

**TUGAS AKHIR**

**ANALISIS KARAKTERISTIK ALIRAN DAN PERGERAKAN  
SEDIMEN DASAR PADA ABUTMENT JEMBATAN TIPE  
WING WALL**

***ANALYSIS OF FLOW CHARACTERISTICS AND BED  
SEDIMENT MOVEMENT IN BRIDGE ABUTMENT TYPE  
WING WALL***

**LA ODE MUHAMMAD RIZQI  
D111 16 309**



**PROGRAM SARJANA DEPARTEMEN TEKNIK SIPIL  
FAKULTAS TEKNIK  
UNIVERSITAS HASANUDDIN  
2021**

**LEMBAR PENGESAHAN (TUGAS AKHIR)**

**ANALISIS KARAKTERISTIK ALIRAN DAN PERGERAKAN SEDIMEN DASAR  
PADA ABUTMENT JEMBATAN TIPE WING WALL**

**Disusun dan diajukan oleh:**

**LA ODE MUHAMMAD RIZQI**

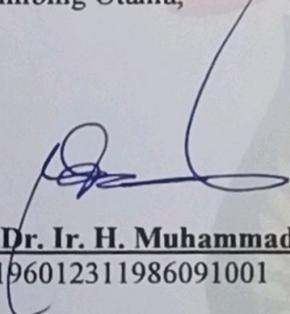
**D111 16 309**

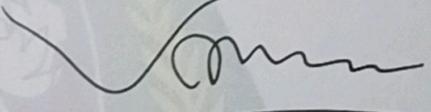
Telah dipertahankan di hadapan Panitia Ujian yang dibentuk dalam rangka Penyelesaian Studi Program Sarjana Program Studi Teknik Sipil Fakultas Teknik Universitas Hasanuddin pada tanggal 2 Juni 2021 dan dinyatakan telah memenuhi syarat kelulusan

menyetujui,

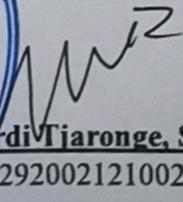
Pembimbing Utama,

Pembimbing Pendamping,

  
**Prof. Dr. Ir. H. Muhammad Arsyad Thaha, MT**  
NIP. 196012311986091001

  
**Silman Pongmanda, ST, MT**  
NIP. 197210102000031001

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 La Ode Muhammad Rizqi, dengan ini menyatakan bahwa skripsi yang berjudul "**Analisis Karakteristik Aliran dan Pergerakan Sedimen Dasar Pada Abutment Jembatan Tipe Wing Wall**", adalah karya ilmiah penulis sendiri, dan belum pernah digunakan untuk mendapatkan gelar apapun dan di manapun.

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, 2 Juni 2021

Yang membuat pernyataan,



La Ode Muhammad Rizqi  
NIM: D111 16 309

## KATA PENGANTAR

*Assalamualaikum warahmatullahi wabarakatuh,  
Alhamdulillah, wa shalaatu wa salaamu 'ala rasulillah wa 'ala aalihi wa ash  
haabihi wa man tabi'ahum bi ihsanin ilaa yaumiddin.*

Rasa syukur selalu terucap kepada Allah *Subhanahu wa Ta'ala* atas segala limpahan rahmat-Nya, sehingga penulis dapat menyelesaikan Tugas Akhir yang berjudul: “**Analisis Karakteristik Aliran dan Pergerakan Sedimen Dasar Pada Abutment Jembatan Tipe Wing Wall**”. Tugas Akhir ini disusun untuk memenuhi salah satu persyaratan dalam menggapai gelar sarjana pada program sarjana di Departemen Teknik Sipil Fakultas Teknik Universitas Hasanuddin.

Penulis menyadari bahwa keberhasilan dalam penyusunan tugas akhir ini tidak lepas dari berbagai pihak yang selalu memberi dukungan serta bantuan moril maupun materiil. Melalui kesempatan ini dengan segala kerendahan hati, penulis mengucapkan terima kasih kepada:

1. Seluruh Ahlussunnah dari kalangan para Ulama, para Penguasa, para Asatidz, para Penuntut Ilmu, dan orang-orang awam, semoga Allah *Subhanahu Wa Ta'ala* memberikan taufik-Nya kepada kita semua, amin.
2. Kedua Orang Tua tercinta, Ayahanda La Ode Alizairin dan Ibunda Eli Surya atas segala doa yang selalu menyertai Penulis selama menempuh pendidikan tinggi di Universitas Hasanuddin.
3. Prof. Dr. Ir. H. Muhammad Arsyad Thaha, M.T. selaku Dekan Fakultas Teknik Universitas Hasanuddin dan juga sebagai dosen Pembimbing Utama.
4. Prof. Dr. H. M. Wihardi Tjaronge, S.T., M. Eng. Selaku Ketua Departemen Teknik Sipil Fakultas Teknik Universitas Hasanuddin.
5. Bapak Silman Pongmanda, S.T., M.T., sebagai Dosen Pembimbing Pendamping.
6. Seluruh Dosen Pengajar dan Staf Akademik Departemen Teknik Sipil Fakultas Teknik Universitas Hasanuddin.
7. Saudara Se-PATRON 2017, Teknik Sipil dan Teknik Lingkungan Unhas Angkatan 2016.

## ABSTRAK

Abutment jembatan berhubungan langsung dengan alur sungai. Abutment ini menyebabkan penyempitan pada alur sungai sehingga menghambat aliran. Terhambatnya aliran ini menyebabkan terjadinya peningkatan arus yang menimbulkan sistem pusaran air (*vortex system*) di sekitar abutment. Peristiwa ini menyebabkan tergerusnya dasar sungai di sekitar abutment yang membahayakan struktur jembatan.

Tujuan utama penelitian ini adalah untuk mengetahui fenomena gerusan lokal yang terjadi di sekitar abutment jembatan tipe *wing wall*. Penelitian ini juga bertujuan menganalisis karakteristik aliran pada saluran terbuka.

Penelitian ini dilakukan secara eksperimental di laboratorium. Metode penelitian yang digunakan meliputi penelitian secara fisik untuk pengambilan data penelitian dan metode analisis untuk membuat kesimpulan penelitian.

Berdasarkan hasil analisis karakteristik aliran diperoleh nilai bilangan Froude  $Fr < 1$  dan angka Reynolds  $Re > 1000$ , maka regime aliran yang terjadi adalah turbulen sub kritis. Jenis gerusan lokal yang terjadi adalah *live bed scour*. Gerusan lokal di sekitar abutment tipe *wing wall* didominasi pada bagian ujung depan abutment. Kedalaman gerusan lokal maksimum terjadi pada ujung depan model abutment sebelah hulu (di titik 3) sedangkan pada titik 6 terjadi proses agradasi. Pertambahan kedalaman gerusan lokal yang terjadi dari waktu ke waktu semakin berkurang dan pada suatu waktu akan mencapai kondisi kesetimbangan. Semakin besar kemiringan saluran maka kecepatan geser dan tegangan geser yang terjadi di dasar saluran juga akan semakin besar sehingga gerusan lokal yang terjadi juga akan semakin dalam. Dari kontur dan isometri gerusan diketahui bahwa pola gerusan memiliki ciri khas yaitu lubang gerusan di bagian hulu model abutment lebih besar dan lebih dalam dibandingkan dengan di bagian hilir model abutment.

Kata kunci: Abutment, Gerusan Lokal, Karakteristik Aliran, Kemiringan Saluran, Pola Gerusan

## **ABSTRACT**

*The bridge abutments are directly related to the river channel. This abutment causes a narrowing of the river channel so that it blocks the flow. This flow obstruction causes an increase in current which causes a vortex system around the abutment. This incident caused the erosion of the riverbed around the abutment which endangered the bridge structure.*

*The main purpose of this study was to determine the local scour phenomenon that occurs around the wing wall bridge abutment. This study also aims to analyze the flow characteristics in open channels.*

*This research was conducted experimentally in the laboratory. The research method used includes physical research to collect research data and analytical methods to make research conclusions.*

*Based on the analysis of flow characteristics, the Froude number  $Fr < 1$  and the Reynolds  $Re$  number  $> 1000$ , the flow regime that occurs is sub critical turbulent. The type of local scour that occurs is live bed scour. Local scour around the wing wall type abutment is dominated by the front end of the abutment. The maximum local scour depth occurs at the front end of the upstream abutment model (at point 3) while at point 6 an aggradation process occurs. The increase in local scour depth that occurs from time to time decreases and at some point will reach equilibrium conditions. The greater the slope of the channel, the shear velocity and shear stress that occurs at the bottom of the channel will also be greater so that the local scour that occurs will also be deeper. From the contour and scour isometry, it is known that the scour pattern has a characteristic that the scour holes in the upstream part of the abutment model are larger and deeper than those in the downstream abutment model.*

*Keywords: Abutment, Local Scour, Flow Characteristics, Channel Slope, Scouring Pattern*

## DAFTAR ISI

LEMBAR PENGESAHAN.....	i
PERNYATAAN KEASLIAN KARYA ILMIAH.....	ii
KATA PENGANTAR.....	iii
ABSTRAK.....	iv
DAFTAR ISI.....	vi
DAFTAR GAMBAR.....	viii
DAFTAR TABEL.....	x
DAFTAR LAMPIRAN.....	xi
<b>BAB 1. PENDAHULUAN.....</b>	<b>1</b>
A. Latar Belakang.....	1
B. Rumusan Masalah.....	3
C. Maksud dan Tujuan Penelitian.....	4
D. Manfaat Penelitian.....	4
E. Batasan Penelitian.....	4
F. Sistematika Penulisan.....	5
<b>BAB 2 TINJAUAN PUSTAKA.....</b>	<b>8</b>
A. Karakteristik Aliran Pada Saluran Terbuka.....	8
B. Kekasaran Saluran.....	9
C. Permasalahan Umum Pada Sungai dan Saluran Terbuka.....	11
D. Angkutan Sedimen dan Gerusan.....	12
D.1. Jenis-Jenis Angkutan Sedimen.....	13
D.2. Jenis-Jenis Gerusan.....	14
E. Awal Gerak Butiran Sedimen.....	18
F. Mekanisme Gerusan di Sekitar Abutment.....	21
G. Faktor Yang Mempengaruhi Kedalaman Gerusan.....	23
<b>BAB 3. METODE PENELITIAN.....</b>	<b>25</b>
A. Umum.....	25
B. Lokasi Penelitian.....	25
C. Alat dan Bahan Penelitian.....	26

C.1. Alat Penelitian.....	26
C.2. Bahan Penelitian.....	28
D. Prosedur Penelitian.....	29
D.1. Tahapan Pendahuluan.....	29
D.2. Pengambilan Data Gerusan.....	32
D.3. Analisis dan Pengolahan Data.....	34
D.4. Bagan Alur Penelitian.....	34
BAB 4. HASIL DAN PEMBAHASAN.....	36
A. Pemeriksaan Material Sedimen.....	36
B. Karakteristik Aliran.....	38
C. Analisis Pergerakan Sedimen di Dasar Saluran.....	44
C.1. Kecepatan Geser dan Tegangan Geser di Dasar .....	45
C.2. Kecepatan Geser Kritis dan Tegangan Geser Kritis.....	47
C.3. Perbandingan $U_*$ Terhadap $U_{*c}$ dan $\tau_0$ Terhadap $\tau_c$ .....	50
D. Gerusan Lokal di Sekitar Model Abutment.....	51
D.1. Jenis Gerusan Lokal .....	51
D.2. Karakteristik Lubang Gerusan.....	53
D.3. Kedalaman Gerusan Lokal.....	54
D.4. Perkembangan Kedalaman Gerusan Lokal.....	55
E. Pola Gerusan di Sekitar Model Abutment.....	59
BAB 5. KESIMPULAN DAN SARAN.....	67
A. Kesimpulan.....	67
B. Saran.....	69
DAFTAR PUSTAKA	
LAMPIRAN	

## DAFTAR GAMBAR

Gambar 1. Hubungan kedalaman gerusan terhadap waktu.....	17
Gambar 2. Diagram Shields, Hubungan Tegangan Geser Kritis dengan Bilangan Reynolds.....	21
Gambar 3. Skema aliran di sekitar abutment jembatan.....	22
Gambar 4. Lokasi penelitian.....	25
Gambar 5. <i>Recirculating Sediment Flume</i> yang digunakan untuk uji model abutment.....	26
Gambar 6. <i>Point Gauge</i> .....	27
Gambar 7. Dimensi Model Abutment Tipe <i>Wing Wall 45°</i> .....	30
Gambar 8. Penempatan model abutment pada saluran.....	31
Gambar 9. Rigid Bed pada hulu saluran.....	31
Gambar 10. Rigid Bed pada hilir saluran.....	32
Gambar 11. Bagan Alur Penelitian.....	35
Gambar 12. Grafik diameter ukuran butir.....	37
Gambar 13. Analisis nilai $U_{*c}$ dan $\tau_c$ pada diagram shield.....	48
Gambar 14. Sketsa lubang gerusan lokal di sekitar model abutment.....	53
Gambar 15. Sketsa potongan melintang gerusan lokal pada saluran.....	53
Gambar 16. Titik pengamatan kedalaman gerusan lokal.....	54
Gambar 17. Titik pengamatan perkembangan kedalaman gerusan .....	55
Gambar 18. Grafik perkembangan kedalaman gerusan terhadap waktu untuk kemiringan saluran $I_1 = 0,00375$ .....	56
Gambar 19. Grafik perkembangan kedalaman gerusan terhadap waktu untuk kemiringan saluran $I_2 = 0,006$ .....	57
Gambar 20. Grafik perkembangan kedalaman gerusan maksimum.....	58
Gambar 21. Kontur gerusan di sekitar model abutment untuk waktu <i>running</i> 15 menit.....	60
Gambar 22. Isometri pola gerusan untuk waktu <i>running</i> 15 menit.....	60
Gambar 23. Kontur gerusan di sekitar model abutment untuk waktu <i>running</i> 30 menit.....	61

Gambar 24. Isometri pola gerusan di sekitar model abutment untuk waktu <i>running</i> 30 menit.....	61
Gambar 25. Kontur gerusan di sekitar model abutment untuk waktu <i>running</i> 60 menit.....	62
Gambar 26. Isometri pola gerusan di sekitar model abutment untuk waktu <i>running</i> 60 menit.....	62
Gambar 27. Kontur gerusan di sekitar model abutment untuk waktu <i>running</i> 120 menit.....	63
Gambar 28. Isometri pola gerusan untuk waktu <i>running</i> 120 menit.....	63
Gambar 29. Kontur gerusan untuk waktu <i>running</i> 180 menit pada $I_1 = 0,00375$ .....	64
Gambar 30. Isometri pola gerusan untuk waktu <i>running</i> 180 menit pada $I_1 = 0,00375$ .....	64
Gambar 31. Kontur gerusan untuk waktu <i>running</i> 180 menit pada $I_2 = 0,006$ .....	65
Gambar 32. Isometri pola gerusan untuk waktu <i>running</i> 180 menit pada $I_2 = 0,006$ .....	65

## DAFTAR TABEL

Tabel 1. Beberapa bentuk abutment.....	24
Tabel 2. Uji Gradasi Butiran.....	36
Tabel 3. Perhitungan Debit Aliran.....	38
Tabel 4. Rekapitulasi perhitungan Karakteristik Aliran.....	44
Tabel 5. Rekapitulasi perhitungan Intensitas Aliran.....	52
Tabel 6. Kedalaman Gerusan Lokal.....	54

## DAFTAR LAMPIRAN

- Lampiran 1 Data Hasil Uji Laboratorium Gradasi Material Sedimen Dasar
- Lampiran 2 Data Perkembangan Kedalaman Gerusan Lokal Terhadap Waktu Untuk Kemiringan Saluran  $I_1 = 0,00375$
- Lampiran 3 Data Perkembangan Kedalaman Gerusan Lokal Terhadap Waktu Untuk Kemiringan Saluran  $I_2 = 0,006$
- Lampiran 4 Data Pengukuran Kontur Pola Gerusan di Sekitar Model Abutment Untuk Variasi Waktu *Running* 15 Menit
- Lampiran 5 Data Pengukuran Kontur Pola Gerusan di Sekitar Model Abutment Untuk Variasi Waktu *Running* 30 Menit
- Lampiran 6 Data Pengukuran Kontur Pola Gerusan di Sekitar Model Abutment Untuk Variasi Waktu *Running* 60 Menit
- Lampiran 7 Data Pengukuran Kontur Pola Gerusan di Sekitar Model Abutment Untuk Variasi Waktu *Running* 120 Menit
- Lampiran 8 Data Pengukuran Kontur Pola Gerusan Untuk Variasi Waktu *Running* 180 Menit Pada Kemiringan Saluran  $I_1 = 0,00375$
- Lampiran 9 Data Pengukuran Kontur Pola Gerusan Untuk Variasi Waktu *Running* 180 Menit Pada Kemiringan Saluran  $I_1 = 0,006$
- Lampiran 10 Dokumentasi Pola Gerusan Pada Saluran di Sekitar Model Abutment

## **BAB 1. PENDAHULUAN**

### **A. Latar Belakang**

Sungai adalah bagian pada permukaan bumi yang terbentuk secara alami yang letaknya lebih rendah dari permukaan tanah di sekitarnya. Sungai menjadi tempat mengalirnya air dari tempat yang lebih tinggi ke tempat yang lebih rendah yang kemudian akan menuju ke laut, danau atau sungai yang lebih besar. Perbedaan topografi antara sungai dan daerah sekitar sungai menjadi pemisah antara daerah satu dengan daerah lainnya. Untuk menghubungkan daerah-daerah tersebut dapat digunakan jembatan yaitu sebuah bangunan yang umumnya dibangun arah melintang terhadap alur sungai.

Struktur jembatan pada dasarnya terdiri atas dua bagian yaitu struktur atas dan struktur bawah. Struktur bawah jembatan berhubungan langsung dengan aliran sungai sehingga menimbulkan pengaruh pada aliran dan pergerakan sedimen di dasar sungai. Abutment merupakan bagian konstruksi bawah jembatan yang terletak di tepi sungai yang berfungsi sebagai pangkal jembatan untuk menahan tumpuan beban. Bagian abutment jembatan yang berada dalam aliran sungai menyebabkan terjadinya perubahan geometri alur sungai berupa penyempitan alur dan perubahan pola aliran.

Terdapat berbagai jenis bentuk abutment yang biasa digunakan pada perancangan jembatan. Salah satu jenis dari bentuk abutment

adalah abutment tipe *wing wall* (dinding sayap). Jenis abutment ini memiliki titik-titik kritis di sekitarnya pada dasar sungai yang berpotensi mengalami gerusan lokal yaitu pada sudut-sudutnya yang merupakan tempat terjadinya benturan antara aliran yang datang dengan dinding abutment itu sendiri. Benturan ini menyebabkan perubahan pola aliran dan terbentuknya sistem pusaran air (*vortex system*).

Keberadaan badan abutment pada alur sungai menyebabkan terhambatnya aliran sehingga terjadi peningkatan arus yang membentuk sistem pusaran air (*vortex system*) di sekitar abutment. Fenomena ini menyebabkan terjadinya penggerusan atau pengikisan sedimen (degradasi) dasar sungai di sekitar abutment. Degradasi ini akan terjadi secara terus menerus sehingga terjadi ketidakseimbangan antara banyaknya sedimen yang tergerus di sekitar abutment dengan suplai sedimen yang datang, hal ini menyebabkan semakin dalamnya lubang gerusan yang timbul di sekitar abutment yang sangat membahayakan struktur jembatan.

Penggerusan dasar sungai akibat penyempitan alur karena adanya abutment atau bangunan air lainnya didominasi oleh gerusan lokal (*Local scour*). Berbeda dengan gerusan umum, gerusan lokal pengaruhnya sangat terlihat terhadap perubahan geometri dasar sungai yang sangat mencolok dari sisi kedalaman gerusannya. Tidak dapat dipungkiri bahwa dalam proses gerusan lokal selain dari pengaruh adanya bangunan air seperti abutment juga terdapat faktor lain yang mempengaruhi proses

gerusan lokal seperti kemiringan dasar sungai. Kemiringan dasar ini berhubungan erat dengan kecepatan aliran dimana secara teoritis semakin besar kecepatan aliran maka potensi kedalaman gerusan lokal yang terjadi juga akan semakin besar. Maka dari itu hal ini juga perlu mendapat perhatian utamanya dalam perancangan penempatan abutment pada alur sungai.

Berdasarkan uraian di atas dengan melihat begitu kompleks permasalahan yang ada serta bahaya yang dapat ditimbulkan, maka hal tersebut menjadi dasar bagi penulis untuk melakukan penelitian berjudul **“Analisis Karakteristik Aliran dan Pergerakan Sedimen Dasar Pada Abutment Jembatan Tipe Wing Wall”**.

## **B. Rumusan Masalah**

Dari uraian latar belakang penelitian dapat ditarik kesimpulan mengenai bahasan permasalahan yang menjadi pokok pembahasan penelitian ini yaitu sebagai berikut :

1. Bagaimana fenomena kedalaman gerusan lokal yang terjadi di sekitar abutment jembatan tipe *wing wall* ?
2. Bagaimana pengaruh kemiringan saluran terhadap kedalaman gerusan lokal yang terjadi di sekitar abutment jembatan tipe *wing wall* ?
3. Bagaimana pola gerusan yang terjadi di sekitar abutment jembatan tipe *wing wall* ?

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

Penelitian ini diharapkan mampu memenuhi maksud dan tujuan-tujuan sebagai berikut:

1. Menganalisis karakteristik aliran pada saluran terbuka
2. Mengetahui fenomena kedalaman gerusan lokal yang terjadi di sekitar abutment jembatan tipe *wing wall*.
3. Mengetahui pengaruh kemiringan saluran terhadap kedalaman gerusan lokal yang terjadi di sekitar abutment jembatan tipe *wing wall*.
4. Mengetahui pola gerusan yang terjadi di sekitar abutment jembatan tipe *wing wall*.

### **D. Manfaat Penelitian**

Hasil penelitian ini diharapkan dapat memberikan manfaat dalam pengembangan ilmu pengetahuan dan teknologi utamanya dalam studi terkait dengan konsep gerusan lokal yang terjadi di sekitar abutment jembatan. Diharapkan juga kedepannya penelitian ini dapat menjadi bahan referensi untuk kajian penelitian lebih lanjut.

### **E. Batasan Penelitian**

1. Penelitian dilakukan secara eksperimental di Laboratorium Hidraulika Departemen Teknik Sipil Fakultas Teknik Universitas Hasanuddin.
2. Penelitian menggunakan prototipe saluran terbuka (*Recirculating Sediment Flume*) berukuran panjang 8 meter, lebar 0,4 meter dan tinggi 0,4 meter dilengkapi dengan mesin pompa serta kontrol debit

aliran menggunakan kran pembuka. Di hilir saluran dilengkapi dengan pengatur tinggi muka air.

3. Variasi debit yang digunakan adalah satu variasi yang besarnya disesuaikan dengan kemampuan mesin pompa.
4. Untuk melihat pengaruh kemiringan saluran terhadap gerusan yang terjadi hanya digunakan dua variasi kemiringan.
5. Material sedimen yang digunakan adalah pasir yang telah disaring yaitu pasir yang lolos saringan no. 10 dan tertahan saringan no. 200. Hal ini dimaksudkan agar material yang digunakan tidak mengandung banyak lumpur dikarenakan material yang lolos saringan no. 200 adalah *clay*.
6. Model abutment yang digunakan yaitu tipe *wing wall* 45° yang terbuat dari bahan akrilik dengan dimensi model abutment akan dijelaskan kemudian.
7. Pengaruh dinding saluran terhadap aliran dan gerusan yang terjadi tidak diperhitungkan.
8. Pola gerusan yang terjadi digambarkan dalam bentuk kontur tiga dimensi dengan pengukuran arah x, y dan kedalaman z.

#### **F. Sistematika Penulisan**

Agar tulisan ini lebih terarah, sistematika penulisan yang digunakan disesuaikan dengan tahapan-tahapan yang dipersyaratkan, hal ini

bertujuan agar karya yang dihasilkan lebih sistematis. Tata susunan penulisan tugas akhir ini adalah sebagai berikut :

#### BAB 1. PENDAHULUAN

Pokok-pokok bahasan dalam bab ini meliputi latar belakang masalah, rumusan masalah, maksud dan tujuan penelitian, manfaat penelitian, batasan masalah, dan sistematika penulisan laporan penelitian yang digunakan.

#### BAB 2. TINJAUAN PUSTAKA

Dalam bab ini berisi teori-teori yang berkaitan dengan penelitian ini seperti teori angkutan sedimen, karakteristik aliran, awal gerak butiran sedimen, teori gerusan (*scouring*), jenis-jenis gerusan, dan faktor-faktor yang mempengaruhi kedalaman gerusan lokal.

#### BAB 3. METODE PENELITIAN

Bab ini membahas mengenai metode yang digunakan dalam penelitian ini meliputi prosedur penelitian, lokasi dan waktu penelitian, alat dan bahan yang digunakan dalam penelitian, jenis dan sumber data serta analisis yang digunakan dalam mengolah data.

#### BAB 4. HASIL DAN PEMBAHASAN

Dalam bab ini memuat hasil-hasil pengujian serta analisa data perhitungan menggunakan rumus-rumus empiris diantaranya adalah hasil pemeriksaan material sedimen, analisis karakteristik aliran, pembahasan mengenai fenomena gerusan yang terjadi serta hubungan antara

parameter-parameter yang mempengaruhi pola gerusan dan kedalaman gerusan lokal.

## **BAB 5. KESIMPULAN DAN SARAN**

Bab ini berisi kesimpulan yang merupakan hasil dari analisa data penelitian serta berisi saran-saran dan rekomendasi yang terkait dengan penelitian ini dan penelitian lebih lanjut.

## BAB 2. TINJAUAN PUSTAKA

### A. Karakteristik Aliran Pada Saluran Terbuka

Pada umumnya tipe aliran melalui saluran terbuka adalah turbulen, karena kecepatan aliran dan kekasaran dinding relatif besar. Aliran melalui saluran terbuka akan turbulen apabila angka Reynolds  $Re > 1.000$ , dan laminar apabila  $Re < 500$ . Dalam hal ini panjang karakteristik yang ada pada angka Reynolds adalah jari-jari hidraulik, yang didefinisikan sebagai perbandingan antara luas tampang basah dan keliling basah (Bambang Triatmodjo, 2008).

Aliran melalui saluran terbuka disebut seragam (*uniform*) apabila berbagai variabel aliran seperti kedalaman, tampang basah, kecepatan dan debit pada setiap tampang di sepanjang aliran adalah konstan. Pada aliran seragam, garis energi, garis muka air dan dasar saluran adalah sejajar sehingga kemiringan dari ketiga garis tersebut adalah sama. Kedalaman air pada aliran seragam disebut dengan kedalaman normal  $y_n$ . Untuk debit aliran dan luas tampang lintang saluran tertentu, kedalaman normal adalah konstan di seluruh panjang saluran (Bambang Triatmodjo, 2008).

Aliran disebut tidak seragam atau berubah (*non uniform flow* atau *varied flow*) apabila variabel aliran seperti kedalaman, tampang basah, kecepatan di sepanjang saluran tidak konstan. Apabila perubahan aliran terjadi pada jarak yang pendek maka disebut aliran berubah cepat,

sedang apabila terjadi pada jarak yang panjang disebut aliran berubah beraturan (Bambang Triatmodjo, 2008).

Bambang Triatmodjo dalam bukunya *Hidraulika II* (2008) menjelaskan bahwa aliran melalui saluran terbuka juga dapat dibedakan menjadi aliran sub kritis (mengalir) dan super kritis (meluncur). Di antara kedua tipe tersebut adalah aliran kritis. Aliran disebut sub kritis adalah apabila suatu gangguan (misalnya batu dilemparkan ke dalam aliran sehingga menimbulkan gelombang) yang terjadi di suatu titik pada aliran dapat menjalar ke arah hulu. Aliran sub kritis dipengaruhi oleh kondisi hilir, dengan kata lain keadaan di hilir akan mempengaruhi aliran di sebelah hulu. Apabila kecepatan aliran cukup besar sehingga gangguan yang terjadi tidak menjalar ke hulu maka aliran adalah super kritis. Dalam hal ini kondisi di hulu akan mempengaruhi aliran di sebelah hilir. Penentuan tipe aliran dapat didasarkan pada nilai angka Froude  $Fr$ , yang mempunyai bentuk  $Fr = V/\sqrt{gy}$ , dengan  $V$  dan  $y$  adalah kecepatan dan kedalaman aliran. Aliran adalah sub kritis apabila  $Fr < 1$ , kritis apabila  $Fr = 1$ , dan super kritis apabila  $Fr > 1$ .

## **B. Kekasaran Saluran**

Pada saluran terbuka (sungai atau saluran non prismatic) variabel aliran sangat tidak teratur baik terhadap ruang maupun waktu. Variabel tersebut adalah tampang lintang saluran, kekasaran saluran, kemiringan dasar saluran, belokan, dan debit aliran (Al Amin dkk., 2013).

Karakteristik kekasaran saluran dapat digunakan sebagai indikator yang mengontrol kecepatan aliran air. Terlepas dari kekasaran saluran, jenis material yang digunakan berbeda akan menghasilkan nilai kekasaran saluran yang berbeda (Al Amin dkk., 2013).

Manning memperkenalkan suatu persamaan untuk memperkirakan kecepatan rata-rata dalam saluran terbuka. Rumus ini digunakan untuk menentukan tahanan pada aliran. Bentuk Rumus yang terkenal yaitu (Ruzardi, 1992) :

$$U = \frac{1}{n} R^{2/3} S^{1/2} \text{ (dalam satuan metrik)} \quad (1)$$

$$U = \frac{1,49}{n} R^{2/3} S_e^{1/2} \text{ (dalam satuan inggris)} \quad (2)$$

dimana :

$U$  = kecepatan aliran rata-rata (m/dt., ft/ dt)

$R$  = jari-jari hidrolis (m, ft.)

$S_e$  = kemiringan garis energi

$n$  = koefisien kekasaran manning

Ruzardi (1992) menyatakan bahwa rumus Manning  $n$  memberikan hasil yang baik bila digunakan pada saluran yang kasar sampai dengan yang halus pada saluran lingkaran, tetapi kurang memuaskan untuk saluran aluvial.

Strickler pada tahun 1923 menentukan  $n$  Manning sebagai suatu fungsi dari ukuran butir yaitu (Ruzardi, 1992) :

$$n = \frac{D^{1/6}}{21,1} \quad (3)$$

Dimana  $D$  adalah butir pasir yang seragam dalam mm.

### **C. Permasalahan Umum pada Sungai dan Saluran Terbuka**

Sungai adalah jalur aliran air di atas permukaan bumi yang selain mengalirkan air juga mengangkut sedimen yang terkandung dalam air sungai tersebut. Sedimen yang terbawa hanyut oleh aliran air dapat dibedakan sebagai muatan dasar (*bed load*) dan muatan melayang (*suspended load*). Sedimen terangkut oleh aliran sungai pada saat debitnya meningkat dari bagian hulu ke hilir dan terjadinya penggerusan dan penumpukan pada tempat-tempat tertentu di ruas sungai tersebut (Giri Putra, 2010).

Sungai atau saluran terbuka umumnya mempunyai masalah kompleks terkait dengan konservasi dan pemeliharaan dari saluran tersebut. Salah satu permasalahan sungai atau saluran terbuka adalah terjadinya perubahan geometri saluran yang berlangsung terus-menerus. Perubahan geometri tersebut diakibatkan oleh adanya proses pergerakan sedimen pada dasar saluran, antara lain disebabkan oleh degradasi dan aggradasi sedimen pada dasar saluran. Walaupun ada sedikit keuntungan yang dapat diperoleh dari terjadinya sedimentasi seperti bertambahnya kesuburan tanah pada daerah hilir, tetapi mempunyai dampak merugikan yang lebih besar yaitu dapat menyebabkan pendangkalan (Giri Putra, 2010).

#### D. Angkutan Sedimen dan Gerusan

Sedimentasi adalah proses pengendapan material yang terangkut oleh aliran dari bagian hulu akibat dari erosi. Sungai-sungai membawa sedimen dalam setiap alirannya. Sedimen dapat berada di berbagai lokasi dalam aliran, tergantung pada keseimbangan antara kecepatan ke atas pada partikel (gaya tarik dan gaya angkat) dan kecepatan pengendapan partikel. Proses sedimentasi meliputi proses erosi, transportasi (angkutan), pengendapan (*deposition*) dan pemadatan (*compaction*) dari sedimentasi itu sendiri (Oktavia dkk., 2019).

Transpor sedimen merupakan fenomena kompleks yang sering terjadi akibat terlepasnya partikel tanah dan kemudian terbawa aliran ke bagian hilir saluran. Jika ditinjau sebuah pias pada sebuah saluran aluvial, akan terjadi tiga buah kemungkinan kondisi dasar saluran akibat adanya proses transpor sedimen. Kondisi pertama adalah saat besaran debit sedimen masuk sama dengan debit sedimen keluar, kondisi kedua adalah ketika debit sedimen masuk lebih besar jika dibandingkan dengan debit sedimen keluar, dan kondisi ketiga adalah jika debit sedimen masuk lebih kecil daripada debit sedimen keluar (Purnomo dkk., 2016).

Kondisi dasar saluran aluvial yang *equilibrium* merupakan kondisi akibat terjadinya kemungkinan yang pertama. Saat besaran debit sedimen masuk sama dengan debit sedimen keluar, maka kondisi dasar saluran aluvial akan stabil, dan kondisi ini disebut dengan kondisi *equilibrium*. Pada kondisi yang kedua, dimana debit sedimen yang masuk lebih besar

jika dibandingkan dengan debit sedimen yang keluar, maka akan terjadi kondisi aggradasi atau naiknya dasar saluran aluvial karena terjadinya penumpukan sedimen pada pias tersebut. Pada kondisi yang ketiga, saat debit sedimen yang masuk lebih kecil daripada debit sedimen yang keluar, maka dasar saluran aluvial akan tergerus sehingga akan mengalami proses degradasi atau penurunan dasar saluran. Proses degradasi ini akan diperparah dengan adanya hambatan (dalam hal ini adalah bangunan) yang diletakkan pada aliran air yang melewati saluran aluvial (Purnomo dkk., 2016).

Gerusan merupakan proses semakin dalamnya dasar sungai karena interaksi antara aliran dengan material dasar sungai. Proses penggerusan akan terjadi secara alami, baik karena pengaruh morfologi sungai seperti tikungan sungai atau penyempitan aliran sungai, atau pengaruh bangunan hidraulika yang menghalangi aliran seperti abutment jembatan (Legono, 1990).

#### **D.1. Jenis Angkutan Sedimen**

Menurut Oktavia dkk. (2019), berdasarkan jenis pergerakannya, sedimen terdiri dari:

##### **1. Sedimen dasar**

Partikel kasar yang bergerak di sepanjang dasar sungai secara keseluruhan disebut dengan *bed load*. Adanya *bed load* ditunjukkan oleh gerakan partikel di dasar sungai yang ukurannya besar, gerakan

itu dapat bergeser, menggelinding atau meloncat-loncat, akan tetapi tidak pernah lepas dari dasar sungai.

## 2. Sedimen melayang

*Suspended load* adalah material dasar sungai (*bed material*) yang melayang di dalam aliran dan terutama terdiri dari butir pasir halus yang senantiasa mengambang di atas dasar sungai, karena selalu didorong oleh turbulensi aliran. *Suspended load* itu sendiri umumnya bergantung pada kecepatan jatuh atau lebih dikenal dengan *fall velocity*. Pada kenyataan pada tiap satu satuan waktu pergerakan angkutan sedimen yang dapat diamati hanyalah *bed load transport* dan *suspended load transport*.

## 3. Sedimen kikisan

*Wash load* adalah angkutan partikel halus yang dapat berupa lempung (*silk*) dan debu (*dust*), yang terbawa oleh aliran sungai. Partikel ini akan terbawa aliran sampai ke laut, atau dapat juga mengendap pada aliran yang tenang atau pada air yang tergenang.

### **D.2. Jenis-Jenis Gerusan**

Menurut Suma dkk. (2018), gerusan yang terjadi dapat digolongkan menjadi 3 yaitu :

#### 1. Gerusan Umum (*General Scour*)

Yaitu bertambah dalamnya dasar saluran sungai akibat interaksi yang terjadi antara aliran yang terjadi pada sungai dengan material dasar

sungai. Hal ini menyebabkan terjadinya angkutan sedimen pada sungai, yang dapat dibagi menjadi :

- a) Angkutan sedimen dasar adalah pergerakan material lepas dasar sungai yang bergerak mengelinding, bergeser atau melompat lompat di dasar sungai atau saluran akibat gaya seret aliran.
- b) Angkutan sedimen layang adalah pergerakan material lepas yang berasal dari dasar sungai atau hasil kikisin permukaan daerah tangkapan hujan, bergerak melayang bersama aliran dan dapat mengendap jika gaya berat material tersebut lebih besar daripada kombinasi gaya angkat air dan gaya akibat turbulensi aliran.
- c) Angkutan sedimen kikisan adalah pergerakan material lepas yang berasal dari hasil kikisan permukaan daerah tangkapan hujan, bergerak melayang bersama aliran, sukar mengendap, kecuali di tampungan waduk atau muara sungai.

## 2. Gerusan Lokal (*Local Scour*)

Gerusan lokal adalah penggerusan pada dasar atau tebing sungai yang terjadi setempat di sekitar bangunan akibat peningkatan energi dan turbulensi aliran karena gangguan bangunan atau gangguan alami. Gerusan lokal dapat dibagi menjadi dua yaitu :

- a) Kondisi tidak ada angkutan sedimen (*clear water scour*)

Yaitu pergerakan sediment hanya terjadi pada sekitar abutment yang timbul akibat tegangan geser yang terjadi lebih besar dari pada tegangan geser kritis, yang dapat dibedakan menjadi :

- Untuk  $\left(\frac{U}{U_{cr}}\right) \leq 0,5$

Yaitu, kondisi gerusan lokal tidak terjadi dan proses transportasi sedimen tidak terjadi.

- Untuk  $0,5 \leq \left(\frac{U}{U_{cr}}\right) \leq 1,0$

yaitu, kondisi gerusan lokal terjadi menerus dan proses transportasi sedimen tidak terjadi.

b) Kondisi ada angkutan sedimen (*live bed scour*)

Terjadi akibat adanya perpindahan sedimen yaitu jika

$$\left(\frac{U}{U_{cr}}\right) \geq 1,0$$

Keterangan :

U = Kecepatan Aliran rata-rata (m/dtk)

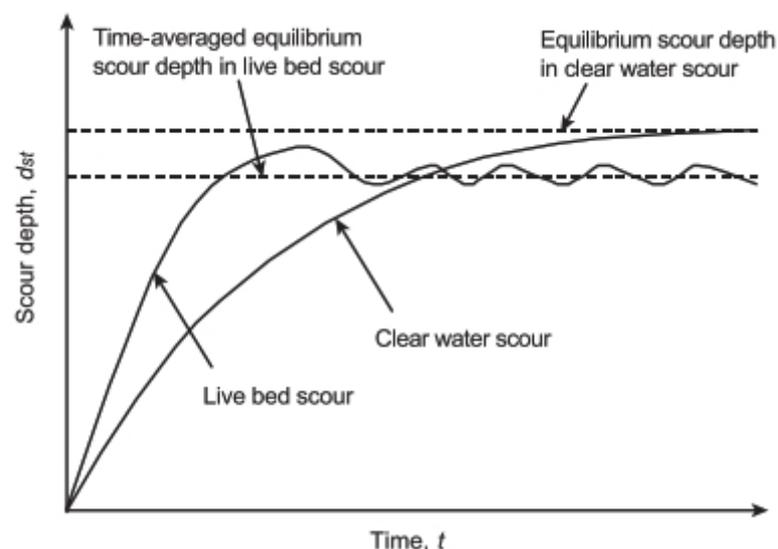
$U_{cr}$  = Kecepatan aliran kritis (m/dtk)

3. Gerusan akibat adanya penyempitan di alur sungai (*contraction scour*).

Gerusan ini terjadi akibat perubahan bentuk morfologi sungai yang semakin menyempit yang sebagian besar diakibatkan adanya bangunan air.

Pangestu dan Yuni Astuti (2018) mengatakan bahwa pada umumnya rata-rata inisial gerusan cenderung lebih besar ketika dalam kondisi *live bed scour* dibandingkan dengan *clear water scour* dan

*equilibrium*, sehingga kedalaman gerusan terjadi lebih cepat. Pada kondisi *live bed scour*, sedimen dari hulu bendung terus menerus terangkut ke lubang gerusan. Dalam kondisi seperti ini, kesetimbangan kedalaman gerusan (*equilibrium*) tercapai pada saat jumlah sedimen yang masuk ke dalam lubang gerusan setara dengan jumlah sedimen yang terbawa oleh aliran air. Walaupun terjadi keadaan seperti itu, kedalaman gerusan akan berubah sejalan dengan waktu meskipun setelah kondisi *equilibrium* tercapai.



Sumber : *Local scour at abutment; A Review, ASCE Journal 2004*

Gambar 1. Hubungan kedalaman gerusan (*clear water scour and live bed scour*) terhadap waktu (Chabert & Engeldinger (1956) dalam Barbhuiya 2004)

Menurut Miller (2003) dalam Prasetyo (2006). 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.

Kecepatan kritis dapat dihitung dengan menggunakan formula Van Rijn (1984) sebagai berikut,

1. Untuk  $0,5 \leq d_{50} \leq 2,0$  mm digunakan rumus :

$$U_{cr} = 8,5. (d_{50})^{0,6}. \log \left( \frac{12. R_b}{3. d_{90}} \right) \quad (4)$$

2. Untuk  $0,1 \leq d_{50} \leq 0,5$  mm digunakan rumus :

$$U_{cr} = 0,19. (d_{50})^{0,1}. \log \left( \frac{12. R_b}{3. d_{90}} \right) \quad (5)$$

Dimana :

$U_{cr}$  = Kecepatan Rata-rata kritis aliran (m/dtk)

$d_{50}$  = Diameter butiran dengan 50% butiran lolos saringan (meter)

$d_{90}$  = Diameter butiran dengan 90% butiran lolos saringan (meter)

$R_b$  = Jari-jari Hidrolis terhadap dasar (meter)

$$R_b = \frac{A}{P} \quad (6)$$

$A$  : Luas basah penampang (m<sup>2</sup>)

$P$  : Keliling basah penampang (m)

## E. Awal Gerak Butiran Sedimen

Akibat adanya aliran, timbul gaya-gaya yang bekerja pada material sedimen. Gaya-gaya tersebut mempunyai kecenderungan menggerakkan

atau menyeret butiran material sedimen. Untuk sedimen kasar seperti pasir dan kerikil, gaya tahanan utamanya adalah berhubungan dengan berat sendiri partikel. Ketika gaya hidrodinamik bekerja terhadap butiran sedimen yang mempunyai nilai, dan kalau itu naik secara pelan-pelan, akhirnya butiran sedimen akan mulai bergerak. Gerakan dasar ini biasanya disebut dengan kondisi kritis (Pallu S.M, 2010). Parameter aliran pada kondisi tersebut, seperti tegangan geser dasar ( $\tau_0$ ), kecepatan aliran ( $U$ ) juga mencapai kondisi kritik. Garde dan Raju (1977) dalam Wibowo (2007) menyatakan bahwa yang dikatakan sebagai awal gerakan butiran adalah salah satu dari kondisi berikut :

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

Tiga faktor yang berkaitan dengan awal gerak butiran sedimen yaitu:

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

Shield menyatakan parameter mobilitas kritis yang dinamakan parameter Shields (Wibowo, 2007) :

$$\theta_c = \frac{\tau_c}{\rho \cdot g \cdot \Delta \cdot d} = \frac{u_{*c}^2}{g \cdot \Delta \cdot d} \quad (7)$$

Tegangan Geser :

$$\tau_0 = \rho \cdot g \cdot R \cdot I \quad (8)$$

Kecepatan Geser :

$$u_* = \left(\frac{\sigma_0}{\rho}\right)^{0,5} \quad (9)$$

Kecepatan kritik dihitung diatas dasar rumus sebagai berikut :

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

Kecepatan Geser Kritis :

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

Dimana :

$\sigma_g$  = Standar geometri

$d$  = diameter butiran  $d_{50}$  (m)

$g$  = Percepatan grafitasi ( $m/s^2$ )

$\Delta$  = Relatif density (-)

$\rho$  = massa jenis air ( $kg/m^3$ )

$u_{*c}$  = Kecepatan geser kritik (m/s)

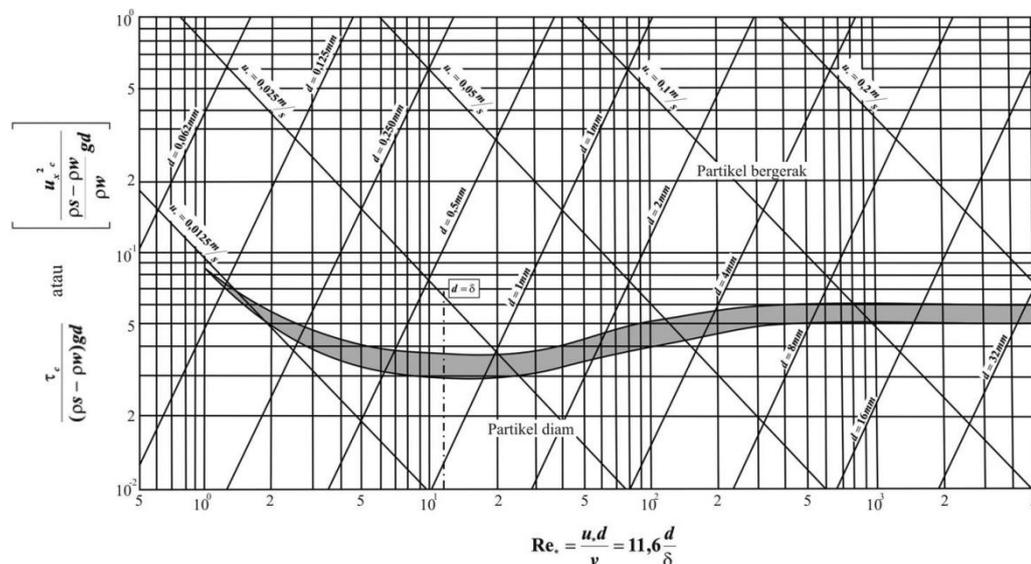
$\tau_c$  = Nilai kritik ( $N/m^2$ )

$\theta_c$  = Parameter mobilitas kritik (-)

$R$  = Jari-jari hidraulik (m)

$y_0$  = Kedalaman aliran (m)

$I$  = Kemiringan dasar sungai



Gambar 2. Diagram Shields, Hubungan Tegangan Geser Kritis dengan Bilangan Reynolds (Breuser dan Raudkivi, 1991)

Menurut Breuser & Raudkivi (1991), dimensi analisis untuk menentukan beberapa parameter tak berdimensi dan ditetapkan dalam bentuk diagram pergerakan awal. Melalui grafik Shield, nilai tegangan geser kritis ( $\tau_c$ ) dapat diketahui. Bila tegangan geser yang di dasar saluran ( $\tau_o$ ) berada diatas nilai kritiknya maka butiran sedimen bergerak, atau dengan kata lain:

jika  $\tau_o < \tau_c$  maka butiran dasar tidak bergerak (dasar sungai stabil),

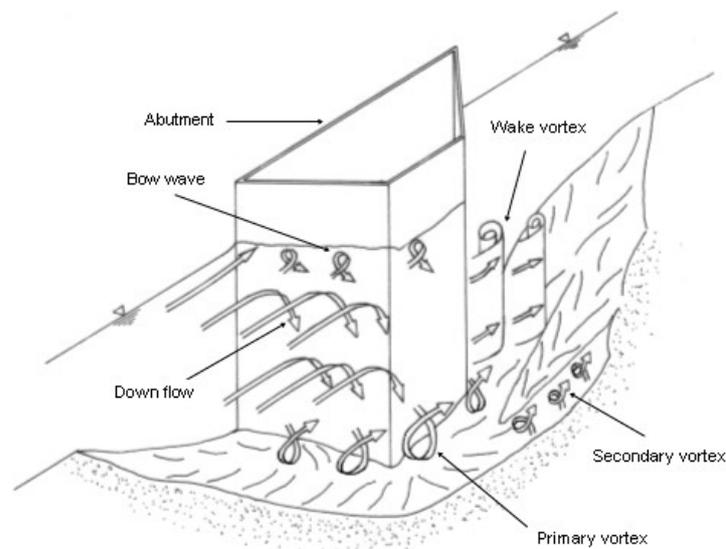
jika  $\tau_o = \tau_c$  maka butiran dasar saat mulai bergerak (kondisi kritis), dan

jika  $\tau_o > \tau_c$  maka butiran dasar bergerak (dasar sungai tidak stabil).

## F. Mekanisme Gerusan di Sekitar Abutment

Menurut Yulistianto dkk. (1998) dalam Abdurrasyid (2005). Gerusan yang terjadi di sekitar abutment jembatan adalah akibat dari sistem

pusaran (*vortex system*) yang timbul karena aliran dirintangi oleh bangunan tersebut. Sistem pusaran yang menyebabkan lubang gerusan (*scour hole*) dimulai dari sebelah hulu abutment yaitu pada saat mulai timbul komponen aliran dengan arah aliran ke bawah. Karena aliran yang datang dari hulu dihalangi oleh abutment, maka aliran akan berubah arah menjadi arah vertikal menuju dasar saluran dan sebagian berbelok arah menuju depan abutment selanjutnya diteruskan ke hilir. Aliran arah vertikal ini akan terus menuju dasar yang selanjutnya akan membentuk pusaran. Di dekat dasar saluran komponen aliran berbalik arah vertikal ke atas, peristiwa ini diikuti dengan terbawanya material dasar sehingga terbentuk aliran spiral yang akan menyebabkan gerusan dasar. Skema aliran yang menyebabkan terjadinya gerusan lokal di sekitar abutment seperti di tunjukkan pada gambar berikut,



Gambar 3. Skema aliran di sekitar abutment jembatan (Kwan 1988 dalam Barbhuiya 2004)

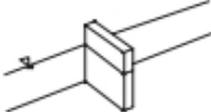
### **G. Faktor Yang Mempengaruhi Kedalaman Gerusan**

Barbhuiya dan Dey (2004) dalam Shaskia dkk. (2016) menyatakan bahwa ada beberapa parameter yang berhubungan dengan gerusan pada abutment, yaitu:

1. Parameter yang berhubungan dengan geometri saluran yaitu lebar, bentuk potongan melintang dan kemiringan saluran;
2. Parameter yang berhubungan dengan abutment yaitu ukuran, bentuk, orientasi yang berhubungan dengan aliran utama dan kondisi permukaan;
3. Parameter yang berhubungan dengan angkutan sedimen yaitu ukuran rata-rata, distribusi ukuran butiran, massa jenis, letak kemiringan sedimen pada saluran dan sifat kohesif;
4. Parameter yang berhubungan dengan kondisi aliran yaitu kecepatan rata-rata aliran, kedalaman aliran, kecepatan geser, dan kekasaran; dan
5. Waktu penggerusan yang merupakan parameter tambahan dalam pembentukan lubang gerusan.

Selain parameter-parameter yang disebutkan di atas, bentuk abutment juga berhubungan dengan gerusan. Barbhuiya dan Dey (2004) menyatakan Bahwa bentuk abutment berperan penting dalam mencapai kondisi kesetimbangan gerusan. Berikut adalah beberapa bentuk abutment :

Tabel 1. Beberapa bentuk abutment

Abutment model	Abutment shape	Shape factor, $K_s$
	Vertical-wall	1.00
	Semicircular ended	0.75
	45° wing-wall	0.75
	Spill-through with slope horizontal : vertical 0.5 : 1 1 : 1 1.5 : 1	0.60 0.50 0.45

Sumber : Barbhuiya dan Dey (2004)