

Analisis Pola Arus dan Potensi Erosi pada Tikungan Sungai Menggunakan Iber

Adex Laksmi Dewi^{*1}, Bambang Agus Kironoto², Adam Pamudji Rahardjo³

^{1,2,3} Departemen Teknik Sipil dan Lingkungan, Fakultas Teknik, Universitas Gadjah Mada, Indonesia

Email: ¹adexlaksmidewi@mail.ugm.ac.id, ²kironoto@ugm.ac.id, ³rahardjo.adam@ugm.ac.id

^{*}Penulis Korespondensi

Abstrak

Anak Sungai Kali Wates di Kabupaten Jember rentan terhadap dampak hujan ekstrem, terutama pada bagian tikungan yang berpotensi mengalami erosi dan longsor tebing. Penelitian ini bertujuan menganalisis pola arus dan potensi erosi pada tikungan sungai melalui pendekatan hidrologi dan pemodelan hidrodinamika dua dimensi (2D). Analisis hidrologi dilakukan untuk memperoleh hidrograf banjir rancangan kala ulang 25 tahun menggunakan data curah hujan harian dan data satelit GSMaP, serta metode Hidrograf Satuan Sintetis (HSS) SCS. Debit puncak sebesar 116,49 m³/s digunakan sebagai input dalam simulasi menggunakan perangkat lunak Iber. Hasil simulasi menunjukkan bahwa distribusi kecepatan aliran pada tikungan sungai tidak merata, dengan kecepatan lebih tinggi pada sisi luar tikungan dibandingkan sisi dalam. Pola ini mengindikasikan adanya konsentrasi energi aliran pada sisi luar yang berpotensi meningkatkan erosi. Oleh karena itu, tebing pada sisi luar tikungan perlu mendapat perhatian melalui upaya pengendalian, seperti penerapan bangunan pelindung tebing untuk mengurangi risiko gerusan.

Kata kunci: Erosi Tikungan, Hidrodinamika, Iber, Kali Wates.

Abstract

The Kali Wates tributary in Jember Regency is vulnerable to extreme rainfall impacts, particularly at river bends where erosion and bank failure may occur. This study aims to analyze flow patterns and erosion potential in river bends using hydrological and two-dimensional (2D) hydrodynamic modeling approaches. Hydrological analysis was conducted to obtain a 25-year return period design flood hydrograph using daily rainfall data and GSMaP satellite data, combined with the Synthetic Unit Hydrograph (SCS) method. The resulting peak discharge of 116.49 m³/s was used as input for hydrodynamic simulation using the Iber model. The results show that flow velocity distribution at river bends is uneven, with higher velocities occurring on the outer bend compared to the inner bend. This pattern indicates a concentration of flow energy on the outer bend, which may increase erosion potential. Therefore, the outer bank requires attention through mitigation measures, such as the implementation of bank protection structures to reduce scouring risk.

Keywords: Bend Erosion, Hydrodynamics, Iber, Wates River.

I. PENDAHULUAN

Hujan ekstrem merupakan salah satu faktor utama yang memicu peningkatan debit aliran secara cepat pada suatu Daerah Aliran Sungai (DAS), sehingga berpotensi menyebabkan banjir dan ketidakstabilan aliran sungai. Kondisi ini dapat meningkatkan kecepatan aliran dan gaya geser yang bekerja pada dasar serta tebing sungai, khususnya pada bagian tikungan yang rentan terhadap erosi [1]. Pada DAS skala kecil hingga menengah, respon aliran umumnya lebih cepat akibat karakteristik morfologi dan kemiringan alur, sehingga lebih berpotensi mengalami kerusakan akibat kejadian hujan ekstrem [2].

Kejadian tersebut terjadi pada anak Sungai Kali Wates, Kabupaten Jember, dimana kejadian hujan ekstrem pada tahun 2025 memicu banjir dan longsor tebing sungai yang menyebabkan kerusakan infrastruktur dan permukiman [3]. Hal ini menunjukkan bahwa anak sungai memiliki kerentanan tinggi terhadap dampak hidrologi meskipun bukan merupakan sungai utama [4]. Permasalahan yang muncul meliputi peningkatan debit akibat hujan ekstrem, pola arus yang kompleks pada tikungan sungai, serta keterbatasan analisis terintegrasi antara hidrologi dan hidrodinamika dalam mengkaji potensi erosi [5], [6].

Beberapa penelitian telah mengkaji perilaku aliran dan erosi pada tikungan sungai menggunakan pemodelan hidrodinamika dua dimensi, yang menunjukkan bahwa erosi dominan terjadi pada sisi luar tikungan [7], [8]. Namun, sebagian besar penelitian masih menggunakan input debit tanpa mengaitkan secara langsung peran hujan ekstrem sebagai faktor utama pembentuk hidrograf banjir. Selain itu, kajian pada skala DAS anak sungai dengan pendekatan terintegrasi masih terbatas.

Berdasarkan hal tersebut, penelitian ini menggunakan pendekatan terintegrasi antara analisis hidrologi dan pemodelan hidrodinamika dua dimensi (2D) untuk menganalisis pola arus dan potensi erosi

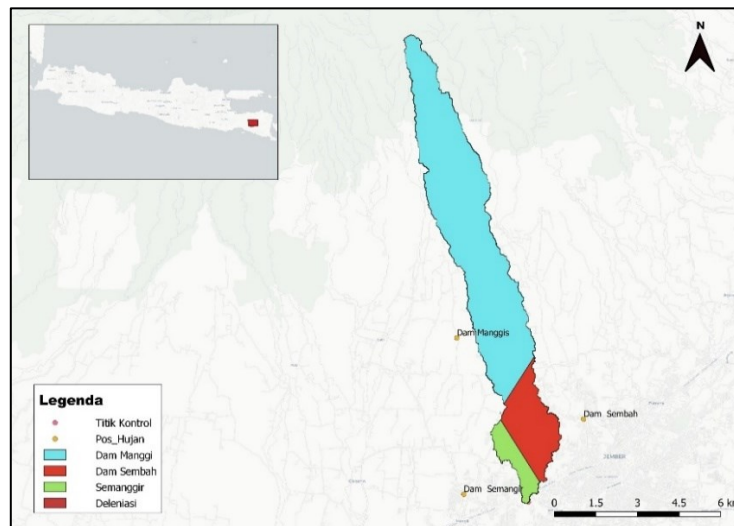
pada tikungan anak sungai. Analisis hidrologi dilakukan untuk memperoleh hidrograf banjir rancangan berbasis hujan ekstrem, yang selanjutnya digunakan sebagai input dalam simulasi hidrodinamika menggunakan Iber. Penelitian ini bertujuan untuk menganalisis pola arus dan potensi erosi pada tikungan anak Sungai Kali Wates serta memberikan rekomendasi teknis dalam mitigasi kerusakan tebing sungai.

II. METODE PENELITIAN

Penelitian ini dilakukan untuk menganalisis respon hidrologi DAS terhadap kejadian hujan ekstrem yang menghasilkan hidrograf banjir rancangan, serta menganalisis distribusi parameter hidrodinamika aliran untuk mengidentifikasi pola arus dan potensi erosi pada tikungan sungai. Analisis dilakukan dengan mengintegrasikan pendekatan hidrologi dan pemodelan hidrodinamika dua dimensi (2D).

2.1. Lokasi Penelitian

Penelitian dilakukan pada dua tikungan anak Sungai Kali Wates, Kabupaten Jember, dengan panjang ruas sungai yang ditinjau sebesar 947.564 m. Lokasi penelitian ditentukan berdasarkan kondisi geometri tikungan yang berpotensi mengalami erosi seperti pada Gambar 1.

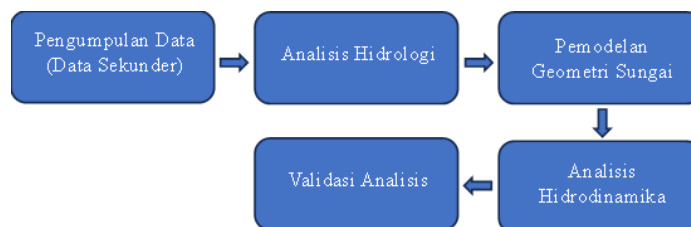


Gambar 1. Lokasi Penelitian

Sumber: Hasil Analisis Aplikasi QGIS

2.2. Tahap Penelitian

Tahap penelitian ini menjabarkan langkah-langkah dalam penelitian ini, terutama dalam melakukan analisis data menggunakan pendekatan hidrologi dan hidrodinamika. Tahapan pada penelitian ini dapat dilihat pada Gambar 2.



Gambar 2. Tahapan Penelitian

2.2.1. Pengumpulan Data

Penelitian ini menggunakan data sekunder yang meliputi:

1. Data hujan permukaan dari tiga stasiun hujan (Dam Sembah, Dam Manggis, dan Dam Semangir) dengan panjang data selama 16 tahun (2010 – 2025).
2. Data hujan satelit produk *Global Satellite Mapping of Precipitation* (GSMaP) yang dikembangkan oleh *Japan Aerospace Exploration Agency* (JAXA) dengan resolusi jam-jaman [9], [10]
3. Data penampang melintang (*cross section*) sungai.

4. Data *Digital Elevation Model* Nasional (DEMNAS).
5. Data tata guna lahan dan jenis tanah.

Data hujan digunakan untuk analisis hidrologi, sedangkan data topografi digunakan dalam pembentukan model geometri sungai.

2.2.2. Analisis Hidrologi

Analisis hidrologi meliputi beberapa tahapan yaitu:

1. Analisis hujan wilayah menggunakan metode Poligon Thiessen, yang dinyatakan dalam persamaan [1] untuk memperoleh hujan rata-rata wilayah [11].

$$R_{rt} = \frac{A_1 R_1 + A_2 R_2 + \dots + A_n R_n}{A_1 + A_2 + \dots + A_n} \quad [1]$$

2. Analisis frekuensi menggunakan distribusi probabilitas untuk menentukan hujan rancangan dengan periode ulang tertentu yang dihitung dengan bantuan aplikasi *Anfrek 1.a*.
3. Analisis pola distribusi hujan menggunakan data hujan satelit GSMaP untuk memperoleh distribusi hujan jam-jaman.
4. Perhitungan hujan efektif menggunakan metode *Soil Conservation Service–Curve Number* (SCS-CN). Metode SCS-CN merupakan pendekatan empiris yang banyak digunakan untuk mengestimasi limpasan permukaan berdasarkan nilai *Curve Number* (CN) yang merepresentasikan karakteristik DAS [12] Hujan efektif dihitung menggunakan persamaan [2] dan [3] berikut.

$$P_e = \frac{(P-0.2S)^2}{P+0.8S} \quad [2]$$

$$S = \frac{25400}{CN} - 254 \quad [3]$$

5. Pembentukan hidrograf banjir menggunakan metode Hidrograf Satuan Sintetis (HSS) *Soil Conservation Soil* (SCS) untuk memperoleh debit banjir rancangan. HSS SCS dihitung menggunakan persamaan [4], [5], dan [6] berikut.

$$Q_p = \frac{0.208 \cdot A \cdot Q_d}{t_p} \quad [4]$$

$$Q_p = \frac{0.208 \cdot A \cdot Q_d}{t_p}, t_p = \frac{t_c + 0.133 t_c}{1.7} \quad [5]$$

$$t_c = 0.0195 \left(\frac{L^{0.77}}{S^{0.385}} \right) \quad [6]$$

2.2.3. Pemodelan Geometri Sungai

Model geometri sungai dibangun dari data *cross section* dan DEMNAS yang telah diolah menggunakan QGIS. Pemodelan geometri digunakan untuk data input simulasi pada Iber.

2.2.4. Analisis Hidrodinamika

Analisis hidrodinamika dilakukan menggunakan model dua dimensi berbasis metode volume hingga yang diselesaikan secara numerik dalam perangkat lunak Iber. Model ini digunakan untuk mensimulasikan aliran tidak tunak (*unsteady flow*) pada sungai.

2.2.5. Validasi Analisis

Validasi model analisis dilakukan secara kualitatif dengan membandingkan pola aliran hasil simulasi dengan teori aliran pada tikungan sungai, dimana kecepatan maksimum cenderung terjadi pada sisi luar tikungan dan membentuk *secondary flow*. Selain itu, dilakukan analisis sensitivitas terhadap nilai koefisien kekasaran Manning untuk memperoleh hasil yang representatif.

2.3. Metode Analisis

Pada penelitian ini, dilakukan analisis hidrologi dan analisis hidrolika. Analisis hidrologi yang dilakukan untuk memperoleh hujan rancangan dan hidrograf banjir rancangan dengan kala ulang 25 tahun sebagai representasi respon DAS terhadap kejadian hujan ekstrem. Hujan rancangan dihitung berdasarkan data hujan wilayah, sedangkan distribusi hujan jam-jaman diperoleh dari data satelit GSMaP. Selanjutnya, dilakukan perhitungan hujan efektif dan pembentukan hidrograf banjir menggunakan metode Hidrograf Satuan Sintetis (HSS) dengan kala ulang 25 tahun. Hidrograf banjir yang dihasilkan digunakan sebagai input debit pemodelan hidrodinamika pada bagian hulu sungai.

Analisis hidrolika dilakukan dengan menggunakan aplikasi Iber, mengintegrasikan beberapa modul utama, yaitu modul hidrodinamika, turbulensi, dan transport sedimen, yang diselesaikan menggunakan metode numerik berbasis volume hingga untuk memperoleh solusi aliran yang stabil dan

akurat berbasis pemodelan hidrodinamika dua dimensi (2D) [13], [14]. Parameter kekasaran aliran (koefisien Manning) ditentukan berdasarkan nilai literatur yang sesuai dengan karakteristik sungai alami, dan dilakukan analisis sensitivitas terhadap beberapa variasi nilai Manning untuk memperoleh hasil yang representatif. Hasil dari pemodelan berupa distribusi kecepatan aliran, elevasi muka air dan pola aliran yang digunakan untuk menganalisis perilaku aliran pada tikungan sungai. Selain itu, analisis potensi erosi dilakukan secara tidak langsung menggunakan parameter hidrodinamika, seperti kecepatan aliran dan tegangan geser dasar, sebagai indikator terjadinya gerusan pada tikungan sungai.

III. HASIL DAN PEMBAHASAN

3.1. Analisis Curah Hujan

Analisis curah hujan dilakukan untuk memperoleh hujan rancangan yang akan digunakan sebagai input dalam analisis hidrologi selanjutnya. Proses analisis ini melibatkan pengolahan data curah hujan menjadi hujan wilayah yang representatif, identifikasi hujan maksimum tahunan, serta analisis frekuensi untuk menentukan besaran hujan dengan periode kala ulang.

3.1.1. Penentuan Hujan Wilayah (Metode Thiessen)

Penentuan hujan wilayah dilakukan dengan metode Poligon Thiessen yang diolah menggunakan aplikasi QGIS. Hasil pengolahan tersebut menghasilkan pembagian area pengaruh tiap stasiun hujan yang ditunjukkan pada Gambar 1, serta luas wilayah masing-masing stasiun yang disajikan pada Tabel 1.

Tabel 1. Luas Poligon Thiessen

Stasiun	Luas (Km ²)
Dam Sembah	4.747
Dam Manggis	21.576
Dam Semanggir	1.851

3.1.2. Hujan Maksimum Tahunan

Berdasarkan Persamaan [1], diperoleh nilai hujan wilayah harian maksimum tahunan pada DAS anak Sungai Kali Wates. Hasil perhitungan hujan wilayah pada DAS anak Sungai Kali Wates disajikan pada Tabel 2.

Tabel 2. Hujan Harian Maksimum Tahunan DAS Anak Sungai Kali Wates

Tahun	Hujan (mm)
2010	64.783
2011	117.724
2012	85.275
2013	106.649
2014	89.021
2015	69.515
2016	75.733
2017	80.219
2018	96.866
2019	95.634
2020	79.133
2021	119.035
2022	121.079
2023	152.878
2024	91.028
2025	91.996

3.1.3. Analisis Frekuensi

Analisis frekuensi curah hujan dilakukan menggunakan aplikasi *Anfrefk 1.a*, yang berfungsi untuk melakukan uji statistik dan menentukan hujan rancangan pada periode ulang tertentu. Data yang digunakan berupa hujan wilayah harian maksimum tahunan. Hasil hujan rancangan kala ulang yang diperoleh dari analisis tersebut ditampilkan pada Tabel 3.

Tabel 3. Hujan Kala Ulang DAS Anak Sungai Kali Wates

Kala ulang (tahun)	Normal	Log Normal	Log Pearson III	Gumbel
2	96	94	92	92
5	115	113	112	112
10	125	125	126	126
20	134	136	139	139
25	136	139	143	143
50	143	149	157	155
100	149	159	170	168

Berdasarkan hasil uji statistik menggunakan aplikasi *Anfrefk 1.a*, diperoleh bahwa distribusi yang paling sesuai adalah distribusi *Log Pearson III*. Oleh karena itu, penelitian ini menggunakan hujan rancangan dengan periode hujan kala ulang 25 tahun sebesar 143 mm.

Pemilihan distribusi *Log Pearson III* didasarkan pada kemampuannya dalam merepresentasikan data hujan ekstrem, khususnya karena distribusi ini mempertimbangkan kemencengan (*skewness*) data. Beberapa penelitian juga merekomendasikan penggunaan distribusi ini dalam analisis hidrologi, terutama untuk perhitungan hujan dan debit banjir, karena cenderung menghasilkan nilai curah hujan yang lebih representatif terhadap kejadian ekstrem [15]

3.1.4. Pola Distribusi Hujan

Data hujan satelit GSMaP yang digunakan dalam penelitian ini berupa data hujan dengan resolusi temporal satu jam, yang mencakup periode Januari 2025 hingga Desember 2025. Pengambilan data dilakukan pada koordinat yang disesuaikan dengan lokasi tiga stasiun hujan terukur di lokasi penelitian.

Data yang telah diperoleh selanjutnya diseleksi berdasarkan kriteria intensitas hujan lebih dari 50 mm per kejadian. Batasan ini digunakan dengan asumsi bahwa kejadian hujan tersebut mewakili karakteristik hujan yang berpotensi menghasilkan debit aliran yang besar pada anak Sungai Kali Wates. Hasil seleksi menunjukkan terdapat 13 kejadian hujan yang memenuhi kriteria tersebut. Karena setiap kejadian memiliki durasi yang bervariasi, maka dilakukan analisis untuk menentukan durasi hujan dominan pada DAS anak Sungai Kali Wates. Durasi dominan dihitung dengan pendekatan pembobotan antara durasi hujan dan frekuensi kejadian, sehingga diperoleh durasi hujan dominan selama 7 jam. Selain itu, dari 13 kejadian hujan tersebut juga diperoleh distribusi hujan jam-jaman rata-rata yang disajikan pada Tabel 4.

Tabel 4. Pola Distribusi Jam-jaman DAS Anak Sungai Kali Wates

Jam ke-	Hujan (%)
1	5.588
2	12.323
3	24.096
4	23.223
5	16.957
6	11.83
7	5.983

Hasil pola distribusi jam-jaman kemudian dihitung dengan distribusi hujan harian rancangan kala ulang 25 tahun yang ditunjukkan pada Tabel 5.

Tabel 5. Distribusi Hujan Harian Maksimum Tahunan Kala Ulang 25 Tahun

Jam ke-	Hujan (%)	Hujan (mm)
1	5.588	7.991
2	12.323	17.622
3	24.096	34.458
4	23.223	33.209

Jam ke-	Hujan (%)	Hujan (mm)
5	16.957	24.248
6	11.83	16.917
7	5.983	8.556

3.1.5. Hujan Efektif

Berdasarkan analisis spasial menggunakan QGIS dengan mempertimbangkan peta tata guna lahan dan jenis tanah, diperoleh nilai *Curve Number* (CN) sebesar 73.193. Nilai tersebut digunakan dalam metode SCS-CN untuk menghitung hujan efektif. Perhitungan dilakukan menggunakan Persamaan [2] dan [3], dan hasil hujan efektif pada setiap interval waktu disajikan pada Tabel 6.

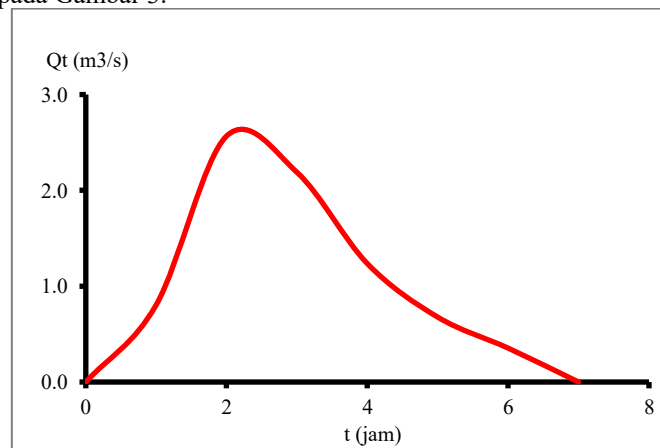
Tabel 6. Hujan Efektif

Jam ke-	P (mm)	Pe (mm)
1	7.99	0
2	17.62	0.49
3	34.46	12.29
4	33.21	20.47
5	24.25	17.73
6	16.92	13.27
7	8.56	6.93

3.1.6. HSS SCS

Analisis Hidrograf Satuan Sintetis (HSS) SCS dilakukan dengan menggunakan parameter fisik DAS yang diperoleh dari hasil deliniasi menggunakan aplikasi QGIS. Parameter tersebut meliputi luas DAS, panjang sungai utama, dan waktu konsentrasi yang mencerminkan karakteristik hidrologi wilayah. Berdasarkan parameter tersebut, dilakukan perhitungan HSS SCS untuk menentukan waktu ke puncak dan debit puncak aliran menggunakan Persamaan [4], [5], dan [6].

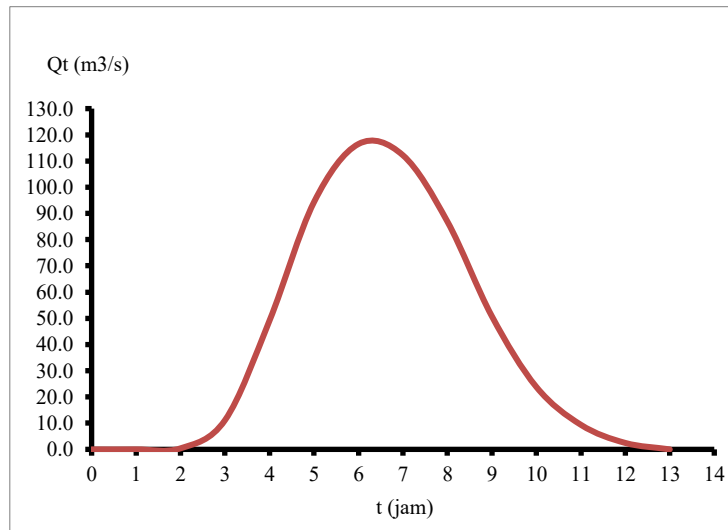
Hidrograf satuan yang dihasilkan selanjutnya dikoreksi agar merepresentasikan hujan efektif sebesar 1 mm, sehingga dapat digunakan dalam proses perhitungan hidrograf banjir. Grafik HSS SCS hasil perhitungan ditunjukkan pada Gambar 3.



Gambar 3. Hidrograf Sintetis Satuan SCS
Sumber: Hasil Analisis Perhitungan *Excel*

3.1.7. Hidrograf Banjir Rancangan

Hidrograf banjir yang dihasilkan menunjukkan kenaikan debit yang cepat mulai dari jam ke-2 dan mencapai debit puncak sebesar 116.49 m³/s pada jam ke-6. Setelah itu, debit menurun secara bertahap hingga mendekati nol pada jam ke-13. Pola ini mencerminkan respon DAS yang relatif cepat terhadap hujan efektif, dengan waktu tunda sekitar 2–3 jam antara kejadian hujan dan puncak aliran. Hidrograf banjir yang dihasilkan ini selanjutnya digunakan sebagai input debit pada batas hulu dalam pemodelan hidrodinamika menggunakan perangkat lunak Iber. Hasil analisis hidrograf banjir dapat dilihat pada Gambar 4.



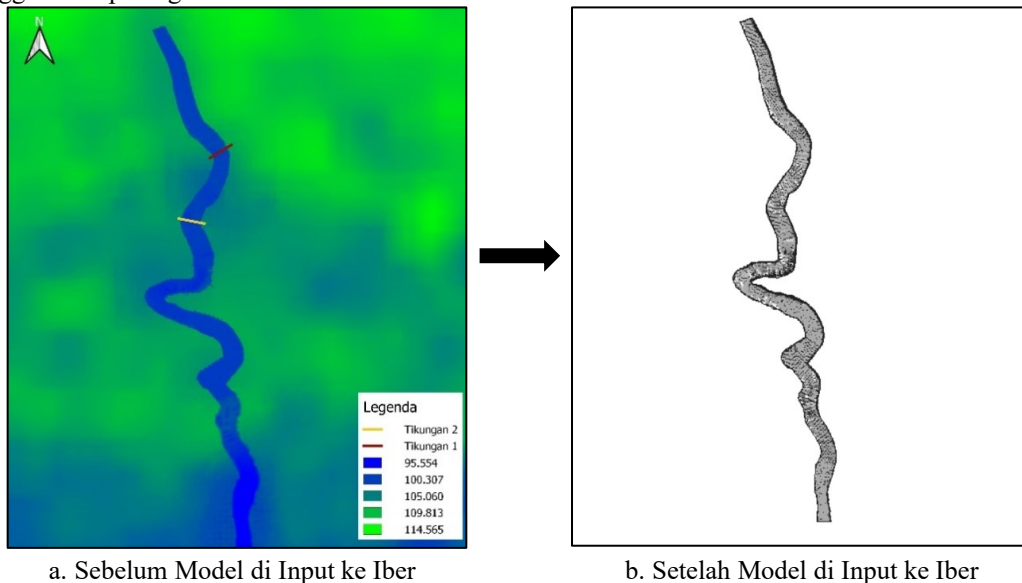
Gambar 4. Hidrograf Banjir Kala Ulang 25 Tahun
Sumber: Hasil Analisis Perhitungan *Excel*

3.2. Analisis Hidrodinamika Sungai

Analisis hidrodinamika sungai dalam penelitian ini dilakukan menggunakan perangkat lunak Iber untuk mensimulasikan karakteristik aliran. Tahapan analisis meliputi penyusunan model geometri sungai, kalibrasi parameter model, penentuan kondisi dan syarat batas pada bagian hulu-hilir, serta simulasi aliran guna memperoleh distribusi kecepatan, elevasi muka air, dan pola aliran yang merepresentasikan kondisi sungai.

3.2.1. Model Geometri Sungai

Geometri sungai dibangun melalui penggabungan data penampang melintang dengan data elevasi titik yang diperoleh dari DEMNAS. Data tersebut kemudian diolah menjadi peta raster menggunakan metode *Triangulated Irregular Network (TIN) interpolation* pada QGIS. Hasil interpolasi selanjutnya disesuaikan dengan kondisi lapangan untuk memastikan representasi geometri yang akurat. Visualisasi geometri sungai hasil pemodelan yang menggambarkan variasi elevasi dan bentuk alur sungai ditunjukkan pada Gambar 5. Peta geometri ini kemudian digunakan sebagai input dalam simulasi hidrodinamika menggunakan perangkat lunak Iber.



a. Sebelum Model di Input ke Iber

b. Setelah Model di Input ke Iber

Gambar 5. Hasil model geometri sungai dengan QGIS

Sumber: Hasil Analisis Aplikasi QGIS dan Iber

3.2.2. Kalibrasi Model Geometri Sungai

Kalibrasi model hidrodinamika dilakukan untuk memperoleh nilai koefisien kekasaran Manning yang paling sesuai dengan kondisi eksisting sungai. Proses kalibrasi dilakukan dengan membandingkan elevasi muka air hasil simulasi model Iber terhadap data observasi pada dua titik pengamatan di lokasi penelitian. Dalam penelitian ini dilakukan pengujian beberapa nilai koefisien Manning, yaitu 0.025, 0.030, dan 0.035.

Perbandingan antara elevasi muka air hasil simulasi dan data observasi dianalisis menggunakan parameter *Root Mean Square Error* (RMSE). Nilai RMSE yang lebih kecil menunjukkan tingkat kesesuaian model yang lebih baik. Berdasarkan hasil simulasi, pola perubahan elevasi muka air hasil model menunjukkan kecenderungan yang serupa dengan data observasi, meskipun masih terdapat selisih elevasi pada beberapa waktu pengamatan. Perbedaan tersebut dipengaruhi oleh kondisi geometri sungai, keterbatasan data lapangan, serta penyederhanaan parameter dalam model hidrodinamika.

Tabel 7. Hasil RSME Kalibrasi Model

Manning n	RMSE Titik 1	RMSE Titik 2	RMSE Rata-rata
0.025	2.4560	2.4224	2.4392
0.03	2.3029	2.2333	2.2681
0.035	2.2046	2.1967	2.2006

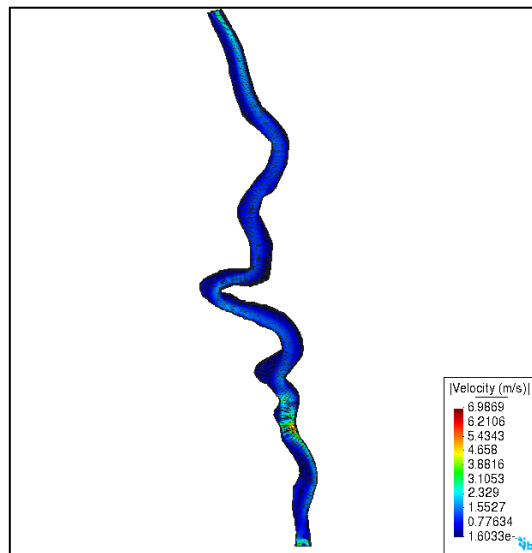
Berdasarkan dari hasil yang ditunjukkan pada Tabel 7 nilai manning 0.035 memberikan nilai RMSE rata-rata terkecil dibandingkan variasi lainnya, sehingga dipilih sebagai parameter kekasaran dalam simulasi hidrodinamika selanjutnya. Nilai tersebut dinilai sesuai dengan kondisi lapangan yang menunjukkan karakteristik sungai berbatu, dasar sungai relatif kasar, adanya vegetasi tepi sungai, serta struktur sungai berkelok yang meningkatkan hambatan aliran [16]. Sehingga, nilai manning 0.035 dianggap paling representatif dalam menggambarkan kondisi hidraulik pada lokasi penelitian.

3.2.3. Penentuan Kondisi Awal dan Syarat Batas Hulu – Hilir

Kondisi awal pada pemodelan ini ditetapkan berupa elevasi muka air yang merepresentasikan kondisi normal sungai. Elevasi muka air di bagian hulu ditentukan sebesar 100,557 m, sedangkan di bagian hilir sebesar 100,344 m. Untuk batas hulu, digunakan debit banjir rancangan kala ulang 25 tahun yang diperoleh dari hasil analisis hidrologi. Debit tersebut dimasukkan dalam bentuk hidrograf dari jam ke-0 hingga jam ke-13, sehingga durasi simulasi berlangsung selama 14 jam. Sementara itu, batas hilir ditentukan berdasarkan elevasi muka air pada bagian hilir model yang dianggap normal. Dalam hal ini, pengaruh pasang surut tidak diperhitungkan karena lokasi penelitian tidak dipengaruhi oleh kondisi tersebut.

3.2.4. Simulasi Aliran Sungai

Tujuan simulasi hidrodinamika ini adalah untuk mengetahui distribusi kecepatan aliran serta perubahan elevasi muka air pada tikungan sungai yang ditinjau. Untuk mempermudah analisis, ditetapkan dua lokasi pengamatan pada masing-masing tikungan sungai sebagaimana ditunjukkan pada Gambar 5 (a). Simulasi dilakukan menggunakan debit puncak untuk menggambarkan kondisi aliran saat terjadi peningkatan debit.

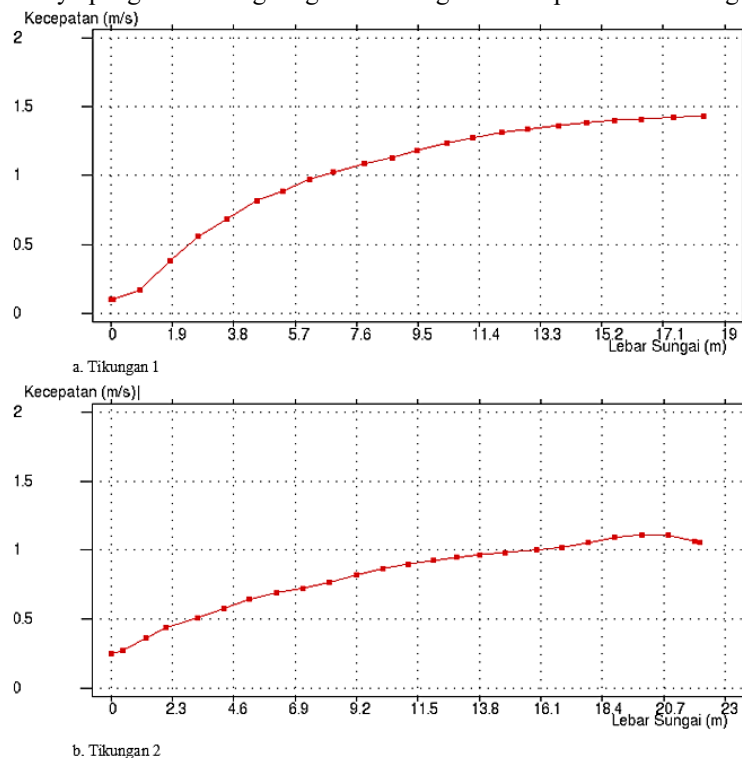


Gambar 6. Model Geometri Hasil Pemodelan Iber pada Debit Puncak

Sumber: Hasil Analisis Aplikasi Iber

Geometri sungai hasil pemodelan Iber ditunjukkan pada Gambar 6. Model memperlihatkan bentuk alur sungai yang berkelok dengan variasi lebar penampang pada beberapa lokasi. Pada bagian tikungan terlihat adanya perubahan arah aliran yang berpotensi mempengaruhi distribusi kecepatan dan elevasi muka air selama kondisi debit puncak.

Hasil simulasi menunjukkan bahwa distribusi kecepatan aliran pada tikungan sungai tidak merata sepanjang penampang saluran, sebagaimana ditunjukkan pada Gambar 7. Pada kedua tikungan terlihat bahwa kecepatan aliran cenderung lebih besar pada sisi luar tikungan dibandingkan sisi dalam. Kondisi tersebut menunjukkan adanya pengaruh kelengkungan alur sungai terhadap distribusi energi aliran.



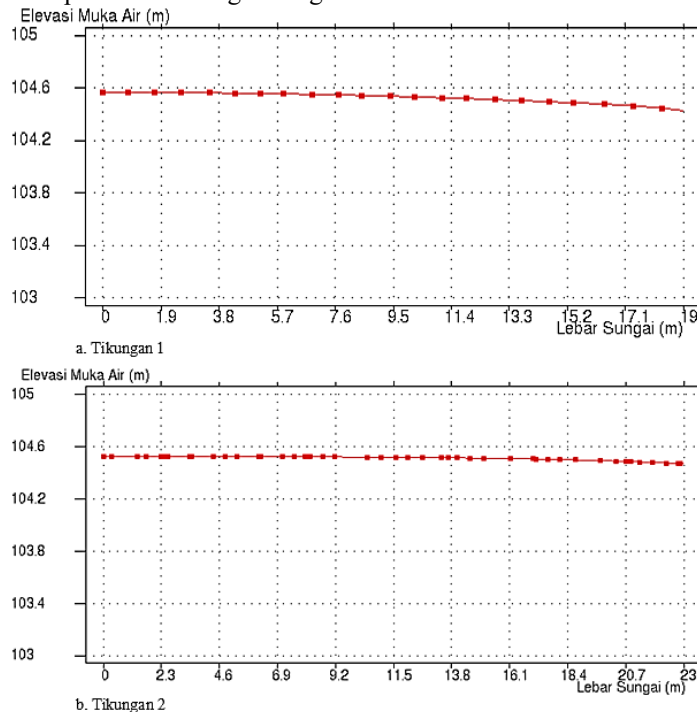
Gambar 7. Distribusi kecepatan tikungan 1 dan tikungan 2

Sumber: Hasil Analisis Aplikasi Iber

Pada tikungan 1, konsentrasi kecepatan tampak lebih dominan pada sisi luar tikungan dengan perubahan kecepatan yang relatif tajam terhadap sisi dalam. Pola tersebut mengindikasikan terjadinya

pemusatan energi aliran pada bagian luar tikungan yang berpotensi meningkatkan gaya geser terhadap tebing sungai sehingga memicu erosi lokal. Sementara itu, pada tikungan 2 distribusi kecepatan menunjukkan perubahan yang lebih bertahap dan relatif lebih merata dibandingkan tikungan 1. Kondisi ini mengindikasikan bahwa distribusi energi aliran pada tikungan 2 lebih stabil sehingga potensi erosi cenderung lebih rendah. Selain distribusi kecepatan, hasil simulasi elevasi muka air pada Gambar 8 juga menunjukkan adanya perbedaan elevasi antara sisi luar dan sisi dalam tikungan. Perbedaan tersebut terjadi sebagai respon terhadap variasi kecepatan aliran pada penampang sungai, dimana bagian dengan kecepatan lebih tinggi cenderung mengalami perubahan elevasi muka air yang lebih besar.

Secara umum, hasil simulasi menunjukkan bahwa bentuk geometri tikungan sungai memberikan pengaruh terhadap distribusi kecepatan aliran dan elevasi muka air, yang selanjutnya berpengaruh terhadap potensi erosi dan sedimentasi pada area tikungan sungai.



Gambar 8. Elevasi muka air tikungan 1 dan tikungan 2

Sumber: Hasil Analisis Aplikasi Iber

IV. KESIMPULAN

Berdasarkan hasil simulasi, distribusi kecepatan aliran pada tikungan sungai tidak merata, dimana kecepatan cenderung lebih besar di sisi luar tikungan dibandingkan sisi dalam. Perbedaan ini menunjukkan adanya pengaruh bentuk tikungan terhadap pola aliran. Tikungan dengan perubahan kecepatan yang lebih tajam memperlihatkan konsentrasi energi aliran yang lebih besar, sehingga sisi luar tikungan berpotensi mengalami erosi. Oleh karena itu, bagian tebing pada sisi luar tikungan diperlukan bangunan pelindung tebing sungai yang dapat mengurangi proses gerusan yang terjadi pada tikungan luar sungai.

REFERENSI

- [1] L. Zhao *et al.*, "Research on the Features of Rainfall Regime and Its Influence on Surface Runoff and Soil Erosion in the Small Watershed, the Lower Yellow River," *Water (Switzerland)*, vol. 15, no. 14, Jul. 2023, doi: 10.3390/w15142651.
- [2] C. Wasko, R. Nathan, L. Stein, and D. O'Shea, "Evidence of shorter more extreme rainfalls and increased flood variability under climate change," *J. Hydrol. (Amst)*, vol. 603, Dec. 2021, doi: 10.1016/j.jhydrol.2021.126994.
- [3] H. J. Barneveld *et al.*, "Extreme river flood exposes latent erosion risk," *Nature*, vol. 644, no. 8076, pp. 391–397, Aug. 2025, doi: 10.1038/s41586-025-09305-3.
- [4] J. M. Fattah Sheikh Suleimany, "Determination of Potential Runoff Coefficient using Geographic Information System for a Small Basin in Balakayety Watershed, Kurdistan Region of Iraq," *Polytechnic Journal*, vol. 10, no. 2, pp. 38–43, Dec. 2020, doi: 10.25156/ptj.v10n2y2020.pp38-43.

-
- [5] I. G. Tunas, P. Harsanto, and Y. Arafat, "Flow behaviour in an alluvial river due to extreme rainfall," in *IOP Conference Series: Earth and Environmental Science*, Institute of Physics, 2026. doi: 10.1088/1755-1315/1593/1/012035.
 - [6] R. Alsultani and R. F. Hasan, "Novel mathematical model for long-term hydrodynamic evolution of sediment transport and its impact on meandering geometry," *Journal of Water and Land Development*, pp. 1–16, Aug. 2025, doi: 10.24425/jwld.2026.156059.
 - [7] H. Wang, S. Yao, Y. Lu, L. Zuo, H. Liu, and Z. Zhao, "Morphological Changes of Sharp Bends in Response to Three Gorges Project Operation at Different Discharges," *Front. Earth Sci. (Lausanne)*, vol. 10, May 2022, doi: 10.3389/feart.2022.876631.
 - [8] M. Fathur Aditya, B. Triatmodjo, B. Agus Kironoto, and M. Fathur Aditya muhammadfathuraditya, "Analisis aliran dan erosi tikungan Sungai Konaweha ruas Morosi," *Proceeding Civil Engineering Research Forum*, vol. 3, Feb. 2024.
 - [9] H. Zhu, S. Chen, Z. Li, L. Gao, and X. Li, "Comparison of Satellite Precipitation Products: IMERG and GSMaP with Rain Gauge Observations in Northern China," *Remote Sens. (Basel)*, vol. 14, no. 19, Oct. 2022, doi: 10.3390/rs14194748.
 - [10] N. Helda *et al.*, "Evaluation of GSMap (Global Satellite Mapping of Precipitation) with the reference to rain gauge observations in Banjarbaru City, Indonesia," in *IOP Conference Series: Earth and Environmental Science*, Institute of Physics, 2024. doi: 10.1088/1755-1315/1343/1/012005.
 - [11] B. Triatmodjo, *Hidrologi Terapan*, 2nd ed. Yogyakarta: Beta Offset Yogyakarta, 2010.
 - [12] B. K. P. Cantik, E. G. A. Sapan, M. R. Al Ghiffari, M. R. Yuvhendmindio, and M. L. Aziz, "Surface Runoff Analysis Using SCS-CN Method in Summarecon Serpong Area," *INERSIA Informasi dan Ekspose Hasil Riset Teknik Sipil dan Arsitektur*, vol. 18, no. 2, pp. 94–103, Dec. 2022, doi: 10.21831/inersia.v18i2.53248.
 - [13] E. Blade *et al.*, "Iber — River modelling simulation tool," *SCIPEDIA*, Mar. 2014, doi: 10.1016/j.rimni.2012.07.004.
 - [14] S.-R. Marcos *et al.*, "Iber v3. Manual de referencia e interfaz de usuario de las nuevas implementaciones," *SCIPEDIA*, Jul. 2022, doi: 10.23967/iber.2022.01.
 - [15] E. Kesgin, "Flood Discharge Estimation in Ungauged Basins Using Synthetic Unit Hydrographs and GIS," *Firat University Journal of Experimental and Computational Engineering*, vol. 4, no. 2, pp. 375–392, Jun. 2025, doi: 10.62520/fujece.1645774.
 - [16] W. Sanusi and V. Pratiwi, "Evaluasi Koefisien Manning pada Berbagai Tipe Dasar Saluran," *CRANE : Civil Engineering Research Journal*, Apr. 2022, [Online]. Available: <https://ojs.unikom.ac.id/index.php/crane1WawaSanusi/CRANE/2022>