Jurnal Teknik Hidraulik
Vol. 16 No. 1, Juni 2025

P- ISSN 2087 - 3611
E- ISSN 2580 - 8087
Terakreditasi Kemenristek Dikti
http://jurnalth.pusair-pu.go.id

# Analisis Pengaruh Bangunan Krib terhadap Kecepatan Aliran pada Tikungan Luar Sungai Kalibuntu menggunakan Pemodelan Numerik

## *Analysis of Crib Structure Impact on Flow Velocity at the Outer River Bend of Kalibuntu River Using Numerical Modeling*

**Salsabila Rifdah Taufik[1)*], Bagas Nathaniel[2)], Elkayoan Radita[3)], Ririn Rimawan[4)]**

[1,3)] Balai Besar Wilayah Sungai Cimanuk Cisanggarung
Jalan Pemuda No. 40, Kota Cirebon, Provinsi Jawa Barat
[2,4)] Balai Hidrolika dan Geoteknik Keairan
Jalan Ir. H. Juanda No. 193, Kota Bandung, Provinsi Jawa Barat
* *Corresponding author*: taufikrfdh@gmail.com

Accepted: 07 January 2025; Revised: 26 February 2025; Approved: 24 June 2025

***Abstract***

*River morphology is a condition that is constantly changing due to erosion and sedimentation in certain parts of the river. However, erosion and sedimentation that occur in undesirable parts of the river can cause significant losses to humans. One of the villages that has the potential to experience damage due to river erosion is Kalibuntu Village where there has been a shift in the river channel that has approached the residential area and increased the risk of landslides. Based on this, the construction of river groynes is planned to prevent further erosion. The use of river groynes must be in accordance with the characteristics of the river and its surroundings. Selecting appropriate designs and materials is very important to achieve effective results in preventing river erosion. To obtain the effect of groynes on changes in the magnitude and direction of flow velocity at the Kalibuntu bend, numerical modeling was carried out using MIKE 21 - Curvilinear software which is a hydrodynamic model. This method was chosen because the software can describe the morphological response of the river with relatively good accuracy. The numerical model was carried out with 2 series of models, the first simulating the existing conditions of the river, while the second simulated the normalization of the river with installed groynes as per the planned design. When compared to previous studies, this study only focuses on the effect of groynes on flow velocity as depicted from the results of 2D modeling and validated using field observation data based on several approaches, while a further novelty is that similar research has not yet been conducted at the selected study location. Based on modeling of 4 river segments, the installation of groynes showed a reduction in average flow velocity by 0.04 m/s at the starting point segment just before the river bend, by 0.111 m/s at the outer bend of the river, by 0.124 m/s at the outer bend segment of the river downstream, and an increase in average flow velocity by 0.157 m/s at the inner bend segment of the river.*

***Keywords:*** *River, groynes, hydrodynamic modeling, MIKE 21 Curvilinear, erotion*

***Abstrak***

*Morfologi sungai merupakan kondisi yang senantiasa berubah akibat terjadinya gerusan maupun pengendapan pada bagian tertentu sungai. Namun, gerusan dan pengendapan yang terjadi pada bagian sungai yang tidak diinginkan dapat menyebabkan kerugian yang signifikan bagi manusia. Salah satu desa yang berpotensi mengalami kerugian akibat gerusan sungai adalah Desa Kalibuntu, dimana telah terjadi pergeseran alur sungai hingga mendekati area permukiman dan berpotensi menimbulkan longsor. Atas dasar hal tersebut direncanakan pembangunan krib sungai untuk mencegah erosi lanjutan. Penggunaan krib harus disesuaikan dengan karakteristik sungai dan lingkungan sekitarnya. Pemilihan desain dan material yang sesuai sangat krusial untuk mencapai hasil yang efektif dalam mencegah erosi. Untuk memperoleh gambaran pengaruh krib terhadap perubahan nilai dan arah kecepatan aliran pada tikungan Kalibuntu, maka dilakukan pemodelan numerik menggunakan perangkat lunak MIKE 21 – Curvilinear yang merupakan model hidrodinamika, Metode ini dipilih karena perangkat lunak tersebut mampu menggambarkan respons morfologi sungai dengan akurasi yang cukup baik. Model numerik dilakukan dengan 2 seri pemodelan, yaitu seri pertama dilakukan pemodelan terhadap kondisi eksisting sungai, sedangkan seri kedua dilakukan pemodelan terhadap normalisasi sungai dengan kondisi krib terpasang sesuai desain perencanaan. Jika dibandingkan dengan penelitian terdahulu, kajian ini hanya berfokus pada dampak krib terhadap kecepatan aliran yang digambarkan dari hasil pemodelan 2D dan divalidasi menggunakan data observasi lapangan berdasarkan beberapa pendekatan, dengan kebaruan berupa belum adanya studi sejenis di lokasi penelitian ini. Berdasarkan pemodelan pada 4 segmen sungai, pemasangan krib menunjukkan hasil penurunan kecepatan aliran rata-rata 0,04 m/s pada segmen titik awal tepat sebelum tikungan sungai, sebesar 0,111 m/s pada tikungan luar sungai, sebesar 0,124 m/s pada segmen tikungan luar sungai di hilir, dan peningkatan kecepatan aliran rata-rata 0,157 m/s pada segmen tikungan dalam sungai.*

***Kata Kunci***: *Sungai, krib, pemodelan hidrodinamika, MIKE 21 Curvilinear, erosi*

DOI: https://doi.org/10.32679/jth.v16i1.833
Copyright ©2025, The authors. Published by Direktorat Bina Teknik Sumber Daya Air, Direktorat Jenderal Sumber Daya Air, Kementerian Pekerjaan Umum

## PENDAHULUAN

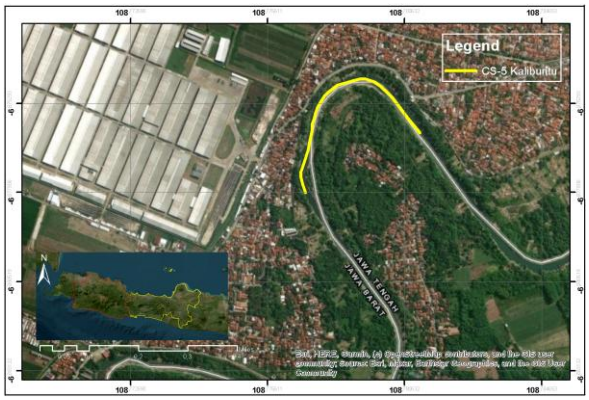
Sungai sebagai salah satu komponen utama dalam ekosistem perairan darat yang memiliki peran yang sangat penting dalam mendukung kehidupan dan aktivitas manusia (Allan et al., 2020). Namun, sungai juga sering menghadapi berbagai permasalahan morfologi yang dapat mengganggu fungsi dan keseimbangannya. Salah satu permasalahan tersebut adalah gerusan yang terjadi terutama pada tikungan luar sungai. Fenomena ini tidak hanya berdampak pada stabilitas struktur tebing sungai, tetapi juga memengaruhi kapasitas aliran dan kualitas habitat di sekitar sungai (Julien, 2002). Gerusan di sisi tikungan luar sungai merupakan hasil dari interaksi antara kecepatan aliran yang lebih kuat dan turbulensi yang terbentuk di bagian luar tikungan. Fenomena ini menyebabkan erosi yang lebih intensif dibandingkan dengan tikungan dalam, yang cenderung mengalami pengendapan sedimen. (Leopold & Wolman, 1970) menyatakan bahwa aliran air pada tikungan luar menghasilkan gaya sentrifugal yang meningkatkan kecepatan dan daya erosi, sehingga mempercepat proses gerusan. (Parker, 2007) menambahkan bahwa variasi kecepatan aliran dan distribusi tekanan hidrolik sepanjang tikungan sungai menyebabkan pola-pola kompleks erosi dan pengendapan, yang sering kali mengakibatkan perubahan morfologi sungai secara signifikan. Dinamika ini turut memengaruhi dinamika aliran dan distribusi energi hidrolik. Masalah ini diperburuk oleh faktor-faktor seperti perubahan penggunaan lahan, urbanisasi, dan aktivitas pembangunan di sepanjang sempadan sungai. Selain itu, menurut Tata Yunita et al. (2024), erosi juga dapat memengaruhi faktor sedimentasi dalam satu sistem sungai secara keseluruhan.

Salah satu kasus permasalahan morfologi sungai yang terjadi di Indonesia adalah gerusan pada tikungan luar Sungai Cisanggarung di Desa Kalibuntu. Kecepatan aliran yang relatif tinggi padadi bagian tikungan luar dapat berpotensi menyebabkan gerusan tebing yang dapat mengancam jalan provinsi. Salah satu bangunan air yang digunakan untuk melindungi tebing sungai dari potensi gerusan lokal akibat aliran sungai yang tinggi adalah krib (Zulfan et al., 2019). Pada tahun 2023, kondisi bangunan krib eksisting yang terletak di lokasi tikungan luar tersebut mengalami kerusakan berat. Uji model hidraulik dilakukan untuk menetapkan prarencana teknis dengan luaran berupa lokasi krib yang optimal, jumlah dan jaraknya, serta fenomena hidrodinamik yang timbul akibat pemasangan krib (Putriasri et al., 2023). Dalam kajian ini, dilakukan pemodelan numerik menggunakan perangkat lunak MIKE 21 Curvilinear (MIKE 21C) dengan modul *hidrodinamika* untuk mengetahui arah kecenderungan aliran sungai pada tikungan luar dan nilai kecepatan pada tikungan luar. Selain itu, dilakukan pula pemodelan desain krib baru untuk menilai efektivitasnya dalam mereduksi kecepatan aliran. Jika dibandingkan dengan penelitian terdahulu, kajian ini hanya berfokus pada pengaruh krib terhadap kecepatan aliran, yang digambarkan melalui hasil pemodelan dua dimensi (2D) sehingga diharapkan memberikan solusi yang lebih efektif dalam mitigasi gerusan pada tikungan luar sungai, dan divalidasi menggunakan data observasi lapangan dengan pendekatan tertentu.

Kajian ini juga mempertimbangkan parameter perubahan iklim berupa debit banjir rencana sebagai akibat perubahan iklim. Hal ini dilakukan untuk mengetahui nilai kecepatan ekstrim apabila terjadi debit banjir akibat perubahan iklim, namun perlu diperhatikan bahwa menurut Didovets et al. (2021) perubahan iklim pada suatu DAS perlu dilakukan secara menyeluruh, karena pendekatan pada sub-DAS kecil tidak mencerminkan kondisi sistem secara keseluruhan. Oleh karena itu, kajian ini menggunakan data hasil proyeksi perubahan iklim untuk wilayah utara Pulau Jawa secara makro.

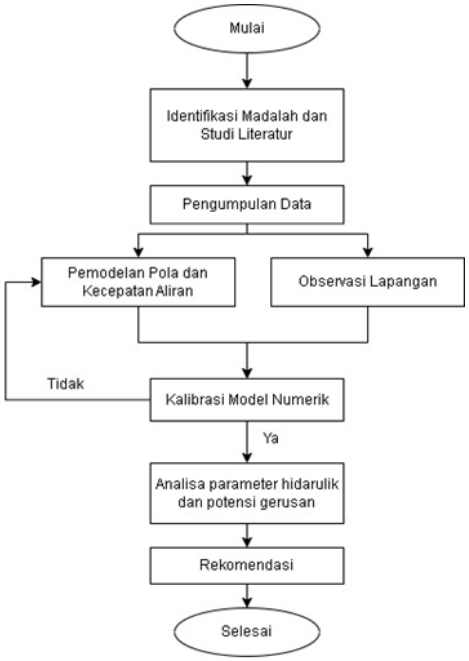
## METODOLOGI

Lokasi penelitian berada di Desa Kalibuntu, Kecamatan Pabedilan dengan penandaan lokasi menggunakan garis kuning yang menunjukkan posisi dinding penahan tanah dan desain tanggul pada **Error! Reference source not found.**. Ruas sungai di Desa Kalibuntu ini merupakan bagian dari DAS Cisanggarung, yang secara geografi terletak pada titik koordinat 105° 20' - 108° 47' Bujur Timur dan 6° 45' - 7° 12' Lintang Selatan. Luas Daerah Aliran Sungai DAS Cisanggarung 1.325 km$^2$ dengan panjang sungai utama ±122,210 Km dan terdiri dari 58 anak sungai.




**Gambar 1** Lokasi

Diagram alir tahapan penelitian ditunjukan pada **Gambar 2** sebagai berikut:




**Gambar 2** Flowchart Penelitian

Pemodelan numerik menggunakan perangkat lunak MIKE 21C pada Sungai Cisanggarung Desa Kalibuntu, digunakan untuk mengetahui pola kecenderungan aliran pada tikungan luar sungai serta nilai kecepatan pada beberapa titik observasi. Berdasarkan kajian (Parsapour-Moghaddam et al., 2018), pemodelan hidrodinamika menggunakan MIKE 21FM menunjukkan bahwa penggunaan *unstructured grid cells* menghasilkan pola aliran yang kurang halus.. Sementara itu, Qureshi et al. (2025) menunjukkan bahwa pemodelan dengan HEC-RAS lebih tepat digunakan untuk simulasi genangan banjir guna mengetahui hubungan antara volume banjir dan debit rencana. Hasil studi Seyvani et al. (2024) menyatakan bahwa LISFLOOD adalah model hidrologi berskala besar yang mensimulasikan siklus hidrologi penuh dan bermanfaat untuk analisis kebijakan, peringatan banjir, serta skenario perubahan iklim. Namun, akurasi pemetaan banjir menggunakan LISFLOOD-FP sangat bergantung pada kondisi topografi dan geomorfologi wilayah. Kendala muncul ketika data acuan tidak tersedia, atau perbandingan antar model memerlukan waktu dan sumber daya besar. Untuk mengatasi hal tersebut, pendekatan *deep learning* dalam studi tersebut memungkinkan prediksi akurasi LISFLOOD-FP hanya berdasarkan data topografi dan lingkungan (DEM, NDVI, kemiringan, tutupan lahan, dll.), tanpa perlu menjalankan simulasi penuh. Hal ini menunjukkan bahwa meskipun LISFLOOD sangat kuat untuk analisis skala makro, penggunaannya untuk pemetaan banjir lokal perlu mempertimbangkan kecocokan spasial dan dapat ditingkatkan dengan dukungan AI. Oleh karena itu, kajian ini menggunakan MIKE 21C karena perangkat ini mampu menganalisis pola aliran kompleks di sungai berkelok menggunakan grid curvilinear, yang lebih sesuai dibandingkan metode konvensional berbasis grid kartesian. Model ini juga mampu menangkap fluktuasi hidrodinamika secara lebih detail serta memungkinkan simulasi berbagai skenario desain bangunan krib, sehingga memberikan hasil yang lebih akurat dalam perencanaan mitigasi gerusan sungai. Berikut adalah persamaan kontinuitas aliran (yang digunakan pada pemodelan numerik:

$$\frac{\partial s}{\partial t} + \frac{\partial u}{\partial x} + \frac{\partial v}{\partial y} = 0 \qquad (1)$$

Berikut adalah persamaan momentum yang digunakan pada pemodelan numerik pada arah x dan y:

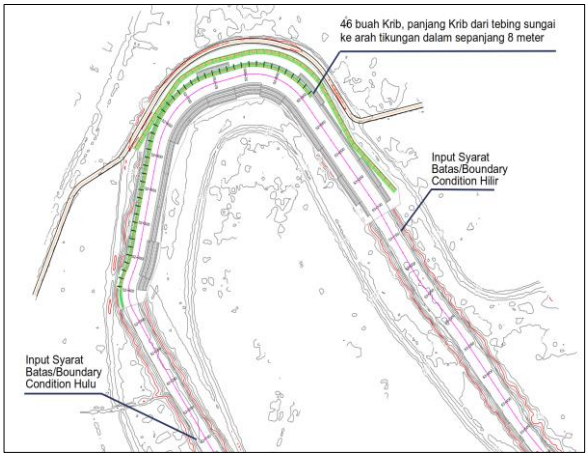
$$\frac{\partial u}{\partial t} + u\frac{\partial u}{\partial x} + v\frac{\partial u}{\partial y} = g\frac{\partial s}{\partial x} - \frac{\tau_{bx}}{\rho h} - \frac{1}{\rho h}\left[\frac{\partial S_{xx}}{\partial x} + \frac{\partial S_{xy}}{\partial y}\right] + \frac{1}{h}\left[\frac{\partial}{\partial x}\left(Eh\frac{\partial u}{\partial x}\right) + \frac{\partial}{\partial y}\left(Eh\frac{\partial u}{\partial y}\right)\right] \qquad (2)$$

$$\frac{\partial v}{\partial t} + u\frac{\partial v}{\partial x} + v\frac{\partial v}{\partial y} = g\frac{\partial s}{\partial y} - \frac{\tau_{by}}{\rho h} - \frac{1}{\rho h}\left[\frac{\partial S_{xy}}{\partial x} + \frac{\partial S_{yy}}{\partial y}\right] + \frac{1}{h}\left[\frac{\partial}{\partial x}\left(Eh\frac{\partial v}{\partial x}\right) + \frac{\partial}{\partial y}\left(Eh\frac{\partial v}{\partial y}\right)\right] \qquad (3)$$

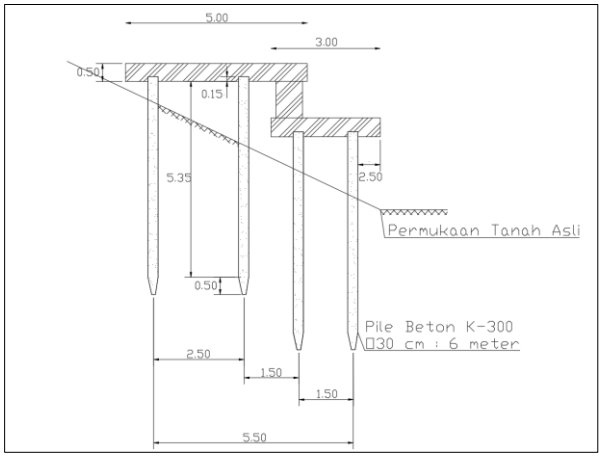
Dimana
s : Elevasi muka air
τ : tegangan gesek
ρ : kerapatan air
E : Koefisien viskositas

Data yang digunakan dalam pemodelan numerik Sungai Cisanggarung:

1. Data pengukuran batimetri dan topografi area tinjauan Kali Buntu dari STA. 52+150 sampai dengan STA. 53+150. Total panjang Kali Buntu yang dimodelkan sekitar 1,00 km berdasarkan dokumen DED. Pada kondisi eksisting lebar sungai rata-rata pada STA 52+150 hingga STA 52+500 dan 52+850 hingga STA 53+150 adalah 30 meter, sedangkan pada STA 52+500 hingga STA 52+800 adalah 31 meter dan pada STA 52+850 hingga STA 52+900 adalah 34 meter.
2. Data layout desain krib untuk pemodelan ditunjukan pada **Gambar 3**. Lebar rata-rata sungai pada STA 52+500 hingga STA 52+800 adalah 23 meter dari ujung krib ke tebing sungai, sedangkan pada STA 52+850 hingga STA 52+900 adalah 26 meter, dan pada STA 52+150 hingga STA 52+500 dan 52+850 sama dengan kondisi eksisting yaitu 30 meter dengan tipe krib merupakan krib poros menggunakan *pile*.

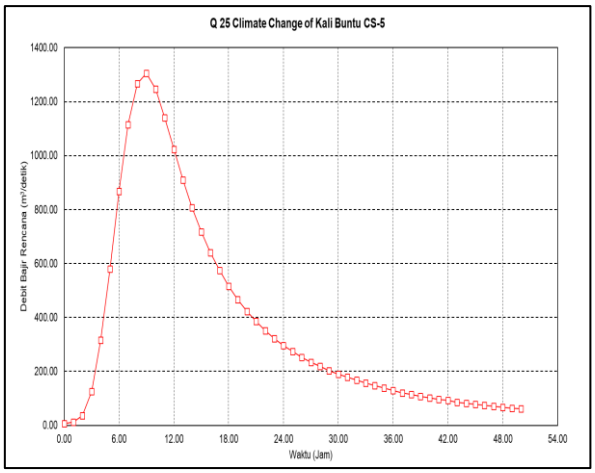



**Gambar 3** Layout Desain Krib




**Gambar 5** Profil Krib

3. Data hidrograf banjir desain periode ulang 25 tahun (Q25), dengan nilai Qpeak :1304 m3/detik dan Tpeak : jam kesepuluh yang dapat dilihat pada **Gambar 4**.




**Gambar 4** Hidrograf Kala Ulang 25 Tahun

4. Data desain 46 buah krib melintang sungai, dimana lokasi krib hulu terletak pada STA. 52+450 dan lokasi krib hilir terletak pada STA. 53+100 dengan tipikal ditunjukan pada **Gambar 5**. Berikut merupakan detail data teknis terkait dimensi krib :

   - Terdiri dari 4 spoonpile yang bersifat kedap air (Beton K-300)
   - Panjang (vertikal) spoonpile 6 meter dan diameter 30 cm

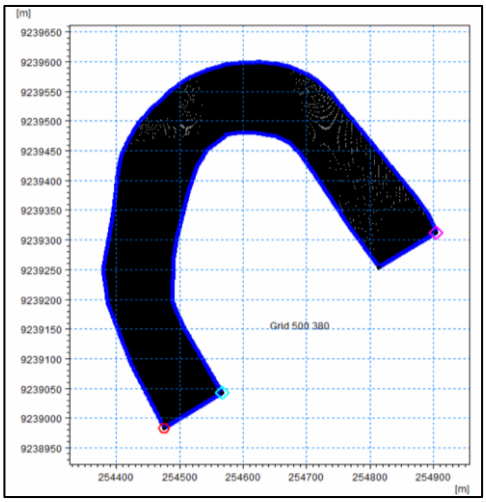
   Total *spoonpile* pada model yang dimasukkan sebagai *structiure* berupa *dikes* sebanyak 630 buah dengan *top elevation crest* diesuaikan dengan setiap *elevation* pada desain krib.

Pengaruh krib terhadap perubahan nilai dan arah kecepatan aliran pada tikungan Kali Buntu, ditunjukan oleh hasil pemodelan numerik menggunakan perangkat lunak MIKE 21 *Curvilinear* menggunakan modul *Hydrodynamic* (**Gambar 5**). Model numerik dilakukan dengan 2 seri model, dimana seri pertama dilakukan pemodelan terhadap kondisi eksisting sungai, sedangkan untuk seri kedua dilakukan pemodelan terhadap normalisasi sungai dengan kondisi krib terpasang sesuai desain perencanaan.

Berikut adalah data yang diinput dalam pemodelan numerik Sungai Cisanggarung:

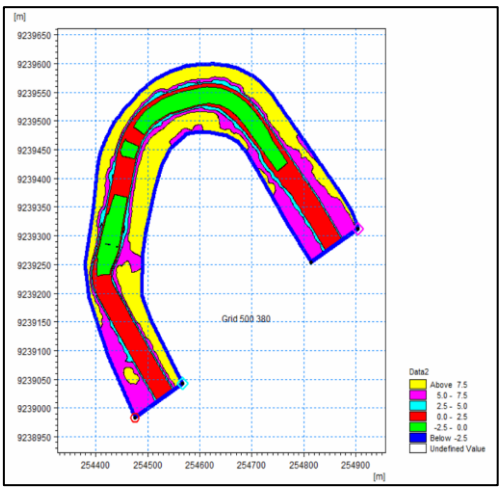
1. Geometri model

   Batas geometri model hulu terletak pada STA. 52+150 sampai dengan STA. 53+150. Total panjang Kali Buntu yang dimodelkan sekitar 1,00 km. Grid model menggunakan resolusi *curvilinear grid* elemen j: 500 & elemen k: 380 (**Gambar 6**). Sehingga kerapatan untuk grid elemen *j* sekitar 30 – 40 cm dan untuk *grid* elemen *k* sekitar 250 – 270 cm.




**Gambar 6** Grid j: 500 x k: 380 Model

Data batimetri yang digunakan memiliki batas elevasi *land boundary* pada model diasumsikan berada pada El. + 8,50 meter yang ditunjukan pada **Gambar 7**.




**Gambar 7** Batas Elevasi

2. *Simulation Period*
   *Simulation period* dilakukan selama 50 jam, mengikuti waktu daripada hidrograf banjir rencana. Dari hasil *trial & error* model, diperoleh nilai *timestep* untuk model sebesar 0,04 detik. Pada model ini juga dilakukan *wam-up* period secara utuh agar model agar metode perhitungan numerik *finite element* lebih stabil.

3. *Boundary*
   Nilai elevasi *land boundary* berada pada El. +8,50. Nilai ini digunakan karena sesuai dengan koordinat elevasi di lapangan, sehingga diperoleh *boundary* model untuk hulu dan hilir. *Boundary* hulu (*flux*) menggunakan data $Q_{25}$ *Climate Change of* Kali Buntu, menurut Nurbatsina et al. (2025) pemodelan menggunakan data perubahan iklim dilakukan untuk pengamatan banjir dalam jangka panjang dan penting perannya untuk pengelolaan sumber daya air yang efektif. *Boundary* hilir (*level*) menggunakan hasil kalibrasi dan validasi elevasi muka air di lapangan menggunakan pemodelan 1 dimensi untuk elevasi muka air banjir pada penampang hilir (STA. 53+100) dari debit banjir rencana periode ulang 2 tahun ($Q_2$) yang berada pada El. 4,74 m. Untuk *initial condition* menggunakan asumsi elevasi muka air banjir pada penampang hulu (STA. 52+400) dari debit banjir rencana periode ulang 2 tahun ($Q_2$) yang berada pada El. 7,07 m. Untuk peningkatan nilai akurasi dalam pemodelan *hydrodynamic* menggunakan pemodelan numerik, menurut Rivera-Trejo et al. (2025) diperlukan pengukuran data muka air di titik observasi secara berulang dan spasial menggunakan alat ADCP atau MBES. Dan dari hasil kajian Plancke et al. (2020) untuk memperoleh pola dan arah kecepatan aliran silang pada segmen penampang sungai, sehingga diperlukan kombinasi data *boundary* yang sudah terkalibrasi di lapangan. Dalam studi ini, belum dilakukan kalibrasi berupa pengambilan data muka air di lapangan.

4. Parameter Hidarulik Model
   Berikut adalah data lokasi krib rencana berdasarkan dokumen DED, desain krib berupa *bored pile* dengan dimensi 0,3 x 0,3 m. Jumlah total *pile* krib yang dimodelkan sebanyak 630 buah. Untuk parameter hidraulik yang diatur dalam pemodelan antara lain adalah viskositas kinematik, koefisien kekasaran Manning dan integrasi model dengan detail nilai masing-masing parameter sesuai pada **Tabel 1**.

**Tabel 1** Parameter Hidarulik

| Model Paramater | Nilai | Keterangan |
|---|---|---|
| Eddy Viscosity | $10^{-6}$ m²/s | Viscosity kinematic of water at 20 C |
| Resistance | 30,303 | Manning Number (N) |
| HD Integration | Fully Dynamic | Integration type of Model is Fully Dynamic |

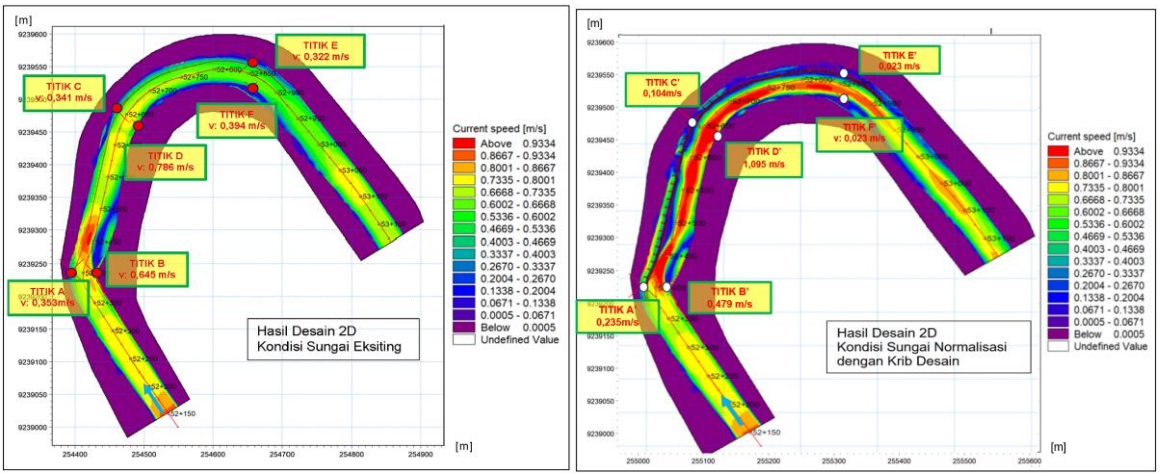
5. Model *Output*
   Model *output* dibagi menjadi 360 interval, sehingga untuk setiap interval waktu sebesar 8 menit 40 detik selama 50 jam. Berikut adalah model *output* yang diperoleh.

## HASIL DAN PEMBAHASAN

Hasil model ditampilkan ketika kondisi kecepatan maksimum pada interval waktu ke-230 untuk kondisi eksisting dan normalisasi krib desain adalah seperti pada **Gambar 8**. Identifikasi dilakukan berdasarkan pembagian segmen tikungan sungai. Berikut adalah definisi untuk setiap segmen diperlihatkan pada **Tabel 2**.

**Tabel 2** Lokasi Pengukuran

| Segmen Pengukuran Kecepatan Kondisi Eksisting | | Segmen Pengukuran Kecepatan Kondisi Desain Krib | |
|---|---|---|---|
| A | Titik awal tepat sebelum tikungan luar sungai eksisting hulu | A' | Titik awal tepat sebelum tikungan luar sungai hulu. |
| B | Titik pada tikungan dalam sungai eksisting hulu. | B' | Titik pada tikungan dalam sungai normalisasi hulu dengan krib desain. |
| C | Titik pada tikungan luar sungai eksisting tengah. | C' | Titik pada tikungan luar sungai normalisasi tengah dengan krib desain. |
| D | Titik pada tikungan dalam sungai eksisting tengah. | D' | Titik pada tikungan dalam sungai normalisasi tengah dengan krib desain. |
| E | Titik pada tikungan luar sungai eksisting hilir | E' | Titik pada tikungan luar sungai normalisasi hilir dengan krib desain. |
| F | Titik pada tikungan dalam sungai eksisting hilir. | F' | Titik pada tikungan dalam sungai normalisasi hilir dengan krib desain. |




**Gambar 8** Perbandingan Hasil Model 2 Dimensi Eksisting dengan Normalisasi Krib Desain

Salah satu kriteria desain untuk mengoptimalkan fungsi krib menurut Chabokpour (2024)adalah jarak antar krib untuk memodifikasi aliran air. Dari hasil pemodelan pada Gambar 5, pola aliran pada kondisi eksisting yang awalnya berada pada tikungan luar sungai berubah pada kondisi pemasangan desain krib pola aliran relatif berpindah ke tengah sungai. Menurut Ding et al. (2023) pengaruh aliran setelah ada bangunan krib pada tikungan sungai antara lain adalah perubahan nilai kecepatan aliran pada sekitaran krib, pendistribusian kecepatan aliran yang mengakibatkan perubahan pola aliran seperti aliran vortex yang awalnya terjadi di tebing sungai berpindah menjadi di bagian ujung kepala krib. Pada **Error! Reference source not found.** diambil 3 titik observasi yang terletak pada palung sungai antara lain pada STA. +400, STA. +650, dan STA. +850. Hasil nilai kecepatan pada palung sungai ditabulasikan dalam **Tabel 3**.

**Tabel 3** Kecepatan pada Palung Sungai

| STA. | Kecepatan Rata-rata Eksisting (m/s) | Kecepatan Rata-rata Desain (m/s) | Keterangan |
|---|---|---|---|
| +400 | 0,54 | 0,56 | Terjadi peningkatan kecepatan sebesar 0,02 m/s |
| +650 | 0,53 | 0,56 | Terjadi peningkatan kecepatan sebesar 0,03 m/s |
| +850 | 0,44 | 0,49 | Terjadi peningkatan kecepatan sebesar 0,05 m/s |

Dapat dilihat pada **Tabel 4** nilai kecepatan maksimum dan kecepatan rata-rata pada setiap titik segmen berdasarkan hidrograf banjir selama 50 jam atau selama 360 interval *timestep* pada model numerik.

**Tabel 4** Kecepatan Tiap Segmen

| Lokasi | Kecepatan Aliran (m/s) | | | | Keterangan |
|---|---|---|---|---|---|
| | Eksisting | | Desain | | |
| | *Max Value* | *Average* | *Max Value* | *Average* | |
| Titik – A | *0,461* | *0,297* | | | Kecepatan rata-rata tereduksi sebesar 0,117 m/s |
| Titik – A' | | | *0,258* | *0,180* (↓) | |
| Titik – B | *0,77* | *0,416* | | | Kecepatan rata-rata tereduksi sebesar 0,042 m/s |
| Titik – B' | | | *0,818* | *0,374* (↓) | |
| Titik – C | *0,397* | *0.259* | | | Kecepatan rata-rata tereduksi sebesar 0,126 m/s |
| Titik – C' | | | *0,401* | *0,133* (↓) | |
| Titik –D | *1,305* | *0,357* | | | Kecepatan rata-rata naik sebesar 0,184 m/s |
| Titik – D' | | | *1,613* | *0,541* (↑) | |
| Titik – E | *0.311* | *0.202* | | | Kecepatan rata-rata tereduksi sebesar 0,155 m/s |
| Titik – E' | | | *0.212* | *0.047* (↓) | |
| Titik – F | *0,501* | *0,279* | | | Kecepatan rata-rata tereduksi sebesar 0,232 m/s |
| Titik – F' | | | *0,212* | *0,047* (↓) | |

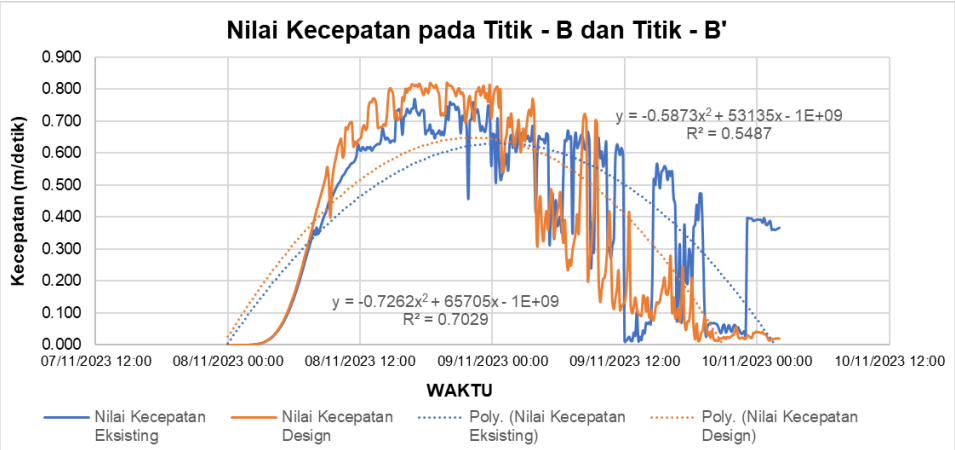
Berikut adalah poin-poin analisis berdasarkan hasil model numerik 2 dimensi:

1. Hasil Analisis Model Numerik 2D kondisi sungai eksisting:
   - Pola dan arah aliran berdasarkan hasil model numerik pada **Error! Reference source not found.** terdistribusi merata di tengah sungai.
   - Pada tikungan luar STA 52+400 sampai dengan STA 52+600 kecepatan aliran sekitar 0,40 – 0,73 m/s.
   - Kecepatan aliran yang berada di antara STA 52 + 400 sampai dengan STA 52 + 450 sekitar 0,7335 – 0,9334 m/s. Hal ini disebabkan akibat kemiringan dasar sungai yang berdasarkan data batimetri yang diperoleh relatif curam, dengan nilai *slope* dasar sungai sekitar 6%.
2. Hasil Analisis Model Numerik 2D kondisi sungai normalisasi dengan desain krib:
   - Pola dan arah aliran berdasarkan hasil model numerik pada **Error! Reference source not found.** cenderung berpindah dari tikungan luar sungai menuju tengah sungai pada STA. 52 + 400 sampai dengan STA. 52+600. Sedangkan pada pola dan arah aliran pada STA. 52+600 sampai dengan STA. 52+7000 cenderung mengarah ke tikungan dalam sungai.
   - Berdasarkan hasil pemodelan 2D pada *timestep* 230, nilai kecepatan pada tikungan luar sungai bagian hulu setelah normalisasi dan pemasangan krib desain (Titik G) mengalami penurunan, apabila dibandingkan dengan kondisi eksisting sebesar 0,118 m/s. Yang awalnya nilai kecepatan (pada Titik A) sebesar 0,353 m/s menjadi 0,235 m/s.
   - Berdasarkan hasil pemodelan 2D pada *timestep* 230, nilai kecepatan pada tikungan luar sungai bagian tengah setelah normalisasi dan pemasangan krib desain (Titik I) mengalami penurunan, apabila dibandingkan dengan kondisi eksisting sebesar 0,237 m/s. Yang awalnya nilai

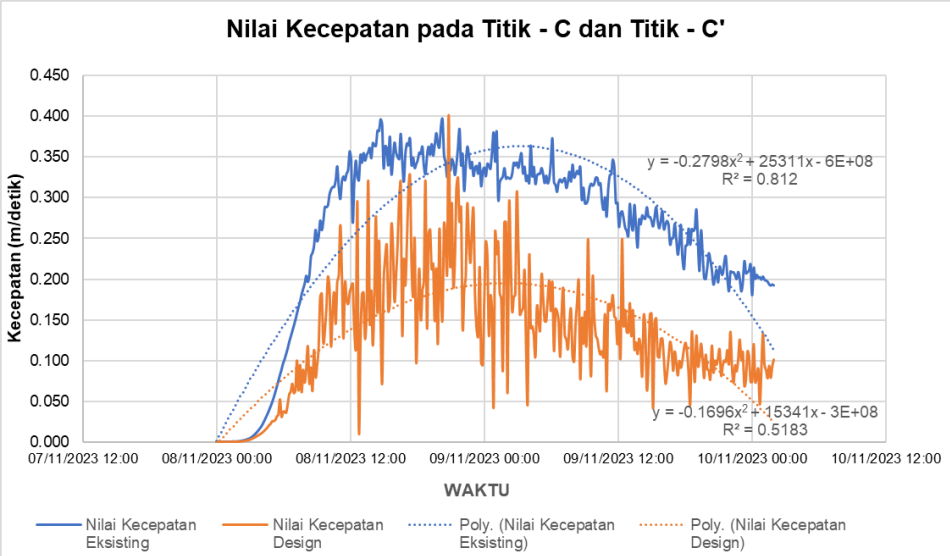
kecepatan (pada Titik C) sebesar 0,341 m/s menjadi 0,104 m/s.

- Berdasarkan hasil pemodelan 2D pada *timestep* 230, nilai kecepatan pada tikungan luar sungai bagian hilir setelah normalisasi dan pemasangan krib desain (Titik K) mengalami penurunan, apabila dibandingkan dengan kondisi eksisting sebesar 0,299 m/s. Yang awalnya nilai kecepatan (pada Titik E) sebesar 0,322m/s menjadi 0,023 m/s.
- Berdasarkan hasil pemodelan 2D pada *timestep* 230, nilai kecepatan pada tikungan dalam sungai bagian hulu setelah normalisasi dan pemasangan krib desain (Titik H) mengalami penurunan, apabila dibandingkan dengan kondisi eksisting sebesar 0,166 m/s. Yang awalnya nilai kecepatan (pada Titik B) sebesar 0,645 m/s menjadi 0,479 m/s.
- Berdasarkan hasil pemodelan 2D pada *timestep* 230, nilai kecepatan pada tikungan dalam sungai bagian tengah setelah normalisasi dan pemasangan krib desain (Titik J) mengalami kenaikan, apabila dibandingkan dengan kondisi eksisting sebesar 0,309 m/s. Yang awalnya nilai kecepatan (pada Titik D) sebesar 0,786 m/s menjadi 1,095 m/s.
- Berdasarkan hasil pemodelan 2D pada *timestep* 230, nilai kecepatan pada tikungan dalam sungai bagian hulu setelah normalisasi dan pemasangan krib desain (Titik H) mengalami penurunan, apabila dibandingkan dengan kondisi eksisting sebesar 0,371 m/s. Yang awalnya nilai kecepatan (pada Titik F) sebesar 0,394 m/s menjadi 0,023 m/s.
- Dari hasil model untuk nilai kecepatan untuk *timestep interval* 230 sebagai acuan kondisi maksimum model, krib dapat mereduksi kecepatan aliran pada tikungan luar sungai, namun akibat adanya krib, kecepatan aliran cenderung mengarah ke tikungan dalam Sungai Kalibuntu.
- Kecepatan aliran pada hilir Kalibuntu (titik STA 53+150), mengalami kenaikan sebesar 0,062 m/s. Yang awalnya nilai kecepatan eksisting pada STA 52+150 sebesar 0,729 m/s menjadi 0,791 m/s.
- Terjadi aliran pada hasil model krib desain yang berada pada belakang bangunan *krib*. Hal ini disebabkan adanya celah antara puncak krib tebing sungai yang sudah di normalisasi. Dengan kecepatan aliran > 4 m/s berada di antara penampang STA. 52 + 400 sampai dengan STA. 52 + 600.
- Hasil analisis dari nilai kecepatan rata-rata pada titik-titik pengamatan menunjukkan (STA. +400; +650; dan +850) nilai kecepatan rata-rata pada kondisi eksisting sekitar 0,50 m/s setelah terpasang krib menjadi 0,54 m/s. Sehingga terjadi peningkatan kecepatan aliran setelah adanya bangunan krib sebesar 7%.
- Hasil analisis dari nilai kecepatan rata-rata pada titik-titik pengamatan menunjukkan dengan nilai rata-rata kecepatan aliran pada kondisi eksisting tikungan luar sungai (titik A; titik C; dan titik E) sebesar 0,25 m/s dan dengan nilai rata-rata kecepatan aliran pada kondisi desain tikungan luar sungai (titik A'; titik C'; dan titik E') sebesar 0,12 m/s, nilai reduksi kecepatan pada tikungan luar sebesar 52,5%.
- Hasil analisis dari nilai kecepatan rata-rata pada titik-titik pengamatan menunjukkan dengan nilai rata-rata kecepatan aliran pada kondisi eksisting tikungan dalam sungai (titik B; titik D; dan titik F) sebesar 0,35 m/s dan dengan nilai rata-rata kecepatan aliran pada kondisi desain tikungan dalam sungai (titik B'; titik D'; dan titik F') sebesar 0,32 m/s, nilai reduksi kecepatan pada tikungan dalam sebesar 9%.
- Sehingga dari analisis kecepatan pada titik-titik pengamatan, aliran sungai yang awalnya terkonsentrasi pada tikungan luar sungai, relatif terkonsentrasi ke tengah aliran sungai setelah adanya bangunan krib.
- Grafik hubungan nilai kecepatan terhadap waktu untuk kondisi eksisting dan konsisi krib desain serta normalisasi dapat dilihat pada **Gambar 9** sampai dengan **Gambar 14**.

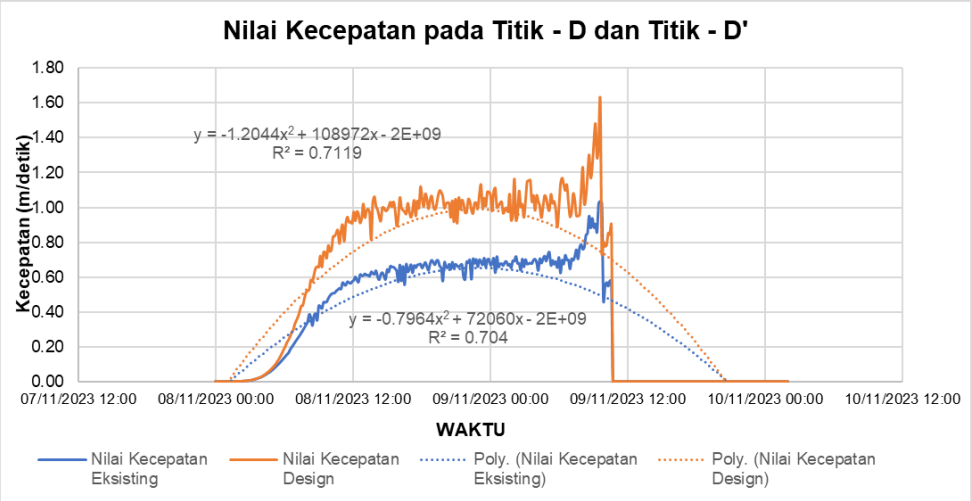
**Gambar 9** Grafik Hubungan antara Nilai Kecepatan Eksisting dengan Kecepatan Desain Krib Tikungan Luar Hulu pada Titik - A dan Titik – A'



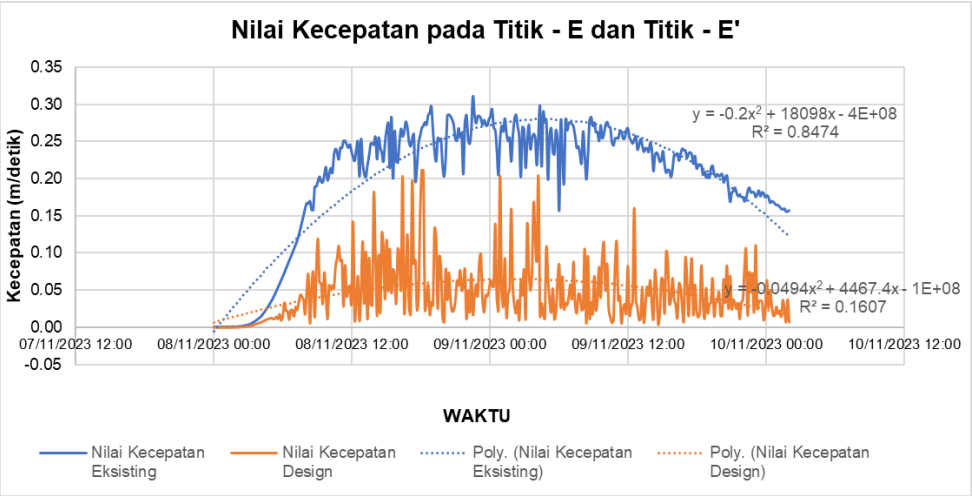

**Gambar 10** Grafik Hubungan antara Nilai Kecepatan Eksisting dengan Kecepatan Desain Krib Tikungan Dalam Hulu pada Titik - B dan Titik – B'



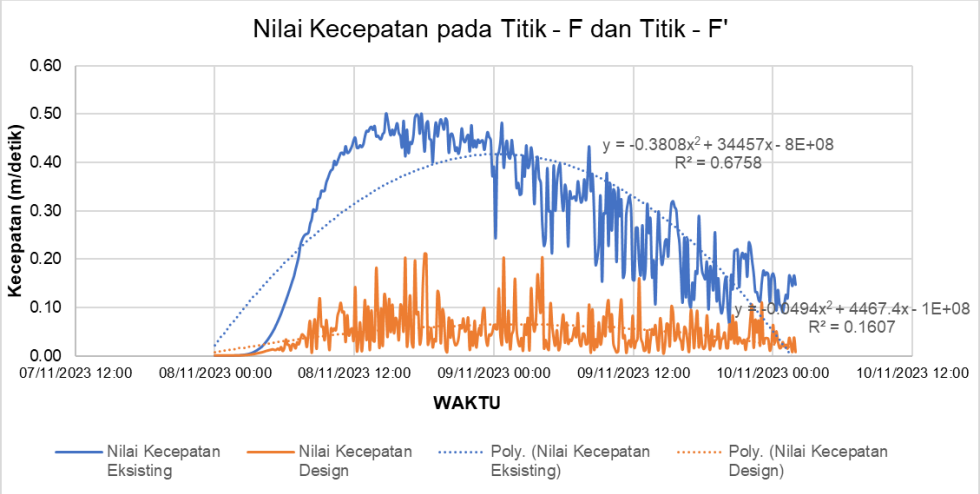

**Gambar 11** Grafik Hubungan antara Nilai Kecepatan Eksisting dengan Kecepatan Desain Krib Tikungan Luar Tengah pada Titik - C dan Titik – C'




**Gambar 12** Grafik Hubungan antara Nilai Kecepatan Eksisting dengan Kecepatan Desain Krib Tikungan Dalam Tengah pada Titik - D dan Titik – D'




**Gambar 13** Grafik Hubungan antara Nilai Kecepatan Eksisting dengan Kecepatan Desain Krib Tikungan Luar Hilir pada Titik - E dan Titik – E'




**Gambar 14** Grafik Hubungan antara Nilai Kecepatan Eksisting dengan Kecepatan Desain Krib Tikungan Dalam Hilir pada Titik - F dan Titik – F'

Pada dasarnya kecepatan aliran merupakan faktor penyebab erosi, karena semakin tinggi kecepatan aliran maka semakin mudah tebing dan dasar sungai tergerus oleh air. Menurut hasil kajian Prasetyo, Juwono, dan Sisinggih (2021), reduksi kecepatan aliran akibat pengaruh krib akan mereduksi tekanan geser di sepanjang alur sungai. Pada studi ini, kondisi material sungai merupakan aluvial. Untuk itu krib merupakan struktur yang dibangun untuk salah satunya memperlambat aliran air (Liu et al., 2021), agar tidak menggerus tebing sungai khususnya pada bagian tikungan luar. Dari hasil pemodelan di atas diketahui krib dapat mereduksi kecepatan aliran Sungai Cisanggarung yang artinya juga akan mereduksi potensi terjadinya erosi. Untuk mengoptimalkan potensi gerusan pada sungai, menurut hasil kajian Whittaker et al. (2022), diperlukan perlindungan kaki atau perlindungan pada dasar struktur bangunan air, agar reduksi kecepatan pada dasar bangunan lebih efektif. Menurut hasil kajian Hasan dan Toda (2024) pola aliran antar krib akan sangat memengaruhi tebing sungai, karena aliran berpindah dari tebing sungai menuju ke tengah sungai.

## KESIMPULAN

Gerusan akibat kecepatan aliran yang tinggi dapat menyebabkan perubahan morfologi sungai dan menimbulkan kerugian, seperti yang terjadi di Desa Kalibuntu, di mana pergeseran alur sungai mendekati permukiman meningkatkan potensi longsor. Oleh karena itu, diperlukan intervensi struktural, seperti pemasangan krib, untuk mengendalikan gerusan, terutama di tikungan luar.

Hasil analisis dari pemodelan numerik menggunakan MIKE 21C menunjukkan bahwa:

- Kecepatan rata-rata pada tikungan luar (Titik A, C, dan E) menurun dari 0,25 m/s menjadi 0,12 m/s setelah pemasangan krib, atau sekitar 52,5% reduksi.
- Kecepatan rata-rata pada tikungan dalam (Titik B, D, dan F) menurun dari 0,35 m/s menjadi 0,32 m/s, atau sekitar 9% reduksi.
- Aliran yang semula terkonsentrasi di tikungan luar bergeser ke arah palung sungai, yang berpotensi mengurangi erosi pada tebing.

Pola aliran setelah pemasangan krib cenderung berpindah ke arah tengah sungai. Kecepatan di tikungan luar menurun sebesar 0,1–0,2 m/s, yang menunjukkan potensi pengurangan scouring. Sementara itu, peningkatan kecepatan di tikungan dalam sebesar 0,18 m/s dapat membantu mencegah agradasi.

Distribusi kecepatan pada kondisi eksisting relatif merata, sedangkan setelah pemasangan krib aliran terkonsentrasi di palung sungai. Hal ini bermanfaat untuk mengurangi erosi tebing, namun dapat menyebabkan degradasi dasar sungai dan deformasi struktur di ujung krib. Oleh karena itu, strategi mitigasi lebih lanjut diperlukan untuk memastikan stabilitas struktur dan kondisi geomorfologi sungai.

Untuk pengembangan ke depan, kajian ini perlu dikalibrasi dengan data lapangan yang diperoleh secara berkala, khususnya dalam menghadapi tantangan perubahan iklim (Turnipseed et al., 2021). Model ini juga dapat dikembangkan menjadi sistem pemantauan waktu nyata. Validasi hasil dapat diperkuat melalui pemodelan fisik (Zulfan dan Eka Kumala, 2018). Selain itu, pemodelan alternatif desain krib, dengan variasi jumlah, dimensi, dan jarak antar krib, diperlukan untuk memperoleh rancangan yang optimal.

## UCAPAN TERIMA KASIH

Penulis menyampaikan terima kasih kepada Tim Redaksi Jurnal Teknik Hidraulik atas penyelenggaraan dan kesempatan publikasi karya ilmiah ini. Penghargaan juga disampaikan kepada BBWS Cimanuk–Cisanggarung serta Balai Hidrolika dan Geoteknik Keairan atas dukungan data dan informasi yang sangat berharga dalam pelaksanaan penelitian ini. Akhir kata, semoga hasil kajian ini dapat memberikan kontribusi nyata dalam pengembangan ilmu pengetahuan dan praktik pengelolaan sumber daya air di Indonesia.

## DAFTAR PUSTAKA

*A Novel Neural Network-Based Algorithm for Selecting the Most Accurate FIM Model for Desired Area Seyvani, Sadra and Nikrou, Parvaneh and Cohen, Sagy*. (n.d.). *October 2016*, 2016.

Allan, J. D., Castillo, M. M., & Capps, K. A. (2020). Stream Ecology: Structure and Function of Running Waters. In *Stream Ecology: Structure and Function of Running Waters*. https://doi.org/10.1007/978-3-030-61286-3

Chabokpour, J. (2024). *Numerical simulation of optimum groyne arrangement for preventing bank erosion ( Case study of Ghezel-Ozan River )*. 1–24.

Didovets, I., Lobanova, A., Krysanova, V., Menz, C., Babagalieva, Z., Nurbatsina, A., Gavrilenko, N., Khamidov, V., Umirbekov, A., Qodirov, S., Muhyyew, D., & Hattermann, F. F. (2021). Central Asian rivers under climate change: Impacts assessment in eight representative catchments. *Journal of Hydrology: Regional*

*Studies*, *34*(July 2020), 100779. https://doi.org/10.1016/j.ejrh.2021.100779

Ding, C., Li, C., Song, L., & Chen, S. (2023). Numerical Investigation on Flow Characteristics in a Mildly Meandering Channel with a Series of Groynes. *Sustainability (Switzerland)*, *15*(5). https://doi.org/10.3390/su15054124

Hasan, M. Z., & Toda, Y. (2024). Enhancing Riverbank Protection along the Jamuna River, Bangladesh: Review of Previous Countermeasures and Morphological Assessment through Groyne-Based Solutions Using Numerical Modeling. *Water (Switzerland)*, *16*(2). https://doi.org/10.3390/w16020297

Julien, P. Y. (2002). *River Mechanics*. Cambridge University Press. https://doi.org/10.1017/CBO9781139164016

Leopold, L. B., & Wolman, M. G. (1970). River Channel Patterns. *Rivers and River Terraces*, 197–237. https://doi.org/10.1007/978-1-349-15382-4_8

Liu, D., Naito, Y., Zhang, C., Muramatsu, S., Yasuda, H., Hayasaka, K., & Otake, Y. (2021). River flow path control with reinforcement learning. *ICAS 2021 - 2021 IEEE International Conference on Autonomous Systems, Proceedings*, 1–15. https://doi.org/10.1109/ICAS49788.2021.9551113

Nurbatsina, A., Salavatova, Z., Tursunova, A., Didovets, I., & Huthoff, F. (2025). *Flood Modelling of the Zhabay River Basin Under Climate Change Conditions*.

Parker, G. (n.d.). *the Morphodynamics E-Book : a Labor of Love That Never Quite Gets Finished Gettin ' Time To Put This Old Horse Out To Pasture*.

Parsapour-Moghaddam, P., Rennie, C. D., & Slaney, J. (2018). Hydrodynamic Simulation of an Irregularly Meandering Gravel-Bed River: Comparison of MIKE 21 FM and Delft3D Flow models. *E3S Web of Conferences*, *40*, 1–8. https://doi.org/10.1051/e3sconf/20184002004

Plancke, Y., Stark, J., Meire, D., & Schrijver, M. (2020). Complex Flow Patterns in the Scheldt Estuary: Field Measurements and Validation of a Hydrodynamic Model. *Journal of Hydraulic Engineering*, *146*(7), 1–15. https://doi.org/10.1061/(asce)hy.1943-7900.0001737

Prasetyo, W., Juwono, P., & Sisinggih, D. (2021). Analysis on The Effect of Groyne Type Impermeable Placement on Sediment Distribution in Lariang River Bend. *Civil and Environmental Science*, *004*(01), 043–061. https://doi.org/10.21776/ub.civense.2021.0040.1.5

Putriasri, A. E., Hermawan, Y., Amatullah, S. I., Rahmawati, A., & Sandi, C. (2023). Kajian Penanganan Gerusan pada Sungai Ciujung melalui Pemodelan Numerik. *Jurnal Teknik Sumber Daya Air*, *January*, 129–140. https://doi.org/10.56860/jtsda.v3i2.84

Rivera-Trejo, F., Soto-Cortes, G., Konsoer, K. M., Langendoen, E. J., & Priego-Hernandez, G. (2025). Beyond Water Surface Profiles: A New Iterative Methodology for 2D Model Calibration in Rivers Using Velocity Data from Multiple Cross-Sections. *Water (Switzerland)*, *17*(3). https://doi.org/10.3390/w17030377

Tata Yunita, F., Soekarno, I., Nugroho, J., & Santosa, U. B. (2024). Empirical Model of Unconsolidated Tephra Erosion: Verification and Application on Micro Catchment. *Civil Engineering Journal (Iran)*, *10*(7), 2088–2104. https://doi.org/10.28991/CEJ-2024-010-07-02

Turnipseed, C., Konsoer, K., Richards, D., & Willson, C. (2021). Numerical Modeling of Two-Dimensional Hydrodynamics in a Highly Curving and Actively Evolving Neck Cutoff Under Different Hydrologic Conditions. *Water Resources Research*, *57*(2), 1–14. https://doi.org/10.1029/2020WR027329

Uzair, M., Qureshi, A., Amiri, A., Ebtehaj, I., Guimere, S. J., Cunderlik, J., & Bonakdari, H. (2025). *Coupling HEC-RAS and AI for River Morphodynamics Assessment Under Changing Flow Regimes : Enhancing Disaster Preparedness for the Ottawa River*.

Whittaker, C. N., Tang, Z., Melville, B. W., Joubert, J., Beetham, E., Shand, T., Clarke, J., Pearce, G., & Partner, L. (2022). Optimisation of a falling toe for river mouth scour protection – results from a physical model study. *Australasian Coasts and Ports 2021 - Proceedings*, *November*, 1000–1006.

Zulfan, J., & Eka Kumala, Y. (2018). Groyne Effectiveness for Scouring Reduction Along Bengawan Solo Outer River Bend. *Jurnal Teknik Hidraulik*, *9*(2), 115–126. https://jurnalth.pusair-pu.go.id/index.php/JTH/article/view/582

Zulfan, J., Eka Kumala, Y., & Dwi Astuti, A. (2019). Efektivitas Krib Untuk Mengurangi Gerusan Di Tikungan Sungai Bengawan Solo. *Jurnal Teknik Hidraulik*, *9*(2). https://doi.org/10.32679/jth.v9i2.582