

TUGAS AKHIR

**PENGARUH KECEPATAN DAN WAKTU ALIRAN
TERHADAP KEDALAMAN GERUSAN PADA KRIB
PERMEABEL**

***EFFECT OF FLOW VELOCITY AND TIME ON SCOUR
DEPTH IN PERMEABLE CRIB***

**NABILAH JAILANI
D011 18 1027**



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

LEMBAR PENGESAHAN (TUGAS AKHIR)

**PENGARUH KECEPATAN DAN WAKTU ALIRAN TERHADAP KEDALAMAN
GERUSAN PADA KRIB PERMEABEL**

Disusun dan diajukan oleh:

NABILAH JAILANI

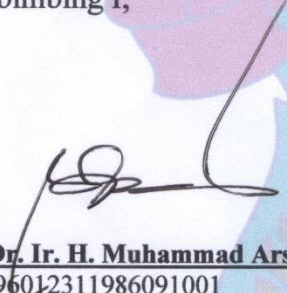
D011 18 1027

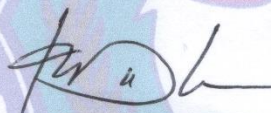
Telah dipertahankan di hadapan Panitia Ujian yang dibentuk dalam rangka Penyelesaian Studi Program Sarjana Program Studi Teknik Sipil Fakultas Teknik Universitas Hasanuddin pada tanggal 1 Februari 2023 dan dinyatakan telah memenuhi syarat kelulusan

menyetujui,

Pembimbing I,

Pembimbing II,


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


Dr. A. Ildha Dwipuspita, ST, MT
NIP: 198907142020054001

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 Nabilah Jailani, dengan ini menyatakan bahwa skripsi yang berjudul "**Pengaruh Kecepatan dan Waktu Aliran Terhadap Kedalaman Gerusan pada Krib Permeabel**", 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 Januari 2023

Yang membuat pernyataan,



Nabilah Jailani

NIM: D011 18 1027

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 “**PENGARUH KECEPATAN DAN WAKTU ALIRAN TERHADAP KEDALAMAN GERUSAN PADA KRIB PERMEABEL**” 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 Prof. Dr. Ir. H. Muhammad Arsyad Thaha, MT.**, selaku dosen pembimbing I yang telah meluangkan waktunya untuk memberikan bimbingan dan pengarahan mulai dari awal penelitian hingga selesainya penulisan ini.
4. **Ibu Dr. A. Ildha Dwi Puspita, ST., MT.**, selaku pembimbing II yang telah meluangkan waktunya untuk memberikan bimbingan dan pengarahan mulai dari awal penelitian hingga selesainya penulisan ini.
5. **Ibu Dr. Eng. Ir. Hj. Rita Tahir Lopa, MT.**, selaku Kepala Laboratorium Hidrolika Departemen Teknik Sipil Fakultas Teknik Universitas Hasanuddin yang telah memberikan izin atas segala fasilitas yang digunakan
6. Seluruh dosen Departemen Teknik Sipil Fakultas Teknik Universitas Hasanuddin.
7. 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 **Jailani Hamid, S.E.**, dan Ibunda **Nurlia, S.Pd.** yang tiada henti-hentinya memberikan perhatian, kasih sayang, dorongan, motivasi dan iringan doa serta memberikan bantuan baik moril maupun materil.

2. Adik Tercinta **Diyah Afiyah Jailani** yang selalu memberikan semangat dalam penyelesaian tugas akhir ini.
3. **Yusriah, Ummul, Melani, Samuel, Rudy dan Made** sebagai partner penelitian yang telah berjuang bersama selama proses penelitian dan penyusunan tugas akhir.
4. Rekan-rekan Penelitian, terkhusus **Pak Hendra dan Pak Ahmad** yang telah banyak memberikan ilmu dan masukan selama penyusunan tugas akhir.
5. **Ebuq, Fiqri, Innah, Izza, Kinah, dan Mila** yang menemani suka duka dan pengalaman-pengalaman tak terlupakan kehidupan kampus dari mahasiswa baru hingga berada di titik ini
6. **Rekan-rekan asisten di Laboratorium Hidrolika Universitas Hasanuddin** yang memberikan pengalaman dan ilmu-ilmu baru selama menjalankan tanggung jawab di laboratorium.
7. Saudara-saudari **TRANSISI 2019** yang senantiasa memberikan warna serta kenangan yang sangat indah, dukungan yang tiada henti serta semangat dan dorongan dalam penyelesaian tugas akhir ini.

ABSTRAK

Salah satu permasalahan yang kerap terjadi pada sungai yaitu perubahan dasar sungai yang diakibatkan oleh pergerakan sedimen yang terbawa oleh arus sungai. Masalah gerusan ini membahayakan sungai sehingga diperlukan upaya penanganan seperti pemasangan krib. Namun, bangunan semacam ini dipandang dapat menimbulkan gerusan lokal di sekitar bangunan. Gerusan diakibatkan oleh aliran air yang terhambat oleh krib itu sendiri yang bisa merubah pola aliran air dan membentuk pusaran di sekitar krib sehingga terjadi penggerusan dasar sungai yang semakin lama semakin dalam. Dan apabila aliran yang mengalir terjadi pada kecepatan tinggi, partikel yang terbawa akan semakin banyak dan lubang gerusan akan semakin besar baik ukuran maupun kedalamannya yang mengakibatkan ketidakstabilan konstruksi krib itu sendiri.

Tujuan dari penelitian ini adalah untuk menganalisis pengaruh kecepatan dan waktu aliran terhadap kedalaman gerusan yang terjadi di sekitar bangunan krib pada dua kondisi sedimen.

Penelitian ini dilakukan di Laboratorium Hidrolika, Departemen Teknik Sipil, Fakultas Teknik, Universitas Hasanuddin dengan menggunakan metode eksperimental. Dalam penelitian ini digunakan model krib dengan dimensi panjang 30 cm, lebar 10 cm dan tinggi 18 cm yang diletakkan di *flume* dengan tiga variasi kemiringan saluran, dua variasi sedimen, dan dua variasi waktu.

Dari penelitian yang telah dilakukan, didapatkan bahwa semakin besar kecepatan aliran maka semakin dalam gerusan yang terjadi. Hal ini bersesuaian dengan teoritis dimana semakin besar kecepatan maka semakin meningkat gaya seret yang bekerja. Selain itu, semakin lama waktu pengaliran maka kedalaman gerusan yang terjadi akan semakin besar. Hal ini disebabkan karena aliran akan mengangkut sedimen tiap satuan waktu. Kedalaman gerusan semakin meningkat seiring bertambahnya kecepatan dan waktu secara bersama-sama. Hal tersebut disebabkan karena pengaruh kedua variabel tersebut yang saling menguatkan dalam memperdalam gerusan.

Kata Kunci: Krib, Gerusan, Kecepatan Aliran, Waktu Aliran, Kedalaman Gerusan

ABSTRACT

One of the problems that often occurs in rivers is changes in the river bed caused by the movement of sediment carried by the river currents. This scour problem endangers the river so that handling efforts are needed, such as installing cribs. However, this kind of building is considered to be able to cause local scour around the building. Scour is caused by the flow of water being blocked by the grove itself which can change the pattern of water flow and form a vortex around the grove resulting in erosion of the river bed which gets deeper and deeper. And if the flow occurs at high speeds, the more particles that will be carried and the scour holes will be bigger both in size and depth which will result in the instability of the crib construction itself.

The purpose of this study was to analyze the effect of velocity and flow time on the scour depth that occurs around the groyne in two sediment conditions.

This research was conducted at the Hydraulics Laboratory, Department of Civil Engineering, Faculty of Engineering, Hasanuddin University using an experimental method. In this study, a groyne model with dimensions of 30 cm long, 10 cm wide and 18 cm high was used which was placed in a flume with three variations of channel slope, two variations of sediment, and two variations of time.

From the research that has been done, it was found that the greater the flow velocity, the deeper the scour that occurs. This is consistent with the theory where the greater the speed, the greater the drag force acting. In addition, the longer the flow time, the greater the depth of scour that occurs. This is because the flow will transport sediment every unit of time until at some point it reaches an equilibrium condition. The scour depth increases with increasing speed and time together. This is due to the influence of the two variables which reinforce each other in deepening the scour.

Keywords: *Groyne, Scour, Flow Velocity, Flow Time, Scour Depth*

DAFTAR ISI

LEMBAR PENGESAHAN	Error! Bookmark not defined.
PERNYATAAN KEASLIAN KARYA ILMIAH	Error! Bookmark not defined.
KATA PENGANTAR	iii
ABSTRAK.....	v
DAFTAR ISI.....	vii
DAFTAR GAMBAR.....	x
DAFTAR TABEL.....	xiii
BAB 1. PENDAHULUAN.....	1
A. Latar Belakang	1
B. Rumusan Masalah.....	2
C. Tujuan Penelitian	3
D. Manfaat Penelitian	3
E. Batasan Masalah	4
F. Sistematika Penulisan.....	4
BAB 2. TINJAUAN PUSTAKA	6
A. Sungai	6
B. Saluran Terbuka	7
C. Transpor Sedimen	13
C.1 Awal Gerak Butiran Sedimen	13
C.2 Jenis – Jenis Angkutan Sedimen	17
D. Gerusan.....	18
D.1 Jenis jenis gerusan	20

D.2	Mekanisme Gerusan.....	21
D.3	Faktor-Faktor yang Mempengaruhi Kedalaman Gerusan.....	24
E.	Krib.....	26
E.1	Jenis - Jenis Krib	27
E.2	Konstruksi Krib.....	29
F.	Kerangka Pikir Penelitian.....	30
BAB 3.	METODE PENELITIAN.....	32
A.	Lokasi dan Waktu Penelitian	32
B.	Jenis Penelitian dan Sumber Data.....	32
B.1	Jenis Penelitian.....	32
B.2	Sumber Data.....	33
C.	Variabel yang Diteliti.....	33
D.	Alat dan Bahan Penelitian	34
D.1	Peralatan Penelitian.....	34
D.2	Bahan Penelitian	36
E.	Prosedur Penelitian	36
E.1	Tahap Persiapan	36
E.2	Tahapan Pendahuluan.....	37
E.3	Prosedur Pengambilan Data	37
E.4	Analisis dan Pengolahan Data	39
E.5	Bagan Alir Penelitian.....	39
BAB 4.	HASIL DAN PEMBAHASAN	41
A.	Pemeriksaan Material Sedimen	41
A.1	Uji Gradasi Butiran Material Sedimen	41
A.2	Berat Jenis Sedimen.....	43

B. Gerusan di sekitar Model Krib	44
B.1 Pengukuran Tinggi Muka Air	44
B.2 Pengukuran Kecepatan Aliran	45
B.3 Pengaruh Waktu Aliran Terhadap Kedalaman Gerusan.....	47
B.4 Pengaruh Kecepatan Aliran Terhadap Kedalaman Gerusan...	57
B.5 Pengaruh Kecepatan dan Waktu Aliran Terhadap Kedalaman Gerusan.....	61
B.6. Pola Gerusan di sekitar Model Krib	63
BAB 5. KESIMPULAN DAN SARAN	77
A. Kesimpulan.....	77
B. Saran.....	77
DAFTAR PUSTAKA.....	78
LAMPIRAN	80

DAFTAR GAMBAR

Gambar 1. Diagram Shields, Hubungan Tegangan Geser Kritis dengan Bilangan Reynolds (Breuser dan Raudkivi, 1991)	14
Gambar 2. Kedalaman Gerusan (ds) sebagai Fungsi Waktu (t) (Breusers dan Raudkivi,1991)	23
Gambar 3. Kedalaman Gerusan (ds) sebagai Fungsi Kecepatan geser (u^*). (Breusers dan Raudkivi,1991)	23
Gambar 4. Urutan <i>Bedform</i> yang dihasilkan dari Peningkatan Kekuatan Aliran	24
Gambar 5. Krib Permeabel Dengan Tiang Pancang	30
Gambar 6. Krib Impermeabel Dengan Beton	30
Gambar 7. Kerangka Pikir Penelitian	31
Gambar 8. Lokasi Penelitian.....	32
Gambar 9. Kolam Uji (<i>Flume Test</i>) Laboratorium Hidrolika	34
Gambar 10. <i>Point Gauge</i>	35
Gambar 11. Bagan Alir Penelitian.....	40
Gambar 12. Grafik Uji Gradasi Butiran Material Sedimen Pertama	42
Gambar 13. Grafik Uji Gradasi Butiran Material Sedimen Kedua	42
Gambar 14. Grafik Profil Muka Air Pada Kemiringan Saluran I_1 , I_2 , dan I_3	45
Gambar 15. Titik-Titik Pengamatan Kecepatan Aliran.....	46
Gambar 16. Grafik Kecepatan Aliran Menggunakan <i>Electromagnetic Current Meter</i> (ECM)	47
Gambar 17. Titik-Titik Pengamatan Kedalaman Gerusan	48
Gambar 18. Grafik Pengaruh Waktu Aliran Terhadap Kedalaman Gerusan pada Kemiringan Saluran I_1	49
Gambar 19. Grafik Pengaruh Waktu Aliran Terhadap Kedalaman Gerusan pada Kemiringan Saluran I_2	51
Gambar 20. Grafik Pengaruh Waktu Aliran Terhadap Kedalaman Gerusan pada Kemiringan Saluran I_3	52

Gambar 21. Grafik Pengaruh Waktu Aliran Terhadap Kedalaman Gerusan pada Kemiringan Saluran I_1	54
Gambar 22. Grafik Pengaruh Waktu Aliran Terhadap Kedalaman Gerusan pada Kemiringan Saluran I_2	55
Gambar 23. Grafik Pengaruh Waktu Aliran Terhadap Kedalaman Gerusan pada Kemiringan Saluran I_3	57
Gambar 24. Grafik Perbandingan Kedalaman Gerusan pada 3 Variasi Kemiringan Saluran untuk Sedimen Pertama (10 Menit) ...	57
Gambar 25. Grafik Perbandingan Kedalaman Gerusan pada 3 Variasi Kemiringan Saluran untuk Sedimen Pertama (20 Menit) ...	58
Gambar 26. Grafik Perbandingan Kedalaman Gerusan pada 3 Variasi Kemiringan Saluran untuk Sedimen Kedua (10 Menit)	59
Gambar 27. Grafik Perbandingan Kedalaman Gerusan pada 3 Variasi Kemiringan Saluran untuk Sedimen Kedua (20 Menit)	60
Gambar 28. Grafik Pengaruh Kecepatan dan Waktu Aliran Terhadap Kedalaman Gerusan Pada Sedimen Pertama	62
Gambar 29. Grafik Pengaruh Kecepatan dan Waktu Aliran Terhadap Kedalaman Gerusan Pada Sedimen Kedua	62
Gambar 30. Kontur Gerusan Sedimen Variasi Pertama dengan Waktu <i>Running</i> 10 Menit pada Kemiringan Saluran I_1	64
Gambar 31. Kontur Gerusan Sedimen Variasi Pertama dengan Waktu <i>Running</i> 20 Menit pada Kemiringan Saluran I_1	65
Gambar 32. Kontur Gerusan Sedimen Variasi Pertama dengan Waktu <i>Running</i> 10 Menit pada Kemiringan Saluran I_2	66
Gambar 33. Kontur Gerusan Sedimen Variasi Pertama dengan Waktu <i>Running</i> 20 Menit pada Kemiringan Saluran I_2	67
Gambar 34. Kontur Gerusan Sedimen Variasi Pertama dengan Waktu <i>Running</i> 10 Menit pada Kemiringan Saluran I_3	68
Gambar 35. Kontur Gerusan Sedimen Variasi Pertama dengan Waktu <i>Running</i> 20 Menit pada Kemiringan Saluran I_3	69

- Gambar 36. Kontur Gerusan Sedimen Variasi Kedua dengan Waktu *Running* 10 Menit pada Kemiringan Saluran I_170
- Gambar 37. Kontur Gerusan Sedimen Variasi Kedua dengan Waktu *Running* 20 Menit pada Kemiringan Saluran I_171
- Gambar 38. Kontur Gerusan Sedimen Variasi Kedua dengan Waktu *Running* 10 Menit pada Kemiringan Saluran I_272
- Gambar 39. Kontur Gerusan Sedimen Variasi Kedua dengan Waktu *Running* 20 Menit pada Kemiringan Saluran I_273
- Gambar 40. Kontur Gerusan Sedimen Variasi Kedua dengan Waktu *Running* 10 Menit pada Kemiringan Saluran I_374
- Gambar 41. Kontur Gerusan Sedimen Variasi Kedua dengan Waktu *Running* 20 Menit pada Kemiringan Saluran I_375

DAFTAR TABEL

Tabel 1. Uji Gradasi Butiran Material Sedimen Pertama	41
Tabel 2. Uji Gradasi Butiran Material Sedimen Kedua	41
Tabel 3. Hasil Uji Berat Jenis Sedimen Pertama.....	43
Tabel 4. Hasil Uji Berat Jenis Sedimen Kedua.....	43
Tabel 5. Pengukuran Tinggi Muka Air	44
Tabel 6. Pengukuran Kecepatan Aliran.....	46
Tabel 7. Kedalaman Gerusan pada Sedimen Variasi Pertama dengan Kemiringan Saluran I_1	48
Tabel 8. Kedalaman Gerusan pada Sedimen Variasi Pertama dengan Kemiringan Saluran I_2	50
Tabel 9. Kedalaman Gerusan pada Sedimen Variasi Pertama dengan Kemiringan Saluran I_3	51
Tabel 10. Kedalaman Gerusan pada Sedimen Variasi Kedua dengan Kemiringan Saluran I_1	53
Tabel 11. Kedalaman Gerusan pada Sedimen Variasi Kedua dengan Kemiringan Saluran I_2	54
Tabel 12. Kedalaman Gerusan pada Sedimen Variasi Kedua dengan Kemiringan Saluran I_3	56
Tabel 13. Angka <i>Froude</i> (<i>fr</i>) dan <i>ds/d</i> pada Sedimen Pertama	61
Tabel 14. Angka <i>Froude</i> (<i>fr</i>) dan <i>ds/d</i> pada Sedimen Kedua	61

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.

Masalah gerusan ini membahayakan sungai dan bangunan air disekitarnya sehingga kondisi semacam ini perlu mendapatkan perhatian agar potensi sumber air yang ada bisa dimanfaatkan untuk kesejahteraan masyarakat. Upaya pengendalian dan pengamanan sungai dapat dilakukan di sepanjang sungai dengan berbagai cara, antara lain dengan perkuatan tebing dengan pemasangan krib. Struktur yang terbuat dari beton dan batu biasanya menyebabkan kerusakan lingkungan dan tidak memenuhi semangat Eco-Hidrolik. Sehingga krib permeabel menjadi pilihan yang tepat sebagai penanggulangan yang ekonomis terbuat dari bahan yang

murah dan alami yang memenuhi persyaratan hidrolis dan dianggap aman bagi lingkungan.

Namun, dengan adanya bangunan krib tersebut akan mengakibatkan perubahan pola aliran karena adanya rintangan atau halangan. Bangunan semacam ini dipandang dapat menimbulkan gerusan lokal di sekitar bangunan. Gerusan diakibatkan oleh aliran air yang terhambat oleh krib itu sendiri yang bisa merubah pola aliran air dan membentuk pusaran di sekitar krib sehingga terjadi penggerusan dasar sungai yang semakin lama semakin dalam. Dan apabila aliran yang mengalir terjadi pada kecepatan tinggi, partikel yang terbawa akan semakin banyak dan lubang gerusan akan semakin besar baik ukuran maupun kedalamannya yang mengakibatkan ketidakstabilan konstruksi krib itu sendiri.

Berdasarkan uraian di atas, maka penulis melakukan penelitian berjudul **“Pengaruh Kecepatan dan Waktu Aliran Terhadap Kedalaman Gerusan Pada Krib Permeabel”**.

B. Rumusan Masalah

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

1. Bagaimana pengaruh variasi kecepatan aliran (v) terhadap kedalaman gerusan (ds) di sekitar struktur krib permeabel ?

2. Bagaimana pengaruh variasi waktu aliran (t) terhadap kedalaman gerusan (ds) di sekitar struktur krib permeabel ?
3. Bagaimana pengaruh variasi kecepatan (v) dan waktu aliran (t) terhadap kedalaman gerusan (ds) di dua kondisi sedimen ?

C. Tujuan Penelitian

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

1. Mengetahui dan memahami pengaruh kecepatan aliran (v) terhadap kedalaman gerusan (ds) di sekitar struktur krib permeabel.
2. Mengetahui dan memahami pengaruh waktu aliran (t) terhadap kedalaman gerusan (ds) di sekitar struktur krib permeabel.
3. Mengetahui pengaruh bersama kecepatan (v) dan waktu aliran (t) terhadap kedalaman gerusan (ds) di sekitar struktur.

D. Manfaat Penelitian

Hasil penelitian ini diharapkan dapat memberikan manfaat dalam pengembangan ilmu pengetahuan dan teknologi utamanya dalam studi terkait dengan konsep gerusan disekitar bangunan krib permeabel. Diharapkan juga penelitian ini dapat menjadi bahan acuan bagi kajian ataupun penelitian sejenis.

E. Batasan Masalah

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

1. Penelitian dilakukan secara eksperimental di Laboratorium Hidrolika Departemen Teknik Sipil Fakultas Teknik Universitas Hasanuddin.
2. Variasi debit yang digunakan adalah satu variasi yang besarnya disesuaikan dengan kemampuan mesin pompa.
3. Pengaruh dinding saluran terhadap gerusan yang terjadi tidak diperhitungkan.
4. Variasi kerapatan model lainnya diteliti oleh peneliti yang lain

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

Bab ini membahas mengenai latar belakang dilakukannya penelitian, dilanjutkan dengan rumusan masalah, tujuan penelitian, manfaat penelitian, batasan masalah dan diakhiri dengan sistematika penulisan tugas akhir.

BAB 2 TINJAUAN PUSTAKA

Pada bab ini diuraikan mengenai teori maupun hasil penelitian terdahulu yang relevan dengan topik permasalahan dan digunakan sebagai acuan juga landasan dalam melakukan penelitian yang selanjutnya

memberikan gambaran mengenai metode pemecahan masalah yang akan digunakan pada penelitian ini.

BAB 3 METODE PENELITIAN

Dalam bab ini dijelaskan tentang metode yang digunakan dalam penelitian, 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 diagram alir yang berisi langkah-langkah penelitian.

BAB 4 HASIL DAN PEMBAHASAN

Bab ini memuat data-data yang telah diperoleh dari hasil penelitian, analisis dan pengolahan data serta pembahasan hasil penelitian tersebut.

BAB 5 KESIMPULAN DAN SARAN

Merupakan bab penutup yang memuat kesimpulan hasil dari analisis penelitian serta saran yang diperlukan untuk penelitian lanjutan dari tugas akhir ini.

BAB 2. TINJAUAN PUSTAKA

A. Sungai

Sungai adalah suatu alur alam yang terbentuk secara alamiah di atas permukaan bumi dimana air mengalir dengan muka air bebas yang secara menerus menyesuaikan dirinya terhadap perubahan lingkungan sekitarnya dalam bentuk aksi dan reaksi. Penyesuaian terhadap perubahan lingkungan sekitar ini bisa berjalan pelan tak terlihat dan berjangka panjang atau bisa juga berjalan sangat cepat mendadak. 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. Sungai yang menjadi salah satu sumber air, tidak hanya menampung air tetapi juga mengalirkannya dari bagian hulu ke bagian hilir.

Menurut Sosrodarsono (1983), suatu sungai dapat dibagi menjadi 3 bagian yaitu :

- 1) Bagian hulu sungai merupakan daerah sumber erosi karena pada umumnya alur sungai melalui daerah pegunungan, bukit, atau lereng gunung yang kadang-kadang mempunyai ketinggian yang cukup besar dari muka air laut (lebih dari 15%). Alur sungai di bagian hulu ini biasanya mempunyai kecepatan aliran yang lebih besar dari pada bagian hilir.
- 2) Bagian tengah sungai merupakan daerah peralihan dari bagian hulu dan hilir. Kemiringan dasar sungai lebih landai sehingga kecepatan

aliran relatif kecil dari pada hulu. Bagian ini merupakan daerah keseimbangan antara proses erosi dan sedimentasi yang sangat bervariasi dari musim ke musim;

- 3) Bagian hilir sungai biasanya melalui dataran yang mempunyai kemiringan dasar sungai yang landai sehingga kecepatan alirannya lambat. Keadaan ini sangat memudahkan terbentuknya pengendapan atau sedimentasi.

B. Saluran Terbuka

Aliran air yakni perpindahan air dari suatu tempat ke tempat lain. Aliran tersebut dapat disebabkan oleh gaya gravitasi bumi, perbedaan tinggi tekanan atau dengan pertolongan tenaga luar seperti pompa. Dalam pengalirannya air dapat berupa saluran terbuka (*open channel flow*), maupun aliran pipa (*pipe flow*) (Ruzardi, 1992).

Saluran terbuka menurut Triatmodjo (2014) adalah saluran di mana air mengalir dengan muka air bebas. Pada semua titik di sepanjang saluran, tekanan di permukaan air adalah sama, yang biasanya adalah tekanan atmosfer. Pengaliran melalui suatu pipa (saluran tertutup) yang tidak penuh (masih ada air bebas) masih termasuk aliran melalui saluran terbuka. Oleh karena aliran melalui saluran terbuka harus mempunyai muka air bebas, maka aliran ini biasanya berhubungan dengan zat cair yaitu air. Pada saluran terbuka (misalnya sungai), variabel aliran sangat tidak teratur baik terhadap ruang maupun waktu. Variabel tersebut adalah tampang lintang

saluran, kekasaran, kemiringan dasar, belokan, debit aliran dan sebagainya.

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

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

$$v = \frac{1,49}{n} R^{2/3} I^{1/2} \text{ (dalam satuan Inggris)} \quad (2)$$

dimana,

v = Kecepatan aliran rata-rata (m/det. Ft/dt)

R = Jari-jari hidrolis (m, ft)

I = Kemiringan garis energi

n = Koefisien kekasaran Manning

Ada beberapa kategori dalam tipe-tipe aliran, apabila dilihat berdasarkan karakteristik ruang ada aliran seragam (*uniform flow*) dan aliran tidak seragam (*non-uniform flow*). Tipe aliran apabila dilihat dari karakteristik waktu ada aliran tetap (*steady flow*) dan aliran tidak tetap (*unsteady flow*).

a. Aliran Seragam dan Tidak Seragam

1. Aliran Seragam (*Uniform Flow*)

Aliran seragam merupakan aliran dengan kecepatan rata-rata sepanjang alur aliran adalah sama sepanjang waktu. Aliran

dikatakan seragam, jika kedalaman aliran sama pada setiap penampang saluran. Di dalam aliran seragam, dianggap bahwa aliran adalah satu dimensi yang berarti kecepatan aliran di setiap titik pada tampang lintang tidak berubah.

2. Aliran tak seragam (*non-uniform flow*)

Aliran tak seragam adalah aliran yang kedalaman dan kecepatan aliran disepanjang saluran tidak konstan, garis tenaga tidak sejajar dengan garis muka air dan dasar saluran. Analisis aliran tak seragam biasanya bertujuan untuk mengetahui profil aliran di sepanjang saluran atau sungai. Aliran tak seragam dapat dibedakan dalam dua kelompok berikut ini :

- a) Aliran berubah beraturan (*gradually varied flow*), terjadi jika parameter hidraulis (kecepatan, tampang basah) berubah secara progresif dari satu tampang ke tampang yang lain. Apabila di ujung hilir saluran terdapat bendung maka akan terjadi profil muka air pembendungan dimana kecepatan aliran akan berkurang (diperlambat), sedangkan apabila terdapat terjunan maka profil aliran akan menurun dan kecepatan akan bertambah (dipercepat) contoh aliran pada sungai
- b) Aliran berubah cepat (*rapidly varied flow*), terjadi jika parameter hidraulis berubah secara mendadak (saluran transisi), loncatan air, terjunan, aliran melalui bangunan pelimpah dan pintu air.

b. Aliran Tetap dan Tidak Tetap

1) Aliran Tetap (steady flow)

Aliran tetap terjadi jika kedalaman aliran tidak berubah atau selalu dalam keadaan konstan pada selang waktu tertentu. Untuk menentukan debit aliran (Q) pada suatu penampang saluran dapat dirumuskan sebagai :

$$Q = v A \quad (3)$$

dimana,

v = Kecepatan rata-rata (m/det)

A = Luas penampang (m)

Pada aliran tunak, disimpulkan bahwa debit aliran dianggap konstan di sepanjang saluran yang bersifat kontinyu. Maka persamaan (3) diubah menjadi :

$$Q = v_1 \times A_1 = v_2 \times A_2 \quad (4)$$

Persamaan (4) menunjukkan penampang saluran berbeda dan tidak dapat digunakan apabila aliran tunak tidak seragam (*non-uniform*) di sepanjang saluran dan jika air mengalir dengan muka air bebas di sepanjang saluran maka jenis aliran akan berubah beraturan (*spatially varied flow*) atau aliran tidak kontinyu (*discontinue flow*), misalnya : terdapat pada saluran pembawa pada irigasi, saluran pembuang, pelimpah luapan samping, air pembilas dari penyaringan dan terdapat pada selokan.

2) Aliran Tidak Tetap (*Unsteady Flow*)

Aliran dikatakan tidak tetap bila kedalamannya berubah sesuai dengan waktu. Banjir dan gelombang merupakan salah satu contoh kasus dimana analisa aliran dilakukan dengan pendekatan tidak tetap.

Selain itu, aliran saluran terbuka juga dapat dibedakan berdasarkan kekentalan yang dijabarkan oleh Reynolds. Parameter yang dipakai sebagai dasar untuk membedakan sifat aliran tersebut adalah suatu parameter tak berdimensi yang disebut angka Reynold. Pada studi transpor sedimen, angka Reynolds digunakan untuk mencari awal gerak sedimen pada grafik Shield. Menurut Triatmodjo (1993) aliran melalui saluran terbuka adalah turbulen, karena kecepatan aliran dan kekasaran dinding relatif besar. Aliran berdasarkan angka Reynold digolongkan menjadi aliran laminar terjadi apabila $Re < 500$, aliran turbulen terjadi apabila $Re > 1000$, dan aliran peralihan apabila $500 < Re < 1000$.

$$Re = \frac{v D}{\nu} \quad (5)$$

dimana,

$$\nu = \text{kekentalan kinematik (m}^2/\text{det)}$$

Selain itu aliran melalui saluran terbuka juga dapat dibedakan menjadi aliran sub kritis (mengalir) dan super kritis (meluncur). Di antara kedua tipe tersebut adalah aliran kritis. Mukti (2016) dalam Suma dkk (2018) menyatakan bilangan Froude untuk saluran terbuka sebagai berikut;

- a. Aliran kritis, merupakan aliran yang mengalami gangguan permukaan, seperti yang diakibatkan oleh riak 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 sub kritis, pada aliran ini biasanya kedalaman aliran lebih besar dari pada kecepatan aliran rendah, semua riak yang timbul dapat bergerak melawan arus. disebut sub kritis apabila suatu gangguan yang terjadi di suatu titik pada aliran dapat menjalar ke arah hulu. Apabila bilangan lebih kecil dari satu ($fr < 1$) maka termasuk aliran sub kritik.
- c. Aliran super kritis, pada aliran ini kedalaman aliran relatif lebih kecil dan kecepatan relatif tinggi, segala riak yang ditimbulkan dari suatu gangguan adalah mengikuti arah arus. Apabila kecepatan aliran cukup besar sehingga gangguan yang terjadi tidak menjalar ke hulu maka aliran adalah super kritis. Apabila bilangan Froude lebih besar dari satu ($fr > 1$) maka aliran tersebut termasuk aliran super kritis.

$$Fr = \frac{v}{\sqrt{g d}} \quad (6)$$

dlmana,

Fr = bilangan Froude

v = kecepatan aliran (m/det)

g = percepatan gravitasi (m/det²)

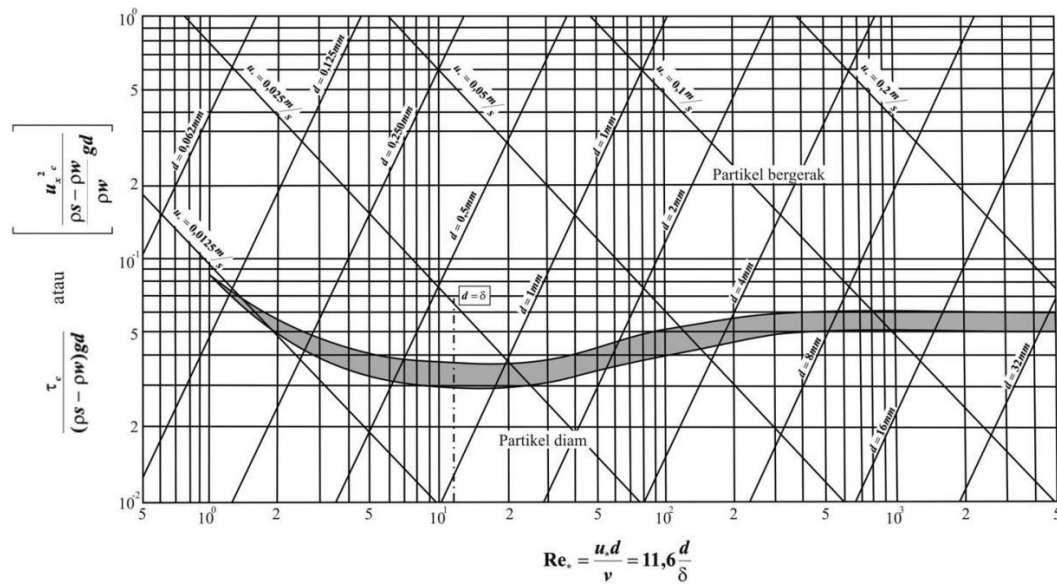
C. Transpor Sedimen

Dalam proses mengalirnya aliran sungai dari hulu menuju hilir yang membawa material bahan di daerah hulu, maka secara otomatis akan memunculkan angkutan sedimen-sedimen baru di dasar sungai. Menurut Mardjikoen (1987) dalam Latif dkk (2019) angkutan sedimen merupakan perpindahan tempat bahan sedimen granular (non kohesif) oleh air yang sedang mengalir searah aliran. Banyaknya angkutan sedimen T dapat ditentukan dari perpindahan tempat suatu sedimen yang melalui suatu tampang lintang selama periode waktu yang cukup.

Transpor sedimen adalah gerak partikel yang dibangkitkan oleh gaya yang bekerja. Transpor sedimen merupakan hubungan aliran air dan partikel-partikel sedimen. Asdak (2004) dalam Achmad dkk (2017) menyebutkan bahwa 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.

C.1 Awal Gerak Butiran Sedimen

Teori permulaan gerak dengan pendekatan tegangan geser menurut Shield, 1936 dapat dilihat pada grafik di Gambar 1 dibawah ini.



Gambar 1. Diagram Shields, Hubungan Tegangan Geser Kritis dengan Bilangan Reynolds (Breuser dan Raudkivi, 1991)

Secara umum sangat sulit untuk menghitung secara analitik berapa besar gaya-gaya yang bekerja pada partikel sedimen, sehingga dengan melakukan analisis dimensi dari beberapa parameter sehingga dapat membuat diagram permulaan gerak dengan pendekatan tegangan geser. Faktor yang berpengaruh dalam penetapan permulaan gerakan butir antara lain adalah tegangan geser, perbedaan rapat masa air dengan rapat massa sedimen, diameter partikel, angka kekentalan kinetik dan gravitasi bumi (Ikhsan, 2007).

Grafik Shields mendefinisikan gerak awal menjadi persamaan berikut:

$$\theta_c = \frac{\tau_c}{\rho_w g \Delta d} = \frac{v_{*c}^2}{g \Delta d} \quad (7)$$

$$\text{dengan } \Delta = \frac{\rho_s - \rho_w}{\rho_w} \quad (8)$$

dimana :

- θ_c = koefisien Shields
- τ_c = tegangan geser kritis (N/m^2)
- ρ_w = berat jenis air (kg/m^3)
- ρ_s = berat jenis butiran (kg/m^3)
- g = percepatan gravitasi (m/det^2)
- v^*_c = kecepatan geser (m/det)
- D = diameter sedimen (m)

Menurut Paresa (2015) permulaan pergerakan partikel dalam sebuah aliran akan diketahui apabila timbul gaya untuk menarik dan mengangkat partikel yang menyebabkan sampai partikel bisa bergerak, melebihi gaya gravitasi bumi yang ada. Gerakan tersebut berasal dari suatu status keseimbangan gaya – gaya pada partikel yang dikenal dengan kondisi gaya awal (initiation of motion) dimana partikel berada dalam ambang batas atau keadaan diam menuju gerakan awal yaitu :

1. Apabila nilai geser di dasar aliran baru saja melampaui nilai kritis kecepatan geser untuk gerak awal, maka partikel akan menggelinding atau menggeser atau gabungan dari keduanya dengan selalu bertumpu pada dasar saluran (*rolling and sliding*).
2. Apabila nilai kecepatan geser di dasar saluran bertambah lagi, maka partikel akan bergerak sepanjang dasar dengan cara meloncat (*saltation*).

3. Apabila kecepatan geser pada dasar bertambah besar dan melampaui kecepatan jatuh partikel maka partikel akan melayang (*suspended*).

Pengukuran angkutan sedimen dapat menggunakan rumus analisa angkutan sedimen dengan metode L.C. Van Rijn. Menurut Van Rijn angkutan sedimen dapat dianalisa cukup akurat dengan dua parameter yang tak berdimensi (*dimensionless parameters*) yang dikemukakan oleh Ackers white dan Yallin (Van Rijn, 1984), yaitu :

- Parameter Partikel (*particle parameter*)

$$D_* = D_{50} \left(\frac{(s-1)g}{\nu^2} \right)^{1/3} \quad (9)$$

dimana,

D^* = parameter partikel,

D_{50} = ukuran partikel,

S = kerapatan jenis = $\frac{\rho_s}{\rho_w}$

ν = kekentalan kinematik (m^2/det)

g = percepatan gravitasi (m/det^2)

- Stage Parameter (T)

$$T = \frac{(v'_*)^2 - (v_{*cr})^2}{(v_{*cr})^2} \quad (10)$$

$$\text{dengan } v'_* = \left(\frac{g^{0,5}}{C'} \right) \nu \quad (11)$$

dimana,

T = Stage parameter

v^* = kecepatan geser dasar berhubungan dengan butiran partikel (m/det)

v^*_{cr} = kecepatan geser dasar kritis menurut Shield (m/det)

C' = koefisien Chezy

- Angkutan sedimen dasar (*bed load*) per satuan lebar sungai dapat dihitung dengan persamaan :

$$q_b = \frac{0,053(T)^{2,1}(\Delta g)^{0,5}(d_{50})^{3/2}}{(D_*)^{0,3}} \quad (12)$$

C.2. Jenis – Jenis Angkutan Sedimen

Sedimen merupakan material yang terbawa hanyut oleh aliran air, yang dapat dibedakan menjadi 3 yaitu :

1. Muatan sedimen dasar (*bed load*) merupakan partikel-partikel kasar yang bergerak pada dasar sungai secara keseluruhan. Gerakannya bisa bergeser, menggelinding atau meloncat-loncat, tetapi tidak pernah lepas dari dasar sungai. Pada umumnya alur sungai di bagian hulu angkutan *bed load* merupakan bagian yang terbesar dari seluruh jumlah sedimen.
2. Muatan sedimen melayang (*suspended load*) merupakan material yang sangat halus yang ukurannya lebih kecil dari 0,1 mm dan melayang di dalam aliran air sungai, hal ini diakibat proses dorongan dari turbulensi aliran. *Fall velocity* atau kecepatan jatuh mempunyai

andil yang cukup besar terhadap proses *suspended load*. Pada aliran turbulen, partikel sedimen tetap melayang di dalam aliran sungai, tetapi jika aliran sungai itu laminar maka konsentrasi sedimen akan berkurang dan akhirnya mengendap.

3. Muatan bilas (*wash load*) adalah angkutan partikel-partikel yang ukuran butiran sedimennya sangat halus ($d < 0,05$ mm) berupa lempung (*silt*) dan debu (*dust*), yang terbawa oleh aliran sungai. Partikel ini akan terus bergerak dan terbawa aliran menuju ke laut, atau dapat juga mengendap pada aliran yang lebih tenang atau pada kondisi air yang tergenang. Ukuran butir muatan bilas adalah paling kecil dari ukuran butir seluruh angkutan sedimen. Sumber utama dari muatan bilas adalah hasil pelapukan lapisan atas batuan atau tanah daerah pengaliran sungai.

D. 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

agradasi 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 di mana 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.

D.1. Jenis jenis gerusan

Raudkivi dan Eltema (1982) dalam Abdurrosyid, J. dkk (2009) mengatakan bahwa gerusan dapat dibedakan menjadi tiga tipe, 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 di bagi menjadi angkutan sedimen dasar (*bed load*), angkutan sedimen layang (*suspended load*), dan angkutan sedimen kikisan (*wash load*).
2. Gerusan akibat adanya penyempitan di alur sungai (*contraction scour*) yaitu gerusan yang terjadi akibat penyempitan alur sungai sehingga aliran menjadi lebih terpusat.

3. Gerusan Lokal (*local Scour*) 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.

Menurut Barokah dan Purwantoro (2014) gerusan menurut kondisi yang berbeda dalam proses angkutan sedimennya dibedakan menjadi dua. Yang pertama gerusan dengan air bersedimen (*live bed scour*) terjadi apabila aliran mempunyai tegangan gesek (τ_0) lebih besar dari tegangan gesek kritisnya (τ_c) maka aliran mengalir disertai dengan pergerakan sedimen dan nampak aliran menjadi keruh. Selanjutnya ada gerusan dengan air bersih (*clear water scour*), yaitu aliran yang terjadi secara kasat mata nampak jernih, aliran ini mempunyai gesekan dasar (τ_0) saluran lebih kecil dari tegangan gesek kritisnya (τ_c), pada kondisi ini belum ada gerusan/angkutan sedimen dasar bila saluran tidak terdapat penghalang/bangunan hidraulika, ketika penghalang dipasang maka akan terjadi gerusan lokal.

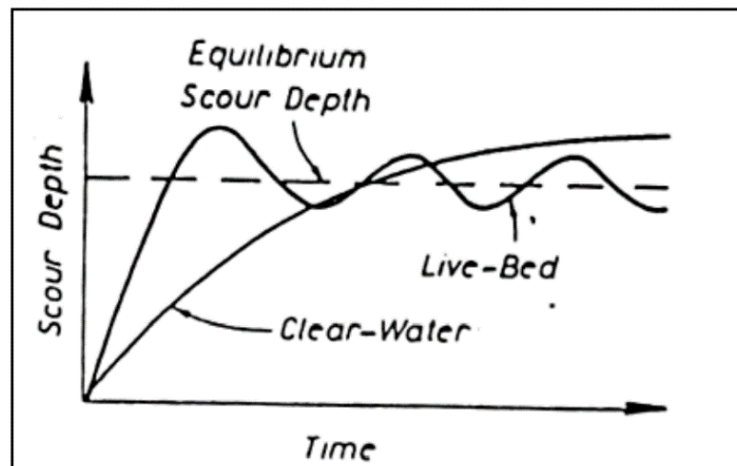
D.2. Mekanisme Gerusan

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

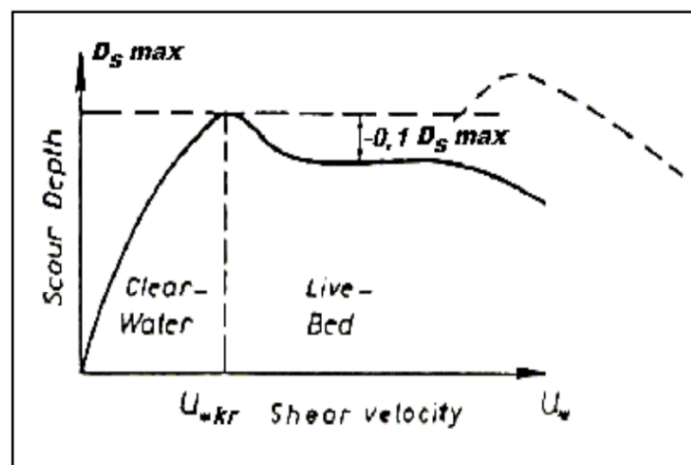
dari sebelah hulu bangunan yaitu pada saat mulai timbul komponen aliran dengan arah aliran ke bawah, karena aliran yang datang dari hulu dihalangi oleh bangunan, maka aliran akan berubah arah menjadi vertikal dan menuju dasar saluran dan sebagian berbelok arah menuju depan bangunan selanjutnya diteruskan 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 2). Sedangkan Breusers dan Raudkivi (1991:61) menyatakan bahwa kedalaman gerusan maksimum merupakan fungsi kecepatan geser (Gambar 3) (Halim, 2014).



Gambar 2. Kedalaman Gerusan (d_s) sebagai Fungsi Waktu (t) (Breusers dan Raudkivi,1991)

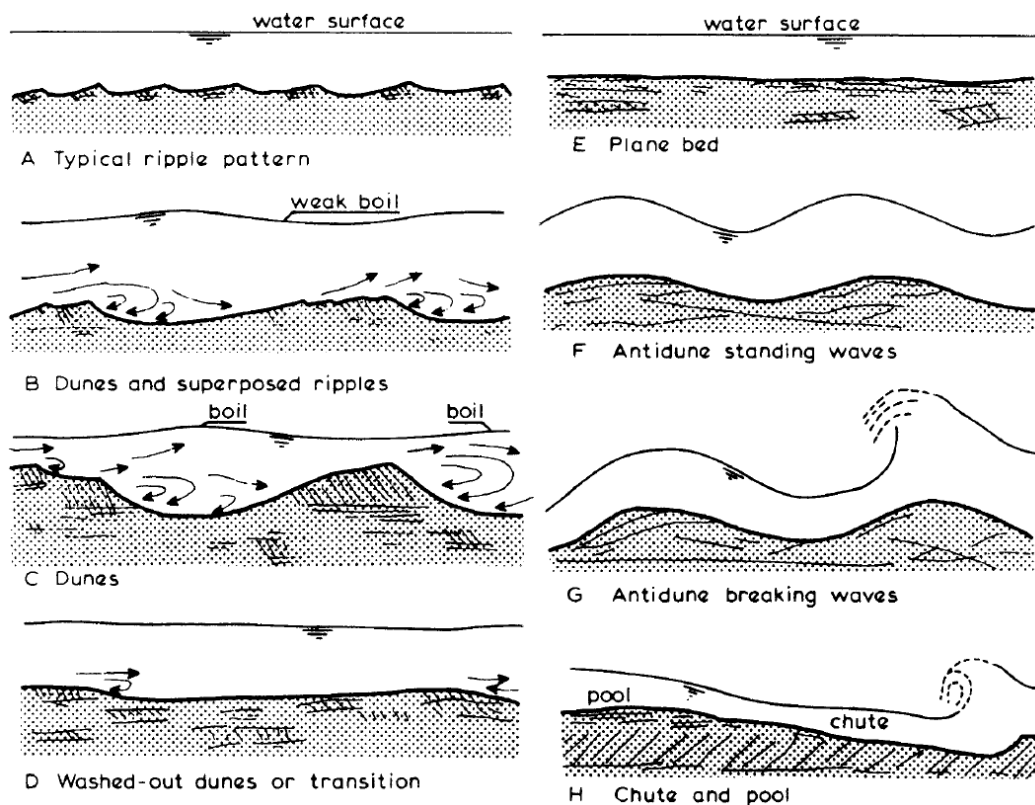


Gambar 3. Kedalaman Gerusan (d_s) sebagai Fungsi Kecepatan geser (u^*). (Breusers dan Raudkivi,1991)

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 :

1. *Lower flow regime* ($Fr < 1$), konfigurasi dasar yang terjadi pada fase ini adalah *ripple*, *sand wave*, dan *dunes*.
2. *Transition flow regime* ($Fr = 1$), pada fase ini konfigurasi tidak teratur, dari bentuk *dunes* sampai *plan (flat) bed*.

3. *Upper flow regime* ($Fr > 1$), menghasilkan pola *plane bed*, *antidunes*, dan *chute and pool*.



Gambar 4. Urutan *Bedform* yang dihasilkan dari Peningkatan Kekuatan Aliran

D.3. Faktor-Faktor yang Mempengaruhi Kedalaman Gerusan

Kedalaman gerusan maksimal dipengaruhi oleh beberapa faktor, faktor-faktor tersebut adalah seperti berikut ini:

1. Kecepatan Aliran

Dalam perkembangan proses gerusan tergantung pada kecepatan aliran dan intensitas turbulen pada transisi antara *fixed* dan *erodible bed*.

2. Kedalaman Aliran

Gerusan yang terjadi dipengaruhi oleh kedalaman dasar sungai dari

muka air (tinggi aliran zat air), maka kecepatan relatif dan kedalaman relatif merupakan faktor penting untuk mengestimasi kedalaman gerusan lokal.

3. Ukuran butiran dari sedimen

Kwan (1984) menjelaskan bahwa semakin besar ukuran butir sedimen (b/d_{50}) maka kedalaman gerusan (Y_s) akan semakin besar. Keadaan ini tidak lagi tampak pada $b/d_{50} = 50\text{mm}$, kedalaman gerusan tidak lagi terpengaruh oleh ukuran butiran sedimen. Ettema menjelaskan bahwa terjadinya pengurangan kedalaman gerusan pada ukuran butir sedimen yang relatif besar disebabkan karena butir sedimen berukuran besar tersebut menghalangi proses erosi dasar lubang gerusan dan menghamburkan aliran energi di zona erosi.

Laursen (1960) dalam HEC-RAS *River Analysis System* menemukan bahwa pada gerusan dengan aliran angkutan sedimen (*live-bed scour*), pengaruh kecepatan aliran terhadap gerusan adalah kecil, tetapi kedalaman aliran sangat mempengaruhi kedalaman gerusan. Sedangkan pada gerusan aliran jernih (*clear water scour*), kecepatan aliran sangat berpengaruh terhadap kedalaman gerusan.

Meningkatnya kecepatan aliran akan menghasilkan gaya seret (*drag force*) yang juga meningkat hingga pada suatu nilai tertentu menyebabkan tercapainya kondisi seimbang. Gaya seret (*drag force*) akibat kecepatan aliran tersebut ditunjukkan pada persamaan berikut:

$$F_D = \frac{1}{2} C_D \rho_w v^2 A \quad (13)$$

Dimana,

F_D = gaya seret (N)

C_D = koefisien seret, yang merupakan fungsi bilangan Reynold

ρ_w = rapat massa air (kg/m³)

v = kecepatan aliran (m/det)

A = luas penampang tertahan (m)

Adapun rumus yang dapat digunakan dalam menghitung kedalaman gerusan lokal yaitu:

$$d_s = 0,473 \left(\frac{Q}{f} \right)^{1/3}$$

Dimana,

D_s = kedalaman gerusan (m)

Q = debit aliran (m³/det)

f = faktor silt = $1,76 D^{0,5}$

D = diameter sedimen (mm)

E. Krib

Sosrodarsono (2008) dalam Paresa (2015) krib adalah bangunan yang dibuat mulai dari tebing sungai ke arah tengah, guna mengatur arus sungai. Pemasangan krib dapat mengalirkan aliran ke tengah alur sungai dan tidak membahayakan tebing sungai sehingga tercipta suatu alur sungai yang stabil. Dalam perencanaan krib harus diperhitungkan terhadap kedalaman air dan pola gerusan, besarnya degradasi sungai yang diperkirakan akan terjadi dan mempengaruhi kestabilannya.

Krib dibangun untuk merubah arah arus sungai sehingga arah arus utama akan bergeser menjauhi tepi tikungan luar sungai, dengan demikian juga akan mengurangi kecepatan aliran pada tebing sungai dan kaki tanggul dan berguna untuk melindungi bahaya gerusan pada tebing sungai serta agar terjadi endapan pada tebing sungai tersebut. Secara garis besar krib dibangun bertujuan untuk mengarahkan aliran sungai, tujuan krib untuk mengarahkan aliran sungai adalah:

1. Mengatur arah arus sungai sehingga pada saat banjir air dapat mengalir dengan cepat dan aman dalam hal ini tebing sungai tidak bergerak,
2. Mengurangi kecepatan arus sungai sepanjang tebing sungai, dan menjamin keamanan tebing sungai terhadap gerusan,
3. Mempercepat sedimentasi
4. Mempertahankan lebar dan kedalaman air pada alur sungai,
5. Mengkonsentrasikan arus sungai dan memudahkan penyadapan,
6. Menormalisasi sungai

E.1. Jenis - Jenis Krib

Pemasangan krib pada sungai mempunyai beberapa klasifikasi yaitu krib permeabel (krib lolos air), krib *impermeabel* (krib tidak lolos air), krib semi permeabel, dan krib silang dan memanjang.

a. Krib Permeabel

Pada tipe permeabel, air dapat mengalir melalui krib. Bangunan ini akan

melindungi tebing terhadap gerusan arus sungai dengan cara meredam energi yang terkandung dalam aliran sepanjang tebing sungai dan bersamaan dengai itu mengndapkan sendimen yang terkandung dalam aliran. Krib permeabel terbagi dalam beberapa jenis, antara lain jenis tiang pancang, rangka piramid, dan jenis rangka kotak. Krib permeabel disebut juga dengan krib lolos air. Krib lolos air adalah krib yang diantara bagian-bagian konstruksinya dapat dilewati aliran, sehingga kecepatannya akan berkurang karena terjadinya gesekan dengan bagian konstruksi krib tersebut dan memungkinkan adanya endapan angkutan muatan di tempat ini.

b. Krib tipe *impermeable*

Krib dengan konstruksi tipe *impermeable* disebut juga krib padat atau krib tidak lolos air, sebab air sungai tidak dapat mengalir melalui tubuh krib. Bangunan ini digunakan untuk membelokkan arah arus sungai dan karenanya sering terjadi gerusan yang cukup dalam di depan ujung krib atau bagian sungai di sebelah hilirnya. Untuk mencegah gerusan, dipertimbangkan penempatan pelindung dengan konstruksi fleksibel seperti matras atau hamparan pelindung batu sebagai pelengkap dari krib padat. Dari segi konstruksi, terdapat beberapa jenis krib impermeable misalnya brojong kawat, matras dan pasangan batu.

c. Krib tipe semi permeabel

Krib semi permeabel ini berfungsi ganda yaitu sebagai krib lolos air dan krib padat. Biasanya bagian yang padat terletak disebelah bawah dan

berfungsi pula sebagai pondasi. Sedangkan bagian atasnya merupakan konstruksi yang permeabel disesuaikan dengan fungsi dan kondisi setempat. Krib semi permeabel disebut juga dengan krib semi lolos air adalah krib yang dibentuk oleh susunan pasangan batu kosong sehingga rembesan air masih dapat terjadi antara batu-batu kosong.

d. Krib Silang dan Memanjang

Krib yang formasinya tegak lurus atau hampir tegak lurus sungai dapat merintang arus dan dinamakan krib melintang. Sedangkan krib yang formasinya hampir sejajar arah arus sungai disebut krib memanjang.

E.2. Konstruksi Krib

- a. Krib tiang pancang: contoh krib permeabel dan dapat digunakan baik untuk krib memanjang maupun krib melintang. Konstruksinya sangat sederhana dan dapat meningkatkan proses pengendapan serta sangat cocok untuk bagian sungai yang tidak deras arusnya.
- b. Krib rangka: krib yang cocok untuk sungaisungai yang dasarnya terdiri dari lapisan batuatau krikil yang sulit dipancang dan krib rangka ini mempunyai kemampuan bertahan yang lebih besar terhadap arus sungai dibandingkan dengan krib tiang pancang.
- c. Krib blok beton: krib blok beton mempunyai kekuatan yang baik dan awet serta sangat fleksibel dan umumnya dibangun pada bagian sungai yang arusnya deras. Bentuk dan denah krib serta berat masing-masing blok beton sangat bervariasi tergantung dari kondisi setempat antara

lain dimensi serta kemiringan sungai dan penetapannya didasarkan pada contoh-contoh yang sudah ada atau pengalaman-pengalaman pada krib-krib sejenis yang pernah dibangun.



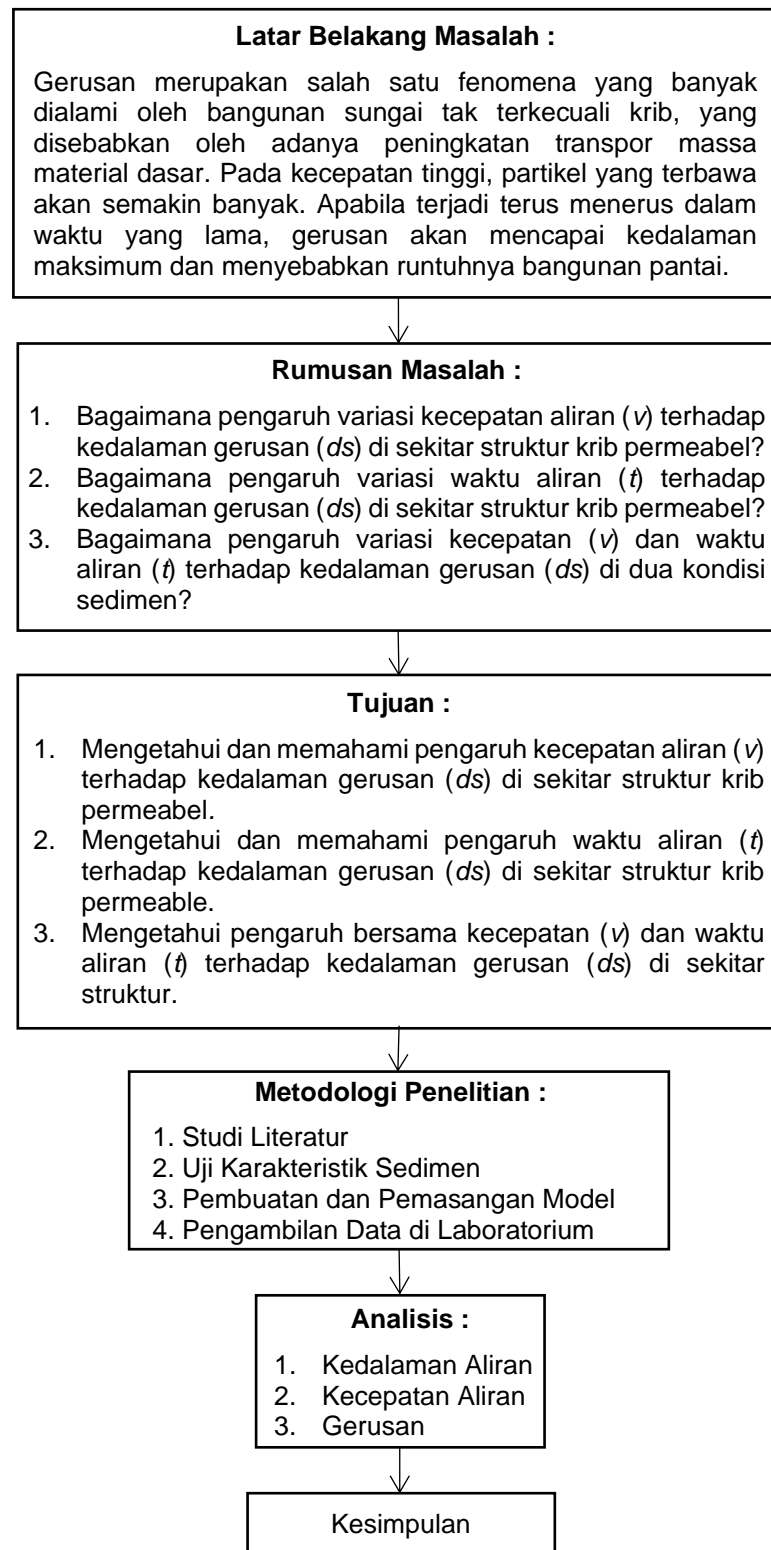
Gambar 5. Krib Permeabel Dengan Tiang Pancang



Gambar 6. Krib Impermeabel Dengan Beton

F. Kerangka Pikir Penelitian

Kerangka pikir pada penelitian ini dapat dilihat pada Gambar 7



Gambar 7. Kerangka Pikir Penelitian