

## **BAB II**

### **TINJAUAN PUSTAKA**

#### **1.1 Penelitian Terdahulu**

Dalam menyusun tesis ini, penulis telah melakukan kajian dengan penelitian sebelumnya dengan membandingkan penelitian sebelumnya yang relevan dengan tema tesis ini sebagai bahan referensi.

Berdasarkan hasil dari penelitian- penelitian sebelumnya penulis memperoleh beberapa informasi persamaan maupun perbedaan hasil penelitian. Berikut merupakan beberapa penelitian terdahulu yang relevan dengan penelitian ini :

**Tabel 1 Matriks Penelitian Terdahulu dan Penelitian Sekarang**

No	Peneliti	Judul Penelitian	Persamaan	Perbedaan
1	Mulyawati dkk, (2023)	Studi Pola Gerusan di Hilir Bendung Alale Kabupaten Bone Bolango Provinsi Gorontalo	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Melakukan penelitian untuk rehabilitasi bendung</li> <li>- Penelitian kerusakan hilir bendung</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Lokasi</li> <li>- Data yang digunakan (data hujan, data debit, data tanah)</li> <li>- Jenis tubuh bendungnya</li> <li>- Jenis analisisnya (uji fisik dan analisa teoritis)</li> </ul>
2	Abdurrosyid, dkk. (2020)	Kajian Pengaruh Bendung Bertangga Tipe Kolam Olak Roller Bucket Terhadap Panjang Loncatan Air Dan Peredaman Energi	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Melakukan perhitungan hidrolika</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Lokasi</li> <li>- Data yang digunakan (data hujan, data debit, data tanah)</li> <li>- Jenis bendungnya</li> </ul>

3	Nasaiy dkk, (2022)	Kajian Panjang Loncatan Hidrolik Pada Model Fisik Kolam Olak Bendungan Krueng Kluet Kabupaten Aceh Selatan	- Melakukan perhitungan hidrolika	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Lokasi</li> <li>- Data yang digunakan (data hujan, data debit, data tanah)</li> <li>- Jenis tubuh bendungnya</li> <li>- Jenis analisisnya (uji fisik dan analisa teoritis)</li> <li>- Memilih kolam olak yang paling efisien</li> <li>- Gerusan di hilir bendung tidak dilakukan analisa</li> </ul>
4	Prayudi (2022) dkk	Studi Gerusan Pada Hilir Kolam Olak Model Fisik Bendungan Krueng Kluet	- Analisa gerusan	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Lokasi</li> <li>- Data yang digunakan (data hujan, data debit, data tanah)</li> <li>- Jenis tubuh bendungnya</li> <li>- Jenis analisisnya (uji fisik dan analisa teoritis)</li> </ul>
5	Parsaie dkk (2019)	Evaluation Of Energy Dissipation On Stepped Spillway Using Evolutionary Computing	- Analisa hidrolika aliran di bendung	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Pembahasan Gerusan</li> <li>- Pembahasan proteksi</li> </ul>

6.	Pandani (2022)	dkk,	Analisis Pola Hidraulik Peredaman Energi Pada Kolam Olak Tipe Vlugther Di Hilir Pelimpah Bertangga dengan Model Fisik 2D	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Melakukan perhitungan hidrolika</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Lokasi</li> <li>- Data yang digunakan (data hujan, data debit, data tanah)</li> <li>- Jenis tubuh bendungnya</li> <li>- Jenis analisisnya (uji fisik dan analisa teoritis)</li> </ul>
7	Pangestu (2018)	dkk	Studi Gerusan Di Hilir Bendung Kolam Olak Tipe Vlugther Dengan Perlindungan Groundsill	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Analisa hidrolika</li> <li>- Analisa pola gerusan</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Lokasi</li> <li>- Data yang digunakan (data hujan, data debit, data tanah)</li> <li>- Jenis tubuh bendungnya</li> <li>- Jenis penanganan gerusan sudah ditentukan</li> </ul>
8	Amin (2015)		Physical model study for mitigating local scour downstream of clear over-fall weirs	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Membahas tentang aliran di atas bendung dan di hilir bendung</li> <li>- Membahas tentang gerusan</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Lokasi</li> <li>- Data yang digunakan (data hujan, data debit, data tanah)</li> <li>- Jenis tubuh bendungnya</li> <li>- Tidak membahas jenis penanganan gerusan</li> </ul>

9	Ota dkk, (2015)	Experimental And Numerical Study Of The Local Cour Caused By Sediment Releasing Through A Dam Gate	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Analisa hidrolika simulasi debit dengan dalamnya gerusan</li> <li>-</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Lokasi</li> <li>- Data yang digunakan (data hujan, data debit, data tanah)</li> <li>- Tidak membahas jenis peengamanan gerusan</li> </ul>
10	Negara dkk (2022)	Variasi Penempatan Bronjong Di Hilir Kolam Olak Terhadap Pola Gerusan Dasar	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Analisa hidrolika</li> <li>- Analisa pola gerusan</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Lokasi</li> <li>- Data yang digunakan (data hujan, data debit, data tanah)</li> <li>- Jenis tubuh bendungnya</li> <li>- Jenis penanganan gerusan sudah ditentukan</li> </ul>
11	Zulfan (2017)	Optimasi Hidraulik Penanganan Gerusan Di Hilir Bendung (Studi Kasus : Bendung Rengrang, Jawa Barat)	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Analisa hidrolika</li> <li>- Analisa pola gerusan</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Lokasi</li> <li>- Data yang digunakan (data hujan, data debit, data tanah)</li> <li>- Jenis tubuh bendungnya</li> <li>- Jenis penanganan gerusan sudah ditentukan</li> </ul>
12	Abdurrosyid dkk (2015)	Pengaruh Kemiringan Tubuh Hilir Bendung (Spillway) Dan Baffle Block Pada Kolam Olak Solid Roller Bucket Terhadap Loncatan	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Analisa hidrolika</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Lokasi</li> <li>- Data yang digunakan (data hujan, data debit, data tanah)</li> <li>- Jenis tubuh bendungnya</li> <li>- Pembahasan gerusan</li> </ul>

		Hidrolik Dan Peredaman Energi		
13	Junaidi dkk (2016)	Studi Awal Pembentukan Lubang Gerusan Dan Lapis Armor Pada Proses Gerusan Di Hilir Bed Sill	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Analisa hidrolika</li> <li>- Analisa pola gerusan</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Lokasi</li> <li>- Data yang digunakan (data hujan, data debit, data tanah)</li> <li>- Pemahasan tentang penanganan gerusan</li> </ul>
14	Syarifudin (2022)	Model Aliran 2-D untuk Memprediksi Gerusan dan Sedimentasi di Saluran Jakabaring Sport City (JSC) Palembang	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Menganalisa gerusan</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Lokasi</li> <li>- Data yang digunakan (data hujan, data debit, data tanah)</li> <li>- Pemahasan tentang penanganan gerusan</li> </ul>
15	Rohmah dkk (2022)	Pemodelan Gerusan Lokal Pada Abutment Jembatan Menggunakan Ssiim-2	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Pembahasan tentang gerusan</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Lokasi</li> <li>- Data yang digunakan (data hujan, data debit, data tanah)</li> <li>- Pemahasan tentang penanganan gerusan</li> </ul>
16	Zainuddin dkk (2023)	Pemodelan Sedimentasi Menggunakan Hec-Ras 6.1 Untuk Menganalisis Perubahan Elevasi Dasar Sungai Tondano, Sulawesi Utara	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Menggunakan software hec ras</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Lokasi</li> <li>- Data yang digunakan (data hujan, data debit, data tanah)</li> <li>- Pemahasan tentang penanganan gerusan</li> </ul>



*Sumber : Jurnal*



## 1.2 Bendung

Bendung (weir) adalah struktur yang dibangun melintang di sungai, yang berfungsi untuk menaikkan muka air. Air sungai yang permukaannya dinaikkan akan melimpas melalui puncak / mercu bendung (overflow). Menurut panduan KP 01 (Kriteria Perencanaan 01 1986), definisi dari bendung (weir) adalah bangunan yang digunakan untuk meninggikan muka air pada sungai hingga ketinggian tertentu yang dibutuhkan supaya air dapat dialirkan melalui saluran irigasi dan petak tersier. Bendung memiliki beberapa bagian yaitu, tubuh bendung, bangunan intake, bangunan pembilas, dan bangunan pelengkap lainnya (peredam energi, tembok sayap, tembok pangkal, pengarah arus, lantai udik, tangga, dan lain sebagainya).

Fungsi bangunan bendung antara lain :

1. Menaikkan tinggi muka air sehingga dapat dialirkan secara gravitasi sampai mencapai tujuan kegunaannya.
2. Menaikkan dan menahan aliran air agar dapat di pompa ketempat yang lebih tinggi untuk mencapai tujuan kegunaannya.
3. Mengendalikan pola aliran sedimen agar tidak mengganggu morfologi dasar sungai.



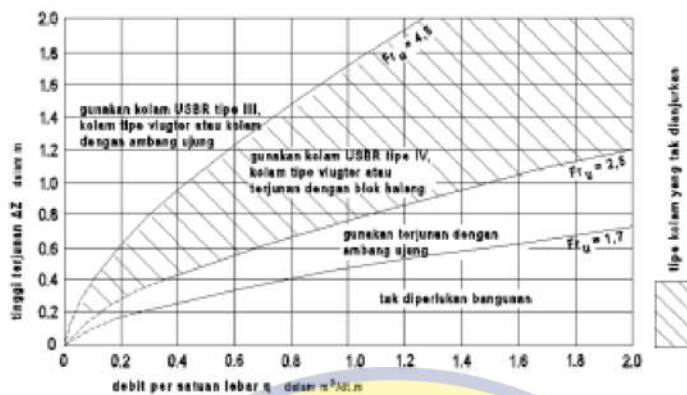
4. Mengatur pola aliran debit sungai agar tetap terjaga kehidupan biota di dalam air sungai.

### 1.3 Bangunan Peredam Energi

Bangunan peredam energi atau kolam olak merupakan salah satu bagian dari bendung yang berfungsi untuk meredam energi air akibat pembendungan. Dalam mendesain kolam olak harus diperhitungkan energi potensial, kinetik dan kemungkinan terjadinya perubahan morfologi hilir dasar saluran. Besar energi pada aliran air dapat dinyatakan dengan bilangan Froude, selain itu hal yang perlu diperhitungkan adalah material atau bahan konstruksi yang digunakan untuk kolam olak. Pada kriteria perencanaan 04 (KP 04 1986), pengelompokan berdasarkan bilangan Froude untuk perencanaan kolam adalah sebagai berikut:

1. Untuk  $Fru \leq 1,7$  tidak diperlukan kolam olak, pada saluran tanah, bagian hilir harus dilindungi dari bahaya erosi, saluran pasangan batu atau beton tidak memerlukan lindungan khusus.
2. Bila  $1,7 < Fru \leq 2,5$  maka kolam olak diperlukan untuk meredam energi secara efektif. Pada umumnya kolam olak dengan ambang ujung mampu bekerja dengan baik. Untuk penurunan muka air  $\Delta Z < 1,5$  m dapat dipakai bangunan terjun tegak.

3. Jika  $2,5 < Fr_u \leq 4,5$  maka akan timbul situasi yang paling sulit dalam memilih kolam olak yang tepat. Loncatan air tidak terbentuk dengan baik dan menimbulkan gelombang sampai jarak yang jauh di saluran. Cara mengatasinya adalah mengusahakan agar kolam olak untuk bilangan Froude ini mampu menimbulkan olakan (turbulensi) yang tinggi dengan blok halangnya atau menambah intensitas pusaran dengan pemasangan blok depan kolam. Blok ini harus berukuran besar (USBR tipe IV). Tetapi pada praktiknya akan lebih baik untuk tidak merencanakan kolam olak jika  $2,5 < Fr_u < 4,5$ . Sebaiknya geometrinya diubah untuk memperbesar atau memperkecil bilangan Froude dan memakai kolam dari kategori lain.
4. Jika  $Fr_u \geq 4,5$  ini akan merupakan kolam yang paling ekonomis. karena kolam ini pendek. Tipe ini, termasuk kolam olak USBR tipe III yang dilengkapi dengan blok depan dan blok halang. Kolam loncat air yang sama dengan tangga di bagian ujungnya akan jauh lebih panjang dan mungkin harus digunakan dengan pasangan batu.



**Gambar 1 Diagram Untuk Memperkirakan Tipe Bangunan Yang Digunakan Untuk Perencanaan Detail (sumber: KP 04, 1986)**

#### 1.4 Gerusan

Neil (1973) menjelaskan bahwa gerusan (*scour*) adalah peristiwa penurunan dasar sungai yang diakibatkan karena terjadi erosi di bawah elevasi permukaan alami atau datum yang diasumsikan. Menurut Legono (1990), gerusan adalah sebuah proses semakin dalamnya dasar sungai dikarenakan adanya interaksi antara aliran dengan material yang ada di sungai. Fenomena gerusan dapat terjadi karena adanya perubahan pola aliran yang berubah saat melewati penampang sungai yang mengakibatkan material-material yang terdapat di dasar sungai akan terangkut dan ditransportasikan dari daerah asalnya sedikit demi sedikit. Proses pengangkutan material dasar sungai tersebut terjadi secara berulang-ulang hingga mencapai suatu keseimbangan dasar sungai yang baru.

Raudkivi dan Eltema (1982) dalam Abdurrosyid, Dkk. (2009) menjelaskan bahwa gerusan dapat diklasifikasikan menjadi tiga jenis, yaitu:

1. Gerusan umum (*general scour*), yaitu gerusan yang tidak berkaitan sama sekali dengan ada atau tidaknya bangunan hidraulik. Gerusan ini dapat terjadi dikarenakan oleh energi dari aliran air itu sendiri.
2. Gerusan terlokalisir (*localized scour/construction scour*), yaitu gerusan yang terjadi di alur sungai, penyebabnya yaitu penyempitan alur sungai sehingga aliran menjadi lebih terpusat.
3. Gerusan lokal (*local scour*), yaitu gerusan yang terjadi di sekitar bangunan, penyebabnya yaitu pola aliran lokal yang terjadi di sekitar bangunan sungai.

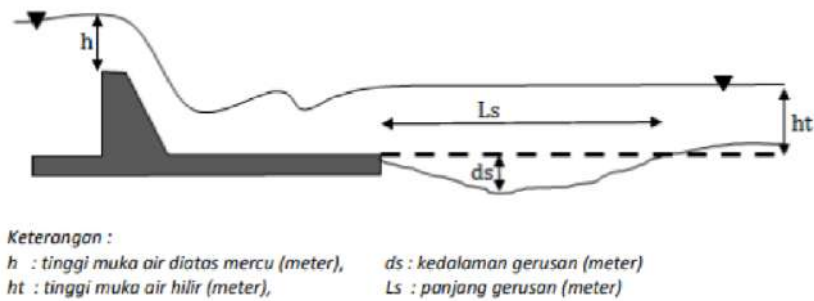
Gerusan-gerusan di atas dapat terjadi secara bersamaan akan tetapi lokasi terjadinya berbeda-beda. Terdapat dua kondisi yang dapat menyebabkan terjadinya gerusan lokal dan gerusan terlokalisir, kedua kondisi tersebut adalah gerusan dengan air jernih (*clean-water scour*) dan kondisi gerusan dengan air tidak jernih (*live-bed scour*). Gerusan dengan air jernih adalah gerusan yang terjadi apabila material dasar di hulu tidak mengalami pergerakan (dalam keadaan diam). Secara teoritik, tegangan geser dasar ( $\tau_0$ ) bernilai lebih kecil atau sama dengan tegangan geser dasar kritis ( $\tau_c$ ). Gerusan dengan air tidak jernih adalah gerusan yang terjadi apabila kondisi dalam aliran menyebabkan material dasar terangkut (bergerak). Hal tersebut terjadi ketika tegangan geser dasar saluran memiliki nilai yang lebih besar jika dibandingkan

dengan tegangan geser dasar kritiknya. Breusers dan Raudkivi (1991) dalam Zulfan (2017) menjelaskan bahwa gerusan lokal (*local scour*) pada struktur hidraulik harus ditambah dengan gerusan umum (*general scour*) dan gerusan terlokalisir (*localized scour/constriction scour*) untuk mendapatkan kedalaman gerusan maksimum yang akan digunakan dalam perencanaan.

#### **1.4.1 Mekanisme Gerusan**

Raudkivi dan Ettema, (1983) menyatakan dalam Abdurrosyid, dkk. (2009) menjelaskan kedalaman gerusan dapat dikatakan mencapai kondisi kesetimbangan apabila jumlah material yang bergerak dari lubang gerusan sama dengan material yang disuplai ke lubang gerusan. Melville (2015) dan Pilarczyk (2012) dalam Zulfan (2017) menyatakan gerusan sebagai fenomena alam yang disebabkan oleh aliran sungai oleh karena perbuatan manusia. Perubahan dinamik morfologi sungai di hilir bendung sangat dipengaruhi oleh proses degradasi dan aggradasi dasar sungai dan penanggulangan gerusan lokal akan sangat tergantung dari dalamnya gerusan sungai tersebut. Ilustrasi gerusan yang terjadi di hilir bendung dapat dilihat pada Gambar 3.8 berikut ini.





**Gambar 2 Ilustrasi Gerusan di Hilir Bendung (Sumber: Jurnal Teknik Sipil Vol.8 No.1)**

Pada kondisi *live-bed scour*, sedimen yang ada di hulu saluran terus menerus terbawa aliran menuju lubang gerusan yang menyebabkan kondisi kesetimbangan (*equilibrium*) dari kedalaman gerusan dapat tercapai pada saat jumlah sedimen yang masuk ke dalam lubang gerusan mencapai jumlah yang setara dengan jumlah sedimen yang terangkut oleh aliran air. Pada umumnya kondisi *live-bed scour* memiliki rata-rata inisial gerusan yang lebih besar apabila dibandingkan dengan *clear water scour* dan *equilibrium*. Meskipun demikian kedalaman gerusan akan terus berubah-ubah seiring dengan berjalannya waktu meskipun kondisi equilibrium telah tercapai.

#### 1.4.2 Permulaan Gerak Butiran

Pada dasarnya setiap butiran sedimen mempunyai gaya yang bekerja dengan besaran nilai tertentu. Untuk membuat butiran-butiran sedimen pada saluran bergerak



melintasi jarak yang cukup jauh dibutuhkan gaya yang bernilai lebih besar dari pada gaya yang bekerja pada butiran sedimen. Apabila gaya yang bekerja memiliki nilai yang kecil maka gaya tersebut hanya akan berlangsung sesaat saja dan butiran sedimen akan kembali kepada posisi semula. Pada kondisi aliran yang memiliki gaya yang dapat membuat butiran sedimen bergerak dapat dinamakan kondisi kritis.

Breuser dan Raudkivi (1991) dalam Affandi (2007) parameter permulaan gerak butiran sedimen dapat dilihat pada diagram yang dinamakan diagram Shield. Sesuai Gambar 3 terjadinya awal gerak butiran dapat diketahui apabila tegangan geser dasar ( $\tau_0$ ) bernilai lebih besar dari pada tegangan geser kritis ( $\tau_c$ ). Shield menyatakan bahwa tegangan geser dasar ( $\tau_0$ ) dapat dicari menggunakan persamaan 2.1.

$$\tau_0 = \rho \times g \times h \times l \quad (2.1)$$

Kecepatan geser dapat dicari dengan persamaan 2.2.

$$U_* = \left(\frac{\tau_0}{\rho}\right)^{0,5} \quad (2.2)$$

Kecepatan geser kritis dapat dicari dengan persamaan 2.3

$$U_{*c} = \sqrt{\theta_c \cdot g \cdot \Delta d_{50}} \quad (2.3)$$

Parameter mobilitas kritis atau parameter Shield dapat dicari dengan persamaan 2.4

$$\theta_c = \frac{\tau_c}{\rho \cdot g \cdot \Delta d_{50}} = \frac{U_{*c}^2}{g \cdot \Delta d_{50}} \quad (2.4)$$

Dengan:

$\tau_0$  = tegangan geser dasar (N/m<sup>2</sup>)

$\tau_{0c}$  = tegangan geser kritis (N/m<sup>2</sup>)

$\theta_{0c}$  = parameter mobilitas kritis

$U_{*0}$  = kecepatan geser (m/s)

$U_{*0c}$  = kecepatan geser kritis (m/s)

$\rho$  = massa jenis air (kg/m<sup>3</sup>)

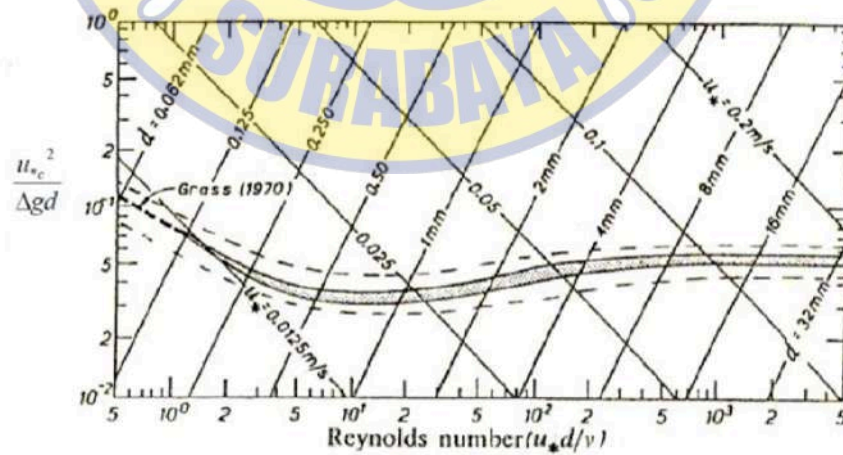
$\Delta$  = relatif *density*

$I$  = kemiringan saluran

$h$  = kedalaman air (m)

$g$  = percepatan gravitasi (m/s<sup>2</sup>)

$d_{50}$  = diameter rata-rata material.



**Gambar 3 Diagram Shields (Sumber: Affandy, M.R., 2007)**

### **1.4.3 Kedalaman Gerusan**

Pada proses terjadinya gerusan diawali pada satu atau dua titik gerusan. Kemudian gerusan tersebut akan semakin dalam dan semakin membesar. Pada aliran yang seragam dan permanen (*uniform and steady flow*), proses perkembangan gerusan terjadi sangat cepat pada awal pembentukan gerusan, dan akan melambat setelahnya. Untuk mengetahui kedalaman gerusan yang terjadi terdapat beberapa persamaan yang dapat digunakan, di antaranya yaitu.

#### **1. Metode CSU (Colorado State University)**

Metode CSU digunakan untuk memperkirakan kedalaman gerusan lokal di sekitar bendung berdasarkan debit dan karakteristik dasar Sungai, dengan persamaan 2.5.

$$Y_s = K_1 K_2 K_3 K_4 \left( \frac{q}{g^{0.5} d_{50}^{0.1}} \right)^{0.64} \quad (2.5)$$

Dengan:

$Y_s$  = Kedalaman gerusan (m)

$q$  = Debit per satuan lebar ( $\frac{Q}{B}$ ) (m<sup>3</sup>/detik/m)

$g$  = Percepatan gravitasi (9.81 m/s<sup>2</sup>)

$d_{50}$  = Diameter median sedimen dasar sungai

$K_1, K_2, K_3, K_4$  = Faktor koreksi (misalnya untuk bendung, tipe aliran, dsb.)

## 2. *Metode Laursen-Copeland*

Metode Laursen-Copeland digunakan untuk menghitung gerusan dasar sungai secara umum akibat aliran yang terus menerus membawa sedimen.

Konsep Dasar:

- Menghitung perubahan dasar sungai akibat ketidakseimbangan angkutan sedimen.
- Berdasarkan transportasi sedimen yang dipengaruhi oleh kecepatan aliran, ukuran butiran sedimen, dan lebar sungai.
- Cocok untuk sungai alami atau sungai yang mengalami perubahan akibat pembangunan struktur (misalnya, bendung atau jembatan).

Perhitungan gerusan dengan persamaan 2.6.

$$Y_s = K \left( \frac{Q}{W} \right)^m \quad (2.6)$$

Dengan:

$Y_s$  = Kedalaman gerusan dasar sungai (m)

$Q$  = Debit aliran (m<sup>3</sup>/detik)

$W$  = Lebar sungai (m)

$K$  dan  $m$  adalah koefisien berdasarkan karakteristik sedimen.

## 3. *Metode Melville & Coleman*

Metode Melville & Coleman dirancang untuk menghitung gerusan di sekitar pilar dan abutment akibat perubahan aliran lokal.

Konsep Dasar:

- Memperhitungkan berbagai faktor seperti kecepatan aliran, diameter pilar, sudut datang aliran, dan kedalaman awal sungai.
- Memisahkan gerusan total menjadi beberapa komponen:
  - Gerusan alami (natural scour)
  - Gerusan lokal di sekitar pilar
  - Gerusan akibat penyempitan aliran

Perhitungan gerusan dengan persamaan 2.7.

$$Y_s = K_d K_y K_z K_t K_g d \quad (2.7)$$

Dengan:

$Y_s$  = Kedalaman gerusan di sekitar pilar atau abutment (m)

$K_d, K_y, K_z, K_t, K_g$  = Faktor koreksi untuk diameter pilar, kedalaman aliran, sudut aliran, bentuk pilar, dan kondisi geologi.

$d$  = Diameter atau lebar pilar/abutment (m).



## 1.5 Perlindungan Gerusan

### 1.5.1 Riprap

Riprap merupakan susunan bongkahan batu alam atau blok-blok buatan dengan dimensi dan volume tertentu yang digunakan sebagai peredam energi di hilir kolam olah bendung dan berfungsi juga untuk mengurangi kedalaman penggerusan tanah dasar di hilir saluran. Aliran pada hilir bangunan peredam energi bendung memiliki kecepatan yang besarnya bervariasi, riprap yang terdiri dari susunan batu lepas akan menyebar ketika terkena aliran yang deras. Sehingga riprap tersebut dapat menjadi pelindung dasar saluran dari bahaya penggerusan.

Menurut Erman dan Memed (2002), jenis riprap dapat dibedakan menjadi dua, yaitu:

- a. Timbunan bongkah batu alam
- b. Susunan blok-blok beton berbentuk segi empat, segi panjang, dan lain sebagainya.

Pada penelitian ini akan menggunakan proteksi riprap jenis timbunan bongkahan batu alam. Ukuran atau diameter bongkahan batu alam yang digunakan dapat dihitung menggunakan persamaan dari *United States Army Corps of Engineers* (USACE) seperti pada persamaan 2.8.



$$d_{30} = \frac{y^2 \times Sf \times Cs}{Cv \times CT} \quad (2.8)$$

Dengan :

$d_{30}$  = diameter rata-rata butiran

$y$  = kedalaman air setelah lompatan ( $y_2$ ) (m)

$Sf$  = faktor keamanan (biasanya 1.2 – 1.5),

$Cs$  = koefisien stabilitas (biasanya sekitar 0.3)

$Cv$  = koefisien distribusi kecepatan (biasanya 1.2)

$CT$  = koefisien ketebalan selimut (biasanya 1.5)

### 1.5.2 Ambang Dasar (Groundsill)

Groundsill adalah struktur ambang melintang yang digunakan untuk mengendalikan ketinggian dan kemiringan dasar sungai agar dapat mengurangi degradasi pada sungai. *Groundsill* diletakan pada alur sungai untuk menjaga agar elevasi lapisan endapan tidak cepat mengalami penurunan, sehingga struktur pada bagian hulu saluran seperti jembatan tetap aman walaupun terjadi penambangan pasir pada dasar sungai.

Terdapat dua tipe bentuk ambang yaitu:

- a. Ambang Datar (*Bed Gindle Work*)

Ambang jenis ini memiliki bentuk yang hampir tidak memiliki terjunan serta ketinggian mercunya hampir sama dengan elevasi dasar sungai. Ambang datar ini memiliki fungsi untuk menjaga agar elevasi permukaan dasar sungai tidak mudah mengalami penurunan.

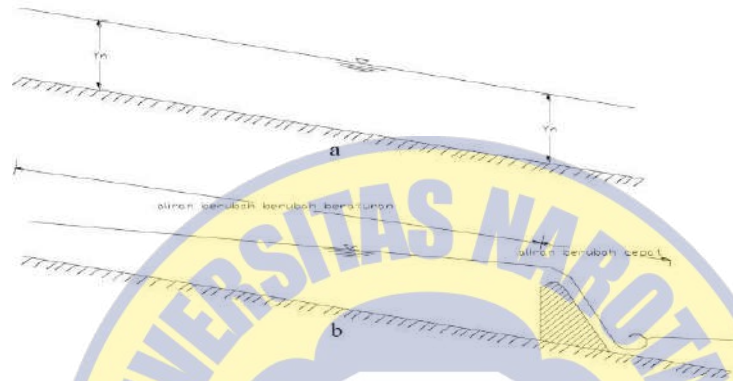
b. Ambang Pelimpah (*Head Work*)

Ambang jenis ini memiliki terjunan yang membuat elevasi permukaan dasar pada hulu ambang memiliki elevasi yang lebih tinggi dibandingkan dengan elevasi permukaan dasar di bagian hilir ambang. Fungsi dari ambang jenis ini adalah untuk melandaikan kemiringan dasar sungai.

## 1.6 Saluran Terbuka

Chow (1984) memaparkan saluran terbuka adalah saluran yang memiliki permukaan bebas (*free surface*) dan dipengaruhi secara langsung oleh tekanan udara atau atmosfer. Kondisi aliran pada saluran terbuka cenderung mengalami perubahan sesuai dengan waktu dan ruang. Selain itu pada saluran terbuka memiliki keterkaitan antara satu sama lain kedalaman aliran, debit, kemiringan dasar saluran, dan permukaan. Triatmodjo (1993) menjelaskan klasifikasi aliran melalui saluran terbuka memiliki tipe aliran turbulen. Hal tersebut dikarenakan kecepatan aliran dan kekerasan dinding saluran relatif besar. Terdapat beberapa kategori berdasarkan karakteristik ruang terdapat aliran seragam (*uniform flow*) dan aliran tidak seragam

(*non-uniform flow*). Apabila berdasarkan karakteristik waktu terdapat aliran tetap (*steady flow*) dan aliran tidak tetap (*unsteady flow*). Berikut ini penjelasan tentang aliran pada saluran terbuka,



**Gambar 4 Aliran Seragam dan Berubah (Sumber: Triatmojo, 1993)**

a. Aliran seragam (*Uniform Flow*)

Suatu aliran dapat disebut seragam apabila variabel aliran seperti kedalaman, tampang basah, kecepatan, dan debit setiap tampang di sepanjang aliran memiliki nilai yang konstan.

b. Aliran tidak seragam (*Non-uniform Flow*)

Suatu aliran dapat disebut tidak seragam apabila variabel aliran seperti kedalaman, tampang basah, dan kecepatan setiap tampang di sepanjang aliran memiliki nilai yang tidak konstan.

2. Tipe aliran berdasarkan karakteristik waktu

a. Aliran tetap (*Steady Flow*)

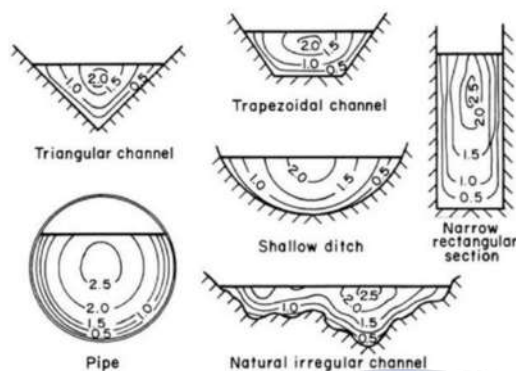
Aliran pada saluran terbuka dikatakan tetap (*steady*) apabila kedalaman aliran tidak berubah atau konstan selama jangka waktu tertentu.

b. Aliran tidak tetap (*Unsteady Flow*)

Aliran dikatakan tidak tetap (*unsteady flow*) apabila kedalamannya berubah atau tidak konstan sesuai dengan waktu.

### 1.7 Distribusi Kecepatan

Triatmojo (1993) memaparkan bahwa dalam aliran melalui saluran terbuka distribusi kecepatan aliran dipengaruhi oleh bentuk saluran, kekasaran dinding, dan juga debit aliran. Distribusi kecepatan terjadi secara tidak merata di setiap titik tampang melintang. Hal tersebut disebabkan karena adanya suatu permukaan bebas dan gesekan pada dinding saluran. Kecepatan minimum pada saluran terjadi di dekat dinding batas (tepi dan dasar) saluran dan semakin besar seiring dengan jarak menuju ke permukaan. Pola distribusi kecepatan pada tampang lintang saluran dengan berbagai bentuk penampang yang digambarkan dengan garis kontur kecepatan seperti pada Gambar 5.



**Gambar 5 Distribusi Kecepatan Pada Saluran Terbuka (Sumber: Triatmojo, 1993)**

Pada Gambar 3.2 dapat dilihat bahwa pola kecepatan sesuai dengan bentuk penampang saluran. Garis kurva distribusi kecepatan pada saluran terbuka menunjukkan bahwa distribusi kecepatan maksimum yang terjadi di Tengah saluran dan di bawah permukaan. Hal tersebut dikarenakan tidak terdapat gesekan antara zat cair dengan dinding saluran. Disisi lain, distribusi kecepatan minimum terjadi di dasar saluran dan di sisi samping saluran. Distribusi kecepatan aliran untuk saluran dengan lebar yang cukup besar seperti Gambar 3.2 terjadi di sekitar bagian tengah saluran bernilai sama. Hal tersebut dikarenakan sisi-sisi dari saluran tersebut tidak berpengaruh pada daerah tersebut, sehingga saluran tersebut dapat dianggap 2 dimensi (vertikal) dalam analisa hidrolisnya. Keadaan tersebut hanya terjadi bila saluran memiliki ukuran 5-10 kali lebih besar dari pada kedalaman aliran, tergantung pada tingkat kekasaran dinding saluran. Dalam praktiknya, lebar saluran dapat

dianggap sangat lebar (lebar tak terhingga) apabila memiliki lebar yang lebih besar 10 kali dari kedalaman.

Pengukuran arus distribusi kecepatan dapat dilakukan dengan membagi penampang melintang saluran menjadi beberapa garis vertikal berurutan. Semakin banyak titik pengukuran akan memberikan hasil yang lebih teliti. Pengukuran kecepatan yang dilakukan di lapangan dapat menggunakan alat *current meter*. Alat ini berupa baling-baling yang berputar karena ada aliran dan menghasilkan hubungan antara kecepatan sudut baling-baling dengan kecepatan aliran.

## 2.1 Keadaan Aliran

Chow (1984) membagi aliran berdasarkan pengaruh kekentalan (*viscosity*) dan gravitasi (*interial force*) yang dibandingkan dengan gaya-gaya inersia aliran. Pengaruh dari kekentalan membuat sifat aliran menjadi turbulen atau laminar. Pengaruh kekentalan tersebut dapat dinyatakan dalam bilangan *Reynold*, sedangkan pengaruh gravitasi dapat menyebabkan aliran bersifat kritik, sub-kritik, dan superkritik. Pengaruh gravitasi tersebut dapat dinyatakan dalam bilangan *Froude*.

### 1. Kekentalan (*viscosity*)

Pada umumnya klasifikasi aliran bergantung pada gangguan-gangguan yang terjadi pada suatu aliran yang dapat mempengaruhi gerak dari partikel fluida. Salah satu gangguan yang mungkin dialami oleh aliran adalah pengaruh dari kekentalan



terhadap kelembaman yang dapat membuat aliran bersifat laminar dan turbulen. Aliran dapat disebut laminar apabila memiliki gaya kekentalan yang relatif lebih besar dibandingkan dengan gaya kelembaman, sehingga pengaruh kekentalan terhadap sifat aliran besar. Butiran air pada aliran laminar bergerak seolah-olah terdapat suatu lintasan yang tertentu dengan satu lapisan yang sangat tipis mengalir di atas lapisan lainnya, sedangkan aliran dapat disebut turbulen apabila memiliki gaya kekentalan yang relatif lebih lemah dibandingkan dengan gaya kelembamannya. Pada aliran yang turbulen, butiran air bergerak pada lintasan yang tidak teratur dan tidak tetap, akan tetapi butir-butir tersebut masih bergerak maju dalam aliran. Pada keadaan laminar dan turbulen terdapat suatu keadaan campuran atau keadaan peralihan (transisi). Untuk menyatakan pengaruh kekentalan terhadap kelembaman dapat dinyatakan dalam bilangan *Reynold*. *Reynold number* (Re) adalah bilangan tanpa dimensi yang dapat menganalisis gaya inersia pada cairan, sehingga dapat ditentukan sifat suatu aliran tersebut, apakah aliran tersebut laminar, turbulen, atau transisi.

Pada tahun 1883, Osborne Reynolds menunjukkan parameter yang mempengaruhi keadaan aliran adalah kekentalan fluida ( $\mu$ ), rapat massa fluida ( $\rho$ ), dan diameter pipa (D). Bilangan Reynold dapat menunjukkan bahwa suatu aliran dapat diklasifikasikan berdasarkan angka tertentu. Angka tersebut diturunkan dengan kecepatan aliran di dalam pipa yang bernilai  $\frac{\mu}{\rho D}$ . Angka

Reynold dapat dicari menggunakan persamaan berikut ini:

$$Re = \frac{vD}{\nu} \quad (2.9)$$

Dengan:

Re = angka Reynolds  $\nu$  = kecepatan aliran rata-rata (m/s)

D = diameter pipa (m)

$\nu$  = kekentalan kinematik (m<sup>2</sup>/s)

Menurut Triatmojo (1993) dalam bukunya hidraulika II penggolongan aliran berdasarkan bilangan Reynolds yang berhubungan dengan karakteristik aliran pada saluran terbuka adalah sebagai berikut: a. Aliran disebut laminar bila  $Re < 500$ ,

b. Aliran disebut turbulen bila  $Re > 1000$ , dan

c. Aliran disebut peralihan bila  $500 < Re < 1000$ .

## 2. Gravitasi (*inertial force*)

Pengaruh gravitasi bumi terhadap keadaan aliran dapat dinyatakan dengan perbandingan gaya inersia dengan gaya gravitasi. perbandingan tersebut dapat dinyatakan dengan bilangan Froude (Fr). Bilangan Froude dapat dinyatakan dengan rumus berikut ini:

$$Fr = \frac{v}{\sqrt{gD}} \quad (2.10)$$

Dengan:

Fr = bilangan Froude

$V$  = kecepatan aliran rata-rata (m/s)

$G$  = gaya gravitasi bumi  $9,81 \text{ m/s}^2$

$D$  = kedalaman hidrolis (m), luas penampang melintang air dalam arah tegak lurus aliran dibagi dengan lebar permukaan bebas. Menurut Triatmojo (1993) dalam bukunya hidraulika II penggolongan jenis aliran dari hasil perhitungan dengan menggunakan persamaan di atas adalah sebagai berikut:

- a. Aliran disebut sub kritis bila  $Fr < 1$ ,
- b. Aliran disebut super kritis bila  $Fr > 1$ ,
- c. Aliran disebut kritis bila  $Fr = 1$ .

### 1.8 Persamaan Kontinuitas

Menurut Triatmodjo (2012) dalam Pangestu, (2018), apabila zat tak kompresibel mengalir secara kontinyu melalui pipa atau saluran terbuka, dengan tampang aliran konstan ataupun tidak konstan, maka volume zat cair yang lewat tiap satuan waktu adalah sama di semua tampang. Kondisi seperti ini disebut dengan hukum kontinuitas aliran zat cair. Dilihat pada Gambar 3.3. Untuk aliran satu dimensi dan tetap, kecepatan rata-rata dan tampang lintang pada titik 1 dan 2 adalah  $v_1$ ,  $dA_1$  dan  $v_2$ ,  $dA_2$ . Volume zat cair yang masuk melalui tampang 1 tiap satuan waktu adalah

$v_1 dA_1$ , sedangkan volume zat cair yang keluar melalui tampang 2 tiap satuan waktu adalah  $v_2 dA_2$ . Karena tidak ada kehilangan zat cair di dalam tabung aliran, maka:

$$v_1 dA_1 = v_2 dA_2 \quad (2.11)$$

Integrasi dari persamaan tersebut pada seluruh tampang aliran, akan didapat volume zat cair yang melalui medan aliran, seperti berikut ini:

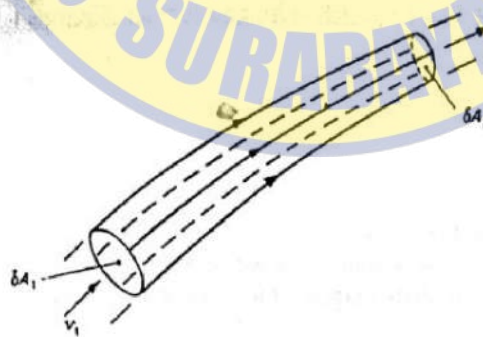
$$v_1 \int A_1 dA_1 = v_2 \int A_2 dA_2 \quad (2.12)$$

$$v_1 dA_1 = v_2 dA_2 \quad (2.13)$$

Atau

$$Q = A \cdot v = \text{Konstan} \quad (2.13)$$

Kedua persamaan tersebut adalah persamaan kontinuitas untuk zat cair tak kompresibel.



**Gambar 6 Tabung Aliran Untuk Menurunkan Persamaan Kontinuitas (Sumber : Triatmojo 2012)**

