



Hydrological Simulation Analysis for The Design of The Sei Busui Batuaji-Kuaro Bridge in East Kalimantan, Indonesia

Aco Wahyudi Efendi¹ , Najla Ayu Febrina Nasution²

¹ Civil Engineering Department, Universitas Sebelas Maret, Kentingan, Jl. Ir. Sutami No.36, Kec. Jebres, Kota Surakarta, Jawa Tengah, 57126, Indonesia.

² Civil Engineering Department, Universitas Andalas, Jl. Lingkar Universitas Andalas, Limau Manis, Kec. Pauh, Kota Padang, Sumatera Barat, 25175, Indonesia.

 acowahyudiefendi@student.uns.ac.id (Penulis Korespondensi)

Received 20-05-2026, revision 30-06-2026, accepted 01-07-2026

Abstract

The Sei Busui Batuaji-Kuaro Bridge in East Kalimantan, Indonesia, is a critical infrastructure project requiring rigorous hydrological analysis to ensure resilience against extreme flood events. This study presents a comprehensive hydrological simulation to determine design flood discharges and maximum water levels (MWL) using rainfall data from 2016–2025. Rainfall frequency analysis employed the Log Pearson Type III distribution, validated with Chi-square and Smirnov-Kolmogorov tests. Flood discharges were estimated using five methods: Rational, Weduwen, Haspers, HSS-Gamma I, and HSS-Nakayasu. The HSS-Gamma I method was selected for its applicability to medium-sized catchments (127.58 km²), yielding a design discharge of 1,623.15 m³/s for a 75-year return period. Hydraulic analysis confirmed a freeboard of 1.693 m, exceeding safety standards. The findings emphasize the importance of region-specific hydrological methods and continuous monitoring to mitigate flood risks.

Keywords: Hydrological Analysis; Flood Discharge; Bridge Design; Log Pearson III; HSS-Gamma I; Freeboard; Sei Busui River; East Kalimantan.

Pemodelan Banjir untuk Penggantian Jembatan Sei Busui

Abstrak

Jembatan Sei Busui Batuaji-Kuaro, Kalimantan Timur, Indonesia, merupakan proyek infrastruktur penting yang membutuhkan analisis hidrologi yang ketat untuk memastikan ketahanan terhadap kejadian banjir ekstrem. Studi ini menyajikan simulasi hidrologi komprehensif untuk menentukan debit banjir desain dan ketinggian muka air maksimum (MAB) menggunakan data curah hujan dari tahun 2016–2025. Analisis frekuensi curah hujan menggunakan distribusi Log Pearson Tipe III, yang divalidasi melalui uji Chi-square dan Smirnov-Kolmogorov. Debit banjir diperkirakan menggunakan lima metode: Rasional, Weduwen, Haspers, HSS-Gamma I, dan HSS-Nakayasu. Metode HSS-Gamma I dipilih karena penerapannya pada daerah aliran sungai berukuran sedang (127,58 km²), menghasilkan debit desain sebesar 1.623,15 m³/s untuk periode ulang 75 tahun. Analisis hidraulik mengkonfirmasi tinggi muka air bebas sebesar 1,693 m, melebihi standar keselamatan. Temuan ini menekankan pentingnya metode hidrologi spesifik wilayah dan pemantauan berkelanjutan untuk mengurangi risiko banjir.

Kata Kunci: Analisa Hidrologi; Debit Banjir; Perencanaan Jembatan; Log Pearson III; HSS-Gama I; Tinggi Jagaan; Sungai Sei Busui; Kalimantan Timur.

1. Pendahuluan

Jembatan Sei Busui Batuaji-Kuaro membentang di atas Sungai Sei Busui di Kalimantan Timur, Indonesia, berfungsi sebagai penghubung transportasi vital antara Batuaji dan Kuaro. Wilayah ini mengalami curah hujan monsun yang intens, dengan curah hujan tahunan melebihi 2.000 mm di beberapa daerah((WMO), 2008), menjadikan ketahanan terhadap banjir sebagai landasan desain jembatan. Daerah aliran sungai (*catchment area*) mencakup 127,58 km² dengan kemiringan memanjang sungai 0,31615, yang dicirikan oleh lahan berhutan (koefisien limpasan (c)= 0,25). Perkiraan yang kurang tepat terhadap debit banjir dapat menyebabkan kegagalan struktural, sementara perkiraan yang berlebihan akan meningkatkan biaya (Jones & Patel, 2020).

Analisis hidrologi untuk desain jembatan melibatkan tiga tahap: (1) analisis frekuensi curah hujan, (2) perhitungan debit banjir, dan (3) pemodelan hidrolika. Studi sebelumnya menyoroti tantangan di wilayah tropis yang kekurangan data, di mana distribusi curah hujan yang miring dan topografi yang kompleks mempersulit pemodelan(Chen et al., 2019). Distribusi Log Pearson Tipe III banyak diadopsi di Indonesia karena fleksibilitasnya dalam menangani data miring(Linsley et al., 1982; Nations, 2015; of Highways, 2016; Ponce, 1989; Subramanya, 2015), sedangkan metode HSS (Hidrologi Satuan Sintesis) seperti Gamma I dikalibrasi untuk hidrologi lokal(Soemarto, 1986)⁵.

Penelitian ini bertujuan untuk:

1. Menentukan curah hujan desain untuk periode ulang 2–100 tahun;
2. Memperkirakan debit banjir menggunakan beberapa metode dan memilih pendekatan yang optimal;
3. Menghitung ketinggian muka air Banjir/ maksimum (MAB) dan memverifikasi keamanan jembatan;
4. Memberikan rekomendasi untuk pemantauan jangka panjang.

Signifikansinya terletak pada memastikan daya tahan jembatan terhadap banjir akibat perubahan iklim, yang diproyeksikan akan meningkat di Asia Tenggara(on Climate Change (IPCC), 2021).

2. Metode Penelitian

2.1 Lokasi Penelitian dan Pengumpulan Data

Lokasi penelitian berada di Jembatan Sungai Sei Busui, Kabupaten Paser, Kalimantan Timur. Daerah aliran sungai/*catchment area* Sungai Sei Busui sebesar 127,58 km², memiliki panjang sungai utama 35,31 km dan kemiringan rata-rata sungai 0,31615.

Data yang dibutuhkan meliputi data primer dan data sekunder. Data primer berupa topografi kawasan sekitar Jembatan Sei Busui didapatkan melalui survei topografi dengan menggunakan alat total stasiun dan drone mapping. Penentuan *catchment area*/DAS dibantu dengan menggunakan data bersumber dari DEMNAS. Sedangkan data sekunder merupakan data curah hujan disekitar kawasan/lokasi penelitian. Dalam penelitian ini digunakan tiga lokasi stasiun hujan: (1) Stasiun Hujan Muara Lambakan, (2) Stasiun Hujan Prilolo dan (3) Stasiun Hujan Padang Pangrapat dengan pencarian data tinggi hujan yang hilang menggunakan Metode Normal Ratio, persamaan:

$$d_x = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n d_i \frac{An_x}{An_i}$$

dimana:

- d_x = data tinggi hujan harian maksimum di stasiun x (mm)
- n = jumlah stasiun di sekitar x untuk mencari data di x
- d_i = data tinggi hujan harian maksimum di stasiun i (mm)
- An_x = jumlah tinggi hujan tahunan di stasiun x (mm)
- An_i = jumlah tinggi hujan tahunan di stasiun sekitar x (mm)

2.2 Analisis Frekuensi Curah Hujan

Data curah hujan maksimum tahunan diuji normalitasnya menggunakan parameter koefisien kemencengan/skewness (C_s) dan koefisien kurtosis (C_k). Distribusi Log Pearson Tipe III dipilih setelah lolos terhadap hasil Uji Dispersi, Uji Chi-Square dan Uji Smirnov-Kolmogorov (Tabel 1). Curah hujan desain untuk periode ulang (2-100 tahun) dihitung sebagai:

$$R_{\max} = X_r + K_T \cdot S_d$$

dimana:

- $R_{\max}$ = curah hujan rencana (mm)
- X_r = rata-rata data hujan maksimum
- K_T = faktor frekuensi untuk periode ulang T
- S_d = simpangan baku (standar deviasi)

2.3 Debit Banjir Rencana

Dalam penelitian penentuan debit banjir rencana menggunakan lima metode:

1. Metode Rasional

Metode rasional umum digunakan untuk memperkirakan debit puncak pada suatu DAS kecil (umumnya $< 2,5 \text{ km}^2$) (Nations, 2015; Triatmodjo, 2009), dihitung sebagai:

$$Q = 0,278 C \cdot I \cdot A$$

dimana:

- Q = debit puncak dengan intensitas, durasi dan frekuensi tertentu (m^3/detik)
- C = koefisien pengaliran tergantung pada jenis tutupan lahan
- I = intensitas hujan (mm/jam)
- A = luas daerah tangkapan hujan (km^2)

Dengan persamaan di atas, intensitas hujan diperoleh setelah memperhitungkan durasi hujan/waktu konsentrasi (t_c) umumnya menggunakan Persamaan (Kirpich, 1940):

$$t_c = \frac{0,06628L^{0,77}}{S^{0,385}}$$

dimana:

- t_c = waktu konsentrasi (jam)
- L = panjang lintasan air dari titik hulu ke titik yang ditinjau
- S = kemiringan antara elevasi maksimum dan minimum

2. Metode Weduwen

Metode weduwen digunakan untuk menghitung debit puncak banjir berdasarkan karakteristik fisik sungai.

$$Q = \alpha \cdot \beta \cdot I \cdot A$$

dimana:

- Q = debit puncak (m³/detik)
- α = koefisien pengaliran
- β = koefisien reduksi luas
- I = intensitas hujan (mm/jam)
- A = luas daerah tangkapan hujan (km²)

3. Metode Haspers

Metode haspers digunakan untuk menghitung debit puncak banjir bergantung pada karakteristik wilayah seperti luas DAS, koefisien pengaliran kemiringan sungai dan intensitas hujan.

$$Q = \alpha \cdot \beta \cdot q \cdot A$$

dimana:

- Q = debit puncak (m³/detik)
- α = koefisien pengaliran
- β = koefisien reduksi luas
- q = intensitas hujan (m³/detik/km²)
- A = luas daerah tangkapan hujan (km²)

4. HSS-Gamma I

Hidrograf satuan sintetis gamma I adalah metode hidrograf satuan yang dikalibrasi berdasarkan perilaku 30 DAS di Pulau Jawa. HSS-Gamma I terdiri dari tiga sisi yaitu sisi naik, sisi puncak dan sisi turun.

5. HSS-Nakayasu

Hidrograf satuan sintetis nakayasu adalah metode hidrograf satuan yang dikembangkan berdasarkan beberapa sungai di Jepang (Soemarto, 1986) dengan parameter yang berasal dari geometri daerah aliran sungai.

2.4 Analisis Hidrolika

Untuk menentukan tinggi muka air banjir digunakan pendekatan dengan Persamaan Manning dengan memperkirakan penampang dari saluran.

$$Q = \frac{1}{n} \cdot A \cdot R^{2/3} \cdot S^{1/2}$$

dimana:

- Q = debit (m³/detik)
- n = koefisien kekasaran manning
- R = jari-jari hidrolis (m)
- S = kemiringan dasar saluran
- A = luas penampang basah saluran (m²)

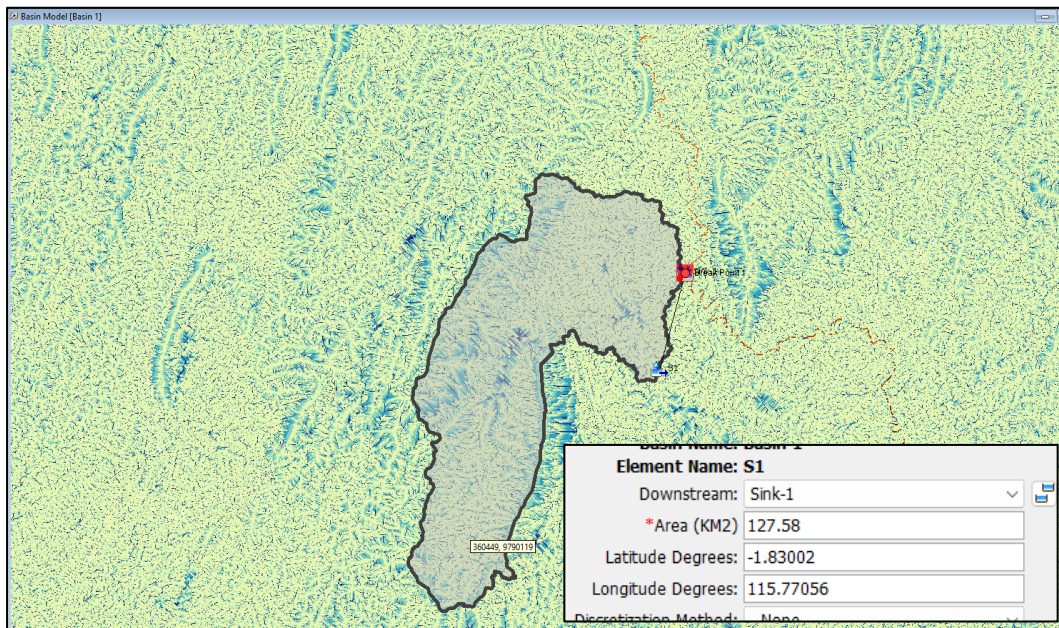
2.5 Modelling Software HEC-RAS

Dalam penelitian ini hasil perhitungan divalidasi dengan *software* HEC-RAS, data yang diinputkan merupakan data yang didapatkan dari hasil perhitungan dengan menggunakan jenis *steady flow analysis* dengan memasukkan model jembatan dan data topografi sesuai dengan elevasi rencana.

3. Hasil dan Pembahasan

3.1 Catchment Area dan Karakteristik Daerah Aliran Sungai

Penentuan *catchment area* didasari pada pembentukan poligon antar punggung-punggung bukit DAS dari titik hulu hingga ke titik pengamatan. Pada penelitian ini penentuan *catchment area* menggunakan data bersumber dari DEMNAS yang didelineasi dengan menggunakan *software* HEC-HMS.



Gambar 1. Hasil Delineasi DAS

Subbasin	Longest Flowpath Length (KM)	Longest Flowpath Slope (M/M)	Centroidal Flowpath Length (KM)	Centroidal Flowpath Slope (M/M)	10-85 Flowpath Length (KM)	10-85 Flowpath Slope (M/M)	Basin Slope (M/M)	Basin Relief (M)	Relief Ratio	Elongation Ratio	Drainage Density (KM/KM ²)
S1	35.30599	0.01942	18.13632	0.00861	26.47950	0.01376	0.31615	1238.82531	0.03509	0.36099	0.04053

Gambar 2. Karakteristik DAS Sei Busui

Hasil delineasi DAS Sei Busui memperlihatkan luas *catchment area* adalah sebesar 127,58 km² dengan panjang sungai 35,306 km dan kemiringan memanjang rata-rata sungai 0,31615. Koefisien tata guna lahan (c) yang digunakan adalah 0,25 termasuk ke dalam jenis hutan dengan kemiringan 5-10%.



Gambar 3. Tampak 3D DAS Sei Busui

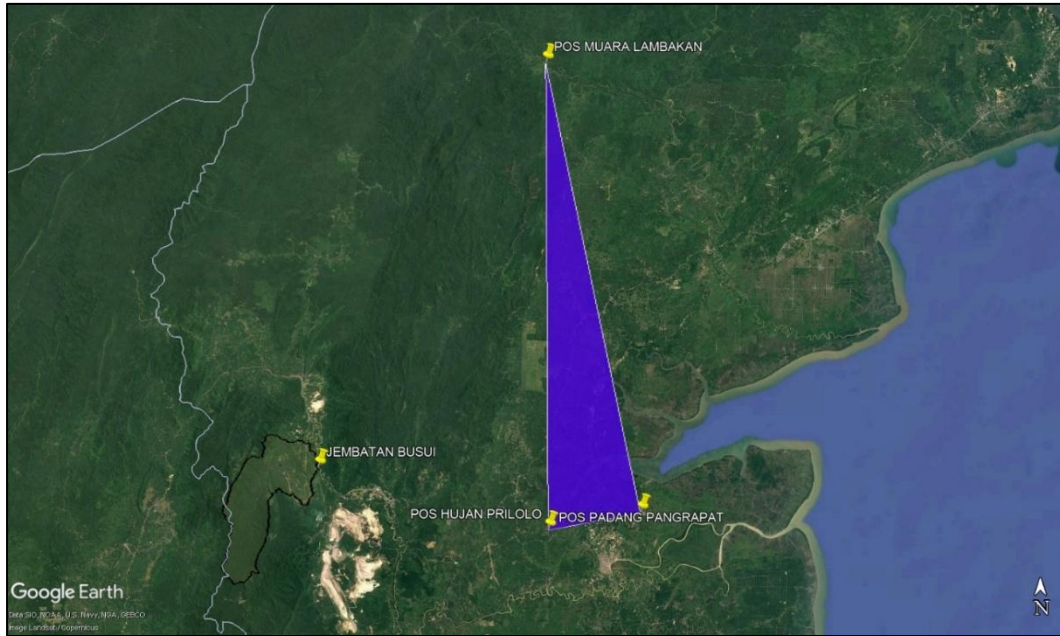
3.2 Data Pos Hujan dan Penentuan Hujan Kawasan

Pada penelitian ini data pos hujan yang digunakan adalah data pos hujan Kabupaten Paser, terdapat tiga pos hujan yang digunakan yaitu Pos Muara Lambakan, Pos Prilolo dan Pos Padang Pangrapat, data tinggi hujan yang hilang dihitung menggunakan Metode Normal Ratio(Chen et al., 2019; Kirono & Hennessy, 2013).

Tabel 1. Data Pos Hujan Kabupaten Paser

No.	Tahun	Data Pos Hujan Kabupaten Paser			
		Pos Muara Lambakan	Pos Prilolo	Pos Pasang Pangrapat	Curah hujan (Aritmatika)
1	2016	493.17	93.50	132.20	239.62
2	2017	411.00	50.30	90.64	183.98
3	2018	93.00	50.40	48.09	63.83
4	2019	80.60	134.95	180.00	131.85
5	2020	998.00	102.03	160.80	420.28
6	2021	153.00	60.40	64.80	92.73
7	2022	118.50	45.60	49.10	71.07
8	2023	97.00	35.65	37.40	56.68
9	2024	75.50	33.47	37.20	48.72
10	2025	95.00	36.87	39.40	57.09

Dalam penelitian ini penentuan hujan kawasan menggunakan metode aritmatika (metode pembagian rata-rata) dikarenakan pos hujan tidak bersinggungan dengan *catchment area*(Zhang et al., 2011).



Gambar 4. Catchment Area dan Pos Hujan

3.3 Analisis Frekuensi Curah Hujan

Di bawah ini disajikan hasil dari analisa frekuensi curah hujan, dimana Metode Log Pearson III diterima dengan periode ulang 75 tahun curah hujan rencana sebesar 742,29 mm (Yue & Wang, 2002).

Tabel 2. Hasil Uji Analisa Frekuensi Curah Hujan

No.	Jenis Distribusi	Syarat	Hasil Perhitungan	Kesimpulan
1	Gumbel	$C_s \leq 1.1306$ $C_k \leq 5.40$	1.8254 6.9459	Tidak Memenuhi Tidak Memenuhi
2	Log Normal	$C_s = C_v^3 + 3C_v$ $C_k = C_v^8 + 6C_v^6 + 15C_v^4 + 16C_v^2 + 3$	3.2363 26.0977	Tidak Memenuhi Tidak Memenuhi
3	Normal	$C_s = 0$ $C_k = 3$	1.8254 6.9459	Tidak Memenuhi Tidak Memenuhi
4	Log Person Tipe III	Selain dari nilai diatas/flexibel $C_s = \text{Tanpa Kriteria}$ $C_k = \text{Tanpa Kriteria}$		Memenuhi

Tabel 3. Hasil Uji Chi-Square

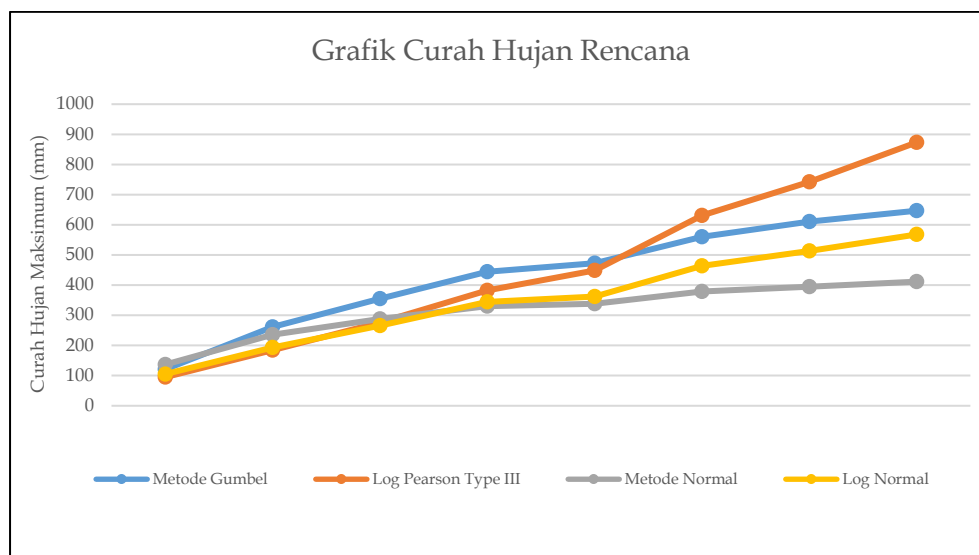
No.	Metode Distribusi	Nilai X2hitung	Nilai X2Kritis	Keterangan
1	Gumbel	7.0000	5.9910	Tidak Memenuhi
2	Normal	11.0000	5.9910	Tidak Memenuhi
3	Log Normal	1.0000	5.9910	Memenuhi
4	Log Pearson Tipe III	4.0000	5.9910	Memenuhi

Tabel 4. Hasil Uji Smirnov Kolmogorof

No.	Metode Distribusi	$\Delta_{\text{terhitung}}$	Δ_{kritis}	Keterangan
1	Gumbel	0.200	0.4090	Memenuhi
2	Normal	0.209	0.4090	Memenuhi
3	Log Normal	0.176	0.4090	Memenuhi
4	Log Pearson Tipe III	0.122	0.4090	Memenuhi

Tabel 5. Rekapitulasi Curah Hujan Rencana

Periode Ulang	Metode			
	Gumbel	Normal	Log Normal	Log Pearson III
2	120.63	136.59	104.94	94.83
5	261.49	235.70	192.91	183.98
10	354.75	287.62	265.36	276.65
20	444.20	330.09	344.47	382.00
25	472.58	338.16	361.96	448.88
50	560.00	378.47	463.66	630.98
75	610.80	394.99	513.18	742.29
100	646.77	411.51	567.98	873.24



Gambar 5. Grafik Curah Hujan Rencana

3.4 Debit Banjir Rencana

Di bawah ini disajikan hasil perhitungan dan perbandingan nilai debit banjir rencana antar beberapa metode. Terlihat bahwa debit banjir rencana yang digunakan adalah metode HSS-Gamma I, karena metode Rasional terlalu melebihkan debit yang terjadi yang disebabkan oleh asumsi terhadap curah hujan yang seragam diseluruh daerah (Chen et al., 2019; Smith et al., 2018; Zhang et al., 2011).

Tabel 6. Rekapitulasi Debit Banjir Rencana

Periode Ulang (T)	Metode Debit Banjir Rencana (m ³ /dtk)				
	Rasional	Weduwen	Haspers	HSS-Gamma I	HSS-Nakayasu
2	212.60	68.65	176.84	207.36	163.38
5	412.47	165.18	343.08	402.30	316.98
10	620.25	289.01	515.91	604.95	476.65
20	856.44	451.61	712.37	835.32	658.17
25	1006.39	563.88	837.09	981.56	773.40
50	1414.65	896.12	1176.67	1379.76	1087.15
75	1664.20	1113.81	1384.24	1623.15	1278.93
100	1957.78	1379.90	1628.43	1909.49	1504.54

3.5 Analisis Hidrolika

Menggunakan debit banjir rencana HSS-Gamma I periode ulang 75 tahun 1.623,15 m³/detik, dihitung muka air banjir (MAB) dengan rumus manning dengan pendekatan penampang sungai adalah trapesium dan parameter sungai sebagai berikut:

Q_{75}	= 1.623,15 m ³ /detik
n	= 0,03 (saluran alam)
b	= 13,86 m
z	= 1,27
El. hulu	= +40,195 m
El. hilir	= +40,063 m
Panjang saluran	= 30 m

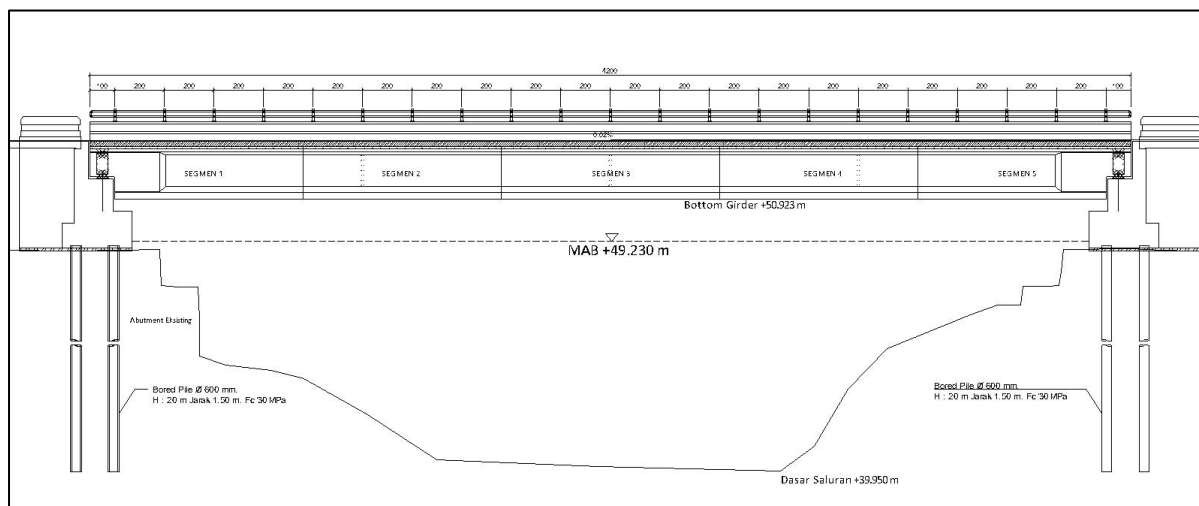
$$s = 0,0044$$

Dengan melakukan perhitungan iterasi dengan persamaan $f(y) = cP - A^{2,5}$ dan nilai $c = 19.889,888$, maka tinggi muka air yang didapatkan adalah $y = 9,28$ m.

Tabel 7. Rekapitulasi Tinggi Muka Air Banjir

Metode	Debit 75 (Q) m ³ /dtk	b(m)	z	n	s	c	Tinggi Muka Air (y)	A	P	f(y)
Rasional	1664.20	13.86	1.27	0.03	0.0044	20649.15	9.39	242.23	44.23	0.00
Weduwen	1113.81	13.86	1.27	0.03	0.0044	11305.95	7.65	180.25	38.58	0.00
Haspers	1384.24	13.86	1.27	0.03	0.0044	15664.3	8.55	211.46	41.51	0.00
HSS- Gamma I	1623.15	13.86	1.27	0.03	0.0044	19889.89	9.28	237.81	43.85	0.00
HSS- Nakayasu	1278.93	13.86	1.27	0.03	0.0044	13911.08	8.21	199.50	40.41	0.00

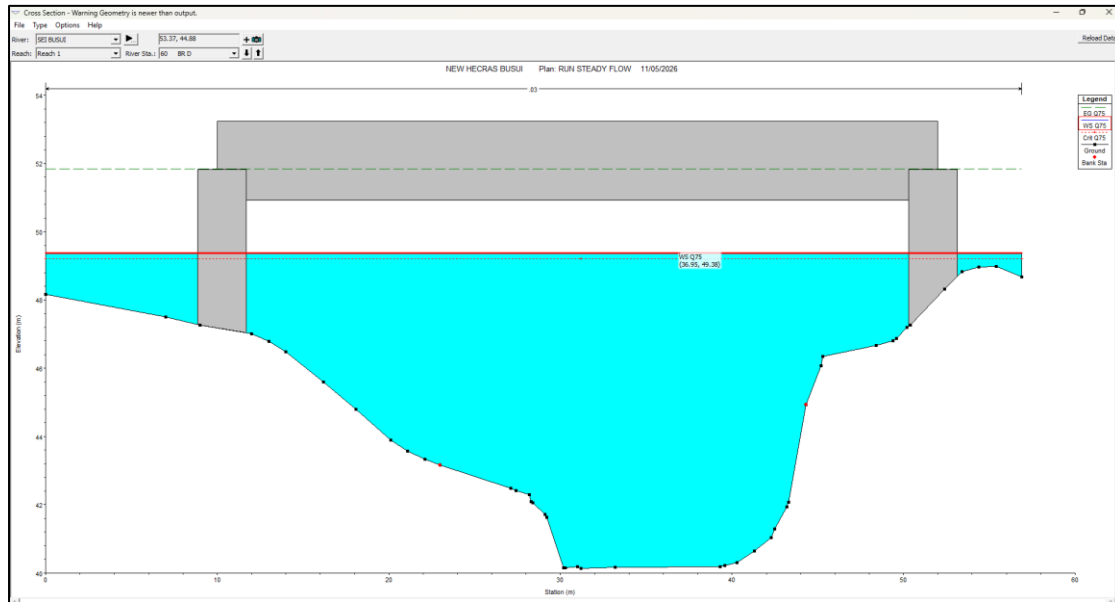
Pada penelitian ini elevasi MAB yang terjadi berada pada posisi +49,23 m. *Bottom* girder jembatan rencana berada pada elevasi +50,923 m, maka hal ini masih memenuhi syarat tinggi jagaan (*freeboard*) jembatan yaitu minimal 1,00/1,50 m (sungai pembawa hanyutan), *freeboard* yang tersedia adalah 1,693 m.



Gambar 6. Tinggi MAB pada Rencana Jembatan Sei Busui

3.6 Modelling Software HEC-RAS

Hasil penelitian di atas divalidasi dengan melakukan *modelling* dengan *software* HEC-RAS dengan memasukkan data karakteristik sungai dan jembatan sesuai dengan perhitungan di atas, dianalisis dengan menggunakan *steady flow analysis*. Terlihat hasil *modelling* menunjukkan ketinggian air berada pada elevasi +49,38 m. Hal ini membuktikan bahwa elevasi rencana jembatan masih terbilang aman terhadap banjir rencana periode ulang 75 tahun dan tinggi jagaan rencana (Klemeš, 1986; Singh, 1992; Zhao, 1992).



Gambar 7. Modelling Jembatan Sei Busui dengan HEC-RAS

3.7 Diskusi

Validitas distribusi Log Pearson Tipe III selaras dengan pedoman Indonesia (of Public Works & Housing, 2018) dan praktik terbaik global ((WMO), 2008). Keunggulan HSS-Gamma I berasal dari integrasinya terhadap parameter spesifik daerah aliran sungai (kemiringan, penggunaan lahan), yang mengurangi ketidakpastian (Soemarto, 1986). Estimasi berlebihan dari metode Rasional menggaris bawahi perlunya pendekatan spesifik konteks di wilayah dengan keterbatasan data (Chen et al., 2019; Singh, 1992; Zhang et al., 2011).

Kecukupan ruang bebas memastikan ketahanan, tetapi proyeksi iklim menunjukkan peningkatan curah hujan ekstrem sebesar 15–20% pada tahun 2050 (Chen et al., 2019). Pekerjaan di masa mendatang harus menggabungkan perubahan penggunaan lahan yang dinamis dan model iklim probabilistik.

4. Kesimpulan

Analisis hidrologi untuk Jembatan Sei Busui Batuaji-Kuaro ini menunjukkan peran penting metode spesifik wilayah dalam desain infrastruktur. Temuan utama meliputi:

1. Distribusi Log Pearson Tipe III paling sesuai dengan data curah hujan, dengan curah hujan rencana 75 tahun sebesar 742,293 mm;
2. Metode HSS-Gamma I menghasilkan debit banjir yang paling realistis (1.623,15 m³/detik untuk periode ulang 75 tahun);
3. Desain jembatan memastikan tinggi jagaan (*freeboard*) sebesar 1,693 m, memenuhi standar keselamatan.

Rekomendasi:

- Terapkan pemantauan data curah hujan dan sungai secara *real-time*;
- Perbarui model hidrologi setiap lima tahun untuk memperhitungkan perubahan iklim;
- Standardisasi HSS-Gamma I untuk proyek serupa di Kalimantan Timur.

Penelitian ini menyediakan *template* untuk desain jembatan tahan banjir di wilayah tropis, menyeimbangkan ketelitian teknis dengan penerapan praktis.

Ucapan Terimakasih

Penulis mengucapkan puji dan syukur kepada Tuhan Yang Maha Esa atas segala rahmat dan karunia-Nya sehingga penelitian dan penulisan jurnal yang berjudul “Hydrological Simulation Analysis for The Design of The Sei Busui Batuaji-Kuaro Bridge in East Kalimantan, Indonesia” dapat diselesaikan dengan baik. Penulis menyampaikan ucapan terima kasih yang tulus kepada Coreteam P2JN BBPJN Kaltim atas dukungan data, akses teknis, dan komitmen dalam pengembangan dunia hidrologi di Balikpapan

Daftar Pustaka

- Chen, J., Zhang, Q., & Singh, V. P. (2019). The role of climate change in the frequency of extreme rainfall in Indonesia. *Journal of Hydrology*, 571, 631–642. <https://doi.org/10.1016/j.jhydrol.2019.02.046>
- Jones, R. T., & Patel, A. (2020). Cost implications of overdesign in infrastructure projects. *Journal of Infrastructure Systems*, 26(3), 4020019. [https://doi.org/10.1061/\(ASCE\)IS.1943-555X.0000525](https://doi.org/10.1061/(ASCE)IS.1943-555X.0000525)
- Kirono, D. C., & Hennessy, K. (2013). Changes in extreme rainfall in the south-west of Western Australia. *Australian Meteorological and Oceanographic Journal*, 63, 173–184.
- Kirpich, Z. P. (1940). Time of concentration of small agricultural watersheds. *Civil Engineering*, 10(6), 362.
- Klemeš, V. (1986). Operational testing of hydrological simulation models. *Hydrological Sciences Journal*, 31(3), 433–442. <https://doi.org/10.1080/02626668609491052>
- Linsley, R. K., Kohler, M. A., & Paulhus, J. L. H. (1982). *Hydrology for Engineers*. McGraw-Hill.
- Nations, U. (2015). *Sendai Framework for Disaster Risk Reduction 2015-2030*.
- of Highways, D. G. (2016). *Guidelines for Hydrological Analysis for Bridge Design*.
- of Public Works, M., & Housing. (2018). *Technical Guidelines for Bridge Design in Indonesia*.
- on Climate Change (IPCC), I. P. (2021). *Climate Change 2021: The Physical Science Basis*. Cambridge University Press.
- Ponce, V. M. (1989). *Engineering Hydrology: Principles and Practices*. Prentice Hall.
- Singh, V. P. (1992). *Hydrologic Systems: Rainfall-Runoff Modeling*. Prentice Hall.
- Smith, J. A., Baeck, M. L., Meierdiercks, K. J., Nelson, P. A., & Miller, A. J. (2018). Urban flooding in the United States: A new challenge. *Journal of Hydrologic Engineering*, 23(7), 4018019. [https://doi.org/10.1061/\(ASCE\)HE.1943-5584.0001626](https://doi.org/10.1061/(ASCE)HE.1943-5584.0001626)
- Soemarto, C. D. (1986). *Hidrologi Teknik*. Usaha Nasional.
- Subramanya, K. (2015). *Engineering Hydrology*. McGraw-Hill Education.
- Triatmodjo, B. (2009). *Hidrologi Terapan*. Beta Offset. .
- (WMO), W. M. O. (2008). *Guide to Hydrological Practices*.
- Yue, S., & Wang, C. Y. (2002). A comparison of the power of the t test, Mann-Kendall test and bootstrap test for detecting trends. *Canadian Water Resources Journal*, 27(4), 503–529. <https://doi.org/10.4296/cwrj2002485>
- Zhang, Q., Singh, V. P., Li, J., Jiang, F., & Bai, P. (2011). Regionalization of low flow based on multiple catchment characteristics. *Journal of Hydrologic Engineering*, 16(10), 825–835. [https://doi.org/10.1061/\(ASCE\)HE.1943-5584.0000371](https://doi.org/10.1061/(ASCE)HE.1943-5584.0000371)

Zhao, R. J. (1992). The Xinanjiang model applied in China. *Journal of Hydrology*, 135(1–4), 371–381. [https://doi.org/10.1016/0022-1694\(92\)90096-B](https://doi.org/10.1016/0022-1694(92)90096-B)



This work is licensed under a Creative Commons Attribution Non-Commercial 4.0 International License
