

INTEGRASI SIG, PEMODELAN HIDROLOGI, DAN PEMODELAN HIDRAULIKA UNTUK PENENTUAN ELEVASI MUKA AIR BANJIR

Nomeritae

Jurusan/Program Studi Teknik Sipil, Fakultas Teknik, Universitas Palangka Raya
Jln. Hendrik Timang, Palangka Raya, e-mail: nomeritae@jts.upr.ac.id

Stephanus Alexsander

Jurusan/Program Studi Teknik Sipil, Fakultas Teknik, Universitas Palangka Raya
Jln. Hendrik Timang, Palangka Raya, e-mail: stephanusalexsander@gmail.com

Hendro Suyanto

Jurusan/Program Studi Teknik Sipil, Fakultas Teknik, Universitas Palangka Raya
Jln. Hendrik Timang, Palangka Raya, e-mail: hendrosuyanto@jts.upr.ac.id

Yustinus Hendra Wiryanto

Jurusan/Program Studi Teknik Pertambangan, Fakultas Teknik, Universitas Palangka Raya
Jln. Hendrik Timang, Palangka Raya, e-mail: yustinushw@mining.upr.ac.id

Abstract: *This study aims to determine the flood water level (MAB) in the planning stage of river transverse structures (eg. bridges) by integrating Geographic Information Systems (GIS), hydrological and hydraulic models. GIS plays a role in the analysis of Catchment Area (CA), topography, river geometry, and determining the type and class of soil used as input in hydrological and hydraulic models. Transformation of rain into flow in hydrological analysis uses HEC-HMS, while analysis of flow profiles uses 2D HEC-RAS. There were 4 (four) bridge points planned as CA outlets in the CA delineation analysis. The peak magnitudes of the 50 year of return period floods for each bridge outlet 1, 2, 3 and 4 are 91.95 m³/s, 59.98 m³/s, 10.28 m³/s and 6.96 m³/s respectively. Hydraulic analysis shows that although the left and right cliffs around the bridge are overflowed, the MAB elevation with a return period of 50 years is still below the existing bridge floor.*

Keywords: *Geographic Information System, HEC-HMS, HEC-RAS.*

Abstrak: Penelitian ini bertujuan untuk menentukan elevasi Muka Air Banjir (MAB) dalam tahap perencanaan struktur melintang sungai (misalnya jembatan) dengan mengintegrasikan Sistem Informasi Geografis (SIG), model hidrologi dan model hidraulika. SIG berperan dalam analisis *Catchment Area* (CA), topografi, geometri sungai, serta penentuan tipe dan kelas tanah yang digunakan sebagai input dalam model hidrologi dan hidraulika. Pengalihragaman hujan menjadi aliran dalam analisis hidrologi menggunakan HEC-HMS, sedangkan analisis profil aliran menggunakan HEC-RAS 2D. Terdapat 4 (empat) titik jembatan yang direncanakan sebagai outlet CA dalam analisis delineasi CA. Besaran puncak banjir kala ulang 50 tahun untuk masing-masing outlet jembatan 1, 2, 3, dan 4 berturut-turut adalah 91.95 m³/s, 59.98 m³/s, 10.28 m³/s, dan 6.96 m³/s. Analisis hidraulika menunjukkan bahwa meskipun tebing kiri dan kanan sekitar jembatan terluapi, elevasi MAB dengan kala ulang 50 tahun masih berada di bawah lantai jembatan yang ada.

Kata Kunci: Sistem Informasi Geografis, HEC-HMS, HEC-RAS.

PENDAHULUAN

Peningkatan arus barang dan jasa melalui moda darat menuntut pula peningkatan kualitas dan kuantitas jalan serta jembatan. Dalam perencanaan struktur jembatan, dilakukan proses pengumpulan data, evaluasi data, kemudian dilanjutkan dengan analisis data. Analisis data yang dilakukan bertujuan untuk menentukan tipe, bentang, lebar jembatan, elevasi lantai jembatan rencana, dan bangunan penunjang lain.

Dalam penentuan elevasi lantai jembatan rencana, diperlukan informasi elevasi Muka Air Banjir (MAB). Jika tidak dimiliki data elevasi MAB yang cukup panjang termasuk MAB tertinggi, maka elevasi MAB dapat ditentukan melalui analisis hidrologi dan hidraulika berdasarkan besaran debit rancangan untuk kala ulang tertentu.

Input dalam analisis hidrologi serta hidraulika diantaranya adalah hasil analisis kondisi fisik daerah tangkapan (*catchment area* (CA)) dari hulu hingga outlet di bagian hilir serta kondisi fisik sungai/geometri sungai. Untuk analisis kondisi fisik tersebut dapat dihasilkan dengan bantuan Sistem Informasi Geografis (SIG).

Pengintegrasian SIG, pemodelan hidrologi dan hidraulika dalam penelitian ini bertujuan untuk:

1. Menganalisis besaran debit banjir dengan kala ulang 50 tahun.
2. Menganalisis tinggi Muka Air Banjir pada masing-masing lokasi penelitian dan membandingkannya dengan elevasi lantai jembatan yang ada pada lokasi penelitian.

TINJAUAN PUSTAKA

Sistem Informasi Geografis

Sistem informasi geografis menurut Murai (1999) adalah suatu sistem informasi yang berfungsi untuk memasukan, menyimpan, membuka kembali, memproses, menganalisis, dan menghasilkan data geografis, untuk memudahkan pengambilan keputusan dalam perencanaan dan pengaturan penggunaan lahan, lingkungan, transportasi, sumber daya alam, sarana kota, dan fasilitas umum lainnya (Murai, 1999).

Adapun menurut Bernhardsen (2002), SIG digambarkan sebagai sistem komputer yang dimanfaatkan untuk memanipulasi data geografi. Sistem ini diterapkan menggunakan perangkat keras dan perangkat lunak komputer yang gunanya yaitu memasukan dan memvalidasi data, mengumpulkan data, menyimpan data, menyunting dan memperbaharui data, mengolah dan pertukaran data, manipulasi data, membuka kembali dan penyajian data serta analisis data (Bernhardsen, 2002).

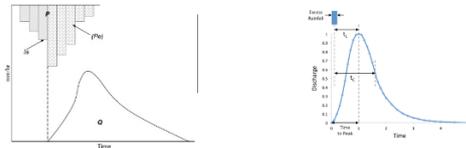
Model Hidrologi

Model hidrologi adalah sebuah sajian sederhana (*simple representation*) dari sebuah sistem hidrologi yang kompleks. Suatu model hidrologi diperlukan untuk memodelkan kondisi atmosferik suatu daerah aliran yang kompleks dalam bentuk jaringan aliran. Daerah aliran (*watershed* atau *catchment area*) adalah daerah yang menyediakan sebuah sistem sungai dan *reservoir*.

Hydrologic Engineering Center's Hydrologic Modeling System (HEC-HMS) adalah model matematika numeris yang dikemas dalam paket program komputer, yang terdiri dari sejumlah metode untuk mensimulasikan *watershed*, saluran, dan perilaku bangunan air (*water control structure*). Model ini dikembangkan oleh *US Army Corps of Engineers Institute for Water Resources* dengan tujuan untuk memprediksi ke-luaran dari suatu sistem DAS.

Metode Perhitungan Volume Limpasan Volume limpasan (*Volume run-off*) adalah volume air hujan yang dikurangi volume air yang terintersepsi, terinfiltrasi, tertampung pada permukaan, dan ter-evapotranspirasi (U.S. Army Corps of Engineers, 2022). Limpasan merupakan bagian air yang berada di permukaan yang terdiri dari empat unsur yaitu tahanan permukaan (*surface detention*), tampungan-cekungan (*surface storage*), aliran limpasan (*overland flow*) dan limpasan permukaan (*surface run off*). Untuk penentuan *precipitation loss* dan *precipitation excess* pada penelitian ini adalah dengan menggunakan metode SCS (*Soil Conservation Service*) *Curve Number* (CN) yang dianggap paling mudah diaplikasikan dalam perhitungan. Model dari *Soil Conservation Service* (SCS) *Curve Number* (CN) memperkirakan hujan lebihan atau hujan yang menghasilkan limpasan (*precipitation excess*)

sebagai suatu fungsi kumulatif dari hujan, tata guna lahan, dan kelembapan (*antecedent moisture*).



Gambar 1. Ilustrasi Volume limpasan

$$Pe = \frac{(P-Ia)^2}{P-Ia-S} \quad (1)$$

$$Ia = 0,2 S \quad (2)$$

Keterangan:

Pe = Hujan efektif kumulatif pada waktu t

P = Kedalaman hujan kumulatif pada waktu t

Ia = Kehilangan mula-mula (*initial abstraction*)

S = Kemampuan penyimpanan maksimum (mm)

Initial Abstraction merupakan semua air kehilangan sebelum terjadinya limpasan langsung dimulai. Kejadian ini meliputi air yang ditahan oleh tekanan permukaan, air yang diintersepsi oleh tumbuh-tumbuhan, penguapan dan infiltrasi. Nilai *Initial Abstraction* sangat variabel tetapi biasanya dihubungkan dengan lahan dan parameter tertutup. Dari beberapa hasil analisis dari pengujian daerah aliran sungai, metode SCS menghasilkan rumus empiris hubungan antara *Ia* dan *S*.

$$S = \left(\frac{25400}{CN} \right) - 254 \quad (3)$$

Keterangan:

S = Nilai retensi maksimum (mm)

CN = *Curve Number*

Nilai CN (*Curve Number*) bervariasi dari 100 (untuk permukaan yang digenangi air hingga sekitar 30 untuk permukaan tak kedap air dengan laju infiltrasi tinggi. Nilai CN dari DAS diperkirakan sebagai suatu fungsi dari tataguna lahan, tipe tanah, tanaman penutup, kelembapan. Untuk DAS yang terdiri dari beberapa tipe tanah dan tataguna lahan maka nilai CN adalah $CN_{composite}$:

$$CN_{composite} = \frac{\sum Ai \times CNi}{\sum Ai} \quad (4)$$

Keterangan:

$CN_{composite}$ = CN (nilai penggunaan lahan) komposit

i = Indeks untuk sub DAS yang mempunyai tata guna lahan yang sama

Ai = Luas daerah sub DAS (km²)

Analisis Hidraulika

Aplikasi HEC-RAS menggunakan beberapa persamaan dalam pengoperasiannya, diantaranya:

a. Persamaan Energi

Jumlah energi aliran langgeng tiap satuan berat dalam suatu aliran seragam maupun tak seragam dengan tampang saluran terbuka dengan kemiringan dasar kecil adalah sama dengan jumlah tinggi letak saluran, tinggi tekanan, dan tinggi kecepatan dalam satuan meter yang dihitung dari suatu bidang datum tertentu (Kamiana, Hidraulika Teknik Perhitungan Pada Aliran Terbuka dan Tertutup, 2018)

Secara matematis, pengertian diatas ditulis seperti berikut (Istiarto, 2014):

$$H = z + h + \alpha \frac{V^2}{2g} \quad (5)$$

Keterangan:

H = jumlah energi (m)

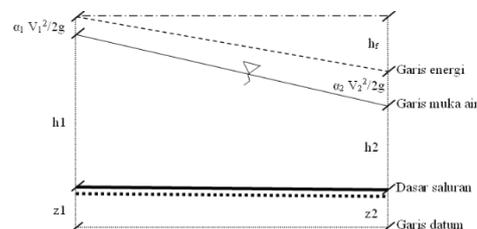
z = tinggi letak saluran (m)

h = tinggi tekanan atau kedalaman aliran (m)

$\alpha \frac{V^2}{2g}$ = tinggi kecepatan (m)

V = kecepatan aliran rata-rata tampang (m/dt)

α = koefisien pembagian kecepatan; disebut koefisien energi atau koefisien Coriolis



Gambar 2. Tinggi Energi Aliran Seragam dan Tidak Seragam pada Saluran Terbuka dengan Kemiringan Dasar Kecil

Berdasarkan hukum kekekalan energi, jumlah energi pada penampang 1 adalah sama dengan tinggi energi di penampang 2 ditambah kehilangan

energi (h_f). Persamaan energi antara 2 tampang yakni:

$$h_1 + z_1 + \frac{\alpha_1 V_1^2}{2g} = h_2 + z_2 + \frac{\alpha_2 V_2^2}{2g} + h_f \quad (6)$$

Keterangan:

h_1, h_2 = Tinggi Kedalaman pada cross-section 1 dan 2

z_1, z_2 = Elevasi dasar saluran pada cross-section 1 dan 2

α_1, α_2 = Koefisien kecepatan

g = Gravitasi

h_f = Kehilangan energi

Jika $\alpha_1 = \alpha_2 = 1$, dan $h_f = 0$, maka persamaan di atas menjadi persamaan Bernoulli, yaitu:

$$h_1 + z_1 + \frac{V_1^2}{2g} = h_2 + z_2 + \frac{V_2^2}{2g} = \text{tetap} \quad (6)$$

Kehilangan energi (h_f) yang terjadi di antara 2 cross-section diakibatkan oleh gesekan, penyempitan atau pelebaran. Adapun persamaan dari kehilangan energi yaitu:

$$h_f = L \cdot \bar{S}_f + c \left[\frac{\alpha_2 \cdot V_2^2}{2g} - \frac{\alpha_1 \cdot V_1^2}{2g} \right] \quad (7)$$

Keterangan:

L = Panjang bidang gesekan dari 2 titik pengamatan

\bar{S}_f = Kemiringan rata-rata dasar saluran antara cross-section

C = Koefisien kehilangan akibat penyempitan dan pelebaran

L dihitung dengan

$$L = \frac{L_{lob} \cdot \bar{Q}_{lob} + L_{ch} \cdot \bar{Q}_{ch} + L_{rob} \cdot \bar{Q}_{rob}}{\bar{Q}_{lob} + \bar{Q}_{ch} + \bar{Q}_{rob}} \quad (8)$$

Keterangan:

L_{lob}, L_{ch}, L_{rob} = Panjang bidang gesekan antara 2 cross-section untuk aliran di sebelah kiri tanggul, tengah saluran dan kanan tanggul.

$\bar{Q}_{lob}, \bar{Q}_{ch}, \bar{Q}_{rob}$ = Debit aliran di bagian kiri tanggul, tengah saluran dan kanan tanggul.

b. Persamaan Perhitungan Debit pada Cross-Section

Pada sebuah *cross-section*, penetapan nilai debit total dan koefisien kecepatan memerlukan pemecahan aliran menjadi bagian-bagian yang dikarenakan kecepatan aliran tidak terbagi merata. HEC-RAS memanfaatkan pendekatan berupa pembagian area di wilayah tanggul dengan menggunakan batasan-batasan nilai-nilai n pada *cross-section* tersebut (lokasi dimana nilai n berubah) sebagai dasar pembagian. Dipakai rumus Manning untuk menghitung debit di masing-masing sub-sub bagian area wilayah tanggul, yaitu sebagai berikut.

$$Q = K \cdot S_f^{1/2} \quad (9)$$

$$K = \frac{1,486}{n} \cdot A \cdot R^{2/3} \quad (10)$$

Dimana:

K = Koefisien pengaliran untuk sub-sub area

n = Koefisien kekasaran Manning untuk sub-sub area

A = Luas penampang basah (*cross-section*) sub-sub area

R = Radius hidraulik untuk sub-sub area

METODE PENELITIAN

Lokasi Penelitian

Lokasi penelitian adalah berada pada di Dusun Tanjung Kalanis, Desa Tumbang Muroi, Kecamatan Mantangai, Kabupaten Kapuas Provinsi Kalimantan Tengah. Di wilayah administratif dusun tersebut terdapat jalan yang merupakan jalan perusahaan PT. Tempirai Inti Energi. Terdapat 4 rencana jembatan yang akan dibangun di atas tanggul yang ada di sepanjang jalan tersebut yang menghubungkan antara jalan nasional dan Sungai Kapuas (Gambar 3).

Tabel 1. Koordinat Jembatan

No	Jembatan	X	Y
1	Jembatan 4	114.537963	-1.81739
2	Jembatan 3	114.536298	-1.86515
3	Jembatan 2	114.45038	-2.03332
4	Jembatan 1	114.448983	-2.07446



Gambar 3. Lokasi Penelitian dan Posisi Jembatan

Tahapan Penelitian

Penelitian ini secara umum dilakukan secara bertahap, yaitu :

1. Pengumpulan Data
2. Analisis SIH
3. Analisis Hidrologi
4. Analisis Hidraulika
5. Kesimpulan dan saran

Data yang dikumpulkan terdiri atas data primer (melalui pengukuran topografi) dan data sekunder (data luas wilayah dan data curah hujan). Data primer yang dikumpulkan meliputi topografi lahan dan sungai. Data sekunder menggunakan data yang diunduh dari data satelit dan sumber data spasial dari instansi terkait.

Dalam penelitian ini akan dilakukan 2 (dua) tahap permodelan yaitu model transformasi hujan menjadi aliran dengan HEC-HMS dan model aliran dengan HEC-RAS. Analisis SIG dibantu oleh perangkat lunak ArcGIS dan Surfer.

Analisis hidrologi meliputi analisis data curah hujan hingga diperoleh besaran intensitas hujan. Adapun tahap-tahap analisis data sekunder sebagai berikut:

a) Perhitungan Curah Hujan Wilayah

Setelah dilakukan pengujian data curah hujan selanjutnya data curah hujan digunakan untuk perhitungan curah hujan wilayah. Dalam perhitungan curah hujan wilayah ada beberapa metode yang dapat digunakan yaitu metode rata-rata aritmatik, metode garis isohyet, dan metode poligon thiessen.

b) Perhitungan Curah Hujan Rencana

Perhitungan curah hujan rencana menggunakan metode analisa Distribusi Probabilitas Gumbel, Distribusi Probabilitas Normal, Distribusi Probabilitas Log Normal,

dan Distribusi Probabilitas Log Person Type III.

c) Pengujian Distribusi Probabilitas Curah Hujan Rencana

Uji kesesuaian distribusi dilakukan dengan dua cara yaitu uji Chi-Kuadrat dan uji Smirnov-Kolmogorov sehingga dapat ditentukan distribusi probabilitas mana yang akan dipilih.

d) Perhitungan Distribusi Hujan

e) Transformasi hujan menjadi aliran dengan HEC-HMS metode SCS-Curve Number.

Analisis hidraulika dengan menggunakan HEC-RAS meliputi langkah-langkah sebagai berikut:

- a) Inport data spasial dengan menggunakan RAS Mapper.
- b) Pembuatan Data Geometri
- c) Input data Boundary Conditions untuk unsteady flow data
- d) Melakukan simulasi profil aliran 2D
- e) Penyajian Data.

HASIL DAN PEMBAHASAN

Analisis Hidrologi

Data Hujan

Data hujan sebagai input dalam analisis hidrologi merupakan data hujan hasil ekstrak data dari pengamatan satelit bumi NASA yaitu *Global Precipitation Measuring (GPM)* melalui tautan: <https://giovanni.gsfc.nasa.gov/> dengan pemilihan metode *Time Series-Area Averaged*. Data curah hujan yang diekstrak merupakan data hujan harian dengan metode *Area-Averaged of Near-Real-Time Precipitation Rate*. Hujan harian maksimum per bulan kemudian diidentifikasi dan direkapitulasi dengan panjang data 10 tahun (2012-2021) seperti pada Tabel berikut.

Tabel 2. Rekapitulasi Data Curah Hujan Harian Maksimum Tahunan Daerah Klanis

Bulan	Data Curah Hujan Harian Maksimum Tahunan (mm)									
	2012	2013	2014	2015	2016	2017	2018	2019	2020	2021
Januari	44.47	26.71	28.25	38.41	37.81	54.25	47.62	52.03	54.36	47.56
Februari	30.51	85.75	41.37	42.58	53.00	42.28	59.66	39.04	48.42	39.55
Maret	77.57	37.17	43.50	54.09	40.78	55.79	44.15	54.46	43.75	52.51
April	46.67	62.00	47.46	30.08	45.72	37.64	42.04	31.02	36.25	29.38
Mei	52.46	30.67	30.96	56.23	39.55	41.26	33.16	13.34	32.82	38.11
Juni	50.58	21.21	59.10	21.72	57.00	27.23	21.54	24.03	37.20	26.98
Juli	36.75	39.92	12.54	5.46	11.81	34.38	16.90	8.94	38.04	19.71
Agustus	19.15	26.96	23.74	8.83	32.68	35.02	15.79	22.94	37.61	24.56
September	25.63	18.38	18.12	1.55	32.41	18.08	8.40	14.13	23.64	28.59
Oktober	42.92	20.75	22.92	19.41	40.57	21.71	31.84	20.78	68.63	67.53
November	34.30	36.14	20.46	39.36	67.23	42.25	37.96	15.25	36.15	69.45
Desember	42.33	43.29	36.06	50.77	25.60	45.73	35.74	62.12	31.45	53.35
Hujan Maksimum (mm)	77.57	85.75	59.10	56.23	67.23	55.79	59.66	62.12	68.63	69.45

Sumber: <https://giovanni.gsfc.nasa.gov/>

Ekstraksi data dengan metode *area-averaged* mempresentasikan curah hujan wilayah merata wilayah studi, sehingga data hujan merata wilayah adalah sebagai berikut:

Tabel 3. Curah Hujan Maksimum Rerata Kelanis

No	Tahun	Curah Hujan (mm)
1	2012	77.57
2	2013	85.75
3	2014	59.10
4	2015	56.23
5	2016	67.23
6	2017	55.79
7	2018	59.66
8	2019	62.12
9	2020	68.63
10	2021	69.45

Analisis Distribusi Hujan Rancangan

Data hujan yang telah diperoleh selanjutnya dianalisis dengan menggunakan analisis frekuensi data hujan (pemilihan data menggunakan annual maximum series). Analisis frekuensi hujan antara lain adalah dengan menggunakan distribusi probabilitas Normal, Log Normal, Gumbel, dan Log Pearson II.

Tabel 4. Hujan Rancangan untuk Beberapa Kala Ulang (mm)

T Kala-Ulang	Karakteristik Hujan (mm) Menurut Probabilitasnya							
	NORMAL		LOG-NORMAL		GUMBEL		LOG-PEARSON III	
	XT	KT	XT	KT	XT	KT	XT	KT
10.	78.58	1.28	78.52	1.27	78.80	1.30	79.07	1.33
20.	82.11	1.64	82.64	1.70	84.25	1.87	84.73	1.82
50.	86.07	2.05	87.54	2.21	91.29	2.59	92.16	2.42
100.	88.71	2.33	90.97	2.56	96.57	3.14	97.86	2.85

Untuk mengetahui apakah data hujan harian maksimum benar sesuai dengan jenis sebaran teoritis yang dipilih, maka perlu dilakukan pengujian lebih lanjut. Untuk keperluan analisis uji kesesuaian dipakai dua metode statistik, yaitu Metode Chi-Kuadrat dan Metode Smirnov-Kolmogorov.

Menurut uji Chi_kuadrat, distribusi yang terbaik adalah Normal dengan nilai Chi_Kritik 5,991 dan nilai Chi-Kuadrat 1,000. Sedangkan menurut uji Smirnov-Kolmogorov, distribusi yang terbaik

adalah Log Pearson III. Dalam analisis ini digunakan distribusi Log Pearson III untuk penentuan besaran hujan rancangan beberapa kala ulang.

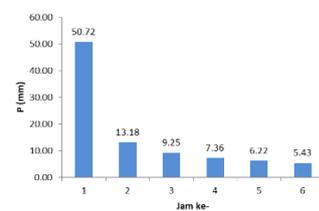
Dari data yang telah disusun dalam range tinggi hujan tersebut dipilih distribusi tinggi hujan rancangan dengan berdasarkan analisis frekuensi dan frekuensi kemunculan tertinggi pada distribusi hujan jam-jaman tertentu. Selanjutnya prosentase hujan tiap jam terhadap tinggi hujan total pada distribusi hujan ditetapkan

Pada umumnya data hujan yang tersedia pada suatu stasiun meteorologi adalah data hujan harian, artinya data yang tercatat secara kumulatif selama 24 jam. Konsentrasi sebaran hujan di Indonesia berkisar antara 4 - 12 jam. Frekuensi sebaran hujan yang dipakai adalah 6 jam.

Dalam analisis ini digunakan perhitungan debit rencana dengan kala ulang 50 tahun (Q_{50}). Diasumsikan bahwa kala ulang hujan sama dengan kala ulang debit. Besaran hujan rancangan berdasarkan analisis distribusi Log Pearson III untuk kala ulang 50 tahun (X_{50}) adalah sebesar 92.16 mm. Dengan demikian dilakukan perhitungan distribusi hujan kala ulang dengan hasil seperti pada Tabel 4 dan hyetograph hujan seperti pada Gambar 4.

Tabel 5. Distribusi hujan kala ulang 50 tahun ($X_T = 92.16$ mm)

T(jam)	ΔT (jam)	I (mm/jam)	I x ΔT (mm)	ΔP (mm)	ΔP (%)	P (mm)
1	1	31.95	31.95	31.95	55.03	50.72
2	1	20.13	40.25	8.30	14.30	13.18
3	1	15.36	46.08	5.83	10.03	9.25
4	1	12.68	50.72	4.64	7.99	7.36
5	1	10.93	54.63	3.92	6.75	6.22
6	1	9.68	58.06	3.42	5.90	5.43
Jumlah			281.69	58.06	100.00	92.16

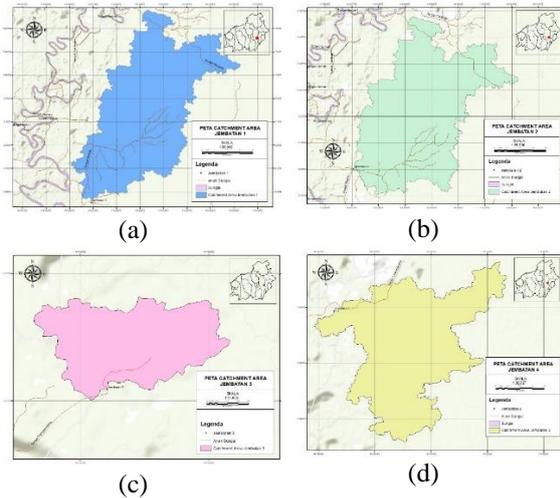


Gambar 4. Hyetograph Hujan

Catchment Area

Peta dasar berupa peta DAS bersumber dari Kementerian Lingkungan Hidup dan Kehutanan Republik Indonesia, peta jenis tanah DAS Klanis diunduh dari <https://www.hydrosheds.org/>, dan

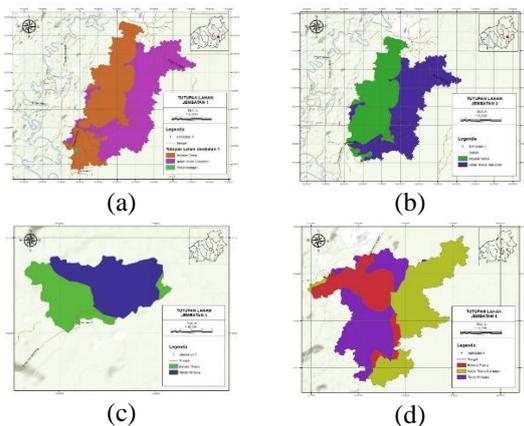
data sungai bersumber dari <https://portal.inasdi.or.id/>. Terdapat 4 titik jembatan dalam perencanaan ini, sehingga terdapat 4 (empat) outlet yang harus dilakukan delineasi DAS. Hasil delineasi ke 4 DAS tersebut adalah seperti pada gambar berikut:



Gambar 5. *Cathment Area* (a) Jembatan 1, (b) Jembatan 2, (c) Jembatan 3, dan (d) Jembatan 4.

Tutupan Lahan

Peta tutupan lahan tahun 2020 diunduh dari webgis.menlhk.go.id. Peta tutupan lahan/tata guna lahan merupakan data yang digunakan untuk mengetahui penggunaan lahan pada suatu DAS, seperti pemukiman, hutan, semak belukar, kebun, dan lain sebagainya. Tutupan lahan pada masing-masing *catchment area* dapat dilihat pada Gambar berikut.

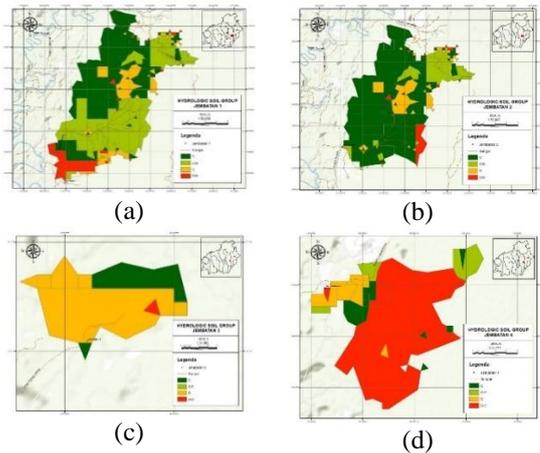


Gambar 6. Tutupan Lahan (a) Jembatan 1, (b) Jembatan 2, (c) Jembatan 3, dan (d) Jembatan 4

Jenis Tanah

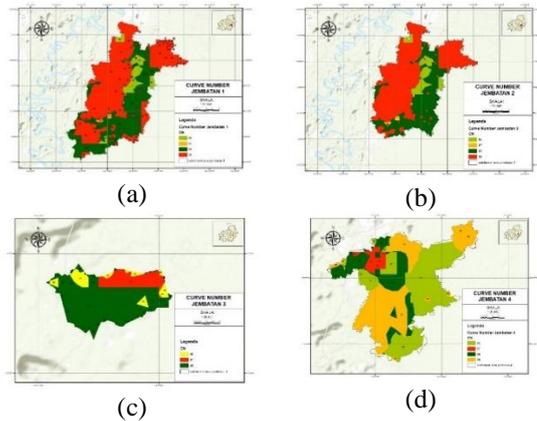
Peta jenis tanah didapat dari webgis.fao/unesco *Digital Soil Map of the World*.

Peta jenis tanah digunakan untuk mengetahui laju infiltrasi. Terdapat beberapa pengelompokan jenis tanah pada suatu DAS yaitu pasir, lempung berpasir, lempung berliat, dan sebagainya. Dari data tata guna lahan dan jenis tanah diperoleh nilai *curve number*. Selanjutnya data ini diolah menjadi pemodelan hujan debit model HEC-HMS.



Gambar 7. *Hydrologic Soil Group* (a) Jembatan 1, (b) Jembatan 2, (c) Jembatan 3, dan (d) Jembatan 4.

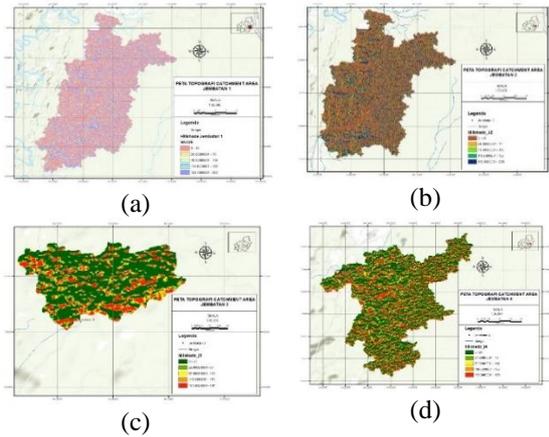
Selanjutnya dilakukan pengelompokan kelas hidrologi tanah dan tutupan lahan, sehingga diperoleh nilai *Curve Number* untuk masing-masing *catchment area* outlet jembatan 1-4.



Gambar 8. *Curve Number* (a) Jembatan 1, (b) Jembatan 2, (c) Jembatan 3, dan (d) Jembatan 4.

Topografi

Adapun topografi untuk masing-masing *catchment area* Jembatan 1 hingga Jembatan 4 diperoleh dari DEMNAS.



Gambar 9. Topografi Catchment Area (a) Jembatan 1, (b) Jembatan 2, (c) Jembatan 3, dan (d) Jembatan 4.

Simulasi Pemodelan Hujan Debit

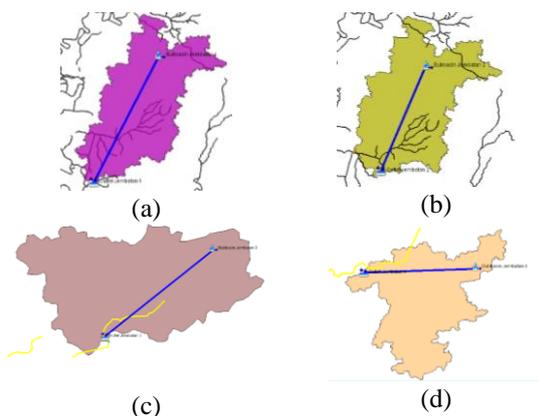
Dalam tahap simulasi model terdapat tahapan *setting model* dan *running model*. *Setting model* merupakan langkah dalam memasukkan beberapa parameter ke dalam model. Adapun parameter input pada model HEC-HMS adalah seperti pada tabel berikut.

Tabel 6. Parameter Input HEC-HMS

Nama Area	Curve Number Komposit	Impervious (%)	Luas (km ²)	L (km)	Slope	S	Ia (mm)	L(m)	tc (menit)	ttag (menit)
Jembatan 1	93.46	0.01	37.45	13.07	0.0008	17.76	3.55	13067.78	455.59	273.36
Jembatan 2	93.61	0.01	17.12	7.51	0.0013	17.33	3.47	7514.92	240.47	144.28
Jembatan 3	88.75	0.01	1.94	1.01	0.0099	32.20	6.44	1012.30	23.74	14.24
Jembatan 4	92.19	0.01	1.18	2.27	0.0044	21.53	4.31	2265.34	60.19	36.12

Pemodelan Hujan-Debit

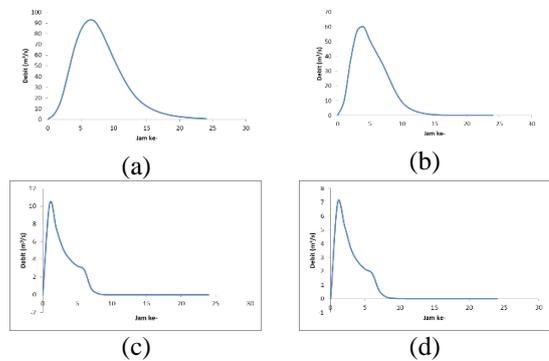
Basin Model Jembatan terdiri atas 1 subbasin, 1 reach, dan 1 outlet yang posisinya berada pada koordinat jembatan. Berikut gambar basin model Jembatan 1-4 pada program HEC-HMS.



Gambar 10. Basin Model (a) Jembatan 1, (b) Jembatan 2, (c) Jembatan 3, dan (d) Jembatan 4 pada HEC-HMS.

Dari hasil simulasi HEC-HMS diperoleh debit puncak berada pada jam ke 6 dengan besaran 91.95 m³/s untuk jembatan 1, debit puncak

berada pada jam ke 4 dengan besaran 59.98 m³/s untuk jembatan 2, debit puncak berada pada jam ke 1 dengan besaran 10.28 m³/s untuk jembatan 3, dan debit puncak berada pada jam ke 1 dengan besaran 6.96m³/s untuk jembatan 4.

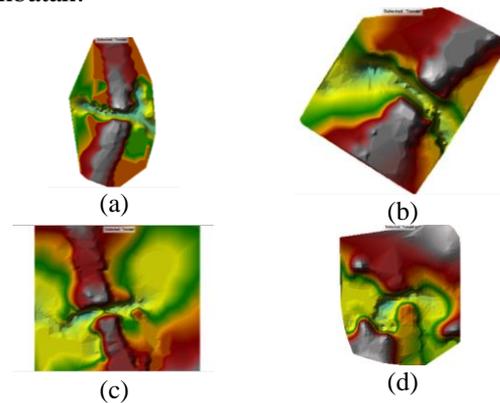


Gambar 11. Hidrograf Debit Metode SCS-CN untuk (a) Jembatan 1, (b) Jembatan 2, (c) Jembatan 3, dan (d) Jembatan 4.

Analisis Hidraulika

Pemodelan Geometri Sungai dengan HEC-RAS 6.2

Langkah pembuatan model geometri sungai pada HEC-RAS adalah didasarkan pada input data kontur dari hasil pengukuran di lokasi perencanaan. Data kontur tersebut terlebih dahulu diolah di perangkat lunak GIS untuk memperoleh data dalam format raster. Data raster tersebut kemudian menjadi input dalam HEC-RAS untuk pembuatan terrain di RAS Mapper. Berikut hasil pengolahan dan penginputan data raster kontur di dalam RAS Mapper untuk masing-masing lokasi jembatan:



Gambar 12. Terrain di sekitar (a) Jembatan 1, (b) Jembatan 2, (c) Jembatan 3, dan (d) Jembatan 4

Langkah berikutnya adalah pembuatan daerah genangan dan *mesh* pada menu Geometric Data serta melakukan *input line boundary condition* hulu dan hilir pada mesh yang telah dibuat. Input

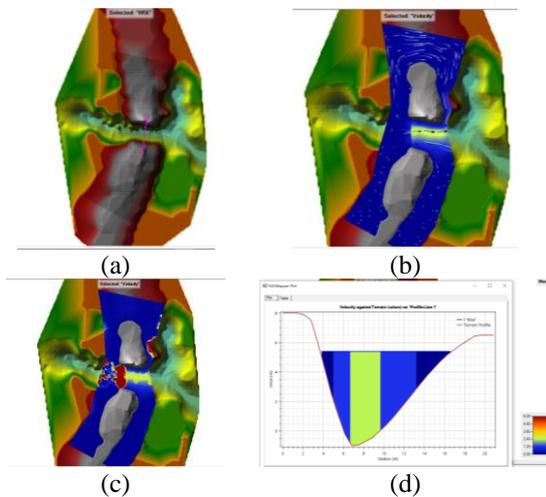
parameter dan data *boundary conditions* dilakukan pada menu *unsteady flow data* untuk selanjutnya dilakukan simulasi aliran. Sebagai kondisi batas hulu adalah hidrograf kala ulang, sedangkan batas hilir berupa kedalaman normal berlaku untuk seluruh jembatan yang dikaji.

Simulasi Kondisi Aliran Untuk Qbanjir Periode Ulang 50 tahun

Berdasarkan input data geometri dan kondisi batas, selanjutnya dilakukan simulasi kondisi aliran dengan fokus pada nilai maksimum dari komponen kecepatan, kedalaman air, dan elevasi muka air banjir. Satu potongan melintang pada as jembatan digunakan untuk mengetahui komponen-komponen tersebut.

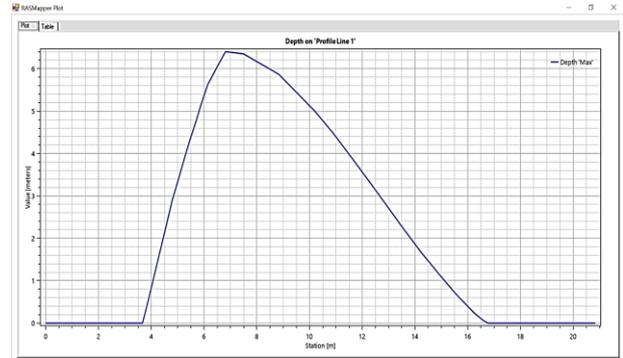
Profil Aliran Jembatan 1

Berikut adalah profil kecepatan maksimum, kedalaman maksimum, dan elevasi muka air banjir maksimum pada potongan melintang Jembatan 1.



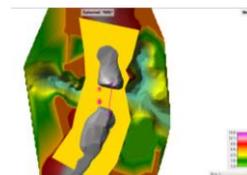
Gambar 13. (a) Tampak Atas Potongan Melintang Pada As Jembatan 1, (b) Hasil Simulasi Q50 Berupa Profil Kecepatan dan particle tracing untuk waktu tertentu Jembatan 1, (c) Tampak Atas Profil Kecepatan Maksimum Pada Jembatan 1, dan (d) Profil Kecepatan Maksimum Potongan Melintang Pada As Jembatan 1

Kecepatan maksimum terjadi pada bagian tengah penampang melintang sungai dengan kecepatan maksimum pada potongan melintang tersebut sebesar 3.143 m/s.

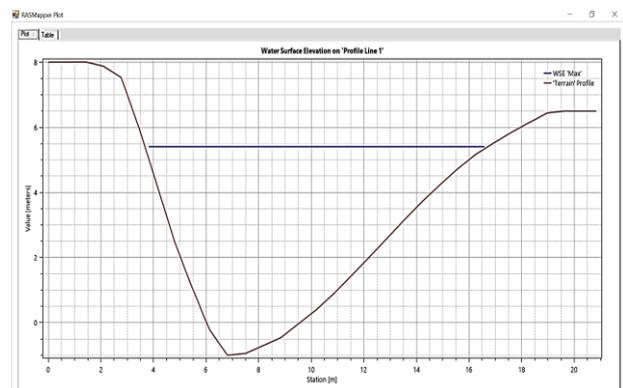


Gambar 14. Profil Kedalaman Maksimum Potongan Melintang Pada As Jembatan 1

Kecepatan maksimum dominan terjadi pada bagian kiri aliran pada penampang melintang sungai dengan kedalaman maksimum pada potongan melintang tersebut sebesar 6.406 m. Dengan demikian potensi gerusan dominan di sisi kiri aliran.



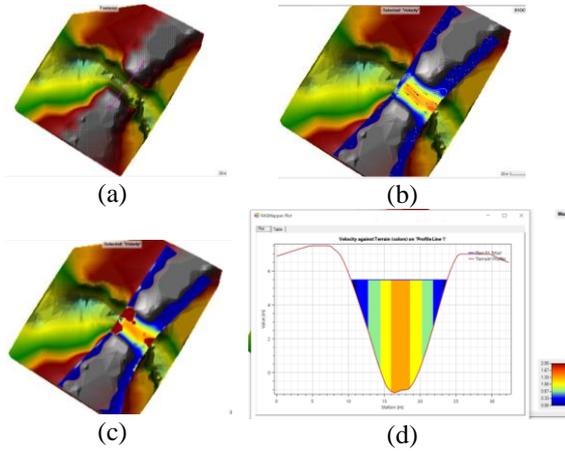
Gambar 15. Hasil Simulasi Kondisi Debit Banjir Periode Ulang 50 tahun (Q50) Profil Elevasi Muka Air Banjir (MAB) Maksimum Jembatan 1



Gambar 16. Elevasi Muka Air Banjir (MAB) Maksimum Potongan Melintang Pada As Jembatan 1

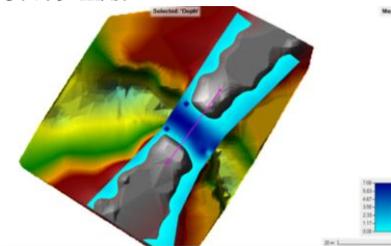
Profil Aliran Jembatan 2

Berikut adalah profil kecepatan maksimum, kedalaman maksimum, dan elevasi muka air banjir maksimum pada potongan melintang Jembatan 2.

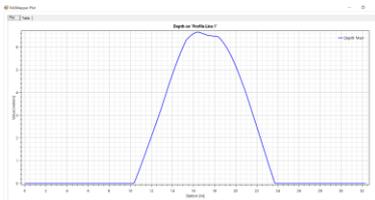


Gambar 17. (a) Tampak Atas Potongan Melintang Pada As Jembatan 2, (b) Hasil Simulasi Q50 Berupa Profil Kecepatan dan particle tracing untuk waktu tertentu Jembatan 2, (c) Tampak Atas Profil Kecepatan Maksimum Pada Jembatan 2, dan (d) Profil Kecepatan Maksimum Potongan Melintang Pada As Jembatan 2

Kecepatan maksimum terjadi pada bagian tengah penampang melintang sungai dengan kecepatan maksimum pada potongan melintang tersebut sebesar 5.479 m/s.

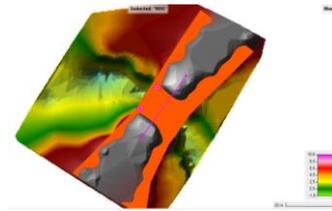


Gambar 18. Hasil Simulasi Kondisi Debit Banjir Periode Ulang 50 tahun (Q50) Profil Kedalaman Air Maksimum Jembatan 2

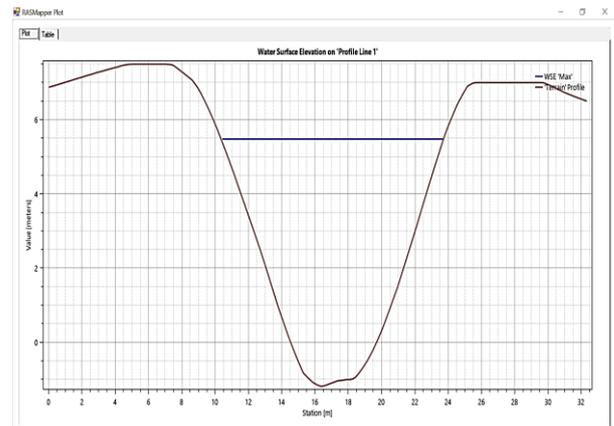


Gambar 19. Profil Kedalaman Maksimum Potongan Melintang Pada As Jembatan 2

Kedalaman maksimum dominan terjadi pada penggal tengah pada penampang melintang sungai dengan kedalaman maksimum pada potongan melintang tersebut sebesar 6.657 m. Dengan demikian potensi gerusan dominan di bagian tengah penampang melintang sungai.



Gambar 20. Hasil Simulasi Kondisi Debit Banjir Periode Ulang 50 tahun (Q50) Profil Elevasi Muka Air Banjir (MAB) Maksimum Jembatan 2

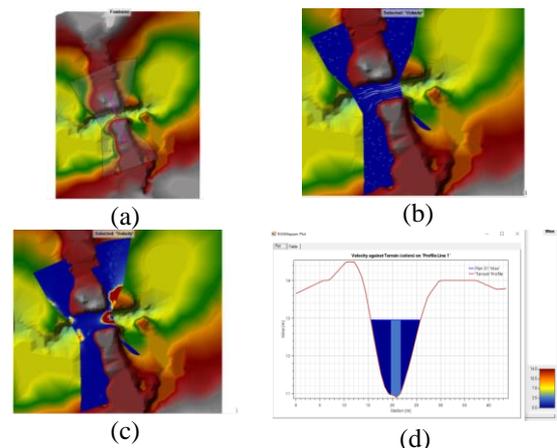


Gambar 21. Elevasi Muka Air Banjir (MAB) Maksimum Potongan Melintang Pada As Jembatan 2

Tidak semua permukaan jalan terendam banjir dengan elevasi MAB maksimum pada jembatan 2 adalah 5.479 m.

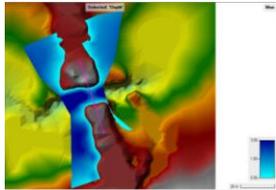
Profil Aliran Jembatan 3

Berikut adalah profil kecepatan maksimum, kedalaman maksimum, dan elevasi muka air banjir maksimum pada potongan melintang Jembatan 3.

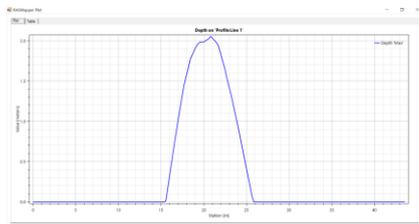


Gambar 22. (a) Tampak Atas Potongan Melintang Pada As Jembatan 3, (b) Hasil Simulasi Q50 Berupa Profil Kecepatan dan particle tracing untuk waktu tertentu Jembatan 3, (c) Tampak Atas Profil Kecepatan Maksimum Pada Jembatan 3, dan (d) Profil Kecepatan Maksimum Potongan Melintang Pada As Jembatan 3.

Kecepatan maksimum terjadi pada bagian tengah penampang melintang sungai dengan kecepatan maksimum pada potongan melintang tersebut sebesar 4.744 m/s.

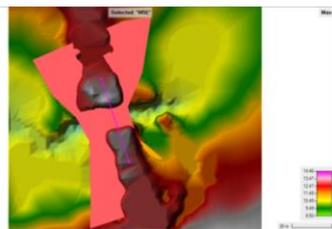


Gambar 23. Hasil Simulasi Kondisi Debit Banjir Periode Ulang 50 tahun (Q50) Profil Kedalaman Air Maksimum Jembatan 3

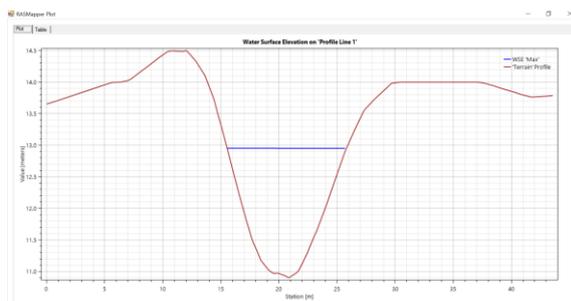


Gambar 24. Profil Kedalaman Maksimum Potongan Melintang Pada As Jembatan 3

Kedalaman maksimum dominan terjadi pada penggal tengah pada penampang melintang sungai dengan kedalaman maksimum pada potongan melintang tersebut sebesar 2.052 m. Dengan demikian potensi gerusan dominan di bagian tengah penampang melintang sungai.



Gambar 25. Hasil Simulasi Kondisi Debit Banjir Periode Ulang 50 tahun (Q50) Profil Elevasi Muka Air Banjir (MAB) Maksimum Jembatan 3

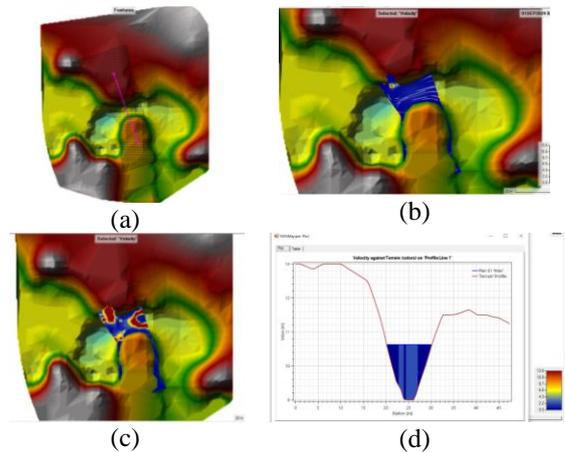


Gambar 26. Elevasi Muka Air Banjir (MAB) Maksimum Potongan Melintang Pada As Jembatan 3

Berdasarkan gambar dan tabel di atas, tidak semua permukaan jalan terendam banjir (station dengan keterangan NaN pada kolom Elevasi MAB). Elevasi MAB maksimum pada jembatan 3 adalah 12.954 m.

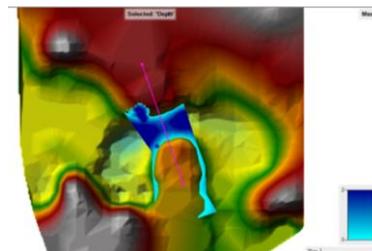
Profil Aliran Jembatan 4

Berikut adalah profil kecepatan maksimum, kedalaman maksimum, dan elevasi muka air banjir maksimum pada potongan melintang Jembatan 4.

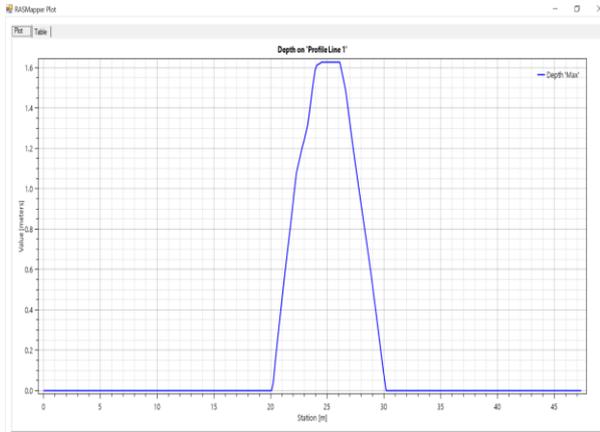


Gambar 27. (a) Tampak Atas Potongan Melintang Pada As Jembatan 4, (b) Hasil Simulasi Q50 Berupa Profil Kecepatan dan particle tracing untuk waktu tertentu Jembatan 4, (c) Tampak Atas Profil Kecepatan Maksimum Pada Jembatan 4, dan (d) Profil Kecepatan Maksimum Potongan Melintang Pada As Jembatan 4.

Kecepatan maksimum terjadi pada bagian tengah penampang melintang sungai dengan kecepatan maksimum pada potongan melintang tersebut sebesar 10.273 m/s.

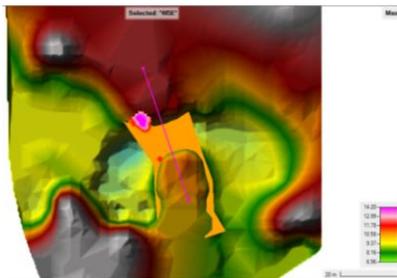


Gambar 28. Hasil Simulasi Kondisi Debit Banjir Periode Ulang 50 tahun (Q50) Profil Kedalaman Air Maksimum Jembatan 4

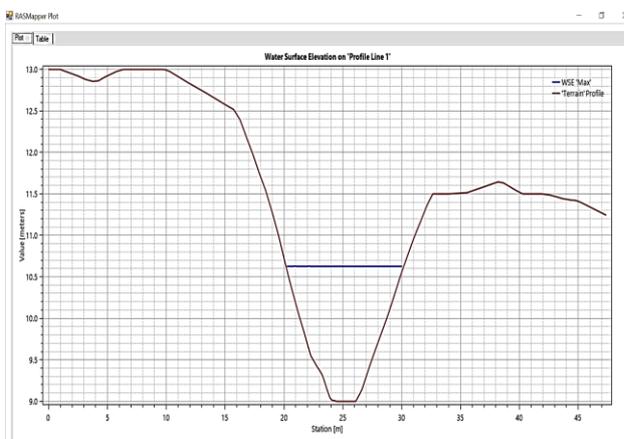


Gambar 29. Profil Kedalaman Maksimum Potongan Melintang Pada As Jembatan 4

Berdasarkan gambar dan tabel di atas, kedalaman maksimum dominan terjadi pada penggal tengah pada penampang melintang sungai dengan kedalaman maksimum pada potongan melintang tersebut sebesar 1.628 m. Dengan demikian potensi gerusan dominan di bagian tengah penampang melintang sungai.



Gambar 30. Hasil Simulasi Kondisi Debit Banjir Periode Ulang 50 tahun (Q50) Profil Elevasi Muka Air Banjir (MAB) Maksimum Jembatan 4



Gambar 31. Elevasi Muka Air Banjir (MAB) Maksimum Potongan Melintang Pada As Jembatan 4

Tidak semua permukaan jalan terendam banjir dengan elevasi MAB maksimum pada jembatan 4 adalah 10.628 m.

Berikut adalah rekapitulasi kecepatan maksimum, kedalaman maksimum, dan Muka Air Banjir Maksimum pada potongan melintang as Jembatan 1, Jembatan 2, Jembatan 3, dan Jembatan 4:

Tabel 7. Rekapitulasi Kecepatan Maksimum, Kedalaman Maksimum, dan MAB Maksimum

Nama Jembatan	Kecepatan Maksimum (m/s)	Kedalaman Maksimum (m)	Elevasi Muka Air Banjir Maksimum (m)	Elevasi Jembatan Eksisting (m)	Beda Elevasi (m)
(1)	(2)	(3)	(4)	(5)	(6) = (5) - (4)
Jembatan 1	3.143	6.406	5.407	6.8555	1.4485
Jembatan 2	5.479	6.657	5.479	6.985	1.506
Jembatan 3	4.744	2.052	12.954	14.2155	1.2615
Jembatan 4	10.273	1.628	10.628	11.935	1.307

Berdasarkan hasil di atas terlihat bahwa elevasi MAB berada di bawah lantai jembatan eksisting. Dengan demikian, lantai jembatan tidak tergenang.

KESIMPULAN

Adapun kesimpulan dalam penelitian ini adalah:

1. Besaran puncak banjir kala ulang untuk masing-masing outlet jembatan 1, 2, 3, dan 4 berturut-turut adalah 91.95 m³/s, 59.98 m³/s, 10.28 m³/s, dan 6.96 m³/s.
2. Analisis hidraulika menunjukkan bahwa meskipun tebing kiri dan kanan sekitar jembatan terluapi, elevasi MAB dengan kala ulang 50 tahun masih berada di bawah lantai jembatan eksisting.

SARAN

Pada penelitian ini tidak dilakukan kalibrasi model HEC-HMS karena tidak tersedianya data pemantauan ketinggian air dengan panjang waktu tertentu. Oleh karena itu, untuk mendapatkan hasil pendekatan model banjir yang mendekati kondisi di lapangan diperlukan data pemantauan tinggi muka air terutama pada kondisi tinggi air maksimum.

DAFTAR PUSTAKA

- Bernhardsen, T. (2002). *Geographic information systems: an introduction*. John Wiley & Sons.
- Istiarto. (2014). *Modul Pelatihan Simulasi Aliran 1-Dimensi Dengan Bantuan Paket Program Hidrodinamika Hec-Ras Jenjang Dasar: Simple Geometry River*. Yogyakarta: JTSL FT UGM.
- Kamiana, I. M. (2018). *Hidraulika Teknik Perhitungan Pada Aliran Terbuka dan Tertutup*. Yogyakarta: Teknosain.
- Murai. (1999). *GIS Workbook*. Roppongi, Minatoku, Tokyo: Institute of Industrial Science, University of Tokyo.
- U.S. Army Corps of Engineers. (2022). *HEC-RAS Mapper User's Manual Version 6.2*. California: U.S. Army Corps of Engineers.