gerusan dengan debit Q2 pada waktu (t = 15 m).....	98
Gambar 44. Hubungan kedalaman gerusan dengan debit Q3 pada waktu (t = 15 m).....	99
Gambar 45. Hubungan kedalaman gerusan dengan debit Q1 pada waktu (T = 30 menit).....	101
Gambar 46. Hubungan kedalaman gerusan dengan debit Q2 pada waktu (T = 30 menit).....	102
Gambar 47. Hubungan kedalaman gerusan dengan debit Q3 pada waktu (T = 30 menit).....	103
Gambar 48. Hubungan kedalaman gerusan dengan debit Q1 pada waktu (T = 45 menit).....	105
Gambar 49. Hubungan kedalaman gerusan dengan debit Q2 pada waktu (T = 45 menit).....	106
Gambar 50. Hubungan kedalaman gerusan dengan debit Q3 pada waktu (T = 45 menit).....	107
Gambar 51. Perubahan dasar saluran pada semua jenis colar disekitar pilar pada Q1 dengan T = 45 menit.....	109
Gambar 52. Perubahan dasar saluran pada semua jenis colar disekitar pilar pada Q2 dengan T = 45 menit.....	110
Gambar 53. Perubahan dasar saluran pada semua jenis colar disekitar pilar pada Q3 dengan T = 45 menit.....	111
Gambar 54. Pola gerusan dengan jenis colar 1 di kondisi Q3 T3	112
Gambar 55. Pola gerusan dengan jenis colar 2 di kondisi Q3 T3	113
Gambar 56. Pola gerusan dengan jenis colar 3 di kondisi Q3 T3	113
Gambar 57. Grafik kecepatan pada segmen 1	114
Gambar 58. Grafik kecepatan pada segmen 2	115
Gambar 59. Grafik kecepatan pada segmen 3	116
Gambar 60. Grafik kecepatan pada segmen 4	116
Gambar 61. Grafik kecepatan pada segmen 1	117
Gambar 62. Grafik kecepatan pada segmen 2	118
Gambar 63. Grafik kecepatan pada segmen 3	118

Gambar 64. Grafik kecepatan pada segmen 4.....	119
Gambar 65. Grafik kecepatan pada segmen 1.....	120
Gambar 66. Grafik kecepatan pada segmen 2.....	120
Gambar 67. Grafik kecepatan pada segmen 3.....	121
Gambar 68. Grafik kecepatan pada segmen 4.....	121

DAFTAR TABEL

Tabel 1 Koefisien factor bentuk pilar	52
Tabel 2 Pengambilan Data	62
Tabel 3 Hasil perhitungan bilangan Froude (Fr) pada Q1	67
Tabel 4 Hasil perhitungan bilangan Froude (Fr) pada Q2	69
Tabel 5 Hasil perhitungan bilangan Froude (Fr) pada Q3	71
Tabel 6 Hasil perhitungan bilangan Reynolds pada Q1	73
Tabel 7 Hasil perhitungan bilangan Reynolds pada Q2	75
Tabel 8 Hasil perhitungan bilangan Reynolds pada Q3	77
Tabel 9 Hubungan kedalaman gerusan dengan waktu pengaliran pada Q1	83
Tabel 10 Hubungan kedalaman gerusan dengan waktu pengaliran pada Q2	87
Tabel 11 Hubungan kedalaman gerusan dengan waktu pengaliran pada Q3	91
Tabel 12 Hubungan kedalaman gerusan dengan kecepatan pada waktu (T = 15 m).....	96
Tabel 13 Hubungan kedalaman gerusan dengan kecepatan pada waktu (T = 30 m).....	100
Tabel 14 Hubungan kedalaman gerusan dengan kecepatan pada waktu (T = 45 m).....	104

DAFTAR SINGKATAN DAN ARTI SIMBOL

Lambang/Singkatan	Arti dan Keterangan
A	Luas Penampang (cm)
b	Lebar saluran (m)
B_r	Konstanta integrasi numerik (log law)
C	Koefisien C dari Chezy
f	Konstanta
Fr	Bilangan Froude
g	Percepatan gravitasi (m/dtk ²)
h	Kedalaman aliran (m)
K	Konstanta Von Karman (bernilai 0,4)
$K\alpha$	Faktor posisi pilar
Kd	Faktor ketinggian aliran
Kdt	Faktor ukuran pilar
Ks	Faktor bentuk pilar
k_s	Tinggi kekasaran menurut Nikuradse (m)
$K\sigma$	Deviasi geometrik distribusi ukuran partikel
P	Keliling basah (cm)
Q	Debit aliran (m ³ /dtk)
R	Jari-jari hidraulik (cm)
U	Kecepatan aliran (m/dtk)
u^*	Kecepatan geser
U_y	Kecepatan pada suatu titik yang berjarak y dari dasar (m/s)
V	Kecepatan rata-rata (m/s)
v	Kecepatan karakteristik fluida (m/s)
\bar{v}	Kecepatan rata-rata (m/s)
$v_{0.2}$	Kecepatan pada kedalaman 0,2 h (m/s)
$v_{0.6}$	Kecepatan pada kedalaman 0,6 h (m/s)
$v_{0.8}$	Kecepatan pada kedalaman 0,8 h (m/s)

y	Ketinggian titik yang ditinjau dari dasar saluran terbuka (m)
δ	
Π	Kedalaman titik dimana terjadi kecepatan maksimum (U_c)
ρ	
Rh	Parameter wake Coles
μ	Densitas fluida (kg/m^3)
Δ	Radius hidrolik atau panjang karakteristik lainnya (m)
σ_g	Viskositas dinamis fluida ($\text{Pa}\cdot\text{s}$ atau $\text{N}\cdot\text{s/m}^2$)
α	Perbandingan selisih rapat massa butiran dan rapat massa air dengan rapat massa air
	Standar deviasi geometrik
	Sudut datang aliran

DAFTAR LAMPIRAN

Lampiran 1. Pengaturan aliran air	127
Lampiran 2. Pengecekan debit aliran yang akan digunakan hingga stabil	128

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 permukaannya 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.

Ilmu angkutan sedimen (sediment transport) adalah ilmu tentang aliran yang berhubungan dengan aliran air dan aliran partikel-partikel sedimen. Pengertian sifat-sifat fisik air dan partikel-partikel sedimen adalah sangat esensial untuk

dipelajari pada angkutan sedimen (Muhammad Saleh Pallu, 2012).

Gerusan adalah fenomena alam yang terjadi karena erosi terhadap aliran air pada dasar dan tebing saluran alluvial atau proses menurunnya atau semakin dalamnya dasar sungai di bawah elevasi permukaan alami (datum) karena interaksi antara aliran dengan material dasar sungai (Hoffmans and Verheij, 1997 dalam Rahmadani, 2014).

Menurut Miller (2003) dalam Agustina dan Qudus (2007), jika struktur ditempatkan pada suatu arus air, aliran air di sekitar struktur tersebut akan bertambah, dan gradien kecepatan vertikal (*vertical velocity gradient*) dari aliran akan berubah menjadi gradien tekanan (*pressure gradient*) ini merupakan hasil dari aliran bawah yang membentur dasar. Pada dasar struktur, aliran bawah ini membentuk pusaran yang 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.

Menurut Maryono (2007) disebutkan bahwa sungai memiliki aliran yang kompleks untuk diprediksi, tetapi dengan pengamatan dan penelitian jangka waktu yang panjang, sungai dapat diartikan sebagai sistem yang teratur yaitu bahwa semua jenis komponen penyusun sungai adalah sistem yang teratur atau dapat diprediksi. Sistem sungai merupakan system yang teratur dan kompleks yang saling memengaruhi satu sama lain terhadap setiap komponennya. Komponen penyusun sungai yaitu bentuk

alur dan percabangan sungai, morfologi sungai (*river morphology*), formasi sungai (*river bed form*), dan ekosistem sungai (*river ecosystem*). Jenis material sungai, vegetasi di sekitar sungai, kemiringan memanjang bentang alam memengaruhi bentuk meander.

Gerusan lokal merupakan fenomena hidrodinamik yang signifikan terjadi di sekitar pilar jembatan, yang dapat mengancam kestabilan struktur jembatan itu sendiri. Fenomena ini terjadi ketika aliran air mengikis material dasar sungai di sekitar pilar, menyebabkan terbentuknya lubang atau cekungan di dasar sungai. Kejadian ini dapat mengurangi kapasitas dukung pondasi pilar dan, dalam kasus yang ekstrem, dapat menyebabkan kegagalan struktural.

Salah satu metode yang digunakan untuk mengurangi dampak gerusan lokal adalah pemasangan collar (cincin) di sekitar pilar. Collar ini dirancang untuk mengubah pola aliran dan mengurangi intensitas gerusan lokal di sekitar pilar. Namun, efektivitas collar sangat dipengaruhi oleh variasi desain dan kondisi aliran. Oleh karena itu, penelitian ini bertujuan untuk menyelidiki pengaruh perubahan variasi collar terhadap gerusan lokal di sekitar pilar.

Berdasarkan uraian di atas, maka penulis ingin meneliti lebih dalam mengenai awal gerak sedimen pada saluran terbuka dengan

judul PENGARUH PERUBAHAN VARIASI COLAR TERHADAP GERUSAN LOKAL DI SEKITAR PILAR SECARA EKSPERIMENTAL

1.2 Rumusan Masalah

Rumusan masalah dalam mempelajari gerusan lokal disekitar pilar dengan pengaruh perubahan variasi colar terhadap gerusan lokal di sekitar pilar sebagai berikut :

1. Bagaimana pola gerusan lokal disekitar pilar dengan perubahan variasi colar terhadap aliran ?
2. Bagaimana distribusi kecepatan aliran di sekitar pilar dengan perubahan variasi colar di sekitar pilar ?

1.3 Tujuan Penelitian/Perancangan

Dengan mempertimbangkan rumusan masalah diatas, tujuan dari penelitian ini adalah :

1. Menganalisis pola gerusan lokal disekitar pilar dengan perubahan variasi colar terhadap aliran
2. Menganalisis distribusi kecepatan aliran di sekitar pilar dengan perubahan variasi colar di sekitar pilar

1.4 Manfaat Penelitian/Perancangan

Manfaat yang diharapkan dari penelitian ini adalah :

Dalam penelitian ini diharapkan dapat memberi masukan ilmu pengetahuan secara umum berkaitan dengan pengendalian masalah gerusan disekitar pilar akibat adanya gerusan lokal dan degradasi dasar sungai yang bias mengakibatkan turunnya bangunan pilar . Dengan menempatkan colar mengitari pilar dimaksudkan untuk

mengalihkan arah *downflow* sebelum mencapai tanah dasar, agar pembentukan *horseshoe vortex* menjadi terganggu yang berakibat menurunnya kedalaman gerusan lokal di sekitar pilar.

1.5 Ruang Lingkup/Asumsi perancangan

Agar penelitian berjalan dengan baik dan terarah, maka penulis memberikan batasan masalah dalam melaksanakan penelitian, sebagai berikut:

1. Data yang diambil dilakukan di Laboratorium Hidrolika fakultas Teknik Universitas Hasanuddin menggunakan alat saluran terbuka.
2. Data yang dijadikan bahan penulisan didasarkan atas data pengujian di laboratorium
3. Penelitian ini hanya membahas gerusan lokal di sekitar pilar dan distribusi kecepatan pada titik horizontal maupun vertikal.
4. Pengukuran kecepatan yang diukur hanya kecepatan searah aliran.

BAB II

TINJAUAN PUSTAKA

2.1 Saluran Terbuka

Pada aliran saluran terbuka maupun tertutup, keadaan aliran pada semua saluran akan mengalami perubahan. Perubahan tersebut dapat terjadi karena adanya perubahan bentuk penampang ataupun perubahan bentuk dari saluran. Hal ini mengakibatkan keadaan aliran juga berubah misalnya perubahan tinggi muka air atau perubahan kecepatan aliran. (Ajeng Titin Suciana. 2016). Pada saluran terbuka, memiliki parameter seperti lintang saluran, kekasaran, kemiringan dasar, belokan, hambatan serta debit aliran dan lain sebagainya yang juga memungkinkan kecepatan aliran berubah.

Kekasaran pada saluran terbuka tergantung pada tergantung pada kedudukan permukaan bebas. Sebab itu pemilihan koefisien gesekan untuk saluran terbuka lebih bersifat tidak pasti dibandingkan dengan untuk pipa. Umumnya, penyelesaian untuk aliran saluran terbuka lebih didasarkan pada hasil pengamatan dibandingkan dengan pada aliran pipa (Chow V. T., 1989)

Kebanyakan aliran saluran terbuka adalah turbulen, biasanya dengan air sebagai cairannya. Metode menganalisis aliran saluran terbuka tidak semaju metode untuk saluran tertutup. Persamaan-persamaan yang dipakai

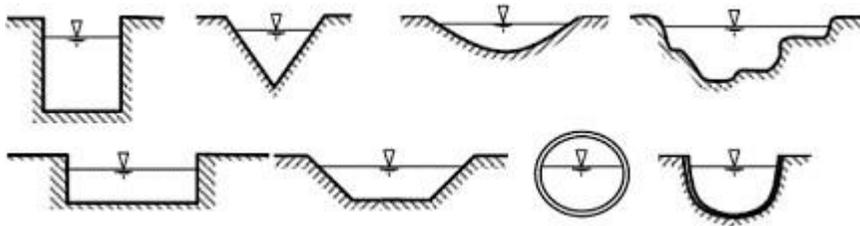
mengasumsikan turbulensi penuh, dengan kerugian tinggi tekan yang sebanding dengan kuadrat kecepatan. Walaupun hampir segenap data tentang aliran saluran terbuka telah diperoleh eksperimen-eksperimen mengenai aliran air, persamaan-persamaannya kiranya akan menghasilkan nilai-nilai yang wajar untuk cairan lainnya yang viskositasnya rendah (Streeter Victor, 1988). Saluran digolongkan menjadi dua macam yaitu, saluran alam (natural) dan saluran buatan (artificial).

Saluran alam merupakan suatu aliran yang meliputi semua alur aliran air secara alami, seperti sungai yang kecil dan besar dimana alirannya mengalir dari hulu ke hilir. Saluran buatan saluran yang dibuat dan direncanakan sesuai dengan konteks pemanfaatannya seperti, saluran irigasi, saluran drainase, saluran pembawa pada pembangkit listrik tenaga air dan saluran untuk industri. Karakteristik aliran yang terjadi pada saluran buatan merupakan aliran seragam yang terjadi di sepanjang saluran.

2.3.1. Bentuk Saluran

Penampang saluran alam umumnya sangat tidak beraturan, biasanya bervariasi dari bentuk seperti parabola sampai trapesium. Penampang saluran buatan biasanya dirancang berdasarkan bentuk geometris yang umum. Bentuk yang paling umum dipakai untuk saluran berdinding tanah yang tidak dilapisi adalah bentuk trapesium, sebab stabilitas kemiringan dindingnya dapat di sesuaikan. Bentuk persegi panjang dan segitiga merupakan bentuk khusus selain

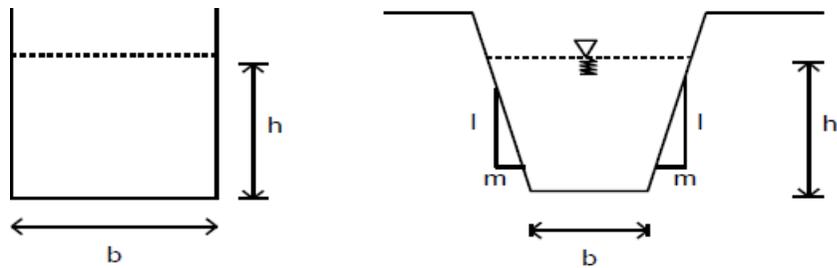
trapesium. Berhubung bentuk persegi panjang mempunyai sisi tegak, biasanya dipakai untuk saluran yang dibangun dengan bahan yang stabil, seperti pasangan batu, padas, logam atau kayu. Penampang segitiga hanya dipakai untuk saluran kecil, selokan, dan penyalidikan di laboratorium. Penampang lingkaran banyak dipakai untuk saluran pembuangan air kotor dan gorong-gorong berukuran sedang maupun kecil (Chow V. T., 1989).



Gambar 1. Macam-macam bentuk penampang
(sumber: Chow, 1989)

2.3.2. Geometri Saluran

Geometri (penampang) saluran, (channel section) adalah tegak lurus terhadap arah aliran sedangkan penampang vertikal saluran (vertical channel section) adalah suatu penampang melalui titik terbawah atau terendah dari penampang saluran.



Gambar 2. Geometri Penampang Persegi dan Trapesium

Data ukuran saluran yaitu mencari lebar dan tinggi didapatkan dengan cara pengukuran langsung dilapangan dengan menggunakan alat meteran, sedangkan untuk mendapatkan luas dan keliling basah penampang dengan menggunakan rumus:

a. Luas Penampang:

$$A = B \times h$$

b. Keliling Basah:

$$P = B + 2$$

c. Jari-jari Hidraulik:

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

Dimana:

A = Luas Penampang (cm)

P = Keliling basah (cm)

B = Lebar (cm)

h = Tinggi (cm)

R = Jari-jari hidraulik (cm)

2.2 Perilaku Aliran

Adapun tiga macam tipe aliran dapat dibedakan menggunakan bilangan Froude. Sehingga dapat dibedakan 3 tipe aliran sebagai berikut:

- a. Aliran kritis, merupakan aliran yang mengalami gangguan permukaan, seperti yang diakibatkan oleh tiak yang terjadi karena batu yang dilempar ke dalam sungai tidak akan bergerak menyebar melawan arus. Aliran dapat dikategorikan aliran kritis apabila Bilangan Froude memiliki nilai sama dengan satu ($Fr = 1$).
- b. Aliran subkritis, pada aliran ini biasanya kedalaman aliran lebih besar daripada kecepatan aliran rendah, semua riak yang timbul dapat bergerak melawan arus. Apabila bilangan lebih kecil dari satu ($Fr < 1$) maka termasuk aliran subkritis.
- c. Aliran superkritis, pada aliran ini kedalaman aliran relative lebih kecil dan kecepatan relative tinggi, segala riak yang ditimbulkan dari suatu gangguan adalah mengikuti arah arus. Apabila bilangan Froude lebih besar dari satu ($Fr > 1$) maka aliran tersebut termasuk aliran superkritis. Persamaan untuk menghitung bilangan Froude, yaitu:

$$Fr = \frac{U}{\sqrt{g \cdot h}}$$

Dimana:

Fr = Bilangan Froude

U = kecepatan aliran (m/dtk)

g = percepatan gravitasi (m/dtk²)

h = kedalaman aliran (m)

Nilai U diperoleh dengan rumus:

$$U = \frac{Q}{A}$$

Dimana:

Q = debit aliran (m^3/dtk)

A = Luas saluran (m^2)

Nilai A diperoleh dengan rumus:

$$A = b.h$$

Dimana:

h = tinggi aliran (m)

b = Lebar saluran (m)

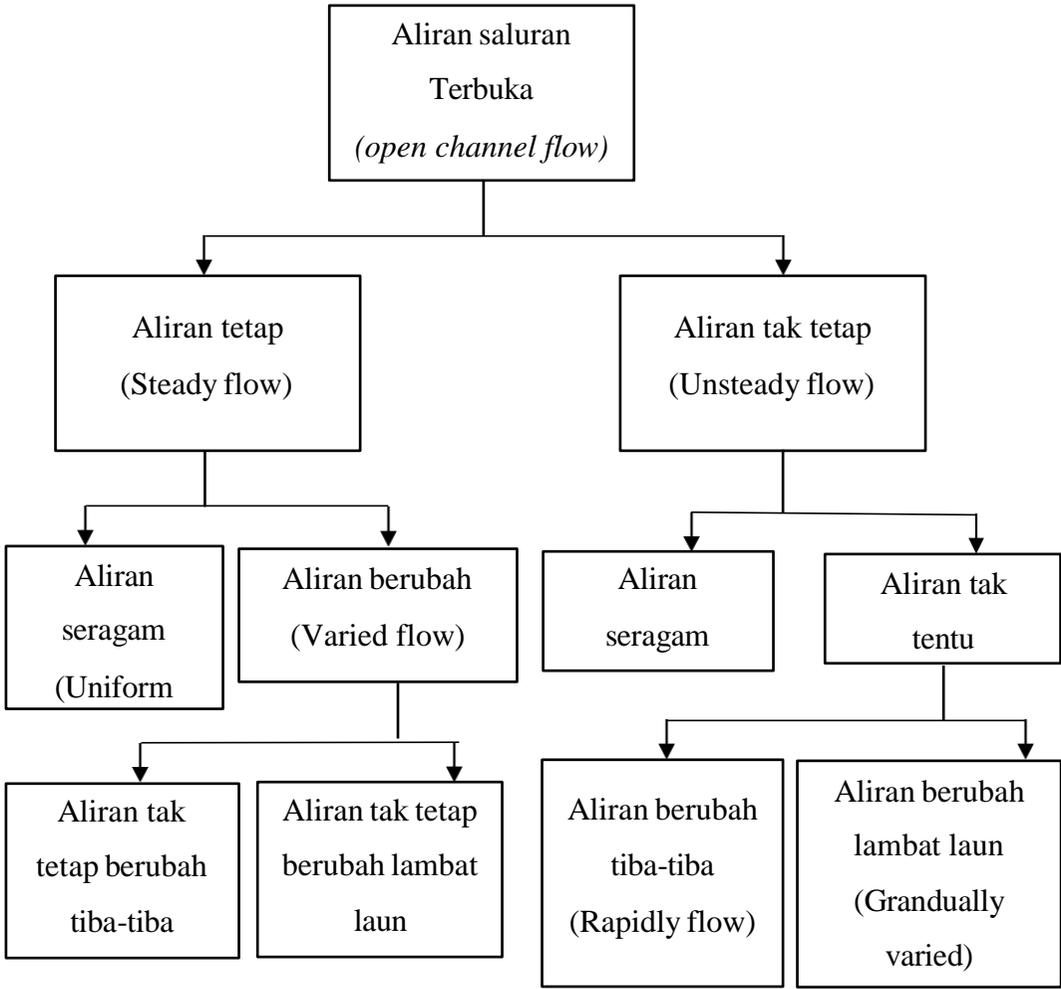
Sungai secara umum memiliki suatu karakteristik sifat yaitu terjadinya perubahan morfologi pada bentuk tampang aliran. Perubahan ini bisa terjadi karena faktor alam dan faktor manusia antara lain pembuatan bangunan - bangunan air seperti pilar, abutmen, bendung, bendungan, checkdam, dan sebagainya. Sifat sungai yang dinamis dalam waktu tertentu akan mampi menjadikan pengaruh kerusakan terhadap bangunan yang ada disekitarnya. Oleh karena itu, proses gerusan yang terjadi perlu dipelajari untuk mengetahui cara - cara pengendaliannya agar bangunan yang dibuat dapat bertahan dari pengaruh kerusakan (Nenny, dkk. 2014).

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 (Wibowo, 2007). Penelitian tentang pola gerusan di sekitar pilar dengan variasi bentuk pilar dilakukan untuk mempelajari pengaruh bentuk pilar terhadap pola gerusan dan besarnya kedalaman gerusan.

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 (Rahmadani, 2014).

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



Gambar 3. Klasifikasi Aliran

2.3 Kecepatan Aliran

Dengan adanya suatu permukaan bebas dan gesekan dan gesekan di sepanjang dinding saluran, maka kecepatan dalam saluran tidak terbagi merata dalam penampang saluran. Distribusi kecepatan pada penampang saluran juga tergantung pada faktor-faktor lain, seperti bentuk penampang yang tidak lazim, kekasaran saluran dan adanya tekukan-tekukan (Chow V. T., Hidrolika Saluran Terbuka. Edisi Kedua, 1989)

Kecepatan pada batas padat harus sama dengan nol, dan dalam hal aliran saluran terbuka pada umumnya kecepatan meningkat dengan bertambahnya jarak dari batas. Kecepatan maksimum tidak terjadi pada permukaan bebas tetapi biasanya di bawah permukaan bebas pada jarak 0,05 sampai 0,25 kedalaman. Kecepatan rata-rata pada garis vertikal kadang-kadang ditentukan dengan mengukur kecepatan 0,6 kedalaman, tetapi cara yang lebih dapat diandalkan ialah dengan mengambil harga rata-rata dari kecepatan pada 0,2 dan 0,8 kedalaman, sesuai dengan pengukuran pengukuran Survei Geologi Amerika Serikat (Streeter & Wylie, 1993).

Kecepatan aliran didapatkan dengan cara pengukuran langsung dilaboratorium dengan alat flow meter. Pengukuran ini dilakukan dengan cara membagi pengukuran arah vertikal menjadi 1 titik kedalaman yaitu 0,4h.

Distribusi kecepatan menurut teoritik yang diteliti dibagi menjadi dua bagian yaitu inner region dan outer region. Pada

daerah inner region, $z/H \leq 0.2$, perbedaan kecepatan adalah cukup besar. Kecepatan aliran dipengaruhi oleh tegangan geser, karakteristik aliran, kekerasan dasar, dan kedalaman dari dasar saluran. Pada daerah outer region, $0.2 < z/H \leq 1$, memiliki perbedaan kecepatan yang tidak terlalu besar dan nilai kecepatan dipengaruhi oleh kecepatan maksimum, kedalaman aliran, dan gradient kecepatan, tapi tidak dipengaruhi oleh kekentalan (viskositas) dan kekerasan dasar (Graf, 1998)

Di dalam saluran terbuka adanya permukaan bebas dan gesekan pada dinding sepanjang saluran terbuka menyebabkan terjadinya pembagian kecepatan yang tidak sama pada penampang saluran. Kecepatan pada dinding atau dasar saluran sama dengan nol, sedangkan kecepatan maksimumnya tidak terjadi pada permukaan bebas, tetapi terjadi di bawah permukaan bebas sedalam $0.05h$ sampai $0.25h$. Kecepatan aliran juga tergantung pada beberapa faktor lainnya yaitu bentuk penampang saluran dan kekasaran saluran. Kecepatan maksimum pada permukaan bebas terjadi pada saluran yang mempunyai arus yang besar atau deras dan dangkal serta saluran yang memiliki dasar saluran yang licin

Dengan adanya suatu permukaan bebas dan gesekan di sepanjang dinding saluran, maka kecepatan dalam saluran tidak terbagi merata dalam penampang saluran. Kecepatan maksimum dalam saluran biasanya terjadi di bawah permukaan bebas sedalam $0,05$ sampai $0,25$ kali kedalamannya, makin dekat

ketepi berarti makin dalam dan mencapai maksimum. Distribusi kecepatan pada penampang saluran juga tergantung pada faktor-faktor lain, seperti bentuk penampang yang tidak lazim, kekasaran saluran dan adanya tekukan-tekukan. Pada arus yang lebar, deras dan dangkal atau saluran yang sangat licin kecepatan maksimum sering terjadi di permukaan bebas (Junaidi, 2014)

Untuk analisis distribusi kecepatan pada saluran terbuka dibagi menjadi dua wilayah yaitu inner region dan outer region, dimana aliran pada inner region dipengaruhi langsung oleh kekasaran dasar atau dinding dan aliran pada outer region dipengaruhi secara tidak langsung melalui tegangan geser dasar. Adapun persamaan pada inner region menurut Kironoto (1993) adalah:

$$U_y = \frac{U_*}{K} \ln y - \frac{U_*}{K} \ln K + Br \cdot \frac{U_*}{K}$$

dengan asumsi,:

U_y = kecepatan pada suatu titik yang berjarak y dari dasar (m/s),

U_* = kecepatan gesek (m/s)

y = ketinggian titik yang ditinjau dari dasar saluran terbuka (m)

K = konstanta Von Karman (bernilai 0,4)

k_s = tinggi kekasaran menurut Nikuradse (m)

Br = konstanta integrasi numerik (log law) dan $y_0 = 0,2k_s$

Pada outer region profil kecepatan menyimpang dari persamaan logaritmik. Disini berlaku distribusi kecepatan Coles, yang juga berlaku untuk inner region

$$\frac{U_c - u}{u_*} = - \frac{1}{K} \ln \left(\frac{z}{\delta} \right) + \frac{2\pi}{K} \cos^2 \left(\frac{\pi z}{2\delta} \right)$$

dengan asumsi :

U_c = kecepatan maksimum (m/s)

δ = kedalaman titik dimana terjadi kecepatan maksimum (U_c)
 Π = parameter wake Coles ($\Pi = -0,03$ untuk $B/D \approx 2$ & $\Pi = 0,09$ untuk $B/D > 5$)

2.4 Angka Reynold

Seorang insinyur dan fisikawan Inggris yang pertama kali memperkenalkan konsep angka Reynold melalui eksperimen klasiknya pada Tahun 1883 bernama Osborne Reynolds (1842-1912). Reynolds menunjukkan bahwa transisi antara aliran laminar dan turbulen dapat dikendalikan oleh bilangan tak berdimensi ini. Setelah Reynolds, banyak penelitian telah dilakukan untuk memahami lebih dalam tentang transisi aliran dan dampaknya pada berbagai aplikasi teknik.

Angka Reynold (Re) adalah bilangan tak berdimensi yang digunakan dalam mekanika fluida untuk menentukan pola aliran fluida dalam berbagai kondisi. Angka reynold ini membantu dalam memprediksi apakah aliran fluida akan bersifat laminar atau turbulen. Adapun rumus untuk angka reynold adalah:

$$Re = \frac{\rho \times v \times Rh}{\mu}$$

Dimana:

ρ = densitas fluida (kg/m^3),

- v = adalah kecepatan karakteristik fluida (m/s),
 R_h = radius hidrolis atau panjang karakteristik lainnya (m),
 μ = viskositas dinamis fluida (Pa.s atau N.s/m²).

Angka Reynold membantu dalam menentukan apakah aliran tersebut dapat dikatakan sebagai laminar atau turbulen. Menurut Ven Te Chow dalam bukunya "Open-Channel Hydraulics," aliran pada saluran terbuka bersifat laminar jika angka Reynold (Re) kecil dan bersifat turbulen jika angka Reynold besar. Berdasarkan berbagai eksperimen, aliran pada pipa berubah dari laminar menjadi turbulen pada rentang angka Reynold antara 2.000 hingga 50.000. Dalam eksperimen ini, diameter pipa digunakan sebagai panjang karakteristik dalam menentukan angka Reynold. Jika jari-jari hidrolis digunakan sebagai panjang karakteristik pada saluran terbuka, rentang angka Reynold yang sesuai adalah antara 500 hingga 12.500, karena diameter pipa adalah empat kali jari-jari hidrolisnya. Sehingga klasifikasi aliran pada saluran terbuka berdasarkan angka Reynold nya adalah sebagai berikut:

- Aliran Laminar: Terjadi pada angka Reynold rendah ($Re < 500$). Aliran ini ditandai oleh lapisan fluida yang bergerak paralel satu sama lain tanpa terjadi pencampuran antara lapisan.
- Aliran Transisi: Terjadi pada angka Reynold antara 500 hingga 12.500. Dalam rentang ini, aliran bisa beralih antara laminar dan turbulen.

- Aliran Turbulen: Terjadi pada angka Reynold tinggi ($Re > 12.500$). Aliran ini ditandai oleh pola aliran yang kacau dan campuran antara lapisan fluida.

2.5 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 Aliran berubah lambat laun (*Grandually varied*) Aliran berubah tiba-tiba (*Rapidly flow*) Aliran tak tetap berubah lambat laun Aliran tak tetap berubah tiba-tiba Aliran saluran terbuka (*Open channel flow*) Aliran tetap (*Steady flow*) Aliran tak tetap (*Unsteady flow*) Aliran seragam (*Uniform flow*) Aliran berubah (*Varied flow*) Aliran seragam Aliran tak tentu 10 semacam ini dipandang dapat merubah geometri alur dan pola aliran yang selanjutnya diikuti gerusan lokal disekitar bangunan (Sucipto, 2004:33).

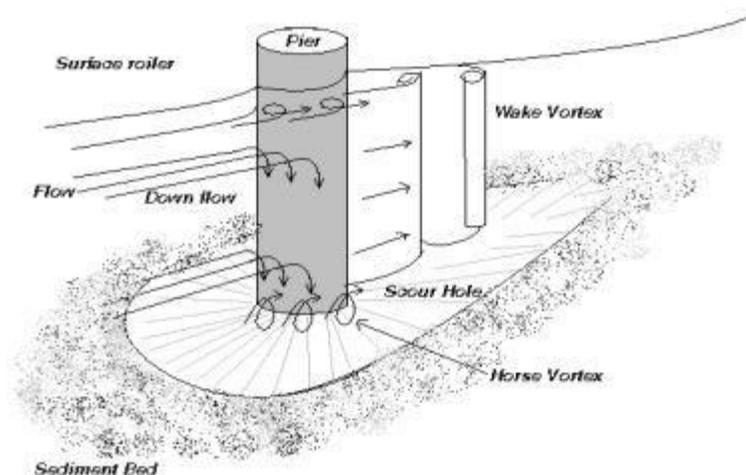
Gerusan didefinisikan sebagai pembesaran dari suatu aliran yang disertai oleh pemindahan material melalui aksi gerakan fluida. Gerusan lokal terjadi bila kapasitas aliran untuk mengerosi dan mengangkut sedimen lebih besar dari kapasitas mensuplai sedimen. (Menurut Graf, 1998)

Tipe gerusan menurut Raudkivi dan Ettema (1982) dapat dikelompokkan menjadi :

1. Gerusan umum (*general scour*) di alur sungai.

2. Gerusan dilokalisir (*localised scour*) di alur sungai,
3. Gerusan lokal (*local scour*) disebabkan oleh pola aliran lokal

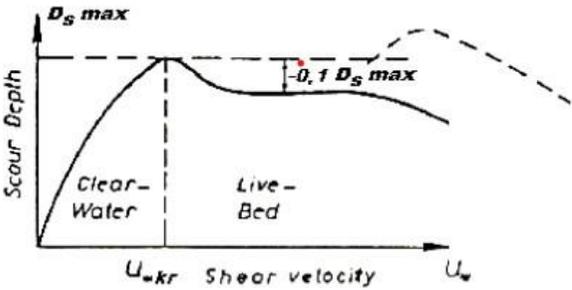
Ketiga tipe gerusan tersebut dapat terjadi secara bersamaan. Gerusan tipe (b) dan (c) dapat dikelompokkan menjadi gerusan dengan air bersih (*clear water scour*) dan gerusan dengan angkutan sedimen (*live-bed scour*). (Lutjito; Purwantoro, 2015)



Gambar 4. Pola Arus Disekitar Pilar Jembatan Bulat
(H.N.C Breuser dan A.J. Raudkivi 1991)

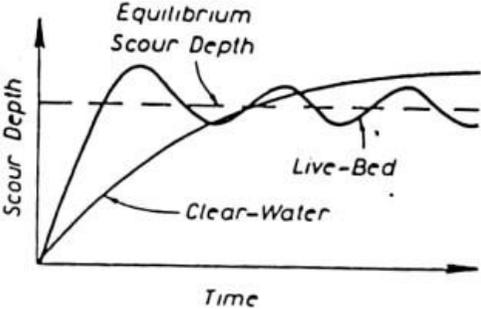
Di dekat dasar komponen aliran tersebut akan berbalik arah ke hulu, yang diikuti dengan terbawanya material dasar sehingga terbentuk aliran spiral di daerah lubang gerusan (*scour hole*) yang mengakibatkan gerusan dasar sungai di sekitar pilar seperti ditunjukkan pada gambar 4. Hal ini akan berlangsung terus sampai terjadi keseimbangan. Proses gerusan di sekitar pilar sangat kompleks karena meliputi aliran tiga dimensi. Pada saat aliran melewati pilar, akan terjadi pemisahan aliran dan pemisahan ini

akan meluas kebagian hilir pilar. Sistem pusaran yang terjadi mempunyai bentuk atau karakteristik seperti pusaran sepatu kuda sehingga dinamakan pusaran sepatu kuda (*horseshoe vortex*) seperti ditunjukkan pada gambar 5.



Gambar 5. Kedalaman Gerusan (d_s) sebagai Fungsi Kecepatan Geser (u^*). (Breusers dan Raudkivi,1991)

Lubang gerusan yang terjadi pada alur sungai di samping merupakan fungsi kecepatan geser, juga merupakan fungsi waktu seperti ditunjukkan pada gambar 5 berikut ini. (Breusers dan Raudkivi, 1991)



Gambar 6. Kedalaman Gerusan (d_s) sebagai Fungsi Waktu (t) (Breusers dan Raudkivi,1991)

Selain itu kedalaman gerusan tergantung pada beberapa variabel yaitu karakteristik zat cair, material dasar, aliran dalam saluran dan bentuk pilar.

2.6 Jenis Jenis Gerusan

Gerusan adalah proses semakin dalamnya dasar sungai oleh karena terjadinya interaksi antara aliran dengan lingkungan sungai, dimana gerusan berdasarkan tempat terjadinya menurut (Parker, et al., 1997) dapat diklasifikasikan menjadi 3, yaitu :

a) Gerusan umum (*general scour*)

Gerusan umum ini merupakan suatu proses alami yang terjadi pada sungai sehingga akan menimbulkan degradasi dasar. Gerusan umum disebabkan oleh energi dari aliran air.

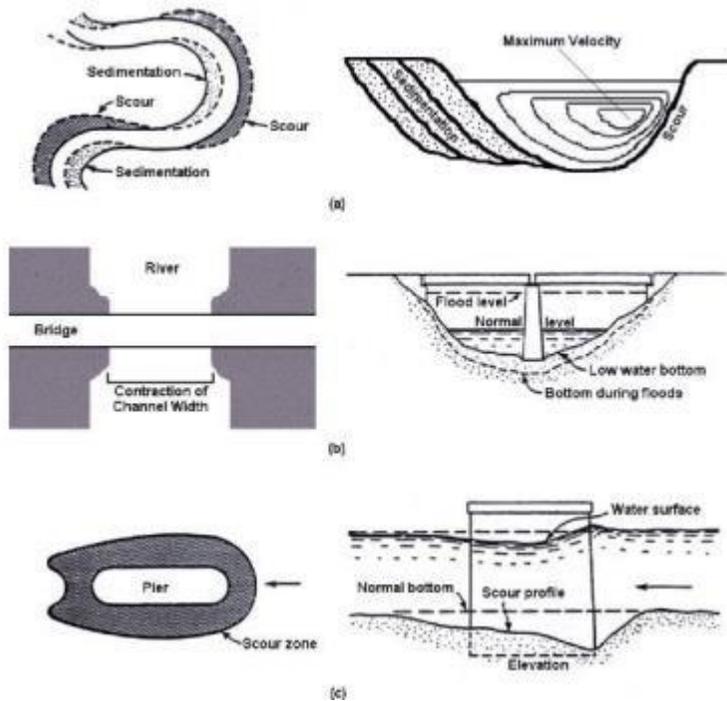
b) Gerusan lokal (*local scour*)

Proses gerusan dan deposisi pada alur sungai, akibat adanya rintangan berupa bangunan yang ada di sungai, yang diikuti dengan perubahan pola aliran sungai, umumnya disebut gerusan lokal Gerusan lokal ini pada umumnya diakibatkan oleh adanya bangunan air, misal, tiang atau pilar jembatan. Gerusan lokal disebabkan oleh sistem pusaran air (*vortex system*) karena adanya gangguan pola aliran akibat rintangan. (Breuser dan Raudkivi, 1991).

c) Gerusan Kontraksi (*Contraction scour*)

Merupakan kombinasi antara gerusan lokal (*local scour*) dan gerusan umum (*general scour*). Bisa juga kombinasi

antara gerusan lokal, gerusan umum dan gerusan terlokalisir (*localized scour/constriction scour*).



Gambar 7. Gerusan Pada Aliran Sungai

2.7 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 di sekitar pilar pada aliran saluran terbuka cukup kompleks. Bertambahnya *complexity* disertai semakin luasnya lubang gerusan. Suatu sail 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 :

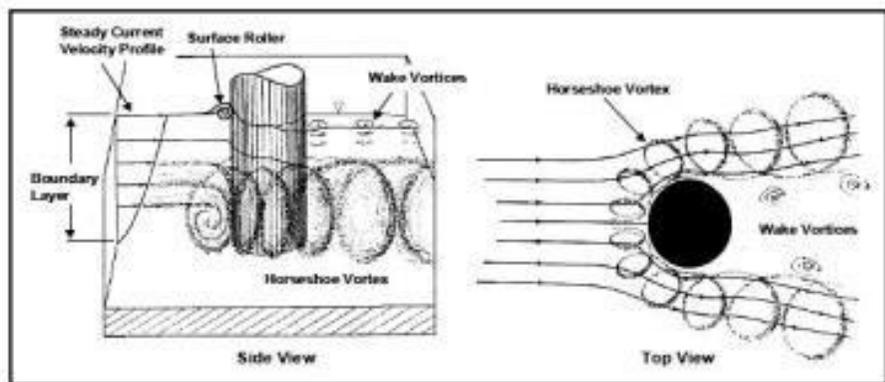
1. arus bawah di depan pilar.
2. pusaran sepatu kuda (*horse shoes vortex*).
3. pusaran yang terangkat (*cast-off vortices*) dan menjalar (*wake*)
4. punggung gelombang (*bow wave*)

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 horizontal terdapat pusaran gelombang dan pelindung bawah sekitar pilar dalam bentuk tapal kuda. (Breuser & Raudkivi, 1991)

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. (Miller, 2003:6)

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 8. Mekanisme Gerusan Akibat Pola Aliran Air di Sekitar Pilar (Miller, 2003:6)

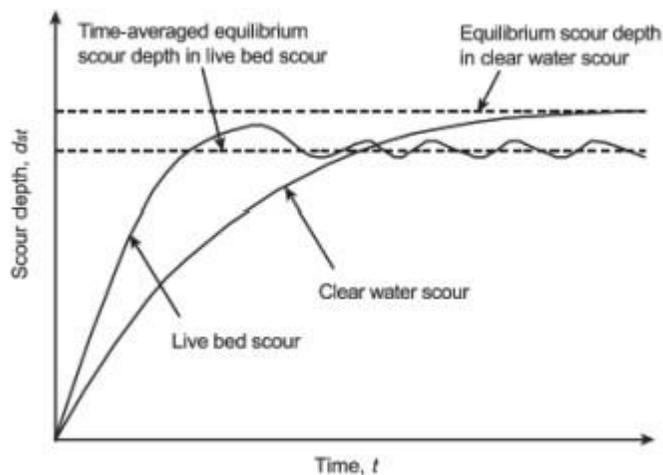
Gerusan dapat terjadi di jembatan jika struktur jembatan mempengaruhi keseimbangan antara air dan stabilitas material dasar saluran. Jika jembatan memiliki satu atau lebih tiang yang berada pada aliran sungai, atau jika muka air mencapai salah satu atau kedua abutmen, maka struktur akan mempengaruhi pola aliran sungai.

Efek pertamanya adalah mengurangi lebar sungai di lokasi jembatan tersebut berada. Untuk aliran tertentu, pengurangan lebar ini akan mengakibatkan kenaikan muka air di hulu jembatan dan meningkatkan kecepatan pada bukaan. Jika kenaikan kecepatan ini menyebabkan perpindahan atau pergerakan pada material dasar saluran, maka permukaan dasar saluran di sekitar jembatan akan menurun. Penurunan permukaan dasar saluran ini dikenal dengan gerusan umum (*global scour*).

Efek kedua dari interaksi antara jembatan dan aliran air adalah gangguan lokal pada aliran. Hal ini dapat menyebabkan akselerasi aliran yang melalui tiang jembatan dan meningkatkan turbulensi, yang dapat mengakibatkan penurunan permukaan dasar saluran sampai ke level yang dapat mengganggu struktur jembatan. Penurunan dasar saluran ini dikenal sebagai gerusan lokal (*local scour*).

Berdasarkan model transportasi sedimen oleh aliran yang mendekat, mengelompokkan gerusan lokal menjadi dua kategori, yaitu *clear-water scour* dan *live-bed scour*. Gerusan air jernih terjadi tanpa adanya angkutan sedimen oleh aliran yang mendekat mengalir ke lubang gerusan. Di sisi lain, gerusan *live-bed* terjadi ketika lubang gerusan terus diberi supply dengan sedimen oleh aliran yang mendekat. Variasi waktu *clear-water scour* dan *live-bed scour* ditunjukkan secara skematis dalam Gambar 9. Hasil pengamatan bahwa air jernih maksimum kedalaman gerusan

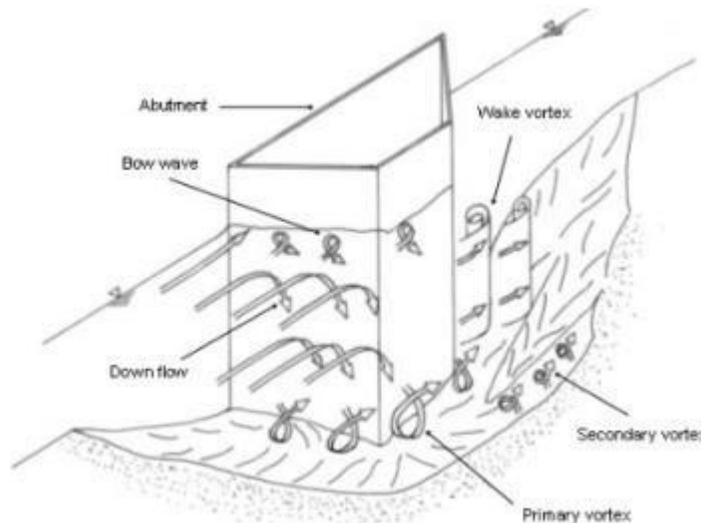
sekitar 10% lebih besar dari kedalaman gerusan dasar. (Dey and Barbhuiya, 2005)



Gambar 9. Hubungan Kedalaman Gerusan (Clear Water dan live bed scour) dengan waktu (Chabert & Engeldinger (1956) dalam (Dey and Barbhuiya, 2005)

Mekanisme gerusan disekitar abutmen jembatan, adalah pada bagian hulu abutmmen, gradien tekanan vertikal dikembangkan karena stagnasi aliran yang 23 mendekat. Gradien tekanan menggerakkan fluida ke bawah dan ini menggulung ke atas menjadi pusaran utama, yang memperbesar ukurannya dengan perkembangan lubang gerusan. Kwan & Melville (1994) juga melaporkan bahwa pusaran primer dan aliran bawah terbatas terutama ke lubang gerusan di level dasar saluran. Aliran pusaran dan aliran bawah relatif tidak terpengaruh dengan perubahan kedalaman aliran yang mendekat. Inti bagian dalam vortex primer menempati 17% dari luas lubang gerusan dan mengandung hingga

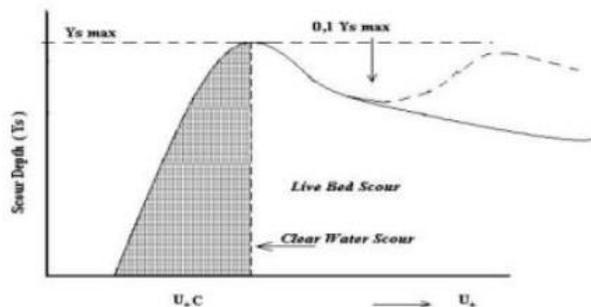
78% dari total sirkulasi dalam aliran. Vortex primer berbentuk elips, dengan wilayah inti dalam menjadi pusaran paksa dan wilayah inti luar pusaran bebas. Komponen aliran pada abutmen dinding bersayap, diidentifikasi oleh Kwan (1988), diperlihatkan secara skematis dalam Gambar 10 (Dey and Barbhuiya, 2005)



Gambar 10. Profil Aliran pada abutment jembatan (Kwan 1988 dalam (Dey and Barbhuiya, 2005)

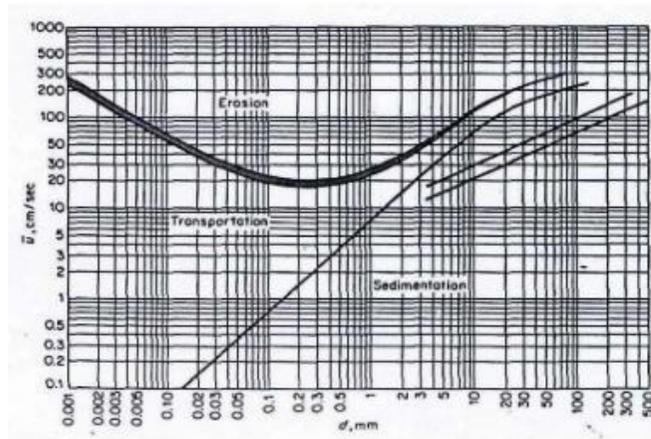
Parameter yang digunakan untuk menentukan jenis gerusan (*clear water scour* atau *live bed scour*) adalah perbandingan antara kecepatan *upstream* dengan kecepatan batasnya atau kecepatan kritis sedimen yang dibutuhkan untuk memindahkan sedimen dari *bed*. Perbandingan ini disebut intensitas aliran (*flow intensity*), mungkin bisa dalam satu atau dua bentuk tergantung kecepatan yang digunakan. Jika digunakan kecepatan geser (u^*) yang digunakan, perbandingan/rasionya menjadi u^*/u^*c . Kecepatan

geser (u^*) didefinisikan sebagai $u^* = \sqrt{\tau/\rho}$ dimana τ adalah tegangan geser dasar saluran/*bed*. Titik batas atau kecepatan geser kritis (u^*c) berbanding lurus dengan tegangan geser kritis (τc). Dalam bentuk ini intensitas aliran sama dengan rasio tegangan geser dimana $\tau/\tau c = (u^*/u^*c)^2$. Oleh sebab itu persamaan ini mempunyai korelasi langsung dengan transport sedimen, karena kebanyakan persamaan transport sedimen dalam bentuk tegangan geser *bed*. Kecepatan geser kritis bisa ditentukan pada sedimen yang ada (Gambar 2.3), akan tetapi nilai u^* biasanya tidak dapat langsung dibaca untuk percobaan situasi aliran dan harus dijabarkan menggunakan asumsi data kecepatan (*velocity profile assumption*). Pada grafik (Gambar 11) menunjukkan 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. (Miller, 2003)



Gambar 11. Hubungan kedalaman gerusan dengan kecepatan geser (Breuser dan Raudviki, 1991 dalam Prasetyo, 2007)

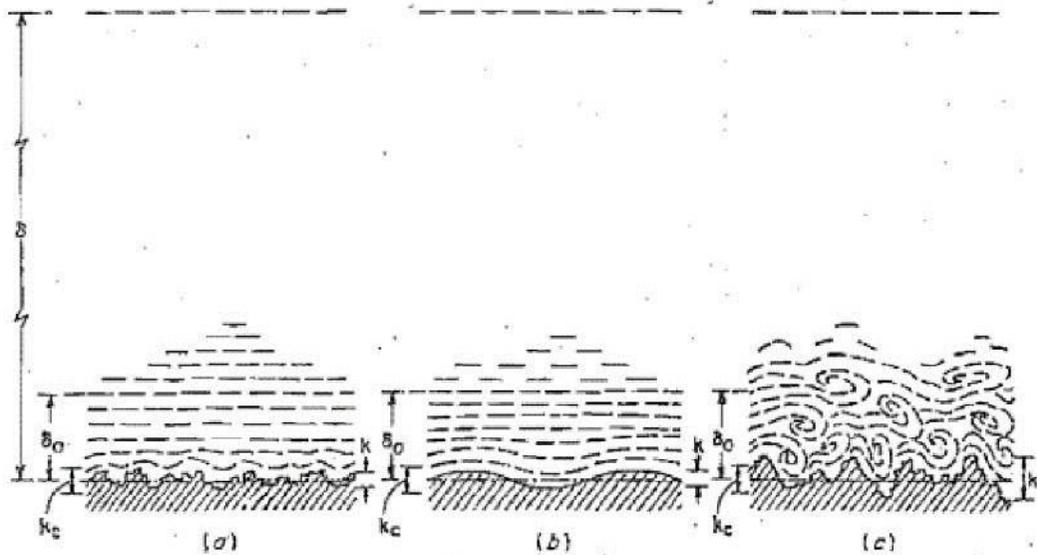
Bentuk yang lebih umum dari intensitas aliran menggunakan kecepatan kedalaman rata-rata/*depth averaged approach velocity* (V) dan kecepatan kritis kedalaman rata-rata/*critical depth averaged approach velocity* (V_c). *Critical depth 25 averaged approach velocity* adalah kecepatan kedalaman rata-rata minimum dari aliran untuk gerakan sedimen yang akan terjadi. Bentuk intensitas aliran (V/V_c) membutuhkan data kecepatan vertikal yang diketahui atau diasumsikan (biasanya logaritmik) untuk menghitung *critical depth averaged velocity* (V_c) dari Gambar 12 untuk sedimen yang ada



Gambar 12. Hubungan diameter butiran dan kecepatan (Miller 2003 dalam Rustiati, 2007)

2.8 Konsep Kekasaran Permukaan

Konsep keberadaan sub lapisan laminar di lapisan batas turbulen menghasilkan penjelasan tentang sifat-sifat kekasaran permukaan.



Gambar 13. Sifat-sifat kekasaran permukaan (a) licin, (b) bergelombang, (c) kasar

Ketika profil permukaan diperbesar (gambar 13), terlihat bahwa permukaannya terdiri dari puncak dan lembah yang tidak beraturan. Tinggi efektif dari ketidakaturan yang membentuk elemen kekasaran disebut tinggi kekasaran k . Rasio k/R dari tinggi kekasaran terhadap jari-jari hidrolis dikenal sebagai kekasaran relatif

Jika tinggi kekasaran lebih kecil dari suatu pecahan tertentu dari tebal sub lapisan laminar, ketidakaturan permukaan menjadi sangat kecil sehingga semua elemen kekasaran akan seluruhnya terendam dalam sub lapisan laminar (gambar 13 a). Pada kondisi ini kekasaran tidak berpengaruh terhadap aliran di atas sub lapisan laminar, dan permukaan tersebut disebut

hidrolis licin (*hydraulically smooth*). Permukaan hidrolis licin dikatakan bergelombang (*wavy*) jika profil permukaan rata-rata mengikuti suatu lengkung (gambar 13 b). Dengan menggunakan rumus Chezy, dari kondisi di atas dapat ditunjukkan bahwa, agar permukaan menjadi hidrolis licin, tinggi kekasaran harus lebih kecil dari pada kekasaran kritis (*critical roughness*) yang dinyatakan dengan:

$$K_c = \frac{5c}{\sqrt{g}} \frac{v}{V}$$

Dimana:

C = Koefisien C dari Chezy

v = Kekentalan kinematis

V = Kecepatan rata-rata (m/s)

Kemungkinan syarat tertentu dibuat untuk kekasaran yang diperoleh dari pasir dengan nilai C lebih besar dari 100. Untuk syarat rata-rata, Schlichting menyarankan nilai $kc = 100 v/V$ yang sesuai dengan $C = 113,5$. Persamaan (8) dapat dipakai sebagai pendekatan untuk suatu saluran.

Jika tinggi kekasaran lebih besar dari nilai kritis yang ditentukan oleh persamaan (8) (gambar 5.c), elemen kekasaran akan memiliki magnitudo dan angularitas yang cukup untuk memperluas efeknya melampaui sub lapisan laminar dan dengan demikian dapat mengganggu aliran dalam saluran. Oleh karena itu permukaannya dikatakan kasar. Pada saluran kasar, distribusi

kecepatan akan tergantung pada bentuk dan ukuran proyeksi kekasaran, dan sub lapisan laminar tidak dapat dibentuk lagi.

2.9 Faktor yang Mempengaruhi Kedalaman Gerusan

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

2.9.1. 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.

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_c), kedalaman gerusan berfluktuasi akibat pengendapan material secara periodik pada lubang gerusan oleh gerakan bukit pasir, kedalaman gerusan maksimal diperoleh pada kecepatan aliran yang mendekati kecepatan aliran kritik dan gerusan dimulai pada kira – kira setengah kecepatan aliran kritik. (Chabert dan Engeldinger, 1956)

2.9.2. Gradasi Sedimen

Gradasi sedimen dari sedimen transpor merupakan salah satu faktor yang mempengaruhi kedalaman gerusan pada kondisi air bersih (*clear water scour*). 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.

2.9.3. 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 *critical*.

2.9.4. 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. Kedalaman gerusan lokal merupakan fungsi dari tinggi aliran dengan persamaan sebagai berikut :

$$y_s = 1.5 \left(\frac{b}{y_0} \right)^{0.70}$$

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})

2.9.5. 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 1 berikut :

Tabel 1 Koefisien factor bentuk pilar

Bentuk Pilar	$\frac{b}{l}$	$\frac{b}{l}$	K_s	Gambar Bentuk Pilar
Silinder			1.0	
Persegi (<i>Rectangular</i>)	1:1 1:5		1.22 0.99	
Persegi dengan ujung setengah lingkaran (<i>rectangular with semi circular nose</i>)	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 (<i>Elliptic</i>)	1:2		0.83	
	1:3		0.80	
	1:5		0.61	
<i>Lenticular</i>	1:2		0.80	
	1:3		0.70	
<i>Aerofil</i>	1:3.5		0.80	

(Sumber : Breuser dan Raudkivi,1999)

2.9.6. 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.

Menurut, Dietz (1972) dan Neil (1973) terhadap pengaruh bentuk pilar tampak horisontal cross section, mereka menegaskan dan merekomendasikan nilai faktor bentuk pilar (Ks). Laursen dan Touch (1956), mempelajari ini pada pilar rectangular horizontal cross section dengan memberikan sudut kemiringan terhadap aliran. Bila sudut terjang aliran terhadap pilar 00 maka $K\alpha = 1$.

2.9.7. 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 :

$$y_s = f(\rho, v, g, d, \rho_s, y_o, U, b)$$

Jika persamaan dibuat tidak berdimensi maka persamaan tersebut menjadi :

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

$$f\left(\frac{u^*b}{v}, \frac{u^{*2}}{gd\Delta}, \frac{D_b}{b}, \frac{\sigma_g}{d_{50}}, \Delta\right)$$

dengan :

f = konstanta

u^* = kecepatan geser

v = kekentalan kinematik zat cair

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

rapat massa air

σ_g = standar deviasi geometrik

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

$$Y_{se} = 2.3 K_{\sigma}.K_s.K_{\alpha}.K_{dt}.K_{db}$$

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