



ANALISIS KEDALAMAN GERUSAN LOKAL BERDASARKAN DEBIT TERUKUR (STUDI KASUS: JEMBATAN WAY BILLU)

Local Scroll Depth Analysis Based on Measured Discharge (Case Study: Way Billu Bridge)

Indri Rahmandhani Fitriana^{*1}, M. Gilang Indra Mardika², Afriyanti Indi Mustari³

^{1,2,3}Institut Teknologi Sumatera

***Email: indri.fitriana@si.itera.ac.id**

Abstract

A threat to the sustainability of the bridge is flooding, which can cause damage, especially in the form of local erosion of the abutment. Erosion that occurs due to the presence of structures or buildings in the river is known as local erosion. This study aims to determine the maximum depth of local abrasion around the bridge abutment at the time of measured discharge using HEC-RAS software. The object of this research is the dimensions of the Way Billu Bridge with the dimensions of a new bridge after experiencing damage due to flooding on December 9, 2021. The velocity data collection method is carried out using a current meter with an average flow velocity of 0.225 m/s. The calculation of measured discharge using the mean section method resulted in a discharge of 2,413 m³/s. The sedimentation velocity produced from upstream, downstream, and river basins is 0.025 m/s, 0.017 m/s, 0.017 m/s. The results show that the depth of local erosion at the measured discharge is a total erosion depth of 0.08 m.

Keywords: *Abutment, current meter, local abrasive, measured discharge*

Abstrak

Ancaman terhadap keberlanjutan jembatan adalah banjir, yang dapat menimbulkan kerusakan, terutama dalam bentuk gerusan lokal pada abutmen. Gerusan yang terjadi karena adanya struktur atau bangunan di dalam sungai dikenal sebagai gerusan lokal. Penelitian ini bertujuan untuk mengetahui kedalaman maksimum gerusan lokal di sekitar abutmen jembatan pada saat debit terukur menggunakan software HEC-RAS. Objek penelitian ini adalah dimensi Jembatan Way Billu dengan dimensi jembatan baru setelah mengalami kerusakan akibat banjir pada 9 Desember 2021. Metode pengambilan data kecepatan dilakukan menggunakan alat current meter dengan hasil kecepatan rata-rata aliran 0,225 m/s. Perhitungan debit terukur menggunakan mean section method menghasilkan debit sebesar 2,413 m³/s. Adapun kecepatan endap yang dihasilkan dari hulu, hilir, dan as sungai yaitu 0,025 m/s, 0,017 m/s, 0,017 m/s. Hasil penelitian menunjukkan bahwa kedalaman gerusan lokal pada debit terukur adalah kedalaman gerusan total sebesar 0,08 m.

Kata Kunci: *Abutmen, current meter, debit terukur, gerusan lokal*

PENDAHULUAN

Abutmen merupakan bagian dari jembatan yang mendukung struktur keseluruhan dan menghubungkannya dengan permukaan tanah. Gerusan lokal pada abutmen muncul ketika air mengalir dengan deras dan menciptakan turbulensi selama periode banjir. Hal ini dapat menyebabkan erosi material dari tebing atau dasar sungai yang kemudian terbawa oleh aliran air (Halim, 2014).

Dalam penelitian sebelumnya yang dilakukan oleh Siahaan (2023) menyatakan bahwa besar debit banjir rancangan di Sungai Way Billu pada kala ulang 25 tahun yang diperoleh melalui HSS Nakayasu sebesar 307,89 m³/s. Berdasarkan analisis pemodelan HEC-RAS, dapat disimpulkan bahwa abutmen jembatan menyebabkan terjadinya gerusan lokal. Kedalaman gerusan total akibat adanya jembatan dan penyempitan sungai mencapai 9,24 m di abutmen kiri dan 9,47 m di abutmen kanan jembatan (Siahaan, 2023).

Pada penelitian ini, debit yang digunakan adalah debit terukur sesaat yang telah melalui proses kalibrasi pada kecepatan alirannya. Penggunaan debit terukur jika dibandingkan dengan metode HSS lebih akurat dalam menganalisis kedalaman gerusan yang disebabkan oleh gerusan lokal tersebut. Proses kalibrasi ini dilakukan agar relevansinya dengan kondisi aktual di lapangan lebih akurat. Proses kalibrasi yang dilakukan dengan membandingkan nilai kecepatan pada permodelan dan kecepatan aktual di lapangan. Oleh karena itu, penelitian ini akan melanjutkan upaya sebelumnya dengan fokus pada pengaruh perbedaan nilai *manning* dan debit terukur.

METODE

Penelitian ini menggunakan pendekatan kuantitatif, di mana metodologi penelitian didasarkan pada penggunaan data numerik. Dalam penelitian kuantitatif, data dikumpulkan dan diinterpretasikan dengan fokus pada penggunaan angka, dan hasilnya sering kali dipresentasikan dalam bentuk persentase.

Kecepatan Aliran

Jarak yang ditempuh aliran air dalam jangka waktu tertentu diukur dengan kecepatan aliran. Alat pengukur kecepatan air (*current meter*) dapat digunakan untuk mengukur kecepatan aliran di lapangan (Hanny Tangkudung, 2011).

Tabel 1. Penentuan Nilai Kedalaman

Kedalaman Sungai (m)	Nilai Kedalaman	Kecepatan Rata-Rata
0-0,6	0,2d	$V = V_{0,2}$
0,6-3	0,2d dan 0,6d	$V = 0,5 (V_{0,2} + V_{0,6})$
3-6	0,2d, 0,6d dan 0,8d	$V = 0,25 (V_{0,2} + V_{0,6} + V_{0,8})$
>6	S 0,2d, 0,6d, 0,8d dan B	$V = 0,1 (V_s + V_{0,2} + V_{0,6} + V_{0,8} + V_B)$

Pengukuran Debit

Prinsip pengukuran ini melibatkan penggunaan alat *current meter* yang membagi setiap titiknya menjadi beberapa bagian (*section*) untuk mengukur kecepatan aliran. Luas penampang (A) dihitung berdasarkan pengukuran lebar permukaan air dan kedalaman air yang tercatat. Persamaan untuk menghitung debit adalah sebagai berikut:

$$Q = V \times A \quad (1)$$

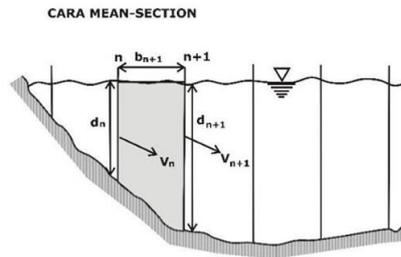
Keterangan:

Q : debit aliran (m³/s)

A : luas penampang saluran (m²)

V : kecepatan aliran (m/s)

Dalam penelitian ini menggunakan metode *mean section*. Dengan metode ini, lebar sub-seksi dihitung menggunakan dua pengukuran vertikal yang berdekatan, yaitu dn dan dn+1, untuk mendapatkan luas penampang sungai.



Gambar 1. Penampang Mean Section Method

Adapun persamaan perhitungan luas penampang yaitu:

$$A_n = \frac{d_n + d_{n+1}}{2} \times b_n \quad (2)$$

$$Q_n = A_n \times \frac{V_n + V_{n+1}}{2} \quad (3)$$

Keterangan:

A_n : Luas penampang (m^2)

Q_n : Debit (m^3/s)

d_n : Kedalaman sungai ke-n (m)

d_{n+1} : Kedalaman sungai ke-n+1 (m)

b_n : Lebar sungai seksi ke-n (m)

Kalibrasi

Kalibrasi merupakan derajat akurasi dan keabsahan suatu instrumen dalam mengukur hal yang memang seharusnya diukur. Instrumen yang valid akan memberikan data yang akurat dan sesuai dengan kenyataan, sehingga dapat diandalkan untuk keperluan penelitian atau pengambilan keputusan. Berdasarkan pendapat Chai dan Draxler (2014), salah satu pendekatan untuk mengevaluasi kinerja sebuah model adalah dengan menerapkan metode perhitungan root mean square error (RMSE) (Hodson, 2022).

Root Mean Squared Error (RMSE) adalah statistik yang digunakan untuk mengevaluasi keakuratan model prediksi dalam penelitian. RMSE mencerminkan rata-rata dari kuadrat perbedaan antara nilai prediksi dari model dan nilai aktual yang sebenarnya. RMSE yang memiliki nilai lebih rendah menunjukkan bahwa model memiliki tingkat keakuratan yang lebih tinggi dalam memprediksi nilai-nilai yang sebenarnya (Marthasari et al., 2021).

$$RMSE = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^N (P_i - Q_i)^2}{N}} \quad (4)$$

Keterangan:

N : Jumlah data

P_i : Data observasi

Q_i : Data perkiraan

Kecepatan Endap

Kecepatan endap aliran adalah tingkat laju partikel-partikel kecil dalam fluida yang mengendap ke bawah sebagai akibat dari pengaruh gaya gravitasi. Dalam penelitian ini menggunakan persamaan *Stokes-Newton Law*.

$$v_s = \frac{gD_s^2(\rho_s - \rho)}{18\mu} \quad (4)$$

Keterangan:

- v_s : kecepatan endap (m/s)
 g : gravitasi (9,8 m/s)
 D_s : diameter partikel (m)
 ρ_s : densitas partikel (kg/m³)
 ρ : densitas cairan (kg/m³)
 μ : viskositas cairan (Pa.s)

Pengumpulan Data

Dalam mengevaluasi dampak gerusan pada penelitian ini, diperlukan data primer yang dimanfaatkan dalam penelitian ini yaitu kecepatan aliran, lebar sungai dan kedalaman sungai. Selain itu, data sekunder yang dimanfaatkan dalam penelitian ini mencakup peta Daerah Aliran Sungai (DAS), dimensi abutmen jembatan, dan ukuran distribusi butiran sedimen.

HASIL DAN PEMBAHASAN

Analisis Data

Dalam penelitian ini, analisis data dilakukan dengan menggunakan metode *Mean Section* untuk mengetahui debit terukur sesaat. Selanjutnya, pemodelan dilakukan dengan menggunakan aplikasi HEC-RAS untuk mendapatkan nilai kedalaman gerusan pada abutmen jembatan. Berikut merupakan langkah-langkah dalam penggunaan metode analisis data tersebut.

1. Pemodelan gerusan menggunakan HEC-RAS.
 - a. Buka software HEC-RAS.
 - b. Tekan file lalu buka new project lalu ok.
 - c. Open *ras mapper*.
 - d. Selanjutnya klik *create new ras* terrain pada toolbar project dan masukkan peta geometri yang telah diproyeksi menggunakan aplikasi *global mapper* yang telah disimpan pada folder yang dibuat sebelumnya.
 - e. Klik kanan pada ikon geometries lalu *add new geometri*.
 - f. Selanjutnya menggambar sungai dengan menekan *layer rivers* untuk as sungai, *banks line* untuk tepi sungai, dan *flow path* untuk daerah resapan sungainya.
 - g. Menggambar *cross section* dengan menekan *layer cross section* untuk mendapatkan potongan dari sungai lalu *stop editing*.
 - h. Tutup *ras mapper* lalu buka *geometric data*.
 - i. Kemudian *open* geometri data yang tadi telah dibuat.
 - j. Masukkan nilai *manning* dengan menekan *toolbar tables* lalu pilih *manning value*. Tekan *set value* kemudian masukkan nilai *manning*.
 - k. Selanjutnya memasukkan titik lokasi jembatan pada *toolbar bridge/culvert data*.
 - l. Menggambar dimensi deck jembatan dan abutmen jembatan dengan menekan tombol *deck* atau abutmen kemudian masukkan nilai elevasinya pada tabel.

- m. Selanjutnya tutup *geometric* data lalu masukkan data debit pada *toolbar* edit, tekan *steady flow* data kemudian masukkan nilai debit seperti yang terlihat di bawah dan *save flow* data.
 - n. Tekan *running steady flow analysis* untuk memberikan pengaruh debit aliran pada penampang sungai.
 - o. Tutup lalu buka *cross section* untuk melihat tinggi muka air dan kecepatan aliran yang terjadi akibat debit terukur sesaat.
 - p. Buka *hydraulic design computation*.
 - q. Masukkan data gradasi sedimen D_{50} dan jenis abutmen yang digunakan untuk mengetahui kedalaman gerusan yang terjadi.
 - r. Tekan *compute* untuk melihat gambaran kedalaman gerusan yang terjadi.
 - s. Untuk mengetahui besar dari nilai kedalaman gerusan yang terjadi dapat dilihat dengan menekan ikon *report*.
 - t. Kemudian *save hydraulic computation*-nya lalu tutup.
2. Proses Kalibrasi
- a. Membuka *geometric* data pada permodelan HEC-RAS
 - b. Masukkan nilai *manning* dengan menekan *toolbar tables* lalu pilih *manning value*. Tekan *set value* kemudian masukkan nilai *manning*.
 - c. Tekan *running steady flow analysis* untuk memberikan pengaruh debit aliran pada penampang sungai.
 - d. Tutup lalu buka *rass mapper* menekan *plot profile* pada *cross section* untuk melihat tinggi muka air dan kecepatan aliran yang terjadi akibat debit terukur sesaat.
 - e. Lalu, hasil kecepatan tersebut dikalibrasikan dengan kecepatan aktual dengan metode RMSE.
 - f. Jika hasil RMSE mendekati nol maka permodelan dapat dilanjutkan untuk analisis kedalaman gerusan.
 - g. Tekan *running steady flow analysis* untuk memberikan pengaruh debit aliran pada penampang sungai.
 - h. Tutup lalu buka *cross section* untuk melihat tinggi muka air dan kecepatan aliran yang terjadi akibat debit terukur sesaat.
 - i. Buka *hydraulic design computation*.
 - j. Masukkan data gradasi sedimen D_{50} dan jenis abutmen yang digunakan untuk mengetahui kedalaman gerusan yang terjadi.
 - k. Tekan *compute* untuk melihat gambaran kedalaman gerusan yang terjadi.
 - l. Untuk mengetahui besar dari nilai kedalaman gerusan yang terjadi dapat dilihat dengan menekan *ikon report*.
 - m. Kemudian *save hydraulic computation*-nya lalu tutup

Perhitungan Kecepatan

Pada perhitungan kecepatan dilakukan pengukuran kecepatan menggunakan alat *current meter* pada satu STA sungai yaitu STA 650. Berikut perhitungan kecepatan pada kedalaman pada setiap pias.

Tabel 2. Hasil Data Terukur Pada Kedalaman D_1

Keterangan	Nilai	Satuan
D_1	0.900	m
$0,2D_1$	0.180	m
$0,6D_1$	0.540	m

$V_{0,2}$	0.100	m/s
$V_{0,6}$	0.100	m/s

Tabel 3. Hasil Data Terukur Pada Kedalaman D₂

Keterangan	Nilai	Satuan
D ₂	0.770	m
0,2D ₂	0.154	m
0,6D ₂	0.462	m
$V_{0,2}$	0.200	m/s
$V_{0,6}$	0.200	m/s

Tabel 4. Hasil Data Terukur Pada Kedalaman D₃

Keterangan	Nilai	Satuan
D ₃	1.100	m
0,2D ₃	0.220	m
0,6D ₃	0.660	m
$V_{0,2}$	0.300	m/s
$V_{0,6}$	0.300	m/s

Tabel 5. Hasil Data Terukur Pada Kedalaman D₄

Keterangan	Nilai	Satuan
D ₄	1.300	m
0,2D ₄	0.220	m
0,6D ₄	0.660	m
$V_{0,2}$	0.300	m/s
$V_{0,6}$	0.300	m/s

Kecepatan pada kedalaman D₁ adalah sebagai berikut:

$$\begin{aligned}
 V_{\text{rata-rata } D_1} &= 0,5 (V_{0,2} + V_{0,6}) \\
 &= 0,5 (0,100 + 0,100) \\
 &= 0,1 \text{ m/s}
 \end{aligned}$$

Kecepatan pada kedalaman D₂ adalah sebagai berikut:

$$\begin{aligned}
 V_{\text{rata-rata } D_2} &= 0,5 (V_{0,2} + V_{0,6}) \\
 &= 0,5 (0,200 + 0,200) \\
 &= 0,2 \text{ m/s}
 \end{aligned}$$

Kecepatan pada kedalaman D₃ adalah sebagai berikut:

$$\begin{aligned}
 V_{\text{rata-rata } D_3} &= 0,5 (V_{0,2} + V_{0,6}) \\
 &= 0,5 (0,300 + 0,300) \\
 &= 0,3 \text{ m/s}
 \end{aligned}$$

Kecepatan pada kedalaman D₄ adalah sebagai berikut:

$$\begin{aligned}
 V_{\text{rata-rata } D_4} &= 0,5 (V_{0,2} + V_{0,6}) \\
 &= 0,5 (0,300 + 0,300) \\
 &= 0,300 \text{ m/s}
 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 V_{\text{rata-rata}} &= V_1 + V_2 + V_3 + V_4 \\
 &= 0,100 + 0,200 + 0,300 + 0,300 \\
 &= 0,225 \text{ m/s}
 \end{aligned}$$

Tabel 4. Rekapitulasi Kecepatan Pada Setiap Pias

Rekapitulasi Kecepatan		
Kecepatan		Satuan
V_{D_1}	0.100	m/s
V_{D_2}	0.200	m/s
V_{D_3}	0.300	m/s

V D ₄	0.300	m/s
V	0.225	m/s

Luas Penampang

Pada perhitungan luas penampang ini menggunakan penampang persegi dengan ukuran panjang dan lebar di lapangan sebagai berikut:

$$\begin{aligned} A_1 &= \frac{d_1 + d_2}{2} \times b_1 \\ &= \frac{0,900 + 0,770}{2} \times 2 \\ &= 1,671 \text{ m}^2 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} A_2 &= \frac{d_2 + d_3}{2} \times b_2 \\ &= \frac{0,770 + 1,100}{2} \times 2 \\ &= 1,870 \text{ m}^2 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} A_3 &= \frac{d_3 + d_4}{2} \times b_3 \\ &= \frac{1,100 + 1,300}{2} \times 2 \\ &= 2,400 \text{ m}^2 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} A_4 &= d_4 \times b_4 \\ &= 1,300 \times 2,5 \\ &= 3,250 \text{ m}^2 \end{aligned}$$

Tabel 5. Hasil Perhitungan Luas Setiap Pias

Rekapitulasi Luas		
A1	1.670	m ²
A2	1.870	m ²
A3	2.400	m ²
A4	3.250	m ²

Dengan nilai kecepatan dan luas penampang pada setiap pias, perhitungan debit dilakukan dengan metode *mean-section*, dalam hal ini dengan lebar sungai 10,5 m dibagi menjadi 5 *section*.

$$\begin{aligned} Q_1 &= A_1 \times \frac{V_1 + V_2}{2} \\ &= 1,670 \times \frac{0,100 + 0,200}{2} \\ &= 0,251 \text{ m}^3/\text{s} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} Q_2 &= A_2 \times \frac{V_2 + V_3}{2} \\ &= 1,870 \times \frac{0,100 + 0,200}{2} \\ &= 0,468 \text{ m}^3/\text{s} \end{aligned}$$

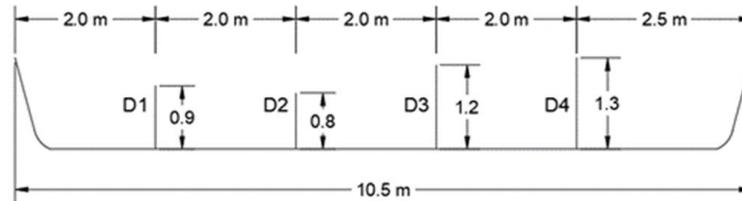
$$\begin{aligned} Q_3 &= A_3 \times \frac{V_3 + V_4}{2} \\ &= 2,400 \times \frac{0,100 + 0,200}{2} \\ &= 0,720 \text{ m}^3/\text{s} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} Q_4 &= A_4 \times V_4 \\ &= 3,250 \times 0,300 \\ &= 0,975 \text{ m}^3/\text{s} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} Q_{\text{total}} &= Q_1 + Q_2 + Q_3 + Q_4 \\ &= 0,251 + 0,468 + 0,720 + 0,975 \\ &= 2,413 \text{ m}^3/\text{s} \end{aligned}$$

Tabel 6. Hasil Perhitungan Debit Terukur

Rekapitulasi Debit		
Q1	0.251	m ³ /s
Q2	0.468	m ³ /s
Q3	0.720	m ³ /s
Q4	0.975	m ³ /s
Q	2.413	m ³ /s



Gambar 2. Penampang Sungai

Pada gambar dapat dilihat gambaran dari penampang sungai Way Billu Lampung Tengah. Dengan lebar 10,5 m dengan pias yang terbagi menjadi 4 pias masing-masing memiliki kedalaman yang berbeda. Pias dibagi menjadi 5 dengan lebar masing-masing 2 m.

Kalibrasi

Pada penelitian ini, didapatkan nilai kecepatan aliran sebesar 0,225 m/s, sedangkan nilai pendekatan yang diperoleh dari pemodelan HEC-RAS adalah 0,528 m/s. Oleh karena itu, dilakukan uji validitas dengan menghitung nilai *Root Mean Squared Error* (RMSE) sebagai berikut:

$$RMSE = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^N (P_i - Q_i)^2}{N}}$$

$$RMSE = \sqrt{\frac{(0,225-0,528)^2}{1}}$$

$$RMSE = 0,303$$

Berdasarkan metode *Root Mean Squared Error* (RMSE) nilai eror yang didapatkan sebesar 0,303 (Hodson, 2022).

Kecepatan Endap

Pada penelitian ini menggunakan persamaan *Stokes-Newton Law* dalam perhitungan kecepatan endap. Dalam perhitungan ini dilakukan pada hulu sungai, hilir sungai dan as sungai.

$$v_s \text{ hulu sungai} = \frac{9,81(0,0055)^2(2550 - 1000)}{18 \times 1}$$

$$= 0,025 \text{ m/s}$$

$$v_s \text{ hilir sungai} = \frac{9,81(0,0045)^2(2570 - 1000)}{18 \times 1}$$

$$= 0,017 \text{ m/s}$$

$$v_s \text{ as sungai} = \frac{9,81(0,0043)^2(2710 - 1000)}{18 \times 1}$$

Tabel 7. Kecepatan Endap pada Hulu Sungai

Kecepatan Endap pada Hulu Sungai					
g (m/s)	D _s (m)	ρ _s (kg/m ³)	ρ (kg/m ³)	μ (Pa.s)	v _s (m/s)
9.81	0.0055	2550	1000	1	0.025

Tabel 10. Kecepatan Endap pada Hilir Sungai

Kecepatan Endap pada Hilir Sungai					
g (m/s)	D _s (m)	ρ _s (kg/m ³)	ρ (kg/m ³)	μ (Pa.s)	v _s (m/s)
9.81	0.0045	2570	1000	1	0.017

Tabel 11. Kecepatan Endap pada As Sungai

Kecepatan Endap pada As Sungai					
g (m/s)	D _s (m)	ρ _s (kg/m ³)	ρ (kg/m ³)	μ (Pa.s)	v _s (m/s)
9.81	0.0043	2710	1000	1	0.017

Dari ketiga kecepatan endap yang dihitung mendapatkan hasil kecepatan endap < kecepatan rata-rata aliran. Hal ini menunjukkan kecepatan endap yang lebih rendah daripada kecepatan aliran dapat menghambat proses sedimentasi.

Analisis Gerusan di Sekitar Abutmen Jembatan

Pada penelitian ini menggunakan dimensi baru setelah rusaknya jembatan pada tanggal 09 Desember 2021. Oleh karena itu, dilakukan rekonstruksi dengan meninggikan dan melebarkan jembatan dari dimensi yang lama. Pemodelan kedalaman gerusan menggunakan HEC-RAS dilakukan secara satu dimensi. Dalam pemodelan gerusan ini, kondisi aliran dipilih secara otomatis oleh HEC-RAS, di mana pemilihan kondisi aliran tersebut dapat dilihat pada HEC-RAS *Reference Manual* (2016). Dalam pemodelan yang telah dilakukan, kondisi aliran yang dimodelkan menggunakan *live-bed scour*, pemilihan *live-bed scour* dilakukan karena $\frac{U}{U_{cr}} \geq 1,0$ dengan nilai kecepatan rata-rata aliran 0,578 m/s dan kecepatan kritis 0,400 m/s. Hal ini penting untuk mempelajari fenomena gerusan di sekitar struktur hidraulik, seperti jembatan, yang sering kali terletak di sungai dengan sedimen yang bergerak. Dalam penelitian ini, pemodelan gerusan lokal dilakukan terhadap abutmen jembatan dan akibat penyempitan aliran yang terjadi (Kuncoro et al., 2021).

Construction scour

Construction scour merupakan fenomena penggerusan tanah atau material dasar sungai di sekitar struktur yang baru dibangun atau sedang dibangun, seperti pilar atau abutmen jembatan. Proses ini terjadi karena perubahan aliran air akibat adanya konstruksi yang mengubah pola aliran dan mempercepat kecepatan air di sekitar struktur tersebut.

Pada hydraulic design computation dimasukan nilai D50 pada permodelan gerusan, nilai D50 mempengaruhi kecepatan kritis aliran dan menjadi parameter penting dalam pemilihan kondisi aliran. D50 menentukan ukuran partikel sedimen dominan dan cara partikel tersebut terbawa aliran air, sehingga mempengaruhi dinamika gerusan dan stabilitas struktur hidraulik seperti jembatan. Semakin besar nilai D50 maka semakin besar nilai kecepatan kritis. Pada penelitian sebelumnya oleh Siahaan (2023) didapatkan nilai D₅₀ pada pengujian laboratorium sebesar 0,48 mm. Dengan nilai debit terukur yang didapatkan pada hasil perhitungan sebesar 2,413 m³/s. Pada permodelan ini didapatkan hasil kedalaman gerusan 0,08 m sedangkan untuk debit 307,89 m³/s kedalaman gerusan sebesar 0,44 m.

Tabel 8. Rekapitulasi Nilai Kedalaman Construction Scour

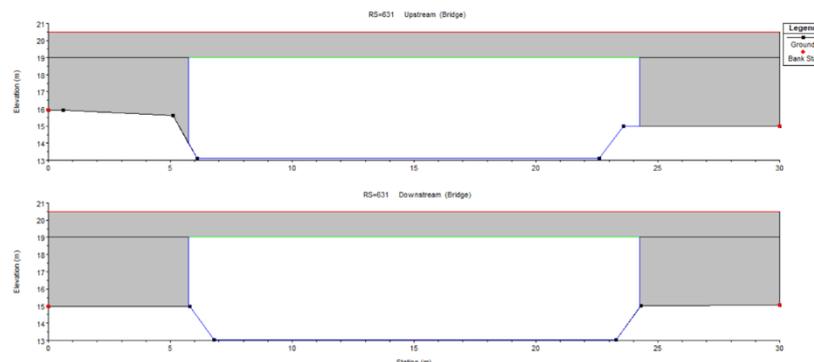
No	Nama	Debit (m ³ /s)	Kedalaman Gerusan
1	Debit Terukur	2,413	0,08
2	Debit HSS Nakayasu	307,89	0,44

Abutment scour

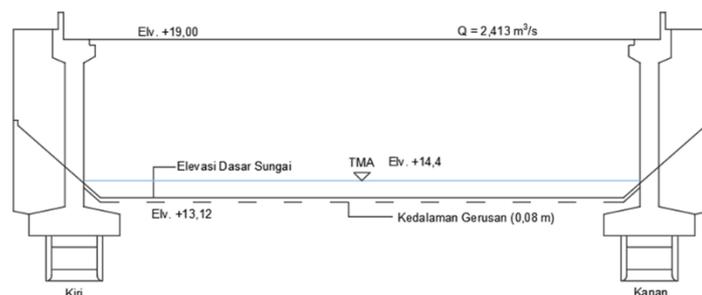
Gerusan pada *abutment* terjadi di sekitar *abutment* karena gangguan arah aliran air yang menyebabkan terbentuknya pusaran, sehingga menurunkan elevasi dasar di sekitarnya. Gerusan ini dihitung menggunakan persamaan *Froehlich* (1989) untuk menghitung kedalaman gerusan. Untuk menganalisis pengaruh parameter dalam penelitian ini terdapat dua sampel nilai debit banjir rencana digunakan sebagai perbandingan, yaitu: debit terukur dan debit HSS Nakayasu. Pada penelitian sebelumnya oleh Siahaan (2023) didapatkan nilai debit HSS Nakayasu sebesar 307,89 m³/s, kedalaman gerusan pada sebelah kanan sebesar 9,24 m di abutmen kiri dan 9,47 m di abutmen kanan. Sedangkan dengan dimensi *deck* dan abutmen yang baru pada debit 307,79 m³/s terjadi gerusan sebesar 8,91 m di kanan abutment dan 7,73 di kiri abutmen, pada debit terukur sebesar 2,413 m/s tidak terjadi *abutment scour*.

Tabel 9. Rekapitulasi Nilai Kedalaman Gerusan Abutment Scour

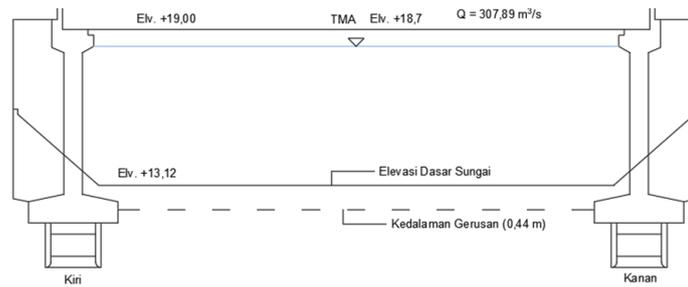
No	Nama	Debit (m ³ /s)	Kedalaman Gerusan Kanan	Kedalaman Gerusan Kiri
1	Debit Terukur	2,413	-	-
2	Debit HSS Nakayasu	307,89	8,91 m	7,73 m



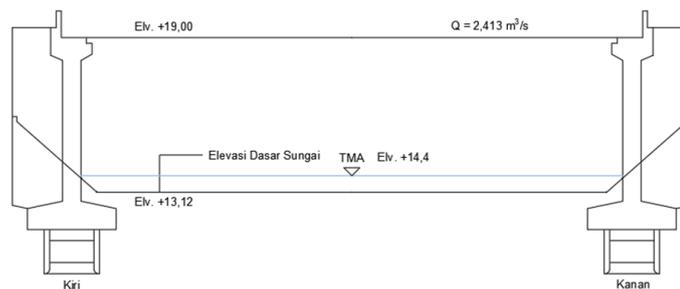
Gambar 3. Permodelan Jembatan Way Billu



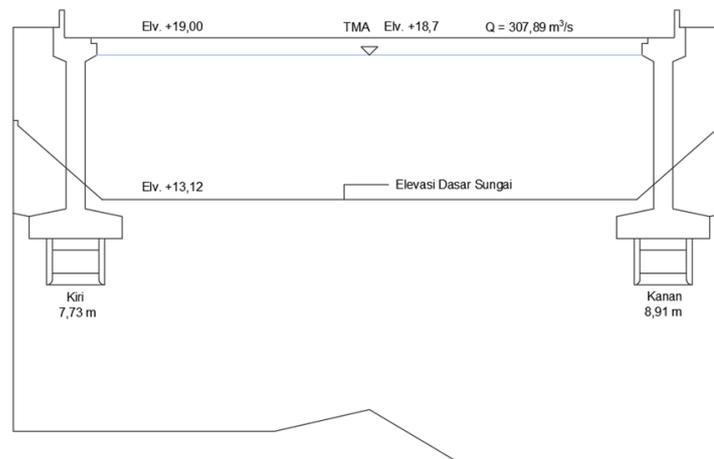
Gambar 4. Kedalaman Gerusan Construction Scour Debit Terukur



Gambar 5. Kedalaman Gerusan Construction Scour Debit HSS Nakayasu



Gambar 6. Kedalaman Gerusan Abutment Scour Debit Terukur



Gambar 7. Kedalaman Gerusan Abutment Scour Debit HSS Nakayasu

Dari hasil permodelan yang telah dilakukan dalam penelitian ini menggunakan perhitungan kedalaman gerusan dengan metode *Froehlich*, beberapa faktor yang mempengaruhi kedalaman gerusan adalah sebagai berikut:

1. Debit

Menurut studi Siahaan (2023), debit banjir terbesar sepanjang periode 25 tahun adalah $307,89 \text{ m}^3/\text{detik}$, yang mengakibatkan kedalaman gerusan sebesar 9,19 m. Namun, pada penelitian ini dengan menggunakan debit terukur sebesar $2,413 \text{ m}^3/\text{s}$, terjadi gerusan sebesar 0,08 m pada abutmen jembatan Sungai Way Billu. Hasil ini menunjukkan bahwa semakin besar debit air, kedalaman gerusan juga semakin dalam (Siahaan, 2023).

2. Kecepatan Aliran

Kecepatan aliran yang terukur di lapangan adalah $0,225 \text{ m/s}$, menghasilkan

debit sebesar 2,413 m³/s. Sebaliknya, pada penelitian sebelumnya menggunakan model HEC-RAS, kecepatan aliran mencapai 0,675 m/s dengan debit 307,89 m³/s. Hubungan antara kecepatan aliran dan debit berbanding lurus; semakin tinggi kecepatan aliran, semakin besar pula debitnya. Selain itu, kecepatan aliran juga berpengaruh pada transportasi sedimen, di mana semakin kuat aliran, semakin besar kemampuannya untuk membawa sedimen (Hanny Tangkudung, 2011).

3. Nilai *Manning*

Pada penelitian ini, nilai *Manning* yang dipakai mengacu pada tabel ketentuan dari HEC-RAS *Reference Manual* (2016). Pada penelitian ini menggunakan nilai *Manning* sebesar 0,035 (untuk sungai dengan tanah berbatu, kasar dan tidak teratur). Nilai *Manning* memengaruhi elevasi muka air, di mana semakin kasar permukaan saluran, elevasi muka air akan semakin tinggi. Nilai *Manning* yang tinggi akan menyebabkan elevasi air meningkat, sehingga kedalaman gerusan juga semakin dalam. Penelitian ini menggunakan nilai *Manning* sebesar 0,035 untuk saluran berbatu, kasar dan tidak teratur. Pemilihan nilai ini didasarkan pada gambar rencana dari kontraktor pembangunan Jembatan Way Billu, di mana air masih berada di bawah *deck* jembatan.

4. Jenis Abutmen dan Lebar Sungai

Jenis abutmen memengaruhi pemodelan kedalaman gerusan. Pada penelitian ini, jenis abutmen dari Jembatan Way Billu adalah *vertical abutment*. Menurut HEC-RAS *Reference Manual* (2016), *vertical abutment* memiliki nilai koefisien K_1 sebesar 1, yang berarti hubungannya dengan kedalaman gerusan adalah berbanding lurus. Selain jenis abutmen, arah penempatan abutmen terhadap arah aliran juga berpengaruh. Pada pemodelan ini, arah abutmen jembatan tegak lurus atau membentuk sudut 90 derajat, yang menghasilkan nilai koefisien K_2 sebesar 1. Koefisien K_2 juga berbanding lurus dengan kedalaman gerusan. Selain itu, pada penelitian sebelumnya lebar sungai sebesar 10,5 m namun pada saat pengukuran di Sungai Way Billu didapatkan Sungai tersebut mengalami perubahan lebar sungai dari bagian hulu ke hilir sungai tepatnya di bawah *deck* jembatan, dimana pada hulu lebar sungai 10,5 dan di bawah *deck* jembatan ke hilir sungai 18,5 m. Hal ini mempengaruhi kedalaman gerusan pada abutmen jembatan.

5. Ukuran Butiran Sedimen

Ukuran butiran sedimen merupakan parameter yang penting dalam perhitungan kedalaman gerusan. Pada penelitian ini menggunakan ukuran butiran sedimen dari penelitian Siahaan (2023) dengan D_{50} sebesar 0,48 mm. Ukuran butiran sedimen berpengaruh pada kecepatan aliran kritis, dimana semakin besar ukuran butiran sedimen maka semakin besar pula aliran kritis. Dengan demikian, semakin besar ukuran sedimen, semakin kecil kemungkinan terjadi gerusan karena sedimen cenderung kurang mudah terangkut.

KESIMPULAN

Dengan pengambilan data kecepatan aliran pada STA 650 sebesar 0,225 m/s dihasilkan debit terukur Sungai Way Billu memiliki nilai sebesar 2,413 m³/s. Berdasarkan analisis menggunakan permodelan HEC-RAS, ditemukan bahwa debit adalah faktor signifikan yang mempengaruhi kedalaman gerusan. Menurut Siahaan (2023), pada debit banjir maksimum sebesar 307,89 m³/detik dengan periode ulang 25 tahun, kedalaman gerusan di sebelah kanan mencapai 8,91 m dan di sebelah kiri mencapai 7,73 m. Namun, dalam penelitian ini dengan menggunakan debit terukur

sebesar 2,413 m³/s, terjadi gerusan sebesar 0,08 m pada abutmen jembatan Sungai Way Billu. Pada debit terukur tidak terjadi *abutment scour* karena semakin kecil debit maka kecepatan aliran semakin kecil. Kecepatan aliran yang rendah menyebabkan kapasitas transport sedimen yang rendah sehingga kurangnya pusran air, dan konsolidasi material dasar sungai yang dapat mencegah terjadinya *abutment scour* pada saat debit kecil. Temuan ini menunjukkan bahwa semakin tinggi debit air, kedalaman gerusan cenderung semakin dalam.

SARAN

Penelitian selanjutnya perlu dilakukan penelitian mengenai penggunaan nilai *n-manning* yang lebih bervariasi. Penelitian selanjutnya dapat melakukan pemodelan fisik di laboratorium mengenai gerusan lokal pada Jembatan Way Billu. Penelitian selanjutnya dapat menggunakan analisis kedalaman gerusan dengan metode lainnya. Penelitian selanjutnya dapat mempertimbangkan klasifikasi proses gerusan lokal pada fondasi jembatan.

UCAPAN TERIMA KASIH

Ucapan terima kasih kepada Mangara Close Siahaan, Kepala Dusun Buyut Iilir, serta kepada seluruh rekan yang telah membantu proses pengambilan data sehingga penelitian ini dapat dilaksanakan.

DAFTAR PUSTAKA

- Halim, F. (2014). Pengaruh Debit Terhadap Pola Gerusan Di Sekitar Abutmen Jembatan (Uji Laboratorium Dengan Skala Model Jembatan Megawati). *Jurnal Ilmiah Media Engineering*, 4 (1), 32-40.
- Hanny Tangkudung. (2011). Pengukuran Kecepatan Aliran Dengan Menggunakan Pelampung Dan Current Meter. *TEKNO-SIPIL*, 09, 28-31.
- Hodson, T. O. (2022). Root-mean-square error (RMSE) or mean absolute error (MAE): when to use them or not. *Geoscientific Model Development*, 15 (14), 5481-5487.
- Kuncoro, W. hadi, Wahono, E. P., Zakaria, A., & Kusumastuti, D. I. (2021). Analisis Kedalaman Gerusan Lokal (Local Scouring) di Hilir Bangunan pelimpah (Stepped Modified Spillway) dengan Model Fisik 2D. *Jurnal Rekayasa Sipil Dan Desain*, 9 (4), 623-634.
- Marthasari, G. I., Astiti, S. A., & Azhar, Y. (2021). Prediksi Data Time-series menggunakan Jaringan Syaraf Tiruan Algoritma Backpropagation Pada Kasus Prediksi Permintaan Beras. *Jurnal Informatika: Jurnal Pengembangan IT*, 6 (3), 187-193.
- Siahaan, M. K. (2023). Analisis Gerusan Lokal Pada Abutmen Jembatan Akibat Kejadian Banjir: Studi Kasus Jembatan Way Billu Dengan Debit Banjir Berbasis Hidrograf Satuan Sintetik Nakayasu. Lampung: Institut Teknologi lampung.

