

Evaluasi Keamanan Jembatan Terhadap Gerusan Lokal: Studi Kasus Pada Jembatan Way Sumanda-Sukamulya Tanggamus, Lampung

Suharni⁽¹⁾, Endro Prasetyo Wahono⁽²⁾, Dyah Indriana Kusumastuti⁽³⁾, Ahmad Zakaria⁽⁴⁾,
Ofik Taupik Purwadi⁽⁵⁾

Magister Teknik Sipil, Fakultas Teknik, Universitas Lampung,
Jl. Prof. Dr. Sumantri Brojonegoro No. 1 Bandar Lampung, Indonesian,

Email: ¹estesuharni2016@gmail.com, ²epwahono@eng.unila.ac.id,
³dyah.indriana@eng.unila.ac.id, ⁴ahmad.zakaria@eng.unila.ac.id,
⁵ofik.taupik@eng.unila.ac.id

Tersedia Online di

<http://www.jurnal.unublitar.ac.id/index.php/briliant>

Sejarah Artikel

Diterima 10 Desember 2024
Direvisi 23 Januari 2025
Disetujui 30 Januari 2025
Dipublikasikan 28 Februari 2025

Keywords:

Flood Discharge; Local Scour; HEC-RAS; Nakayasu HSS; Bridge

Kata Kunci:

Debit Banjir; Gerusan Lokal; HECRAS; HSS Nakayasu; Jembatan

Corresponding Author:

Name:
Suharni
Email:
Estesuharni2016@gmail.com

Abstract: *Bridges represent a vital component of strategic infrastructure, facilitating the movement of traffic and the distribution of logistics. Bridges facilitate connectivity between disparate geographical regions. It is of the utmost importance to prevent damage and failure of bridge structures. Bridge structure failure is the formation of local scour at the pillars and abutments of the bridge. The objective of this research is to assess the safety of the Way Sumanda-Sukamulya Bridge in regard to the potential for scour at the pillars and abutments. Topographic surveys, instantaneous discharge, and riverbed sediment gradation were conducted for the purpose of collecting data regarding the potential for scour. Ten years of rainfall data were obtained from the Mesuji-Sekampung BBWS, which served to corroborate the design flood discharge. An evaluation of scour was conducted using the HEC-RAS 1D. The scour depth at the pillars ranged from 1.60 m to 1.89 m, while the scour depth at the abutments reached 2.28 m to 3.17 m. It was observed that the outer bend of the river presented a greater scour depth than the inner part. It is imperative that the Way Sumanda Bridge be periodically assessed to ensure that the risk of local scour is kept to an absolute minimum.*

Abstrak: Jembatan merupakan salah satu infrastruktur strategis dalam mendukung pergerakan lalu lintas dan distribusi logistik. Jembatan menghubungkan daerah yang terpisah hambatan geografi. Kerusakan dan kegagalan struktur jembatan harus dihindari. Penyebab utama kegagalan struktur jembatan adalah akibat gerusan lokal di pilar dan abutment jembatan. Tujuan penelitian ini adalah mengevaluasi keamanan Jembatan Way Sumanda-Sukamulya terhadap potensi gerusan pada pilar dan abutmen. Survei topografi, debit sesaat, serta gradasi sedimen dasar sungai dilakukan untuk pengumpulan data gerusan. Data curah hujan sepuluh tahun didapat

dari BBWS Mesuji-Sekampung dan mendasari besaran debit banjir rancangan. Evaluasi gerusan dilakukan menggunakan HEC-RAS 1D. Kedalaman gerusan pada pilar berkisar 1,60 m sampai 1,89 m sedangkan gerusan abutmen sebesar 0,33 m sampai 3,25 m. Belokan bagian luar sungai kedalaman gerusannya lebih besar dari bagian dalam. Jembatan Way Sumanda perlu dikaji secara berkala untuk memastikan risiko minimal terhadap gerusan lokal.

PENDAHULUAN

Jembatan adalah salah satu infrastruktur transportasi strategis yang memiliki peran penting dalam mendukung pergerakan lalu lintas dan distribusi logistik. Sebagai sarana

transportasi, jembatan menghubungkan daerah yang terpisah oleh hambatan geografi seperti danau, laut, sungai, jalan rel, atau jalan raya (Kementerian PUPR RI, 2021). Sebagai infrastruktur transportasi, jembatan tidak hanya memperlancar pergerakan orang dari satu tempat ke tempat lain, tetapi juga berperan dalam memperlancar distribusi barang dari sumber produksi ke pusat pemasaran (Irianingsih, 2019).

Kerusakan dan kegagalan struktur pada jembatan harus dapat dihindari, hal ini mengingat pentingnya peran jembatan dalam mendukung sistem transportasi. Untuk menjamin keamanan dan keselamatan, maka jembatan memerlukan evaluasi terhadap potensi risiko kerusakan dan kegagalan struktur. Kerusakan jembatan yang melintasi sungai salah satunya dapat terjadi pada struktur bagian bawah (pondasi, abutmen dan pilar) yang disebabkan oleh terjadinya gerusan lokal. Ketika pola aliran sungai terganggu oleh rintangan bangunan sungai (bendung, krib, abutmen, pilar jembatan dan lain-lain) maka akan terjadi pusaran air (*vortex system*) yang berpotensi menyebabkan terjadinya gerusan di daerah tersebut (Kementerian PUPR RI, 2021). *Degradasi* (penurunan) dasar sungai akibat gerusan lokal, dapat menyebabkan berkurangnya daya dukung tanah sehingga pada akhirnya berpotensi menjadi penyebab kegagalan struktur jembatan (Anwar et al., 2021).

Menurut Maria Dimova & Stirk, (2019), gerusan adalah proses bertambah dalamnya dasar sungai yang diakibatkan oleh interaksi aliran dan material dasar sungai. Proses gerusan terjadi secara alami, baik yang disebabkan oleh pengaruh morfologi sungai, penyempitan aliran, ataupun rintangan aliran berupa bangunan hidraulika seperti abutmen jembatan (Abdurrosyid & Fatchan, 2019). Gerusan pada jembatan, dibagi menjadi 3: gerusan lokal (*local scour*), gerusan kontraksi (*contraction scour*) dan gerusan umum (*general scour*) (Anwar et al., 2021). Gerusan lokal (*local scour*) yaitu gerusan yang terjadi akibat adanya rintangan bangunan air seperti abutment dan pilar jembatan. *Contraction scour* adalah gerusan yang terjadi akibat penyempitan saluran pada daerah kontraksi. Sedangkan Gerusan umum (*general scour*) adalah gerusan yang umum terjadi pada jembatan tanpa dipengaruhi oleh adanya penyempitan (Rauf et al., 2023).

Kerusakan jembatan yang disebabkan oleh gerusan diantaranya terjadi di Pulau Seram, Maluku, tepatnya pada Jembatan Waikaka Kabupaten Seram Bagian Barat (Wattimury et al., 2023). Jembatan Waikaka memiliki panjang bentang 100 m dan lebar 6 m, berada pada Jalan Poros Trans Pulau Seram. Jembatan tersebut mengalami kerusakan (jembatan miring hingga $7,81^\circ$) akibat adanya gerusan lokal di sekitar jembatan. Kerusakan Jembatan Waikaka menyebabkan masyarakat Pulau Seram harus menempuh perjalanan 5 – 6 jam melalui jalan alternatif lain dari waktu tempuh semula 1 – 2 jam (Wattimury et al., 2023). Kerusakan jembatan akibat gerusan juga terjadi di Kabupaten Bogor yaitu pada Jembatan Cipamingkis yang melewati Sungai Cipamingkis (Setiati et al., 2019). Gerusan yang terjadi akibat perubahan pola aliran Sungai Cipamingkis, menyebabkan pondasi kehilangan tahanan friksi sehingga jembatan mengalami keruntuhan pada pilar Jembatan (Setiati et al., 2019).

Kasus kerusakan jembatan akibat gerusan tidak hanya terjadi di Indonesia. Florida Department of Transportation (2022) menyebutkan bahwa di Amerika Serikat, penyebab terbesar kegagalan jembatan adalah gerusan pada jembatan. Gerusan ini memberi kontribusi besar terhadap biaya konstruksi dan biaya pemeliharaan jembatan. Kedalaman gerusan yang melebihi prediksi desain mengakibatkan kegagalan jembatan dan bahkan menjadi penyebab kehilangan nyawa. Disisi lain, prediksi gerusan yang berlebihan dalam desain akan mempengaruhi biaya konstruksi yang berlebih (Florida Department of Transportation, 2022). Hal tersebut senada dengan Pizarro et al., (2020) bahwa gerusan merupakan penyebab utama kegagalan jembatan di seluruh dunia, yang mengakibatkan banyak kerugian. Berdasarkan hal tersebut, maka perlu dilakukan prediksi kedalaman gerusan yang akurat yang dapat memberikan keamanan pada jembatan.

Jembatan Way Sumanda-Sukamulya adalah salah satu jembatan di Kecamatan Pugung Kabupaten Tanggamus Provinsi Lampung. Jembatan dengan panjang 30 m dan lebar 6 m tersebut, mempunyai peranan yang sangat penting sebagai penghubung antar desa yang terpisah oleh Sungai Way Tebu di Desa Sumanda Kecamatan Pugung. Jembatan ini juga berperan menunjang perekonomian daerah di sekitarnya, sebagai akses mengeluarkan hasil bumi menuju pusat

ekonomi dan perbelanjaan (Pasar Talang Padang) dan juga akses menuju lokasi pendidikan. Kondisi saat ini, Jembatan Way Sumanda-Sukamulya mengalami gerusan di sekitar jembatan.

Penelitian terdahulu tentang gerusan lokal pada jembatan diantaranya dilakukan oleh Herman & Zukaenah (2024). Penelitian dilakukan di laboratorium dengan menggunakan pilar berbentuk segitiga dan setengah lingkaran. Pilar segitiga maupun setengah lingkaran menyebabkan kedalaman gerusan dengan besaran gerusan berbanding terbalik dengan ketinggian muka air. Analisis gerusan lokal pada jembatan juga dilakukan pada Jembatan Waikaka di Maluku. Analisis gerusan menggunakan software HEC-RAS 5.0.7 pada debit banjir Q25. Gerusan lokal pada dua pilar Jembatan Waikaka yaitu sebesar 3,19 m dan 3,09 m (Wattimury et al., 2023). Pradana et al. (2022) melakukan analisis gerusan pada pilar jembatan Kuala Samboja Kabupaten Kutai Kartanegara. Analisis gerusan menggunakan berbagai persamaan empiris pada kumpulan pilar silinder berdiameter 0,5 m dan jarak antara pilar sebesar 1,2 m. Masing-masing metode empiris menunjukkan kedalaman gerusan lokal pada pilar jembatan. Penelitian tentang gerusan lokal di jembatan juga dilakukan di luar negeri, pada jembatan Sungai Kabul dekat Peshawar, Pakistan. Analisis gerusan pada pilar berbentuk melingkar dan persegi dengan eksperimen laboratorium dan hasilnya dibandingkan dengan pemodelan HEC-RAS. Baik pilar persegi maupun melingkar menyebabkan gerusan dengan kedalaman gerusan pilar persegi lebih besar dibandingkan dengan pilar melingkar (Noor et al., 2020).

Penelitian ini merupakan pengembangan penelitian Wattimury et al. (2023). Sama halnya dengan Wattimury et al. (2023), bahwa penelitian ini untuk mengetahui besarnya gerusan pada jembatan dengan menggunakan Software HEC-RAS. Pengembangannya adalah bahwa pada penelitian ini analisis gerusan dilakukan tidak hanya pada pilar jembatan juga dilakukan pada abutmen jembatan. Analisis gerusan juga dilakukan pada debit berbagai kala ulang sehingga dapat diketahui hubungan debit banjir dengan kedalaman gerusan lokal pada jembatan. Tujuan penelitian ini adalah untuk mengevaluasi keamanan Jembatan Way Sumanda-Sukamulya terhadap potensi terjadinya gerusan pada pilar dan abutmen jembatan.

METODE

Penelitian ini dilaksanakan di Jembatan Sumanda-Sukamulya yang melintas di atas Sungai Way Tebu di Desa Sumanda Kecamatan Pugung Kabupaten Tanggamus Provinsi Lampung tepatnya pada koordinat $5^{\circ}23'21.41''S$, $104^{\circ}48'36.27''E$. Lokasi penelitian digambarkan dalam Gambar 1.



Gambar 1. Lokasi Penelitian
Sumber: Google Earth

Data terdiri dari primer dan juga sekunder. Data geometri sungai, geometri jembatan, kecepatan sesaat dan data sedimen merupakan data primer yang digunakan dalam penelitian ini. Pengukuran topografi untuk mendapatkan data geometri sungai dan jembatan menggunakan alat ukur topografi *Total Station* (TS). *Total Station* (TS) merupakan salah satu alat ukur topografi yang berupa alat digital. Dengan alat *Total Station* ini pengukuran jarak dan sudut dapat dilakukan sekaligus dan data direkam secara elektronik (Novriza & Agusmaniza, 2020). Sample sedimen diambil di lokasi hulu jembatan bagian kanan, tengah dan kiri. Kecepatan sesaat diukur di lokasi penelitian dengan menggunakan alat *Current Meter*. Data sekunder dalam penelitian ini meliputi

data DEMNAS, data hujan juga data spasial lain. Data Hujan berupa data sepuluh tahun terakhir diperoleh dari Balai Besar Wilayah Sungai Mesuji Sekampung. Data DEMNAS dan spasial didapat dari berbagai sumber seperti Web Tanah Air Indonesia dan Dinas PUPR Kabupaten Tanggamus.

Analisis curah hujan merupakan bagian dari analisis hidrologi, dihitung dengan Metode *Polygon Thiessen* (Cahyono et al., 2022). Secara umum, persamaan matematis *Polygon Thiessen* adalah sebagai berikut (Amanda et al., 2023):

$$\bar{P} = \frac{P_1.A_1+P_2.A_2+P_3.A_3+\dots+P_n.A_n}{A_1+A_2+A_3+\dots+A_n} \quad (1)$$

dengan, \bar{P} adalah curah hujan maksimum harian rata-rata dalam mili meter; $P_1, P_2, P_3, \dots, P_n$ untuk menyatakan curah hujan pada stasiun ke 1,2,3 ..., n dalam mili meter; $A_1, A_2, A_3, \dots, A_n$ adalah luas area poligon stasiun ke 1,2,3 ..., n dinyatakan dalam mili meter dan n merupakan banyaknya pos stasiun hujan.

Beberapa parameter statistic untuk perhitungan curah hujan rencana yaitu nilai rata-rata (\bar{X}), standar deviasi (S), koefisien kurtosis (Ck), koefisien kemencengan skewness (Cs) dan koefisien variasi (Cv) (Fahraini & Rusdiansyah, 2020). Metode perhitungan curah hujan rencana dipilih berdasarkan syarat distribusi frekuensi seperti Tabel 1.

Tabel 1. Karakteristik distribusi frekuensi

NO	Distribusi Frekuensi	Syarat Distribusi	
		Koefisien Skeweness (Cs)	Koefisien Kurtosis (Ck)
1	Normal	Cs = 0	Ck = 3
2	Log Normal	Cs = 3 Cv + Cv ³	Ck = Cv ⁸ + 6Cv ⁶ + 15Cv ⁴ + 16Cv ² + 3
3	Gumbel	Cs=1,1396	Ck=5,4002
4	Log Pearson III	Selain nilai di atas	Selain nilai di atas

Sumber: (Saputra & Saputri, 2021)

Pengujian distribusi terpilih menggunakan Uji Smirnov Kolmogorov dan Uji *Chi Square* (Cambodia, 2020). Perhitungan analisis debit banjir rancangan dengan metode HSS Nakayasu. Metode tersebut dipilih sebagai perhitungan karena sering digunakan di Indonesia (Amanda et al., 2023). Metode HSS Nakayasu untuk menghitung debit puncak banjir disajikan dalam persamaan berikut (Wolok et al., 2024):

$$Q_p = \frac{A \cdot R_e}{3,6 (0,3t_p + T_{0,3})} \quad (2)$$

dengan, Q_p adalah debit puncak banjir dalam m³/detik; R_e adalah hujan efektif satuan dalam mili meter, t_p adalah tenggang waktu (*time lag*) dari awal hujan sampai puncak banjir dinyatakan dalam jam dan $T_{0,3}$ adalah waktu untuk penurunan debit, dari debit puncak s.d 30% debit puncak dinyatakan dalam jam.

Analisis gerusan dilakukan pada kondisi aliran *Steady Flow* pada Program HEC-RAS 6.6. Analisis dilakukan pada pilar, abutmen kanan dan abutmen kiri. Persamaan yang dipilih untuk analisis gerusan pilar jembatan dengan Program HEC-RAS yaitu Persamaan *Colorado State University* (CSU) sebagai berikut (Paramudinta et al., 2021).

$$d_s = 2,0yK_1K_2K_3K_4 Fr^{0,43} (b/y)^{0,65} \quad (3)$$

dengan, d_s adalah kedalaman gerusan dalam meter; b adalah lebar pilar dalam meter; y adalah kedalaman aliran dalam meter; Fr adalah bilangan Froude; K1 adalah koefisien bentuk pilar; K2 adalah Koefisien sudut aliran; K3 adalah Koefisien kondisi dasar saluran dan K4 adalah Faktor *armoring* berdasarkan ukuran material. Besaran Koefisien K1, K2 dan K3 disajikan sebagai berikut:

Bentuk dari Ujung Pilar	K_1
Persegi	1,1
Lingkaran	1,0
Silinder Lingkaran	1,0
Kumpulan Silinder	1,0
Segitiga	0,9

Sumber : (Wabia et al., 2022)

Sudut Aliran	$l/b = 4$	$l/b = 8$	$l/b = 12$
0	1,0	1,0	1,0
15	1,0	2,0	2,5
30	2,0	2,5	3,5
45	2,3	3,3	4,3
90	3,9	3,9	5,0

Sumber : (Wabia et al., 2022)

Kondisi Saluran	Ukuran (m)	K_3
Clear Water Scour	n.a	1,1
Pane bed/anti dunes	n.a	1,1
Small dunes	0,6 – 3,0	1,1
Medium dunes	3,0 – 9,1	1,1 – 1,2
Large dunes	> 9,1	1,3

Sumber : (Wabia et al., 2022)

Gerusan abutmen pada Program HEC-RAS dianalisis menggunakan Persamaan Froehlich sebagai berikut (Shaskia & Rizalihadi, 2019):

$$\frac{Y_s}{Y_a} = 2,27K_1K_2\left[\frac{L}{Y_a}\right]^{0,43}F_r^{0,61} + 1 \quad (4)$$

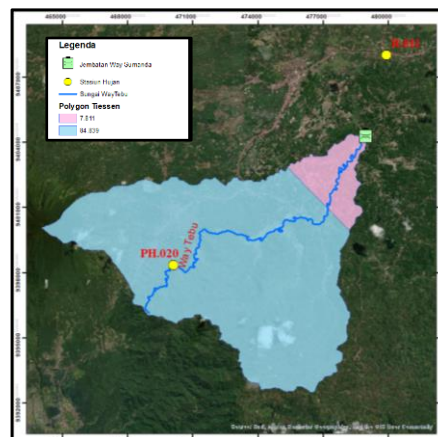
dengan, Y_s adalah kedalaman gerusan dalam meter; Y_a adalah kedalaman rerata aliran dalam meter; K_1 adalah koefisien bentuk abutmen; K_2 adalah koefisien sudut abutmen terhadap arah aliran; L adalah panjang abutmen yang menghalangi aliran dalam meter; F_r adalah bilangan Froude pada hulu abutmen.

HASIL DAN PEMBAHASAN

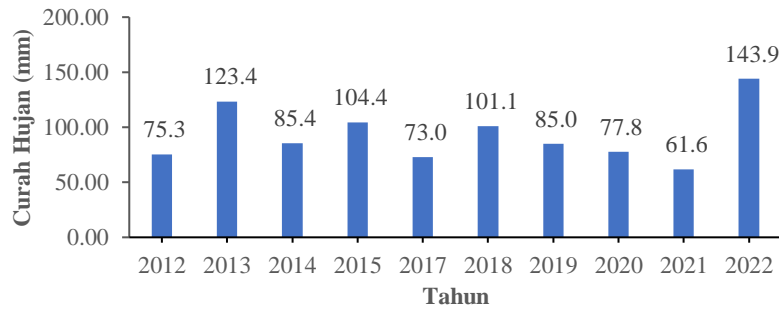
Analisis Hidologi

Berdasarkan analisis data DEMNAS, Hulu Sungai Way Tebu berada di Desa Batu Keramat, Kecamatan Kota Agung Timur, Kabupaten Tanggamus dan bermuara pada Sungai Way Sekampung di Desa Yogyakarta Kecamatan Gading Rejo Kabupaten Pringsewu. Panjang sungai utama dari hulu sampai lokasi penelitian sebesar 21,828 km. Luas daerah tangkapan air pada lokasi yang ditinjau sebesar 92,65 km².

Data hidrologi berupa data curah hujan berasal dari stasiun hujan R.011 (terletak di Desa Banjar Agung Udik Kecamatan Pugung) dan PH.020 (terletak di Desa Gisting Atas Kecamatan Gisting). *Polygon Thiessen* untuk menghitung curah hujan maksimum harian rata-rata disajikan dalam Gambar 2. Hasil perhitungan curah hujan harian maksimum rata-rata disajikan dalam Gambar 3.

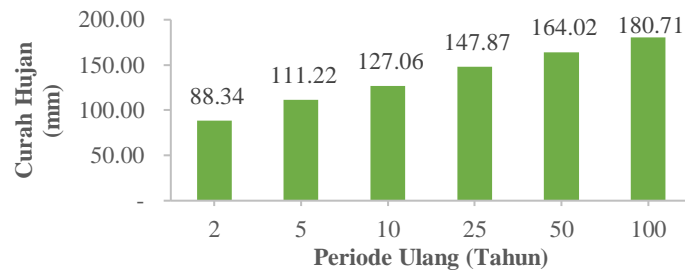


Gambar 2. *Polygon Thiessen* (Sumber: Hasil Analisis Software GIS, 2024)



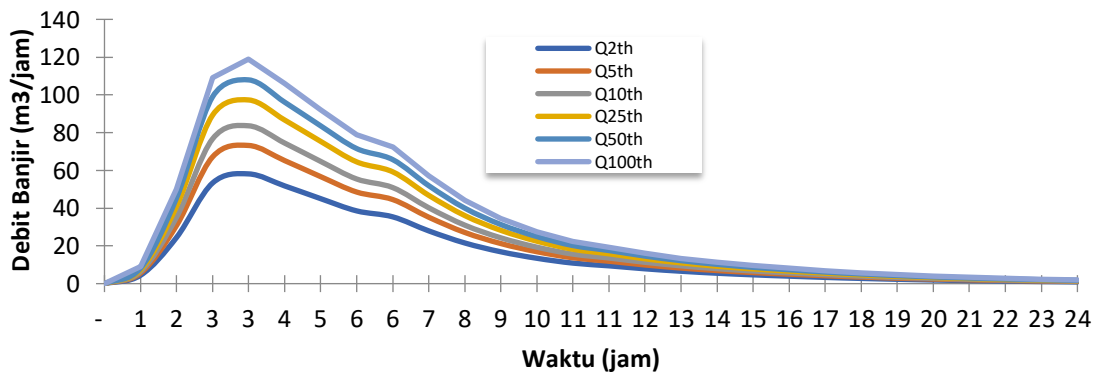
Gambar 3. Curah hujan maksimum harian rata-rata (Sumber: Hasil Analisis, 2024)

Metode terpilih yang digunakan untuk menghitung curah hujan rencana dalam penelitian ini adalah Metode Log Pearson III. Uji kecocokan pemilihan distribusi dengan uji Chi Kuadrat dan Semirnov Kolmogorov dapat diterima. Hasil perhitungan curah hujan rencana disajikan dalam Gambar 4.

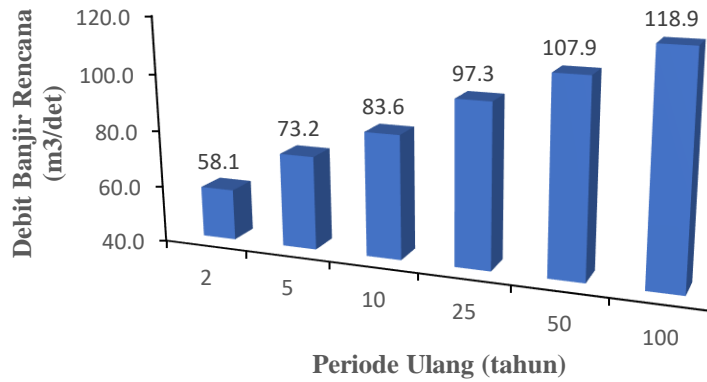


Gambar 4. Curah hujan rencana (Sumber: Hasil Analisis, 2024)

Perhitungan debit banjir rancangan dihitung dengan Metode HSS Nakayasu sebagaimana penelitian yang dilakukan oleh (Nurzanah et al., 2022). Hasil analisis unit hidrograf Metode HSS Nakayasu disajikan dalam Gambar 5, sedangkan debit banjir rancangan disajikan dalam Gambar 6.



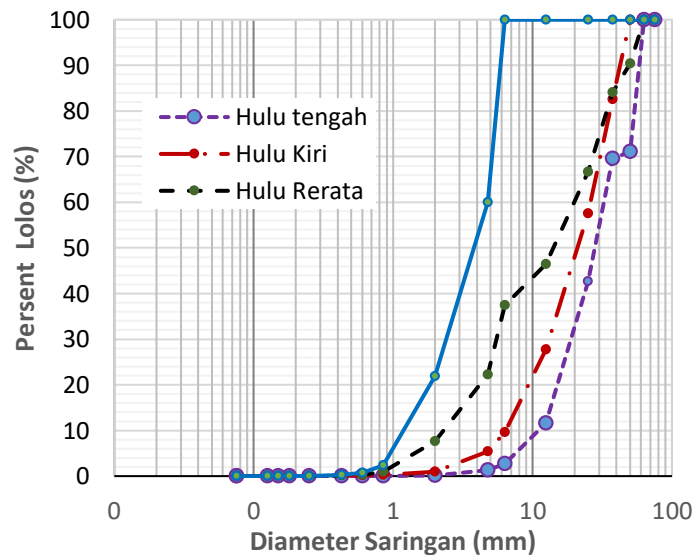
Gambar 5. Hidrograf banjir HSS Nakayasu
Sumber: Hasil Analisis, 2024



Gambar 6. Debit Banjir maksimum metode HSS Nakayasu
 Sumber: Hasil Analisis, 2024

Analisis Butiran Sedimen

Analisis butiran dalam penelitian ini dimaksudkan untuk mengetahui ukuran partikel sedimen di lokasi penelitian. Analisis menggunakan uji analisis saringan (*sieve analysis*) yang dilaksanakan di Laboratorium Mekanika Tanah Universitas Lampung. Analisis saringan dimaksudkan untuk menentukan jenis material sedimen berdasarkan butiran (Hambali & Apriyanti, 2016). Hasil analisis menunjukkan komposisi butiran rata-rata *sample* sedimen bagian hulu jembatan terdiri dari 41,6% kerikil kasar, 47,6% kerikil halus, 7,6 % pasir kasar, 3,2% pasir sedang dan 0,1% pasir halus. Grafik gradasi butiran dapat dilihat dalam Gambar 7.



Gambar 7. Grafik Gradasi Butiran (Sumber: Hasil Analisis, 2024)

Besarnya diameter butiran lolos saringan berdasarkan grafik gradasi butiran Gambar 7 disajikan dalam Tabel 5 berikut.

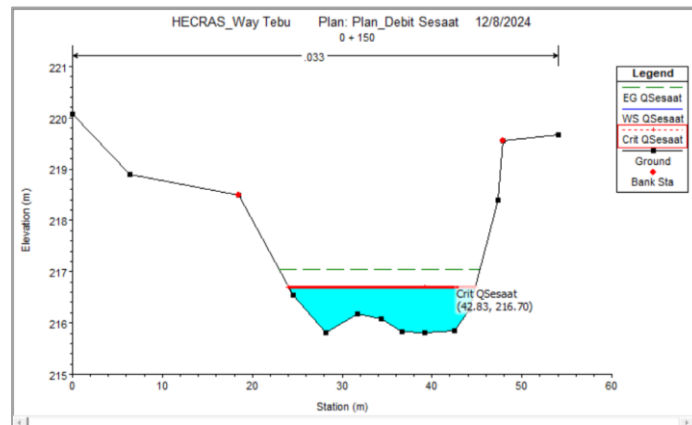
Tabel 5. Diameter Butiran Lolos Saringan (Sumber: Hasil Analisis, 2024)

Sample Sedimen	Diameter Butiran Lolos Saringan (mm)				
	D ₁₀	D ₃₀	D ₅₀	D ₆₀	D ₉₅
Hulu Kanan	1.3	2.5	4.0	5.0	6.0
Hulu Tengah	11.0	19.0	30.0	32.0	60.0
Hulu Kiri	6.5	13.0	21.0	26.0	48.0
Hulu Rerata	2.3	4.5	15.0	20.0	58.0

Analisis Hidrolika

Tujuan analisis hidrolika dalam study ini yaitu untuk mendapatkan angka koefisien *manning* yang terkalibrasi dengan kondisi eksisting (Amanda et al., 2023). Elevasi muka air hasil analisis HEC-RAS dibandingkan dengan hasil pengukuran. Debit terukur di lokasi hulu jembatan hasil konversi kecepatan sesaat dengan alat current meter sebesar 36,70 m³/det dengan elevasi muka air sebesar +216,65 m.

Kondisi aliran Sungai Way Tebu disimulasikan sebagai aliran tunak (steady) dengan kondisi batas hulu dan hilir berupa kedalaman normal dengan kemiringan sungai 0,00194. Dengan input debit steady hasil pengukuran sebesar 36,70 m³/det dan koefisien manning sebesar 0,033 pada Program HEC-RAS, menghasilkan elevasi muka air analisis hidrolika sebesar +216,70 m. Elevasi muka air tersebut mendekati kondisi lapangan yakni sebesar +216,65 m. Sehingga angka koefisien manning sebesar 0,033 dianggap terkalibrasi dengan kondisi di lapangan dan dapat digunakan dalam analisis berikutnya.

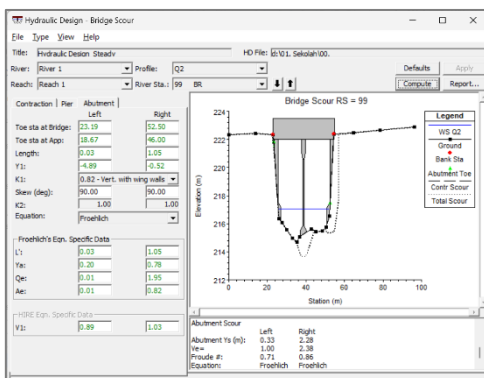


Gambar 8. Kalibrasi tinggi muka air dengan HEC-RAS (Sumber: Analisis HEC-RAS, 2024)

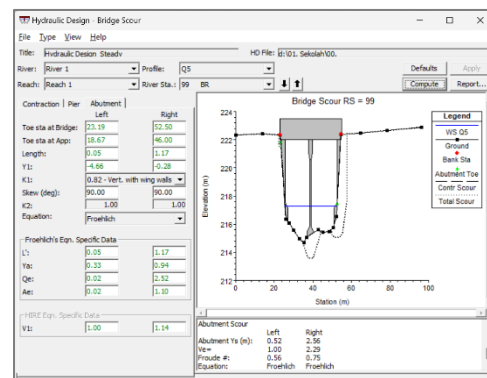
Analisis Gerusan

Evaluasi kewanaman gerusan disimulasikan dengan program HEC-RAS 1D pada pilar dan abutmen jembatan. Gerusan pilar (*Pier Scour*) dihitung dengan persamaan *Colorado State University* (CSU). Input data analisis gerusan berupa besarnya sudut datang aliran terhadap pilar jembatan, kondisi dasar saluran, diameter butiran lolos saringan 50% (D_{50}), diameter butiran lolos saringan 95% (D_{95}). Sedangkan data yang lain akan terakumulasi otomatis oleh HEC-RAS ketika data geometri jembatan diinput.

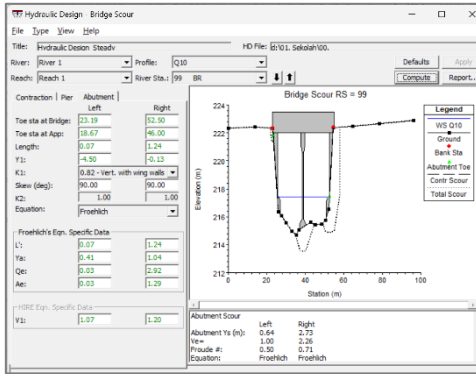
Gerusan abutmen (*Abutment Scour*) dianalisis menggunakan Persamaan *Froehlich*. HEC-RAS akan menghitung besar gerusan abutmen kanan dan kiri secara terpisah. Input data berupa jenis abutmen (*spill-through, vertical, atau vertical with wing walls*). Berdasarkan output hidrolik yang telah dimasukkan sebelumnya, HEC-RAS akan secara otomatis menghitung data lain yang diperlukan. Hasil analisis gerusan dengan HEC-RAS dapat dilihat dalam gambar berikut:



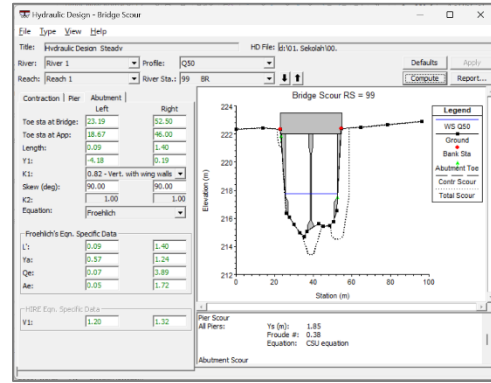
Gambar 9. Kedalaman Gerusan Debit Kala Ulang Dua Tahun (Q_2)



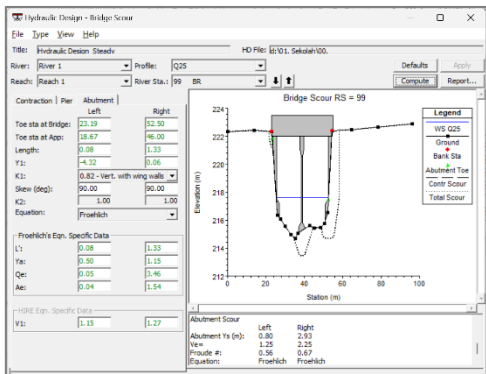
Gambar 10. Kedalaman Gerusan Debit Kala Ulang Lima Tahun (Q_5)



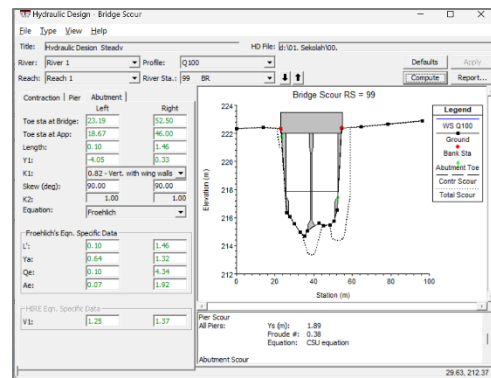
Gambar 11. Kedalaman Gerusan Debit Sepuluh Tahun (Q_{10})



Gambar 13. Kedalaman Gerusan Debit Lima Puluh Tahun (Q_{50})



Gambar 12. Kedalaman Gerusan Debit Dua Puluh Lima Tahun (Q_{25})



Gambar 14. Kedalaman Gerusan Debit Kala Seratus Tahun (Q_{100})

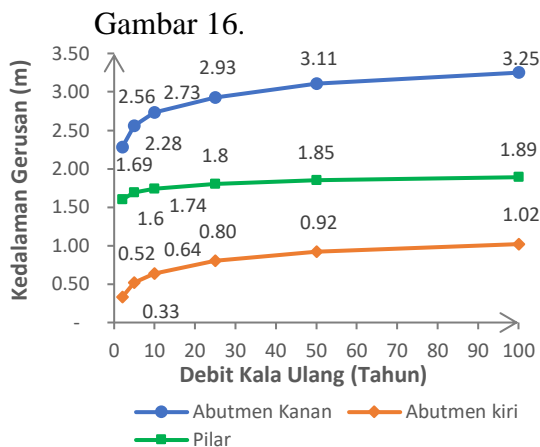
Rekapitulasi kedalaman gerusan pilar, abutmen kanan dan kiri dapat dilihat dalam Tabel 6. Abutmen kanan pada penelitian ini didefinisikan sebagai abutmen yang terletak di sebelah kanan saluran/sungai dilihat dari arah hulu jembatan searah aliran dan sebaliknya abutmen kiri adalah abutmen yang terletak di sebelah kiri saluran/sungai dilihat dari arah hulu jembatan searah aliran.

Tabel 6. Hasil Rekap kedalaman gerusan (Sumber: Hasil Analisis HEC-RAS, 2024)

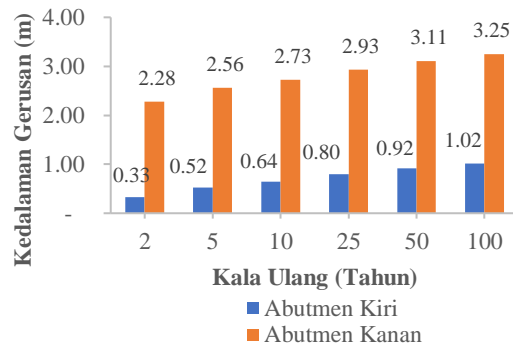
Periode Ulang (tahun)	Debit (m^3/det)	Gerusan Pilar (m)	Gerusan Abutmen kiri (m)	Gerusan Abutmen Kanan (m)
2	58,13	1,60	0,33	2,28
5	73,19	1,69	0,52	2,56
10	83,61	1,74	0,64	2,73
25	97,31	1,80	0,80	2,93
50	107,94	1,85	0,92	3,11
100	118,92	1,89	1,02	3,25

Berdasarkan Tabel 6 di atas terlihat bahwa gerusan pada pilar jembatan sudah terjadi pada debit kala ulang dua tahun (Q_2) dengan kedalaman gerusan maksimum sebesar 1,60 m. Debit Kala ulang 5, 10, 25, 50 dan 100 tahun berturut-turut memberikan kedalaman gerusan maksimum pada pilar sebesar 1,69 m, 1,74 m, 1,80 m, 1,85 m, dan 1,89 m. Begitu juga dengan kedalaman gerusan abutmen, sudah terjadi pada debit kala ulang dua tahun (Q_2). Besarnya kedalaman gerusan maksimum abutmen sebelah kanan dengan debit Q_2 , Q_5 , Q_{10} , Q_{25} , Q_{50} dan Q_{100} berturut-turut adalah 2,28 m, 2,56 m, 2,73 m, 2,93 m, 3,11m, dan 3,25 m. Sedangkan kedalaman gerusan abutmen kiri sebesar 0,33 m, 0,52 m, 0,64 m, 0,80 m, 0,92 m dan 1,02 m.

Perbandingan besarnya kedalaman gerusan pilar, abutmen kanan dan abutmen kiri dapat dilihat dalam Gambar 15. Sedangkan perbandingan kedalaman gerusan abutmen kanan dan abutmen kiri disajikan dalam



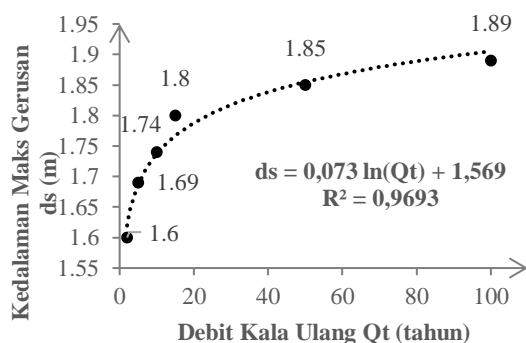
Gambar 15. Kedalaman gerusan pilar, abutmen kanan dan abutmen kiri
Sumber: Hasil Analisis, 2024



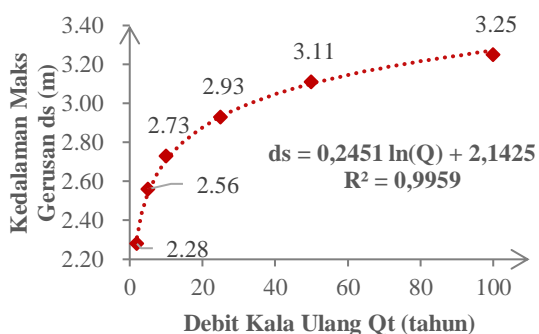
Gambar 16. Kedalaman Gerusan Abutmen Kanan dan Kiri
Sumber: Hasil Analisis, 2024

Berdasarkan Gambar 15 terlihat bahwa kedalaman gerusan pada pilar mau pun abutmen terus meningkat seiring dengan peningkatan debit banjir kala ulang. Semakin tinggi debit banjir maka kedalaman gerusan yang terjadi semakin besar. Debit banjir memberi pengaruh *significant* terhadap perubahan morfologi dasar sungai (Wahono et al., 2014). Berdasarkan

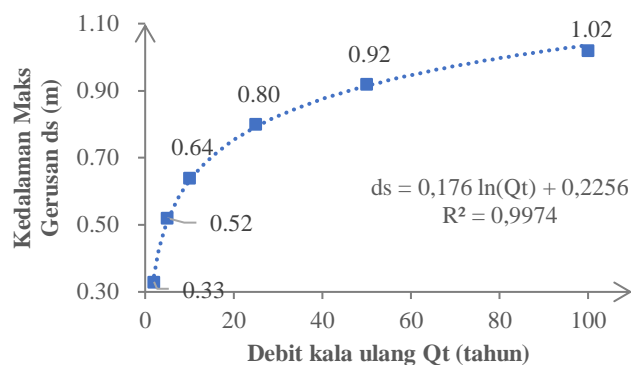
Gambar 16 dapat dilihat bahwa kedalaman gerusan pada abutmen kanan lebih besar jika dibandingkan dengan kedalaman gerusan abutmen kiri. Hal ini terjadi karena pengaruh morfologi sungai akibat belokan. Bahwa jika dilihat pada peta hasil pengukuran topografi dan juga peta satelit *google earth* Jembatan Way Sumanda-Sukamulya berada pada belokan sungai dengan posisi abutmen kanan berada pada belokan sungai bagian luar. Hal ini sejalan dengan Nugraha et al., (2021) bahwa pada belokan sungai, aliran air dapat menggerus sungai pada belokan bagian luar. Hubungan debit banjir dan kedalaman gerusan pilar, abutmen kanan dan abutmen kiri dapat dilihat dalam Gambar 17, Gambar 18 dan Gambar 19 berikut.



Gambar 17. Hubungan debit dan kedalaman gerusan pilar
Sumber: Hasil Analisis, 2024



Gambar 18. Hubungan debit dan kedalaman gerusan abutmen kanan
Sumber: Hasil Analisis, 2024



Gambar 19. Hubungan debit dan kedalaman gerusan abutmen kiri
Sumber: Hasil Analisis, 2024

Berdasarkan Gambar 17, Gambar 18 dan Gambar 19 di atas, terlihat bahwa hubungan debit banjir kala ulang (Q_t) dan kedalaman maksimum gerusan lokal pada pilar dan abutmen jembatan (d_s) menunjukkan hubungan logaritmik yang dapat dimodelkan dengan persamaan regresi logaritmik. Model persamaan regresi gerusan pilar adalah $d_s = 0,073 \ln(Q_t) + 1,569$, gerusan abutmen kanan yaitu $d_s = 0,2451 \ln(Q_t) + 2,1425$, dan persamaan regresi gerusan abutmen kiri yaitu $d_s = 0,176 \ln(Q_t) + 0,2256$, dengan nilai koefisien determinasi (R^2) masing-masing sebesar 0,9693; 0,9959 dan 0,9974.

Nilai koefisien determinasi R^2 pada persamaan regresi kedalaman gerusan pilar, abutmen kanan dan abutmen kiri mendekati satu, menunjukkan bahwa persamaan regresi tersebut sangat baik dalam menjelaskan hubungan antara debit banjir dan kedalaman gerusan. Debit banjir sebagai variabel bebas memberikan pengaruh yang sangat kuat terhadap kedalaman gerusan sebagai variabel terikat. Nilai $R^2 > 1$ memberikan tingkat kepercayaan yang tinggi terhadap validitas hasil analisis.

SIMPULAN

Berdasarkan hasil penelitian, Jembatan Way Sumanda-Sukamulya dikategorikan tidak aman terhadap bahaya gerusan. Hasil simulasi Program HEC-RAS menunjukkan debit kala ulang 2, 5, 10, 25, 50 dan 100 tahun berturut-turut memberikan kedalaman gerusan maksimum pada pilar sebesar 1,60 m, 1,69 m, 1,74 m, 1,80 m, 1,85 m, dan 1,89 m, kedalaman maksimum abutmen kanan sebesar 2,28 m, 2,56 m, 2,73 m, 2,93 m, 3,11m; dan 3,25 m dan gerusan abutmen kiri berturut-turut sebesar 0,33 m, 0,52 m, 0,64 m, 0,80 m, 0,92 m dan 1,02 m. Hasil analisis menunjukkan bahwa risiko gerusan ditimbulkan terutama oleh dua aspek yaitu akibat besaran debit banjir dan pengaruh belokan sungai. Semakin besar debit banjir pada sungai maka kedalaman gerusan juga semakin besar. Sedangkan area belokan sungai bagian luar memberikan kedalaman gerusan yang lebih besar. Hubungan debit banjir kala ulang (Q_t) dan kedalaman maksimum gerusan lokal pada pilar dan abutmen jembatan (d_s) menunjukkan hubungan logaritmik yang dapat dimodelkan dengan persamaan regresi logaritmik. Model persamaan regresi gerusan pilar adalah $d_s = 0,073 \ln(Q_t) + 1,569$, gerusan abutmen kanan yaitu $d_s = 0,2451 \ln(Q_t) + 2,1425$, dan persamaan regresi gerusan abutmen kiri yaitu $d_s = 0,176 \ln(Q_t) + 0,2256$, dengan nilai koefisien determinasi (R^2) masing-masing sebesar 0,9693; 0,9959 dan 0,9974. Rekomendasi yang diberikan dalam penelitian ini yaitu perlu dilakukan penelitian lanjutan terkait alternatif pengendalian gerusan untuk melindungi jembatan dari kegagalan struktur akibat gerusan lokal.

DAFTAR RUJUKAN

- Abdurrosyid, J., & Fatchan, A. K. (2019). Gerusan di sekitar abutmen dan pengendaliannya pada kondisi angkutan sedimen Untuk Saluran Berbentuk Majemuk. *Jurnal Dinamika Teknik Sipil*, 7(1), 20–29.
- Amanda, T. M., Kusumastuti, D. I., Zakaria, A., Herison, A., & Wahono, E. P. (2023). Analisis Muka Air Banjir terhadap Tutupan Lahan di Sungai Bulok Kabupaten Pringsewu Provinsi

- Lampung. *Teras Jurnal: Jurnal Teknik Sipil*, 13(2), 535–546. <https://doi.org/10.29103/tj.v13i2.957>
- Anwar, Wahab, D., Rauf, I., Kusnadi, & K. Misbah, Z. (2021). Studi Eksperimental Pengaruh Radius Pilar Massif Terhadap Pola Gerusan Lokal. *Jurnal Simetrik*, 11(2), 457–461. <https://doi.org/10.31959/js.v11i2.830>
- Cahyono, P. B., Wahyudi, S. I., Niam, M. F., & Prasetyo, D. (2022). Simulasi dan Evaluasi Limpasan Saat Debit Maksimum Kanal Banjir Timur Kota Semarang. *Briliant: Jurnal Riset Dan Konseptual*, 7(2), 512. <https://doi.org/10.28926/briliant.v7i2.963>
- Cambodia, M. (2020). Analisis Gerusan Lokal pada Pilar Jembatan Kereta Api BH. 337 akibat Aliran Sungai Cikao. *Teknika Sains: Jurnal Ilmu Teknik*, 5(2), 44–53. <https://doi.org/10.24967/teksis.v5i2.1085>
- Fahraini, A., & Rusdiansyah, A. (2020). Analisis Keandalan Metode Analisa Frekuensi Dan Intensitas Hujan Berdasarkan Data Curah Hujan Klimatologi Banjarbaru. *Jurnal Teknologi Berkelanjutan (Sustainable Technology Journal)*, 9(1), 11–23. <http://jtb.ulm.ac.id/index.php/JTB>
- Florida Department of Transportation. (2022). *Bridge Scour Manual* (Issue June).
- Hambali, R., & Apriyanti, Y. (2016). Studi Karakteristik Sedimen Dan Laju Sedimentasi Sungai Daeng. *Jurnal Fropil*, 4(2), 165–174.
- Herman, R., & Zukaenah, K. (2024). Pengaruh Pilar Segitiga dan Pilar Setengah Lingkaran Terhadap Kedalaman Gerusan. *Jurnal Sains Dan Teknologi Tadulako*, 10(2), 80–94. <https://doi.org/https://doi.org/10.22487/jstt.v10i2.700>
- Irianingsih, T. R. (2019). Perlunya Pedoman, Standarisasi Dan Kriteria Dalam Membangun Jalan Dan Jembatan Guna Sarpras Kepentinganpertahanan Negara. *Kementerian Pertahanan RI*. <https://www.kemhan.go.id/pothan/2019/04/18/direktorat-jenderal-potensi-pertahanan-direktorat-komponen-pendukung-3.html>
- Kementerian PUPR RI. (2021). *SE Dirjen Bina Marga No 3 Tahun 2021 tentang Pedoman Pemeriksaan Kondisi Sungai pada Jembatan*. Dirjen Bina Marga.
- Noor, M., Arshad, H., Khan, M., Khan, M. A., Aslam, M. S., & Ahmad, A. (2020). Experimental and HEC-RAS modelling of bridge pier scouring. *Journal of Advanced Research in Fluid Mechanics and Thermal Sciences*, 74(1), 119–132. <https://doi.org/10.37934/ARFMTS.74.1.119132>
- Novriza, F., & Agusmaniza, R. (2020). Pemetaan Topografi Menggunakan Total Station Pada Komplek Sekolah Terpadu Teuku Umar Aceh Barat. *VOCATECH: Vocational Education and Technology Journal*, 2(1), 41–48. <https://doi.org/10.38038/vocatech.v2i1.42>
- Nugraha, A. W. S., Priyantoro, D., & Sisingsih, D. (2021). Model Numerik Nays2DH untuk Penempatan Bangunan Krib pada Belokan Sungai. *Jurnal Teknologi Dan Rekayasa Sumber Daya Air*, 1(2), 562–575.
- Nurzanah, W., Iskandar Muda, S., Gunawan, R., & Tara Diva, S. D. (2022). Analisis Perhitungan Debit Banjir Rencana di Bendung Karet Bandar Sidoras. *Jurnal VORTEKS*, 3(01), 190–198. <https://doi.org/10.54123/vorteks.v3i1.154>
- Paramudinta, A. C., Achmad, N., & Bhakty, T. E. (2021). Evaluasi Keamanan Jembatan Terhadap Debit Banjir di Sungai Sei Pare-Pare. *Jurnal Rancang Bangun Teknik Sipil*, 21–27(1), 1689–1699.
- Pizarro, A., Manfreda, S., & Tubaldi, E. (2020). The science behind scour at bridge foundations: A review. *Water Journal*, 12(2). <https://doi.org/10.3390/w12020374>
- Pradana, A. A., Purbaningtyas, D., & Ridwan, M. (2022). Analisis Gerusan Lokal Menggunakan Metode Empiris Pada Pilar Jembatan Kuala Samboja Kabupaten Kutai Kartanegara. *Kurva S: Jurnal Keilmuan Dan Aplikasi Teknik Sipil*, 10(2), 86–99. <https://doi.org/10.31293/teknikd.v10i2.6841>
- Rauf, I., Gaus, A., & Jaelan, S. (2023). Eksperimen Laboratorium Pengaruh Hidung Pilar Jembatan Terhadap Kedalaman Gerusan Lokal Setimbang. *Jurnal Teknik Sipil*, 13(02), 313–323. <https://doi.org/http://dx.doi.org/10.29103/tj.v13i2.872> (Received:
- Saputra, M. A., & Saputri, U. S. (2021). Analisa Debit Banjir Rencana Metode HSS Nakayasu DAS Cimandi. *Jurnal Teslink : Teknik Sipil Dan Lingkungan*, 3(1), 1–10.

- Setiati, N. R., Guntorojati, I., & Kurniawati, E. (2019). Analisis Penanganan Dampak Bahaya Gerusan Aliran Sungai Pada Struktur Pilar Jembatan. *Jurnal Jalan-Jembatan*, 36(1), 41–53. <https://binamarga.pu.go.id/jurnal/index.php/jurnaljalanjembatan/article/view/501>
- Shaskia, N., & Rizalihadi, M. (2019). Pola Gerusan Lokal Akibat Perlakuan Pada Abutmen Jembatan. *Jurnal Teknik Sipil*, 8(2), 60–67. <https://doi.org/10.24815/jts.v8i2.14055>
- Wabia, K., Bakarbesy, D., & Anggaraeni, D. (2022). Evaluasi Kontruksi Jembatan Kali Kemiri Akibat banjir dan gerusan di Kabupaten Jayapura Provinsi Papua. *Jurnal Portal Sipil*, 11(2), 40–56. <https://doi.org/https://doi.org/10.58839/portal.v11i1.1069>
- Wahono, E. P., Legono, D., Istiarto, & Yulistiyanto, B. (2014). Environmental Flow Assessment Using Water-Sediment Approach at the Sekampung River, Indonesia. *Open Journal of Modern Hydrology*, 04(04), 164–172. <https://doi.org/10.4236/ojmh.2014.44016>
- Wattimury, A. B., Buyang, C. G., & Kalalimbong, A. (2023). Evaluasi Gerusan Di Jembatan Waikaka Menggunakan Software Hec-Ras 5.0.7. *Jurnal Simetrik*, 13(2), 734–740. <https://doi.org/https://doi.org/10.31959/js.v13i2.1169>
- Wolok, K. S., Suhartanto, E., & Andawayanti, U. (2024). Studi Penyusunan Dan Penentuan Sempadan Situ Jatijajar Untuk. *Jurnal Teknologi Dan Rekayasa Sumber Daya Air (JTRESDA)*, 04(01), 592–604. <https://doi.org/https://doi.org/10.21776/ub.jtresda.2024.004.01.050>