

Pengaruh Variasi Ukuran Butiran Dasar Sungai Terhadap Kedalaman Gerusan (*Scouring Depth*) pada *Abutment* Jembatan

Ichsan Syahputra¹, Zu Irfan²

Program Studi Teknik Sipil, Fakultas Teknik, Universitas Abulyatama, Aceh Besar, Indonesia¹

Program Studi Teknik Sipil, Fakultas Teknik, Universitas Abulyatama, Aceh Besar, Indonesia²

*Email Korespodensi: ichsansyahputra_sipil@abulyatama.ac.id

Sejarah Artikel:

Diterima 16-08-2026
Disetujui 25-08-2026
Diterbitkan 31-08-2026

ABSTRACT

Local scour around the abutment is one of the main causes of decreased stability and failure of the bridge substructure. "Scour is the process of deepening the riverbed due to the interaction between flow characteristics and the characteristics of the riverbed material." This phenomenon is triggered by the formation of a vortex system due to the obstruction of the flow rate by the abutment structure. This study aims to analyze the maximum scour depth that occurs around the bridge abutment by trying variations in two riverbed grain sizes. Modeling was carried out using the HEC-RAS application using the Froehlich equation. The results showed that variations in the size of the riverbed grain greatly affect the local scour depth on the abutment. In the condition of 0.45 mm grain size, the maximum scour depth occurred at the left abutment reaching 9.58 m, while at the right abutment it was 22.71 m. In the condition of 5 mm grain size, the maximum scour depth occurred at the left abutment reaching 8.04 m, while at the right abutment it was 21.17 m. The difference in scour depth between the two sides is influenced by the size of the riverbed grains at the foot of the Abutment. Because the characteristics of the riverbed sediment are in the form of fine sand ($D_{50} = 0.45$ mm) which has a small critical shear stress, the eddy current very easily erodes and washes away the base material around the bridge foundation and in the form of gravel ($D_{50} = 5$ mm) which has a greater critical shear stress, the eddy current has been reduced to erode and wash away the base material around the bridge foundation.

Keywords: *Bridge abutments, local scour, flow characteristics, critical shear stress, vortex system.*

ABSTRAK

Gerusan lokal (*local scour*) di sekitar Abutment merupakan salah satu penyebab utama penurunan stabilitas dan kegagalan struktur bawah jembatan. "Gerusan adalah proses semakin dalamnya dasar sungai karena interaksi antara karakteristik aliran dengan karakteristik material dasar sungai". Fenomena ini dipicu oleh pembentukan sistem pusaran air (*vortex system*) akibat terhalangnya laju aliran oleh struktur Abutment. Penelitian ini bertujuan untuk menganalisis kedalaman gerusan maksimum yang terjadi di sekitar Abutment jembatan dengan mencoba variasi dua ukuran butiran dasar sungai. Pemodelan yang dilakukan menggunakan aplikasi HEC-RAS dengan menggunakan persamaan Froehlich. Hasil penelitian menunjukkan bahwa variasi ukuran butiran dasar sungai sangat mempengaruhi kedalaman gerusan lokal pada Abutment. Pada kondisi ukuran butiran 0.45 mm kedalaman gerusan maksimum terjadi di Abutment Kiri mencapai 9.58 m, sedangkan di Abutment Kanan sebesar 22.71 m. Pada kondisi ukuran butiran 5 mm kedalaman gerusan maksimum terjadi di Abutment Kiri mencapai 8.04 m, sedangkan di Abutment Kanan sebesar 21.17 m. Perbedaan kedalaman gerusan antara kedua sisi tersebut dipengaruhi oleh ukuran butiran dasar sungai pada kaki Abutment. Karena karakteristik sedimen dasar sungai berupa pasir halus ($D_{50} = 0.45$ mm) yang memiliki tegangan

geser kritis (*critical shear stress*) kecil, arus pusaran tersebut dengan sangat mudah mengikis dan menghanyutkan material dasar di sekitar pondasi jembatan dan berupa gravel ($D_{50} = 5 \text{ mm}$) yang memiliki tegangan geser kritis lebih besar, arus pusaran tersebut sudah berkurang untuk mengikis dan menghanyutkan material dasar di sekitar pondasi jembatan.

Katakunci: Abutment jembatan, gerusan lokal, karakteristik aliran, *critical shear stress*, *vortex system*.

Bagaimana Cara Sitasi Artikel ini:

Syahputra, I., & Irfan, Z. . (2026). Pengaruh Variasi Ukuran Butiran Dasar Sungai Terhadap Kedalaman Gerusan (Scouring Depth) pada Abutment Jembatan. Jejak Digital: Jurnal Ilmiah Multidisiplin, 2(5), 10380-10389. <https://doi.org/10.63822/r29ssw75>

PENDAHULUAN

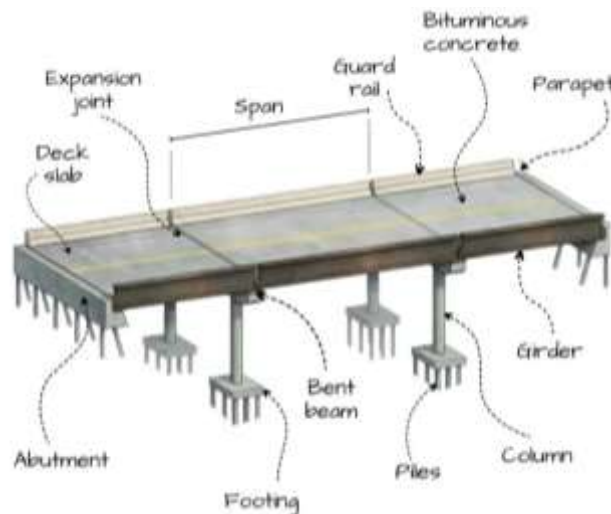
Abutment adalah bangunan bawah jembatan yang berfungsi sebagai pemikul seluruh beban hidup (Angin, kendaraan, dll) dan beban mati (beban gelagar, dll) pada jembatan. Gerusan lokal yang terjadi pada Abutment akan berpengaruh pada penurunan stabilitas keamanan bangunan air atau Abutment itu sendiri. Hal ini harus diwaspadai sebagai dampak negatif yang akan terjadi. Mengingat pentingnya hal tersebut, maka gerusan lokal (*local scouring*) di sekitar Abutmen perlu mendapat perhatian secara khusus, sehingga dapat diketahui kedalaman gerusan yang terjadi pada waktu tertentu. Berdasarkan uraian di atas, maka perlu dilakukan penelitian dengan membuat pemodelan untuk mempelajari gerusan lokal yang terjadi di sekitar Abutmen akibat bervariasinya ukuran butiran dasar sungai dengan menggunakan aplikasi HEC-RAS (*Hydrologic Engineering Center's River Analysis System*).

HEC-RAS adalah standar industri dalam pemodelan hidrolika sungai yang digunakan di seluruh dunia. Perangkat lunak ini dikembangkan oleh US Army Corps of Engineers (USACE). Kemampuan Pemodelan 1D dan 2D yang Andal: HEC-RAS mampu mengintegrasikan pemodelan 1 Dimensi (aliran di dalam saluran/sungai utama) dan 2 Dimensi (luapan banjir di area dataran banjir secara spasial) dalam satu simulasi (*coupled 1D/2D modeling*). Fitur Analisis yang sangat lengkap: Tidak hanya menghitung profil muka air, HEC-RAS juga mendukung analisis transpor sedimen (erosi dan sedimentasi), gerusan dasar sungai pada Abutment dan Pilar, analisis kualitas air, permodelan kegagalan bendungan (*dam break*), hingga perencanaan struktur seperti jembatan dan gorong-gorong.

Analisis gerusan pada kaki abutment (pilar/pangkal jembatan) merupakan salah satu fitur krusial dalam HEC-RAS untuk mengevaluasi keamanan struktur jembatan terhadap erosi aliran sungai. HEC-RAS menghitung nilai gerusan (*scour*) berdasarkan pedoman standar dari *Federal Highway Administration* (FHWA) *Hydraulic Engineering Circular* No. 18.

Dalam perencanaan hidrolika jembatan (misalnya menggunakan analisis kualitatif maupun kuantitatif di HEC-RAS), total kedalaman gerusan tidak dihitung dari satu fenomena saja, melainkan hasil akumulasi dari tiga komponen utama, yaitu Gerusan Umum (*General Scour/Long-term Degradation*) dimana terjadi perubahan elevasi dasar sungai jangka panjang yang terjadi secara alami pada segmen sungai tersebut. Gerusan Kontraksi (*Contraction Scour*), yaitu penurunan dasar sungai yang disebabkan oleh penyempitan aliran akibat adanya struktur jembatan atau oprit yang menghalangi jalannya air. Gerusan Lokal (*Local Scour*), yaitu psaran air (*vortex*) yang mengikis dasar tanah tepat di sekeliling struktur Pilar atau Abutment itu sendiri. Dengan menjumlahkan ketiga komponen di atas secara bertumpuk, diperoleh Total Kedalaman Gerusan (*Total Scour Depth*). Nilai akumulasi inilah yang wajib dijadikan acuan minimum dalam menentukan kedalaman pondasi jembatan agar struktur aman dari risiko kegagalan hidraulika (*bridge failure*).

Ukuran butiran pada tinjauan gerusan lokal pada Abutment dan Pilae berkorelasi langsung dengan tegangan geser kritis, yaitu ambang batas gaya gesek aliran air yang dibutuhkan untuk mulai menggerakkan atau menghanyutkan satu butir sedimen. Butiran Halus (Pasir/Lanau, D_{50} kecil), memiliki nilai tegangan geser kritis yang kecil, ketika arus turbulen menabrak abutment dan berputar ke bawah, gaya angkat aliran dengan sangat mudah melampaui tegangan geser kritis, sehingga pengikisan terjadi secara cepat dan menghasilkan lubang gerusan yang sangat dalam. Butiran Kasar (Kerikil/Batu, D_{50} besar), memiliki nilai tegangan geser kritis yang besar, diperlukan energi aliran dan kecepatan yang jauh lebih tinggi hanya untuk mulai menggerakkan butiran tersebut. Akibatnya, pada laju debit banjir yang sama, dasar sungai berbatu/berkerikil menghasilkan kedalaman gerusan yang jauh lebih dangkal dibandingkan dasar sungai berpasir.



Gambar 1. Komponen Utama Jembatan

METODE PENELITIAN

1. Metode Perhitungan Gerusan Abutment di HEC-RAS

HEC-RAS menyediakan dua metode utama untuk menghitung gerusan lokal pada abutment jembatan:

- Persamaan Froehlich:** Metode yang paling sering digunakan secara internasional. Persamaan ini menghitung kedalaman gerusan berdasarkan panjang abutment yang menonjol ke dalam aliran, kedalaman aliran rata-rata di dataran banjir (*floodplain*), dan faktor bentuk abutment (apakah berdinding tegak, miring, atau menggunakan batu pelindung/riprap).
- Persamaan HIRE (Hydraulic Design of Stream Channels):** Metode ini biasanya digunakan jika abutment jembatan sangat panjang dan menonjol jauh hingga ke dalam alur utama sungai (*main channel*), mirip dengan kondisi taji sungai (*jetty*).

Pada penelitian ini untuk menghitung gerusan lokal pada kaki Abutment Jembatan menggunakan Persamaan Froehlich saja dan persamaan HIRE tidak digunakan.

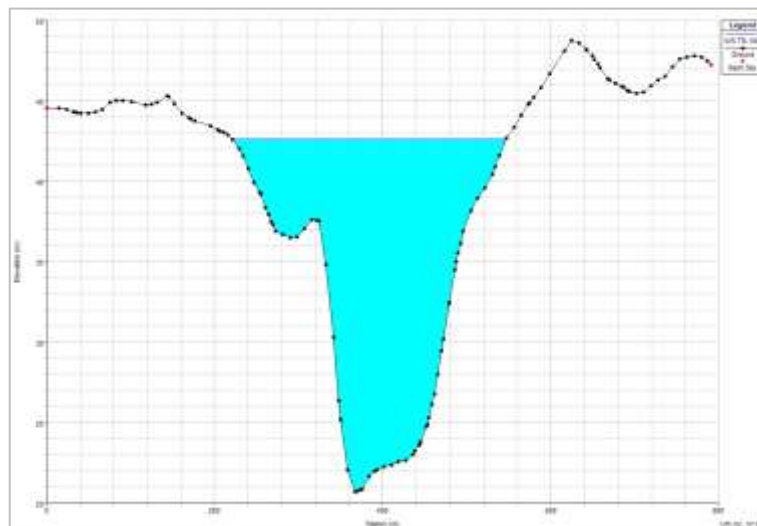
2. Data yang Diperlukan di HEC-RAS

Untuk melakukan analisis gerusan abutment, maka wajib menyiapkan data berikut di dalam model HEC-RAS:

- Data Geometri Jembatan (Bridge Geometry):** Detail penampang jembatan, bentuk abutment (apakah tegak atau miring), serta koefisien kekasaran Manning (n) di sekitar struktur.
- Data Aliran (Hydraulic Design Data):** Debit banjir rencana (misalnya Q_{100}) yang disimulasikan dalam kondisi aliran tetap (*steady flow*).
- Karakteristik Sedimen (D_{50}):** Ukuran diameter butiran sedimen rata-rata pada dasar sungai. Data ini sangat penting karena sedimen yang kasar akan memperkecil kedalaman gerusan, sedangkan sedimen halus (seperti pasir/lanau) akan memperparah gerusan.



Gambar 2. Peta Situasi Sungai



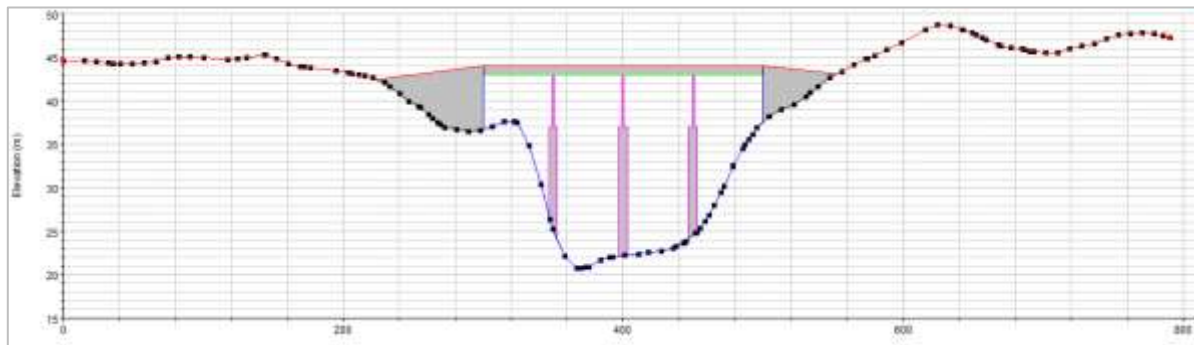
Gambar 3. Potongan Melintang Sungai

3. Langkah-Langkah Menjalankan Analisis di HEC-RAS

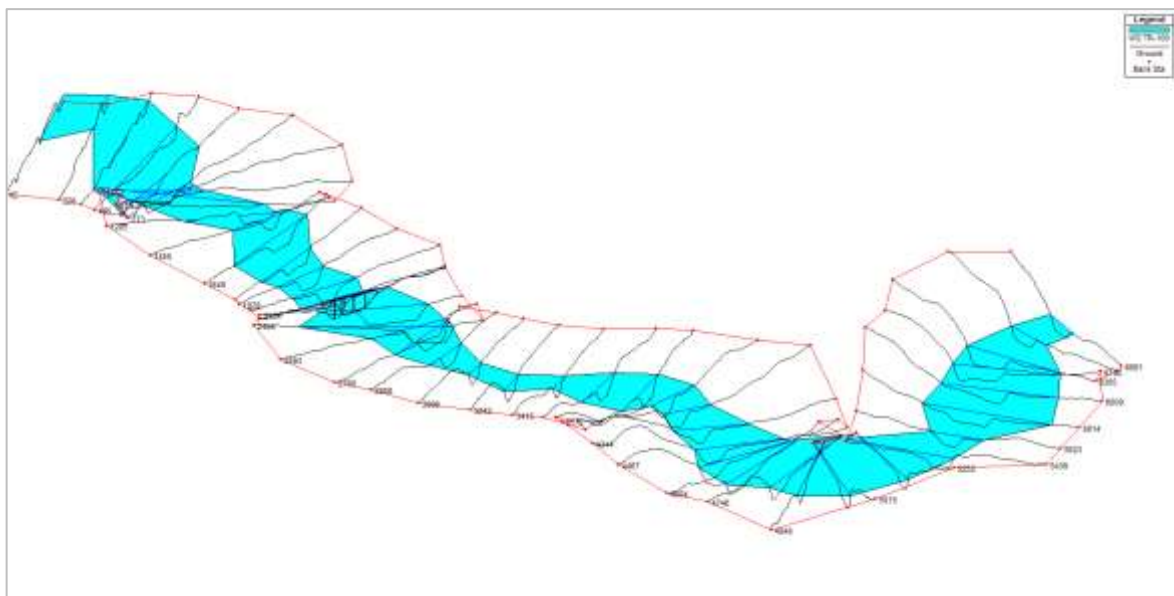
- Simulasikan Aliran:** Pastikan model geometri jembatan Anda sudah sukses di-*running* dalam kondisi *steady flow* dan tidak ada eror hidrolika.
- Buka Menu Scour:** Pada jendela utama HEC-RAS, masuk ke menu **Run** → **Hydraulic Design Functions** → pilih tab **Bridge Scour**.
- Input Parameter Sedimen & Abutment:** Masukkan nilai diameter sedimen (D_{50}), pilih jenis persamaan (Froehlich atau HIRE), dan tentukan koefisien bentuk abutment sesuai kondisi riil di lapangan (misal: *spill-through* atau *vertical wall*).
- Hitung (Compute):** Klik tombol *Compute*. HEC-RAS akan otomatis mengeluarkan tabel output berupa estimasi **Kedalaman Gerusan Maksimum** pada abutment kiri (*Left Abutment*) dan abutment kanan (*Right Abutment*).

4. Batasan HEC-RAS dalam Analisis Gerusan

Meskipun sangat membantu, perlu diingat bahwa HEC-RAS (terutama dalam mode 1D) mengasumsikan aliran air sejajar dengan dinding abutment. Pada realitanya, gerusan abutment dipicu oleh **pusaran air tiga dimensi (3D) dan turbulensi kuat** di kaki jembatan. Oleh karena itu, hasil dari HEC-RAS cenderung bersifat **konservatif (estimasi batas atas/paling parah)** untuk memastikan desain fondasi jembatan berada di zona aman.



Gambar 4. Potongan Memanjang Jembatan



Gambar 5. Letak Jembatan dan Perspektif Badan Sungai

Contraction	Pier	Abutment
	Left	Right
Toe sta at Bridge:	300.00	500.00
Toe sta at App:	300.00	462.60
Length:	76.02	165.82
Y1:	5.94	5.09
K1:	1.00 - Vertical abutment	
Skew (deg):	0.00	0.00
K2:	0.00	0.00
Equation:	Froehlich	HIRE

Froehlich's Egn. Specific Data	
L':	36.87
Ya:	3.24
Qe:	187.51
Ae:	246.20

HIRE Egn. Specific Data	
V1:	1.30

Gambar 6. Sampel Data Abutment

Contraction	Pier	Abutment
	LOB	Channel
Y1:		11.99
V1:		2.06
Y0:		14.20
Q2:		9989.18
W2:		185.00
D50:		1.00
Equation:	Defau	Live

Live Bed Specific Data	
Q1:	9989.18
W1:	403.73
K1:	0.640

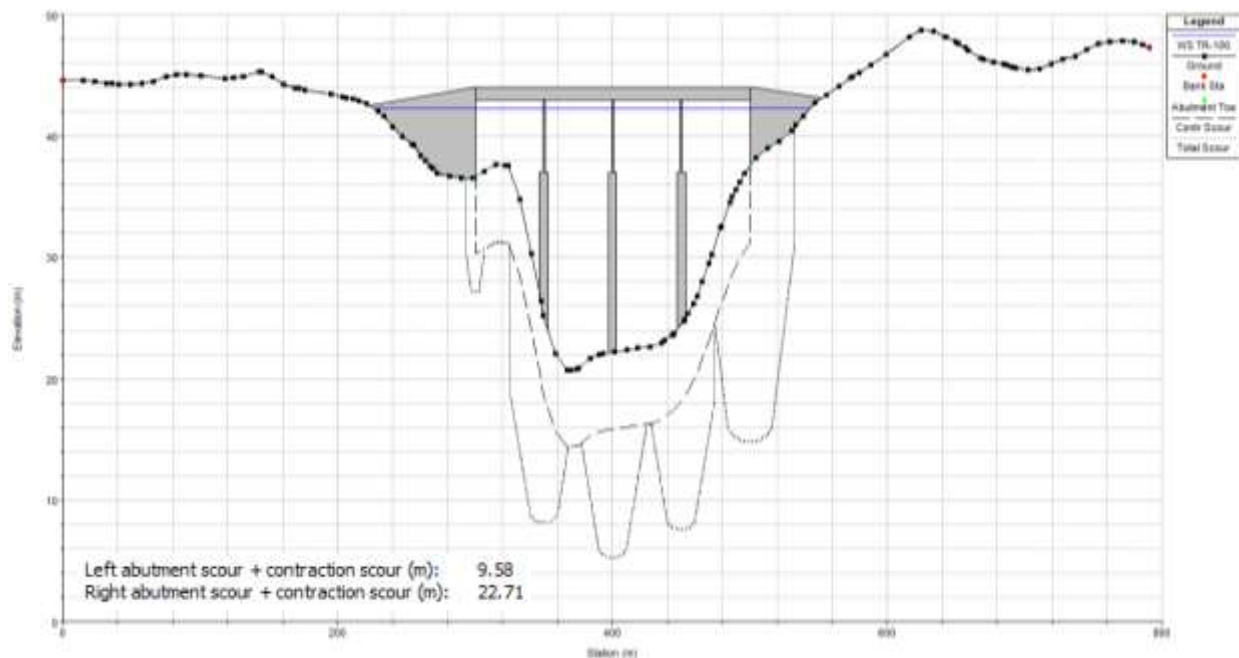
Approach XS River Sta.: 2334

Gambar 7. Sampel Data Gerusan Kontraksi

HASIL DAN PEMBAHASAN

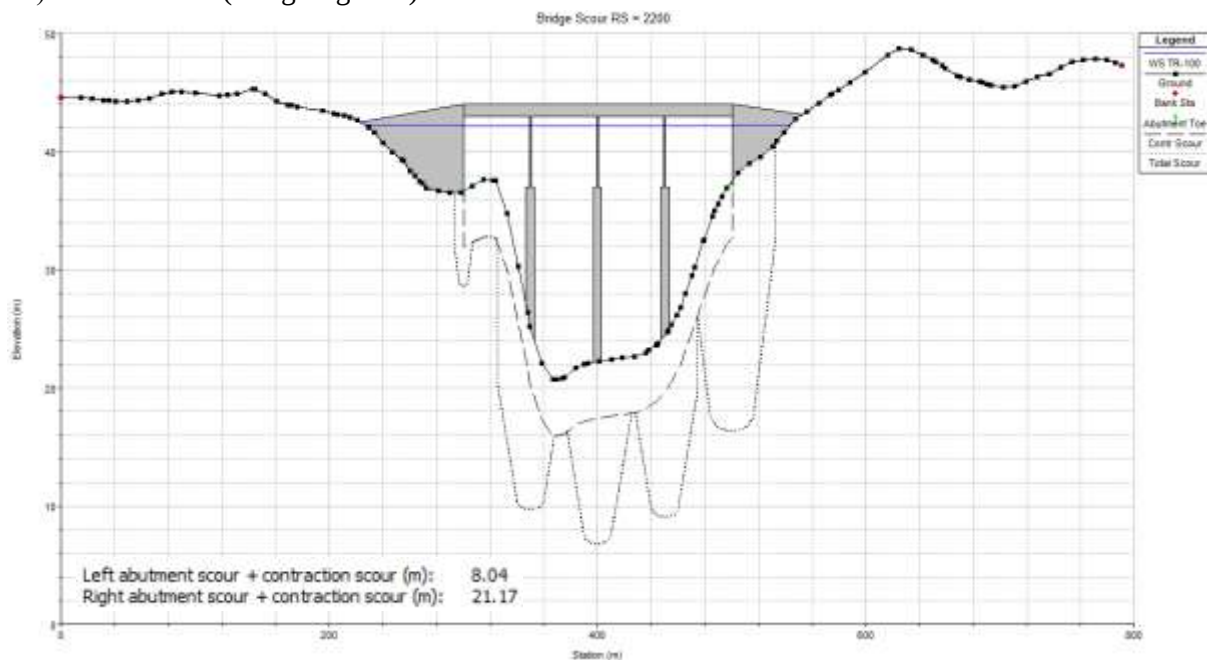
Hasil Simulasi Gerusan Lokal Pada Abutment

Analisis gerusan lokal (*local scour*) pada kaki Abutment Jembatan dilakukan dengan meninjau debit banjir rancangan periode ulang 100 tahun. Perhitungan kedalaman gerusan dalam HEC-RAS disimulasikan menggunakan persamaan empiris Froehlich dengan parameter input ukuran sedimen rata-rata dasar sungai (D_{50}) sebesar 0.45 mm (kategori pasir halus hingga sedang).



Gambar 8. Gerusan Kaki Abutment (D_{50}) 0.45 mm (Pasir halus hingga sedang)

Analisis gerusan lokal (*local scour*) pada kaki Abutment Jembatan dilakukan dengan meninjau debit banjir rancangan periode ulang 100 tahun. Perhitungan kedalaman gerusan dalam HEC-RAS disimulasikan menggunakan persamaan empiris Froehlich dengan parameter input ukuran sedimen rata-rata dasar sungai (D_{50}) sebesar 5 mm (kategori gravel).



Gambar 9. Gerusan Kaki Abutment (D_{50}) 5 mm (Gravel)

Pembahasan

Berdasarkan gambar 4 dan gambar 5 terlihat korelasi positif antara peningkatan ukuran butiran dasar sungai dengan kedalaman gerusan yang dihasilkan. Pada kondisi ukuran butiran 0.45 mm kedalaman gerusan maksimum terjadi di Abutment Kiri mencapai 9.58 m, sedangkan di Abutment Kanan sebesar 22.71 m. Sedangkan pada kondisi ukuran butiran 5 mm kedalaman gerusan maksimum terjadi di Abutment Kiri mencapai 8.04 m, sedangkan di Abutment Kanan sebesar 21.17 m. Perbedaan kedalaman gerusan antara kedua sisi tersebut dipengaruhi oleh ukuran butiran dasar sungai pada kaki Abutment. Karena karakteristik sedimen dasar sungai berupa pasir halus ($D_{50} = 0.45$ mm) yang memiliki tegangan geser kritis (critical shear stress) kecil, arus pusaran tersebut dengan sangat mudah mengikis dan menghanyutkan material dasar di sekitar pondasi jembatan dan berupa gravel ($D_{50} = 5$ mm) yang memiliki tegangan geser kritis (critical shear stress) lebih besar, arus pusaran tersebut sudah berkurang untuk mengikis dan menghanyutkan material dasar di sekitar pondasi jembatan.

KESIMPULAN

Guna menghindari kegagalan struktur akibat gerusan lokal pada kaki abutment ini, diperlukan penanganan proteksi segera, di antaranya pemasangan Riprap (Batu Belah) dengan menempatkan pelindung berupa tumpukan batu belah bergradasi dengan diameter minimum batu (D_{50}) sebesar 30–40 cm di sekeliling kaki Abutment untuk menahan energi erosi dari *horseshoe vortex*. Konstruksi Pengarah Aliran (Groyne) berupa krib penahan arus di bagian hulu untuk membelokkan konsentrasi aliran utama agar menjauh dari dinding abutment kiri. Dinding Turap (Sheet Pile Profile) berupa dinding turap baja di sepanjang kaki abutment untuk mengurung tanah di bawah pondasi jembatan agar tidak hanyut tergerus aliran air.

DAFTAR PUSTAKA

- Arneson, L. A., Zevenbergen, L. W., Lagasse, P. F., & Clopper, P. E. (2012). Evaluating Scour at Bridges (Hydraulic Engineering Circular No. 18 - HEC-18) (5th ed.). Washington, D.C.: Federal Highway Administration (FHWA), U.S. Department of Transportation.
- Brunner, G. W. (2016). *HEC-RAS River Analysis System: Hydraulic Reference Manual*. Davis: Hydrologic Engineering Center, U.S. Army Corps of Engineers.
- Breusers, H. N., & Raudkivi, A. J. (2020). *Scouring: Hydraulic Structures Design Manual*. Rotterdam: CRC Press.
- Chow, V. T. (1959). *Open-Channel Hydraulics*. New York: McGraw-Hill Book Company, Inc.
- Direktorat Jenderal Bina Marga. (2015). *Pedoman Perencanaan Hidrologi dan Hidraulika untuk Bangunan Sungai dan Jembatan (No. 03/P/BM/2015)*. Jakarta: Kementerian Pekerjaan Umum dan Perumahan Rakyat.
- Fenton, J. D. (2013). *River Hydraulics: A Practical Approach*. London: ICE Publishing.
- Lillesand, T. M., Kiefer, R. W., & Chipman, J. W. (2015). *Remote Sensing and Image Interpretation* (7th ed.). New Jersey: John Wiley & Sons.
- Melville, B. W., & Coleman, S. E. (2000). *Bridge Scour*. Water Resources Publications.
- Raju, K. G. R. (2017). *Aliran Melalui Saluran Terbuka (Edisi Terjemahan)*. Jakarta: Erlangga. (Note: Sangat baik untuk dasar mekanika fluida saluran).

- Sutikno, S., & Wibowo, T. (2021). Analisis Daerah Genangan Banjir Menggunakan Integrasi Data DEM dan *HEC-RAS MAPPER*. *Jurnal Sumber Daya Air dan Lingkungan*, 12(1), 23-34.
- Syahputra, I., % Irfan, Z., (2025). Pengaruh Nilai CN (Curve Number) Terhadap Limpasan Permukaan Pada Daerah Aliran Sungai Krueng Jalin Kabupaten Aceh Besar. *Journal of Multidisciplinary Inquiry in Science, Technology and Educational Research*, 2(4), 4358–4366.
- Syahputra, I., % Irfan, Z., (2025). Analisis Debit Banjir Sungai Krueng Baro Kabupaten Pidie. *Journal of Multidisciplinary Inquiry in Science, Technology and Educational Research*, 2(4), 4367–4375.
- USACE. (2018). *Guidelines for Flood Risk Analysis and Mapping*. Washington, D.C.: U.S. Army Corps of Engineers.