

## **TUGAS AKHIR**

### **ANALISIS POLA GERUSAN PADA HAMBATAN PLAT SEGITIGA TERENDAM DI SALURAN TERBUKA**

### **ANALYSIS OF SCOUR PATTERNS OF A SUBMERGED TRIANGULAR WEIR IN OPEN CHANNEL**

**RUDY EKA BATISTUTA AP  
D011 18 1332**



**PROGRAM SARJANA DEPARTEMEN TEKNIK SIPIL  
FAKULTAS TEKNIK  
UNIVERSITAS HASANUDDIN  
2023**

## LEMBAR PENGESAHAN SKRIPSI

### ANALISIS POLA GERUSAN PADA HAMBATAN PLAT SEGITIGA TERENDAM DI SALURAN TERBUKA

Disusun dan diajukan oleh

**RUDY EKA BATISTUTA AP**  
**D011 18 1332**

Telah dipertahankan di hadapan Panitia Ujian yang dibentuk dalam rangka  
Penyelesaian Studi Program Sarjana Program Studi Teknik Sipil  
Fakultas Teknik Universitas Hasanuddin  
Pada tanggal 18 Oktober 2023  
dan dinyatakan telah memenuhi syarat kelulusan

Menyetujui,

Pembimbing Utama,



**Prof. Dr. Eng. Ir. H. Farouk Maricar, M.T**

NIP. 196410201991031002

Pembimbing Pendamping,



**Muhammad Farid Maricar, B.Eng, M.Eng**

NIP. 1992103120185001

Ketua Program Studi,



**Prof. Dr. H. M. Wihardi Tjaronge, ST, M.Eng**

NIP. 196805292002121002

## PERNYATAAN KEASLIAN KARYA ILMIAH

Yang bertanda tangan di bawah ini, nama Rudy Eka Batistuta AP, dengan ini menyatakan bahwa skripsi yang berjudul "**Analisis Pola Gerusan Pada Hambatan Plat Segitiga Terendam di Saluran Terbuka**", adalah karya ilmiah penulis sendiri, dan belum pernah digunakan untuk mendapatkan gelar apapun dan dimanapun.

Karya ilmiah ini sepenuhnya milik penulis dan 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.

Gowa, 1 Agustus 2023

Yang membuat pernyataan,



Rudy Eka Batistuta AP  
NIM: D011 18 1332

## KATA PENGANTAR

Puji dan Syukur kita panjatkan kehadirat Tuhan Yang Maha Esa, atas berkat dan karunia-Nya sehingga penulis dapat menyelesaikan Tugas Akhir yang berjudul “**ANALISIS KARAKTERISTIK DAN POLA GERUSAN PADA HAMBATAN PLAT SEGITIGA TERENDAM DI SALURAN TERBUKA**” yang merupakan salah satu syarat yang diajukan untuk menyelesaikan studi pada Jurusan Teknik Sipil Fakultas Teknik Universitas Hasanuddin.

Penulis menyadari sepenuhnya bahwa banyak kendala yang dihadapi dalam penyusunan tugas akhir ini, namun berkat bantuan dari berbagai pihak, maka tugas akhir ini dapat terselesaikan. Oleh karena itu, dengan segala ketulusan, penulis ingin menyampaikan terima kasih kepada:

1. **Bapak Prof. Dr. Eng. Muhammad Isran Ramli, ST., MT.**, 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 Dr. Eng. Ir. H. Farouk Maricar, MT.**, selaku Dosen Pembimbing I yang telah meluangkan waktunya untuk memberikan bimbingan dan pengarahan mulai dari awal penelitian hingga selesainya penulisan ini. Sekaligus selaku Kepala Laboratorium Hidrolika Departemen Teknik Sipil Fakultas Teknik Universitas Hasanuddin yang telah memberikan izin atas segala fasilitas yang digunakan selama penelitian.
4. **Bapak Muhammad Farid Maricar, B.Eng, M.Eng.**, selaku Dosen Pembimbing II yang telah meluangkan waktunya untuk memberikan bimbingan dan pengarahan mulai dari awal penelitian hingga selesainya penulisan ini.
5. Seluruh dosen Departemen Teknik Sipil Fakultas Teknik Universitas Hasanuddin.
6. 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 persembahkan kepada:

1. Kedua Orang Tua tercinta, Ayahanda **Muhammad Yahya** dan Ibunda **Baharah** yang tiada henti-hentinya memberikan perhatian, kasih sayang, dorongan, motivasi, dan iringan doa serta memberikan bantuan baik moril maupun materil.

2. Adik penulis tercinta **Arief Dwi Yulianto AP** yang selalu memberikan semangat dan dukungan dalam penyelesaian tugas akhir ini.
3. **Uppa, terima kasih** telah memberikan semangat dan dukungan dengan tulus untuk berjuang menyelesaikan tugas akhir ini.
4. **Made, Yusriah, Nabilah, Samuel, Ummul, dan Melani** sebagai partner penelitian yang telah berjuang bersama selama proses penelitian dan penyusunan tugas akhir.
5. Rekan penelitian terkhusus **Ibu Ira** yang telah banyak memberikan ilmu dan masukan selama proses penelitian dan penyusunan tugas akhir.
6. **Amin, Fahmi, Made, Asmud, dan Ipa** yang menemani suka duka dan pengalaman-pengalaman tak terlupakan di kehidupan kampus mulai dari mahasiswa baru hingga berada di titik ini.
7. **Cole, Riyad, Yusran, dan Imran** yang senantiasa memberikan semangat dan dorongan dalam menyelesaikan tugas akhir ini.
8. **Teman-teman pengurus HMS FT-UH periode 2020/2021** yang telah memberikan banyak pengalaman yang tak terlupakan selama menjalani kehidupan kampus.
9. **Rekan-rekan asisten di Laboratorium Ukur Tanah Departemen Teknik Sipil Fakultas Teknik Universitas Hasanuddin** yang telah memberikan pengalaman dan pengetahuan baru selama menjalankan tanggung jawab sebagai asisten.
10. Saudara-saudari **TRANSISI 2019** yang senantiasa memberikan warna serta kenangan yang indah, dukungan yang tiada henti serta semangat dan dorongan dalam penyelesaian tugas akhir ini.

Penulis menyadari bahwa setiap karya buatan manusia tidak akan pernah luput dari kekurangan. Oleh karena itu, penulis mengharapkan kepada pembaca kiranya dapat memberi sumbangan pemikiran demi kesempurnaan dan pembaharuan tugas akhir ini.

Akhir kata semoga Tuhan Yang Maha Esa melimpahkan berkat dan karunia-Nya kepada kita dan semoga tugas akhir ini dapat memberikan manfaat, khususnya dalam bidang Teknik Sipil.

Gowa, 01 Agustus 2023

Rudy Eka Batistuta AP

## ABSTRAK

Sungai dapat mengalami perubahan morfologi pada bentuk tampang aliran yang disebabkan oleh faktor alam seperti tikungan dan faktor manusia seperti pembangunan bangunan air. Adanya halangan yang melintang di sungai berupa bangunan sungai dapat menyebabkan gerusan lokal di sekitar bangunan tersebut. Apabila air di hulu melintasi bangunan air maka akan mempunyai energi yang besar sehingga kecepatan aliran yang melintas akan menjadi semakin besar. Tujuan dari penelitian ini adalah untuk menganalisis distribusi kecepatan dan pola aliran sebelum dan sesudah melewati hambatan serta menganalisis pengaruh variasi hambatan terhadap distribusi kecepatan dan pola aliran.

Penelitian ini dilakukan di Laboratorium Hidrolika, Departemen Teknik Sipil, Fakultas Teknik, Universitas Hasanuddin dengan menggunakan metode eksperimental. Dalam penelitian ini digunakan tiga variasi sudut kemiringan model hambatan berbentuk segitiga dimana model  $M_1$   $30^\circ$ ,  $M_2$   $45^\circ$  dan  $M_3$   $60^\circ$  dan dengan tiga variasi debit yang diletakkan di tengah *flume* berukuran panjang 800 cm, lebar 40 cm, dan tinggi 60 cm.

Hasil penelitian menunjukkan bahwa gerusan terjadi pada setelah hambatan dimana semakin besar hambatan mengakibatkan gerusan yang terjadi akan semakin besar, Hal ini terjadi karena jika sudut hambatan membesar maka hambatan makin curam yang menyebabkan loncatan hidraulis makin besar. Begitupula pengaruh debit dimana semakin besar debit yang digunakan maka gerusan yang terjadi akan semakin besar. Hal ini terjadi karena semakin besar debit yang digunakan maka tinggi muka air akan meningkat menyebabkan loncatan hidraulis pada setelah hambatan makin meningkat. Nilai kecepatan geser di dasar saluran untuk adalah  $U_* = 0,05$  m/dtk. Untuk nilai kecepatan geser kritis sedimen berdasarkan hasil perhitungan adalah  $U_*c = 0,01813$  m/dtk. Dari data hasil analisis tersebut diketahui bahwa  $U_* > U_*c$  yaitu kecepatan geser yang terjadi di dasar saluran untuk lebih besar dari kecepatan geser kritis sedimen, maka kondisi butir sedimen di dasar saluran tidak stabil (bergerak). Nilai tegangan geser di dasar saluran adalah  $\tau_0 = 2,575$  N/m<sup>2</sup>. Untuk nilai tegangan geser kritis sedimen berdasarkan hasil perhitungan adalah  $\tau_c = 0,32879$  N/m<sup>2</sup>. Dari data tersebut diketahui bahwa nilai  $\tau_0 > \tau_c$  yaitu tegangan geser yang terjadi di dasar saluran lebih besar dari tegangan geser kritis sedimen, maka kondisi butir sedimen di dasar saluran tidak stabil (bergerak).

**Kata Kunci:** Saluran Terbuka, Pola Gerusan, Hambatan Segitiga

## ABSTRACT

Rivers can undergo morphological changes in their cross-sectional profiles due to natural factors such as bends and human-induced factors like the construction of water structures. The presence of obstacles, such as river structures, can lead to local scouring around these structures. When water passes over a water structure from upstream, it gains significant energy, resulting in an increase in flow velocity. The objective of this research is to analyze the velocity distribution and flow patterns before and after passing through the obstacle and to examine the influence of different obstacles on velocity distribution and flow patterns. The purpose of this study was to analyze the distribution of velocity and flow patterns before and after crossing obstacles and to analyze the effect of variations in resistance on velocity distribution and flow patterns.

This research was conducted in the Hydraulics Laboratory, Department of Civil Engineering, Faculty of Engineering, Hasanuddin University, using an experimental method. Three variations of triangular-shaped obstacle model angles were used in the study: M1 with an angle of 30°, M2 with 45°, and M3 with 60°. These models were tested under three different flow rates in a flume with dimensions of 800 cm in length, 40 cm in width, and 60 cm in height.

The research results indicate that scouring occurs downstream of the obstacle, and increasing the obstacle size leads to larger scouring. This is because a steeper obstacle angle causes larger hydraulic jumps. Additionally, higher flow rates result in more significant scouring. This happens because increased flow rates lead to higher water levels and subsequent hydraulic jumps downstream of the obstacle. The shear velocity value at the channel bed was found to be  $U^* = 0.05$  m/s. The critical sediment shear velocity based on the calculation results was  $U^*_c = 0.01813$  m/s. The analysis data shows that  $U^* > U^*_c$ , indicating that the sediment particles at the channel bed are in an unstable (mobile) condition. The bed shear stress value at the channel bed was  $\tau_0 = 2.575$  N/m<sup>2</sup>. The critical sediment shear stress based on the calculation results was  $\tau_c = 0.32879$  N/m<sup>2</sup>. The data shows that  $\tau_0 > \tau_c$ , indicating that the bed shear stress at the channel bed exceeds the critical sediment shear stress, resulting in an unstable (mobile) condition of sediment particles at the channel bed.

**Keywords:** Open Channel, Scouring Patterns, Triangular Obstacle.

## DAFTAR ISI

LEMBAR PENGESAHAN .....	ii
PERNYATAAN KEASLIAN KARYA ILMIAH .....	iii
KATA PENGANTAR .....	iv
ABSTRAK.....	vi
DAFTAR ISI.....	viii
DAFTAR GAMBAR.....	x
DAFTAR TABEL.....	xii
BAB 1. PENDAHULUAN.....	1
A. Latar Belakang .....	1
B. Rumusan Masalah .....	2
C. Maksud dan Tujuan Penelitian .....	2
D. Manfaat Penelitian.....	3
E. Batasan Masalah .....	3
F. Sistematika Penulisan .....	4
BAB 2. TINJAUAN PUSTAKA .....	6
A. Gerusan .....	6
B. Mekanisme Gerusan di Sungai.....	7
C. Distribusi Kecepatan Aliran .....	10
D. Kecepatan Kritis .....	12
E. Tegangan Geser .....	13
F. Pola Aliran.....	14
BAB 3. METODE PENELITIAN.....	17
A. Lokasi Penelitian .....	17
B. Jenis Penelitian dan Sumber Data .....	17
B.1. Jenis Penelitian.....	17
B.2. Sumber Data.....	18
C. Alat dan Bahan Penelitian .....	18
C.1. Alat Penelitian.....	18
C.2. Bahan Penelitian.....	21

D. Prosedur Penelitian .....	22
D.1. Tahapan Pendahuluan.....	22
D.2. Tahap Running Pengambilan Data Kecepatan .....	26
D.3. Tahap Running Pengambilan Data Gerusan.....	27
D.4. Analisis dan Pengolahan Data .....	29
D.5. Bagan Alur Penelitian .....	29
BAB 4. HASIL DAN PEMBAHASAN .....	31
A. Pemeriksaan Material Sedimen.....	31
A.1. Uji Gradasi Butiran Material Sedimen .....	31
A.2. Berat Jenis Sedimen.....	32
B. Penentuan Debit .....	33
B.1. Pengukuran Debit di Hulu Saluran .....	33
B.2. Pengukuran Debit di Hilir Saluran .....	35
B.3. Pengukuran Debit di Tengah Saluran .....	36
B.4. Validasi Debit dengan Persamaan Empiris .....	39
B.5. Rekapitulasi Hasil Validasi Data Debit Pengaliran .....	40
C. Perhitungan Tegangan Geser dan Tegangan.....	41
C.1. Kecepatan Geser ( $U_*$ ) dan Tegangan Geser di Dasar Saluran ( $\tau_0$ ) .....	42
C.2. Kecepatan Geser Kritis ( $U_{*c}$ ) dan tegangan Geser Kritis ( $\tau_c$ ) .....	44
C.3. Perbandingan $U_*$ terhadap $U_{*c}$ dan $\tau_0$ Terhadap $\tau_c$ .....	47
D. Pola Gerusan Pada Hambatan Plat Segitiga .....	47
BAB 5. KESIMPULAN DAN SARAN .....	58
A. Kesimpulan .....	58
B. Saran .....	59
DAFTAR PUSTAKA.....	60
LAMPIRAN	

## DAFTAR GAMBAR

Gambar 1. Hubungan kedalaman gerusan dengan waktu (Breusers dan Raudkivi: 1991).....	9
Gambar 2. Hubungan kedalaman gerusan dengan kecepatan geser (Breusers dan Raudkivi : 1991).....	9
Gambar 3. Urutan <i>Bedform</i> yang dihasilkan dari Peningkatan Kekuatan Aliran .....	10
Gambar 4. Distribusi kecepatan aliran .....	11
Gambar 5. Jarak kecepatan maksimum dan efek kekasaran dasar saluran .....	12
Gambar 6. Grafik Shields (Breusers dan Raudkivi: 1991).....	14
Gambar 7. Lokasi penelitian .....	17
Gambar 8. <i>Recirculating sediment flume</i> .....	19
Gambar 9. <i>Point gauge</i> .....	19
Gambar 10. <i>Electromagnetic current meter</i> .....	20
Gambar 11. Pengukuran debit di hulu saluran .....	24
Gambar 12. Pengukuran debit di hilir saluran .....	24
Gambar 13. Model hambatan segitiga dengan variasi kemiringan 30°,45°, dan 60° .....	25
Gambar 14. Skema pengukuran .....	26
Gambar 15. Bagan alir penelitian.....	30
Gambar 16. Grafik Uji Gradasi Butiran Material Sedimen Kedua .....	32
Gambar 17. Grafik hubungan debit aktual ( $Q_a$ ) dan koefisien debit ( $C_d$ ) ..	35
Gambar 18. Titik pengukuran di tengah saluran .....	36
Gambar 19. Grafik hubungan tinggi muka air ( $h$ ) dan kecepatan ( $v$ ) .....	41
Gambar 20. Analisis nilai $U_*c$ dan $\tau_c$ pada diagram shield .....	45
Gambar 21. Kontur gerusan debit $Q_1$ pada Hambatan Plat Segitiga 30° ..	48
Gambar 22. Isometri pola gerusan debit $Q_1$ pada Hambatan Plat Segitiga 30° .....	49
Gambar 23. Kontur gerusan debit $Q_2$ pada Hambatan Plat Segitiga 30° ..	49

Gambar 24. Isometri pola gerusan debit Q2 pada Hambatan Plat Segitiga 30° .....	49
Gambar 25. Kontur gerusan debit Q3 pada Hambatan Plat Segitiga 30° .	50
Gambar 26. Isometri pola gerusan debit Q3 pada Hambatan Plat Segitiga 30° .....	50
Gambar 27. Kontur gerusan debit Q1 pada Hambatan Plat Segitiga 45° .	51
Gambar 28. Isometri pola gerusan debit Q1 pada Hambatan Plat Segitiga 45° .....	51
Gambar 29. Kontur gerusan debit Q2 pada Hambatan Plat Segitiga 45° .	52
Gambar 30. Isometri pola gerusan debit Q2 pada Hambatan Plat Segitiga 45° .....	52
Gambar 31. Kontur gerusan debit Q3 pada Hambatan Plat Segitiga 45° .	53
Gambar 32. Isometri pola gerusan debit Q3 pada Hambatan Plat Segitiga 45° .....	53
Gambar 33. Kontur gerusan debit Q1 pada Hambatan Plat Segitiga 60° .	54
Gambar 34. Isometri pola gerusan debit Q1 pada Hambatan Plat Segitiga 60° .....	54
Gambar 35. Kontur gerusan debit Q2 pada Hambatan Plat Segitiga 60° .	55
Gambar 36. Isometri pola gerusan debit Q2 pada Hambatan Plat Segitiga 60° .....	55
Gambar 37. Kontur gerusan debit Q3 pada Hambatan Plat Segitiga 60° .	56
Gambar 38. Isometri pola gerusan debit Q3 pada Hambatan Plat Segitiga 60° .....	56

## DAFTAR TABEL

Tabel 1. Uji Gradasi Butiran Material Sedimen Pertama .....	31
Tabel 2. Hasil Uji Berat Jenis Sedimen .....	33
Tabel 3. Pengukuran debit aliran di hulu saluran .....	34
Tabel 4. Pengukuran debit aliran di hilir saluran .....	36
Tabel 5. Pengukuran kecepatan aliran dengan <i>ECM</i> .....	37
Tabel 6. Rekapitulasi debit aliran dengan <i>ECM</i> .....	37
Tabel 7. Rekapitulasi hasil pengukuran debit.....	38
Tabel 8. Parameter utama aliran.....	38
Tabel 9. Rekapitulasi hasil analisis kecepatan Metode <i>Chezy</i> .....	39
Tabel 10. Rekapitulasi hasil analisis kecepatan Metode <i>Manning</i> .....	40
Tabel 11. Rekapitulasi validasi kecepatan aliran.....	40

## **BAB 1. PENDAHULUAN**

### **A. Latar Belakang**

Sungai adalah sebuah sistem alur alam yang secara menerus menyesuaikan dirinya terhadap perubahan lingkungan sekitarnya dalam bentuk aksi dan reaksi. Setiap sungai memiliki karakteristik dan bentuk yang berbeda antara satu dengan yang lainnya, hal ini disebabkan oleh banyak faktor diantaranya topografi, iklim, maupun segala gejala alam dalam proses pembentukannya. Salah satu permasalahan yang kerap terjadi yaitu perubahan pada dasar sungai yang diakibatkan oleh pergerakan sedimen yang terbawa oleh arus sungai dan pengendapan akan terjadi bila material yang akan dipindahkan jauh lebih berat dari pada gaya penyebab pergerakan. Hal ini dapat mempengaruhi kemiringan atau terjadinya erosi pada dinding atau pada tebing yang dapat mengakibatkan terjadinya longsor.

Gerusan adalah pembesaran aliran yang disertai perpindahan material melalui aksi gerak fluida. Proses gerusan akan terjadi secara alami, baik karena pengaruh morfologi sungai maupun perubahan kondisi aliran. Salah satu pendekatan yang dapat digunakan untuk mengurangi masalah di dasar sungai adalah meredam energi yang datang untuk mengurangi kedalaman gerusan yang terjadi di bangunan utama.

Pembendungan yang bertujuan mengurangi energi yang dimaksud adalah struktur plat segitiga yang mana jika sebuah struktur tegak lurus

terhadap kecepatan aliran maka kedalaman gerusan yang terjadi di sekitar bangunan akan semakin dalam dan melebar. Hal ini menjadi pertimbangan untuk membuat kemiringan pada hambatan tersebut guna mengetahui pengaruh energi yang terjadi setelah melalui hambatan plat segitiga tanpa membuat kedalaman gerusan yang signifikan di sekitar hambatan plat segitiga. Hal ini yang mendorong penulis untuk mengamati dan meneliti perilaku aliran khususnya kecepatan gesek dasar saluran yang diakibatkan dengan pembendungan saluran berupa struktur berbentuk segitiga sesuai dengan teori-teori dalam hidrolika.

Oleh karena itu dilakukan penelitian dengan judul “**ANALISIS POLA GERUSAN PADA HAMBATAN PLAT SEGITIGA TERENDAM DI SALURAN TERBUKA**”

#### **B. Rumusan Masalah**

Berdasarkan latar belakang masalah di atas, maka permasalahan dapat dirumuskan sebagai berikut:

1. Bagaimana karakteristik pola gerusan?
2. Bagaimana kecepatan kritis dan tegangan geser pada plat segitiga?

#### **C. Maksud dan Tujuan Penelitian**

Berdasarkan rumusan masalah yang dipaparkan di atas, maka tujuan yang ingin dicapai dari penelitian ini adalah:

1. Menganalisis pola gerusan.
2. Menganalisis kecepatan kritis dan tegangan geser pada plat segitiga.

#### **D. Manfaat Penelitian**

1. Memberikan pemahaman lebih mendalam tentang karakteristik hambatan segitiga terendam di saluran terbuka. Ini akan membantu mengidentifikasi faktor-faktor yang mempengaruhi pola aliran dan gerusan di sekitar hambatan segitiga terendam.
2. Model ini dapat digunakan dalam berbagai aplikasi rekayasa seperti perencanaan bangunan air, pemeliharaan sungai, dan mitigasi bencana banjir.

#### **E. Batasan Masalah**

Agar penelitian dapat berjalan efektif dan mencapai sasaran yang diinginkan maka ruang lingkup penelitian dibatasi pada:

1. Penelitian ini dilaksanakan di Laboratorium Hidrolika Departemen Teknik Sipil Fakultas Teknik Universitas Hasanuddin Makassar dengan menggunakan Uji Model Fisik.
2. Model hambatan diletakkan di tengah saluran.
3. Penelitian ini tidak menganalisis struktur hambatan.
4. Material dasar menggunakan pasir berdiameter seragam.
5. Variasi penelitian yang dilakukan adalah tiga variasi debit ( $Q$ ) dan tiga variasi model hambatan ( $M$ ).

## **F. Sistematika Penulisan**

Penulisan tugas akhir ini terdiri dari beberapa bab dimana masing-masing bab membahas masalah tersendiri dengan rincian sebagai berikut:

### **BAB 1 PENDAHULUAN**

Dalam bab ini diuraikan mengenai hal-hal yang melatar belakangi penelitian ini, dilanjutkan dengan uraian rumusan masalah, tujuan penelitian, manfaat penelitian, batasan masalah, dan sistematika penulisan.

### **BAB 2 TINJAUAN PUSTAKA**

Pada bab ini diuraikan secara sistematis tentang teori, pemikiran, dan hasil penelitian terdahulu yang ada hubungannya dengan penelitian ini. Bagian ini akan memberikan kerangka dasar yang komprehensif mengenai konsep, prinsip, atau teori yang akan digunakan untuk pemecahan masalah.

### **BAB 3 METODE PENELITIAN**

Dalam bab ini dijelaskan tentang metode yang digunakan dalam penelitian yang meliputi lokasi dan waktu penelitian, data penelitian berupa jenis dan sumber data serta analisis yang digunakan untuk mengolah data, alat dan bahan yang digunakan, dan bagan alir yang berisi langkah-langkah penelitian.

### **BAB 4 HASIL DAN PEMBAHASAN**

Pada bab ini menjelaskan hasil-hasil yang diperoleh dari proses penelitian dan pembahasannya. Penyajian hasil penelitian memuat deskripsi sistematis tentang data yang diperoleh, sedangkan pada bagian

pembahasan menguraikan pengolahan data hasil penelitian dalam rangka mencapai tujuan dari penelitian ini.

## **BAB 5 KESIMPULAN DAN SARAN**

Merupakan bab yang menyimpulkan hasil dari analisis penelitian dan memberikan saran-saran dan rekomendasi penelitian.

## **BAB 2. TINJAUAN PUSTAKA**

### **A. Gerusan**

Perubahan pola aliran dapat terjadi karena adanya rintangan atau halangan berupa bangunan yang ada di sungai misalnya: pangkal jembatan, krib sungai, pilar jembatan, revetment, dan sebagainya. Adanya bangunan air menyebabkan perubahan karakteristik aliran seperti kecepatan atau turbulensi sehingga menimbulkan perubahan transpor sedimen dan terjadinya gerusan. Sebagai akibat dari perubahan debit angkutan sedimen, terjadi degradasi di beberapa tempat serta terjadinya aggradasi di tempat lain pada dasar sungai, dengan demikian umumnya bentuk dari dasar sungai akan selalu berubah.

Degradasi dasar sungai merupakan salah satu faktor yang menyebabkan terjadinya kerusakan pada bangunan sungai. Degradasi ini terjadi karena perubahan kecepatan, debit, waktu serta angkutan sedimen pada sungai. Makin lama terjadinya limpasan air dan makin besar debit aliran, maka makin besar degradasi yang terjadi. Apabila degradasi berlangsung secara terus menerus hingga tercapainya keseimbangan antara suplai dengan angkutan sedimen yang saling memperbaiki, maka terjadi ketidakseimbangan karena jumlah angkutan sedimen lebih besar dari pada suplai sedimennya. Semakin dalamnya lubang gerusan (scour hole) dapat menyebabkan terjadinya kerusakan pada bangunan sungai.

Gerusan (*scouring*) merupakan suatu proses alamiah yang terjadi di sungai akibat pengaruh morfologi sungai, dapat berupa tikungan atau bagian penyempitan aliran sungai dan bisa juga karena adanya bangunan air (*hydraulic structure*). 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. Sucipto (2011) dalam Windarta (2016) berpendapat jika struktur ditempatkan pada suatu arus air, aliran air di sekitar struktur tersebut akan berubah.

Menurut Sucipto (2004:34) dalam Paresa (2015) sifat alami gerusan mempunyai fenomena sebagai berikut:

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

## **B. Mekanisme Gerusan di Sungai**

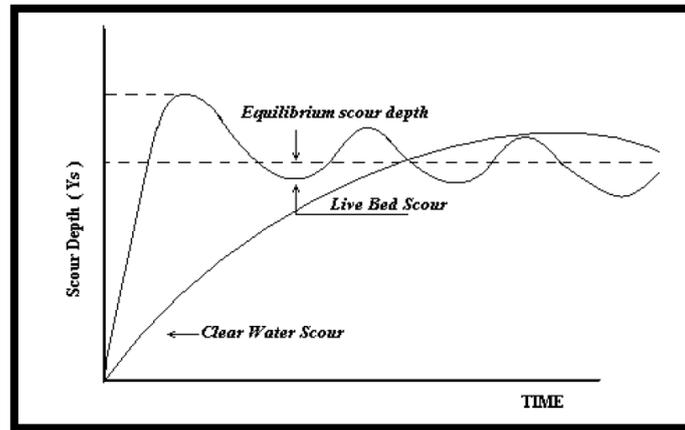
Menurut Yulistianto dkk. (1998) dalam Abdurrasyid (2005:37), gerusan yang terjadi di sekitar bangunan adalah akibat sistem pusaran

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

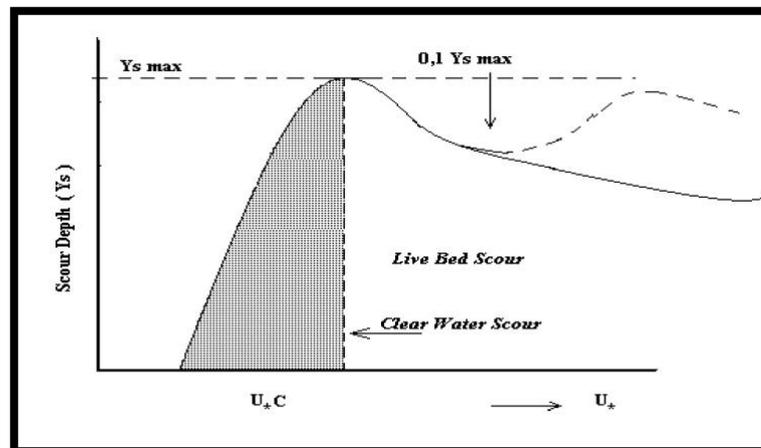
Proses gerusan dimulai pada saat partikel yang terbawa bergerak mengikuti pola aliran dari bagian hulu ke bagian hilir saluran. Pada kecepatan tinggi, partikel yang terbawa akan semakin banyak dan lubang gerusan akan semakin besar baik ukuran maupun kedalamannya. Bahkan kedalaman gerusan maksimum akan tercapai pada saat kecepatan aliran mencapai kecepatan kritik.

Chabert dan Engeldiner (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 1). Sedangkan Breusers dan Raudkivi (1991:61) menyatakan

bahwa kedalaman gerusan maksimum merupakan fungsi kecepatan geser (Gambar 2) (Halim, 2014).



Gambar 1. Hubungan kedalaman gerusan dengan waktu (Breusers dan Raudkivi: 1991)

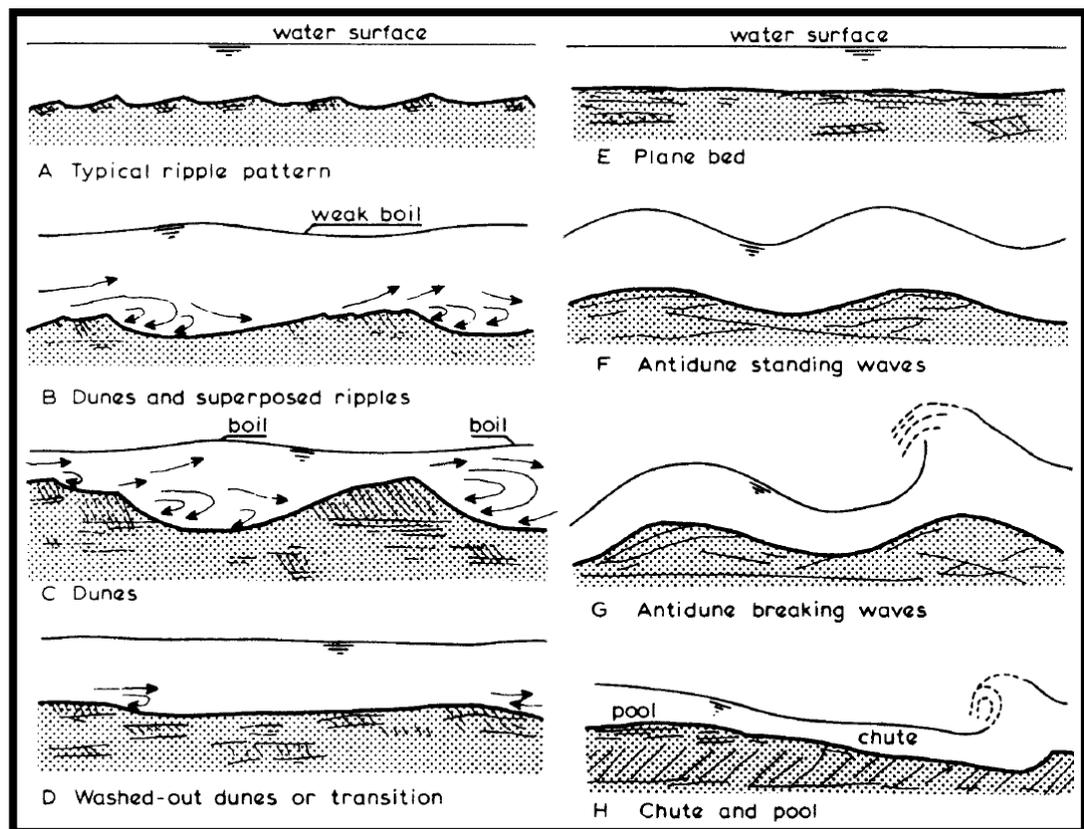


Gambar 2. Hubungan kedalaman gerusan dengan kecepatan geser (Breusers dan Raudkivi : 1991)

Mekanisme transportasi sedimen dimulai saat aliran melewati kondisi kritis tegangan geser ( $\tau > \tau_{cr}$ ) dan kecepatan aliran ( $U > U_{cr}$ ) yang bisa dibagi dalam 3 fase:

- a. *Lower flow regime* ( $Fr < 1$ ), konfigurasi dasar yang terjadi pada fase ini adalah *ripple*, *sand wave*, dan *dunes*.

- b. *Transition flow regime* ( $Fr = 1$ ), pada fase ini konfigurasi tidak teratur, dari bentuk *dunes* sampai *plan (flat) bed*.
- c. *Upper flow regime* ( $Fr > 1$ ), menghasilkan pola *plane bed*, *antidunes*, dan *chute and pool*.

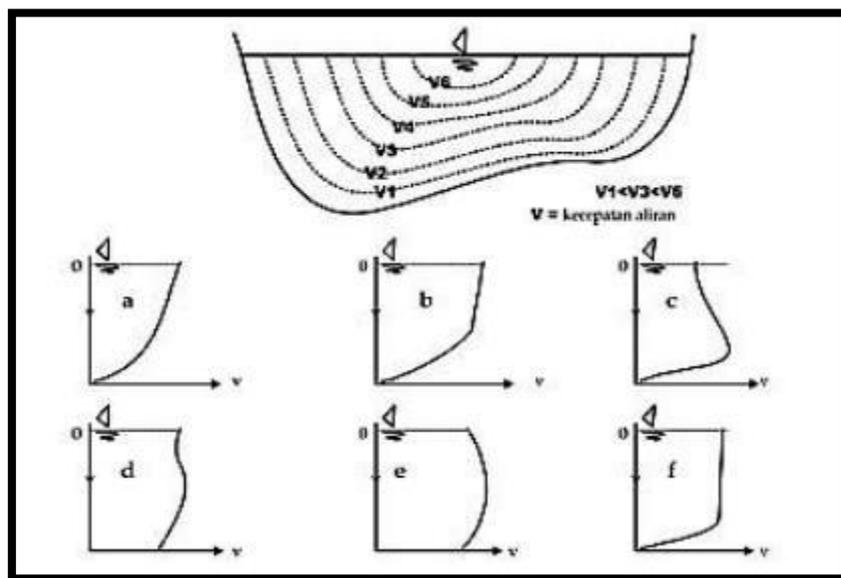


Gambar 3. Urutan *Bedform* yang dihasilkan dari Peningkatan Kekuatan Aliran

### C. Distribusi Kecepatan Aliran

Disebabkan oleh tekanan pada muka air akibat adanya perbedaan fluida antara udara dan air dan juga akibat gaya gesekan pada dinding saluran (dasar maupun tebing saluran) maka kecepatan aliran pada suatu potongan melintang saluran tidak seragam. Ketidakteraturan ini juga

disebabkan oleh bentuk tampang melintang saluran, kekasaran saluran dan lokasi saluran (saluran lurus, atau pada belokan) (Kodoatie, 2002) (Kodoatie, 2002).

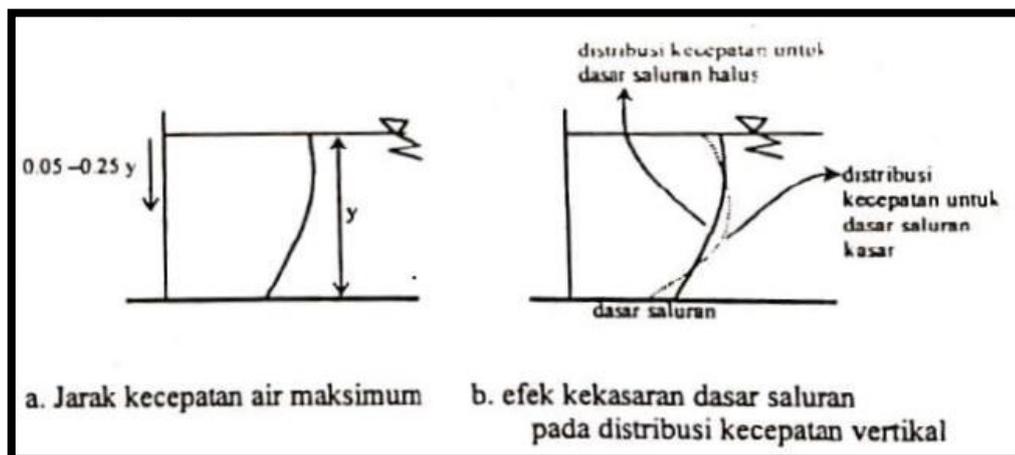


Gambar 4. Distribusi kecepatan aliran

Gambar 4 di atas menjelaskan bahwa distribusi kecepatan pada penampang saluran tergantung pada beberapa faktor seperti bentuk penampang, kekasaran saluran, dan adanya tekukan-tekukan. Pada gambar 4(a) merupakan distribusi kecepatan secara teoritis. Gambar 4(b) dasar saluran kasar dan banyak tumbuhan. Gambar 4(c) gangguan permukaan (sampah). Gambar 4(d) aliran cepat, aliran turbulen pada dasar. Gambar 4(e) aliran lambat, dasar saluran halus. Gambar 4(f) dasar saluran kasar/ berbatu (Putra, 2016).

Selanjutnya Chow mengatakan bahwa kecepatan maksimum umumnya terjadi pada jarak 0,05 sampai 0,25 dikalikan kedalaman airnya dihitung dari permukaan air seperti ditunjukkan dalam Gambar 5. Namun

pada sungai yang sangat lebar dengan kedalaman dangkal (*shallow*), kecepatan maksimum terjadi pada permukaan air. Makin sempit saluran, maka kecepatan air maksimumnya makin dalam (Kodoatie, 2002).



Gambar 5. Jarak kecepatan maksimum dan efek kekasaran dasar saluran

#### D. Kecepatan Kritis

Pada kondisi butiran sedimen mulai bergerak untuk sedimen tidak kohesi atau lepas, maka gerakan butiran dapat dijelaskan dengan istilah gaya bekerja pada butiran.

Menurut Chow (1989) bilangan Froude aliran ( $F$ ) dapat digunakan dalam menentukan bentuk aliran dan bentuk konfigurasi dasar saluran.

Persamaan yang digunakan sebagai berikut:

$$F = \frac{V}{\sqrt{g \cdot Y_0}}$$

dengan:

$F$  = Bilangan Froude

$V$  = Kecepatan aliran rata-rat (m/s)

$Y_0$  = kedalaman aliran (m)

$g$  = percepatan gravitasi ( $m/S^2$ )

Bilangan *Froude* untuk saluran terbuka dinyatakan sebagai berikut:

- a.  $F < 1$ , aliran yang terjadi adalah aliran sub kritis
- b.  $F = 1$ , aliran yang terjadi adalah aliran kritis, dan
- c.  $F > 1$ , aliran yang terjadi adalah aliran super kritis

### E. Tegangan Geser

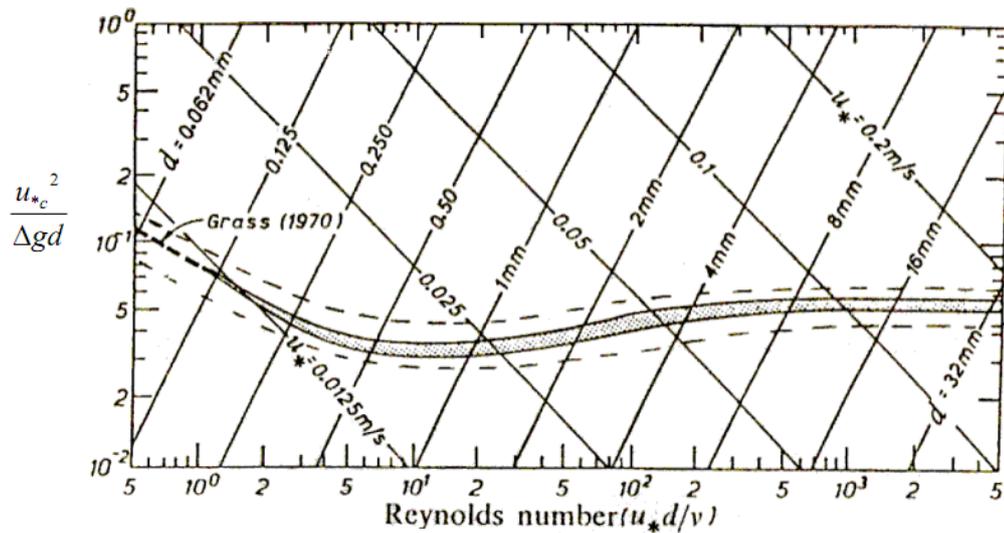
Apabila Gerakan partikel sedimen dalam keadaan terguling, tergelincir, tergelincir, atau kadang-kadang meloncat sepanjang dasar, hal ini disebut angkutan dasar (*bed load transport*). Pada umumnya, besarnya angkutan dasar pada Sungai adalah berkisar 5-25% dari angkutan melayang. Dalam hal ini, material kasar adalah tinggi persentasenya menjadi angkutan dasar.

Menurut Breuser & Raudkivi (1991), dimensi analisis untuk menentukan beberapa parameter tak berdimensi dan ditetapkan dalam bentuk diagram pergerakan awal (*incipient motion*). Melalui grafik Shield, dengan mengetahui angka Reynold ( $R_e$ ) butiran atau diameter butiran ( $d$ ), maka pada nilai tegangan geser kritis ( $\tau_c$ ) dapat diketahui. Bila tegangan geser dasar aliran berada diatas nilai kritiknya maka butiran sedimen bergerak, atau dengan kata lain:

$\tau_0 < \tau_c$  butiran tidak bergerak

$\tau_0 = \tau_c$  butiran dasar mulai akan bergerak

$\tau_0 > \tau_c$  butiran dasar bergerak



Gambar 6. Grafik Shields (Breusers dan Raudkivi: 1991)

Grafik Shield mendefinisikan gerak awal menjadi persamaan berikut:

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

dengan:

$\theta_c$  = koefisien Shield

$\tau_c$  = tegangan geser kritis

$\rho_s$  = berat jenis butiran

$g$  = percepatan gravitasi

$u_*$  = kecepatan geser

## F. Pola Aliran

Kondisi aliran pada saluran terbuka berdasarkan pada kedudukan permukaan bebas cenderung berubah sesuai dengan waktu dan ruang. Disamping itu ada hubungan ketergantungan antara kedalaman aliran, debit air, kemiringan, dasar saluran dan permukaan bebas.

Pola aliran disekitar 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 Wibowo (2007) agar lebih mengerti mekanisme dan peran penting pola aliran hingga terbentuknya lubang gerusan. Pola aliran dibedakan dalam beberapa komponen:

1. Punggung gelombang
2. Arus bawah didepan pilar.
3. Pusaran sepatu kuda (*horse shoes vortex*).
4. Pusaran yang terangkat (*cast-off vortices*) dan menjalar (*wake*)

Pola aliran pada pilar menurut Graf (1998) dalam Prasetyo (2006), yaitu terjadi aliran arah vertikal kebawah yang membentuk *vortek*, dan aktif mengakibatkan gerusan. Besarnya pilar sangat menentukan besarnya *vortek*, yang berdampak pada besarnya gerusan. Akan tetapi pengaruh besarnya pilar juga menjadikan penyempitan tampang saluran (*constriction*).

Medan aliran disekitar abutmen umumnya mempunyai ciri-ciri yaitu percepatan aliran di hulu pilar, kemudian melemah didekat abutmen, atau terjadi perlambatan aliran, selanjutnya aliran dipisahkan oleh *system vortek*. Pada jarak yang cukup jauh dari abutmen, aliran *uniform* akan terbentuk kembali.

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  $U/U_c < 1$ ). Kejadian pada pembentukan lubang gerusan ke sisi pilar/abutmen 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.