

Pengaruh Kecepatan Aliran terhadap Efektivitas Jaring Berpori dalam Mengurangi Gerusan di Sekitar Pilar

Suharmin Djumali¹ | Hamzah Al Imran^{*2} | Muh. Amir Zainuddin² | M. Aguslim² | Muhammad Faisal²

1 Mahasiswa Program Studi Pengairan,
Fakultas Teknik, Universitas
Muhammadiyah Makassar, Indonesia.

Email:

suharmindjumali1216@gmail.com

2 Program Studi Pengairan, Fakultas Teknik,
Universitas Muhammadiyah Makassar,
Indonesia.

Email:

hamzah@unismuh.ac.id;

amirzainuddin@unismuh.ac.id;

m.aguslim@unismuh.ac.id

muhfaisal@unismuh.ac.id

Korespondensi:

*Hamzah Al Imran

hamzah@unismuh.ac.id

ABSTRAK

Gerusan lokal di sekitar pilar jembatan merupakan salah satu penyebab utama kerusakan struktur jembatan akibat interaksi kompleks antara aliran dan dasar saluran. Kecepatan aliran dan debit yang tinggi dapat memicu terbentuknya pusaran kuat (*horseshoe vortex*) yang mempercepat proses penggerusan. Penelitian ini bertujuan untuk menganalisis pengaruh kecepatan aliran terhadap kinerja jaring berpori dalam mengurangi gerusan di sekitar pilar jembatan. Penelitian dilakukan secara eksperimental di Laboratorium Hidraulika Universitas Muhammadiyah Makassar dengan menggunakan saluran terbuka dan model fisik pilar jembatan. Dua model jaring berpori berbentuk segitiga dengan jumlah yang berbeda, diuji pada dua variasi debit aliran Q1 dan Q2 dan dengan variasi waktu 15 menit. Parameter yang dianalisis meliputi kecepatan aliran, kedalaman aliran, debit, bilangan Froude, bilangan Reynolds, serta kedalaman gerusan maksimum. Hasil penelitian menunjukkan bahwa pemasangan model jaring berpori mampu menurunkan kecepatan aliran di sekitar pilar dan mengubah karakteristik aliran menuju kondisi subkritis, sehingga intensitas pusaran berkurang. Penurunan kecepatan aliran tersebut berdampak langsung pada berkurangnya kedalaman gerusan dibandingkan dengan kondisi tanpa model jaring berpori. Model jaring berpori 2 menunjukkan kinerja yang lebih efektif dalam mereduksi gerusan pada kedua variasi debit. Dengan demikian, jaring berpori berpotensi menjadi alternatif struktur pelindung yang efektif dan sederhana untuk mengendalikan gerusan lokal di sekitar pilar jembatan.

Kata Kunci:

kecepatan aliran, debit aliran, gerusan lokal, jaring berpori, pilar

ABSTRACT

Local scour around bridge piers is one of the main causes of bridge structural failure due to the complex interaction between flow and the channel bed. High flow velocity and discharge can trigger the formation of strong vortices (*horseshoe vortices*) that accelerate the scouring process. This study aims to analyze the effect of flow velocity on the performance of porous screens in reducing scour around bridge piers. The research was conducted experimentally in the Hydraulic Laboratory of Muhammadiyah University of Makassar using an open channel and a physical model of a bridge pier. Two triangular porous screen models with different quantities were tested under two discharge variations (Q1 and Q2) over a duration of 15 minutes. The analyzed parameters included flow velocity, flow depth, discharge, Froude number, Reynolds number, and maximum scour depth. The results show that the installation of porous screen models can reduce flow velocity around the pier and alter the flow characteristics toward subcritical conditions, thereby decreasing vortex intensity. This reduction in flow velocity directly leads to a decrease in scour depth compared to the condition without porous screens. Porous screen model 2 demonstrated more effective performance in reducing scour under both discharge variations. Therefore, porous screens have the potential to serve as a simple and effective protective structure for controlling local scour around bridge piers.

Keywords:

flow velocity, discharge, local scour, porous screen, pillar

1 | PENDAHULUAN

Jembatan merupakan salah satu infrastruktur vital dalam sistem transportasi yang berfungsi untuk menghubungkan dua wilayah yang terpisahkan oleh rintangan alami seperti sungai, lembah, maupun saluran air. Keberadaan jembatan sangat berperan dalam menunjang mobilitas manusia, distribusi barang, serta mendukung pertumbuhan ekonomi suatu daerah. Namun demikian, dalam perencanaannya, jembatan tidak hanya harus mempertimbangkan aspek struktural, tetapi juga aspek hidrolika dan morfologi sungai, terutama yang berkaitan dengan interaksi antara aliran air dan elemen struktur jembatan (Kasmawati, 2022).

Salah satu permasalahan utama yang sering terjadi pada bangunan jembatan adalah gerusan lokal (*local scour*) di sekitar pilar (Breusers & Raudkivi, 1991). Gerusan lokal merupakan proses pengikisan material dasar sungai yang terjadi akibat adanya perubahan pola aliran karena keberadaan struktur di dalam aliran. Fenomena ini termasuk dalam proses alami sungai yang dipengaruhi oleh kondisi hidrolika dan karakteristik sedimen dasar. Gerusan lokal terjadi akibat interaksi antara aliran air dengan hambatan berupa struktur seperti pilar jembatan, krib, dan bangunan air lainnya yang menyebabkan perubahan distribusi kecepatan dan energi aliran.

Kerusakan pada pilar jembatan akibat gerusan lokal seringkali dipicu oleh kondisi aliran yang ekstrem, seperti saat terjadi banjir. Pada kondisi tersebut, debit dan kecepatan aliran meningkat secara signifikan sehingga energi aliran yang bekerja pada dasar sungai menjadi lebih besar. Keberadaan pilar jembatan mempersempit penampang aliran, yang pada akhirnya meningkatkan kecepatan aliran di sekitar pilar dan memperkuat proses penggerusan. Hal ini menyebabkan berkurangnya kestabilan pondasi pilar dan berpotensi mengakibatkan keruntuhan struktur jembatan. Bahkan, berbagai studi menunjukkan bahwa sebagian besar kegagalan jembatan disebabkan oleh gerusan lokal yang tidak terantisipasi dengan baik dalam tahap perencanaan maupun pemeliharaan (Rauf 2023).

Keberadaan bangunan di alur sungai, termasuk pilar jembatan, secara langsung memengaruhi karakteristik aliran. Perubahan tersebut ditandai dengan terbentuknya aliran turbulen, pusaran (*vortex*), serta distribusi kecepatan yang tidak merata. Perubahan pola aliran ini akan memengaruhi proses angkutan sedimen di dasar sungai. Dalam kondisi tertentu, partikel sedimen akan terangkat dan terbawa aliran apabila gaya geser yang bekerja melebihi gaya tahan butiran, sehingga menyebabkan terjadinya penggerusan (Latif, F. 2019).

Secara umum, gerusan pada sungai dapat dibedakan menjadi tiga jenis, yaitu gerusan umum (*general scour*), gerusan lokal (*local scour*), dan gerusan terlokalisir akibat penyempitan (*contraction scour*). Gerusan umum terjadi secara menyeluruh sepanjang penampang sungai akibat peningkatan energi aliran. Sementara itu, gerusan lokal terjadi di sekitar struktur akibat terbentuknya sistem pusaran, seperti *horseshoe vortex* di bagian hulu pilar dan *wake vortex* di bagian hilir. Adapun gerusan terlokalisir terjadi akibat penyempitan penampang aliran yang disebabkan oleh adanya bangunan di dalam sungai, sehingga meningkatkan kecepatan aliran pada lokasi tertentu (Anwar, A., 2021).

Untuk mengatasi permasalahan gerusan lokal, berbagai metode telah dikembangkan, baik secara konvensional maupun inovatif. Metode konvensional umumnya menggunakan perlindungan fisik seperti pemasangan batu pelindung (*riprap*), lantai pelindung, atau perkuatan dasar lainnya. Namun, metode tersebut seringkali membutuhkan biaya yang besar dan kurang efektif dalam kondisi aliran tertentu. Oleh karena itu, diperlukan alternatif solusi yang lebih efisien, salah satunya dengan menggunakan struktur pengendali aliran seperti jaring berpori (Putra, R. A., 2022; Mutiah, A. U., 2023).

Jaring berpori merupakan salah satu bentuk struktur yang dirancang untuk mengurangi energi aliran tanpa sepenuhnya menghalangi aliran tersebut. Prinsip kerja jaring berpori adalah dengan memperlambat kecepatan aliran, mendistribusikan ulang energi aliran, serta mengurangi intensitas turbulensi di sekitar pilar. Dengan berkurangnya kecepatan dan energi aliran, maka gaya geser yang bekerja pada dasar sungai juga menurun, sehingga potensi terjadinya gerusan dapat diminimalkan. Selain itu, jaring berpori juga mampu melemahkan pembentukan pusaran yang menjadi penyebab utama gerusan lokal (Mantow et al., 2024; Chiew, 1992).

Namun demikian, efektivitas jaring berpori sangat dipengaruhi oleh beberapa faktor, antara lain bentuk, kerapatan, jumlah, serta konfigurasi pemasangannya. Kerapatan jaring berpori menjadi salah satu parameter penting karena menentukan besarnya hambatan terhadap aliran. Jaring dengan kerapatan tinggi cenderung lebih efektif dalam menurunkan kecepatan aliran, tetapi dapat menimbulkan turbulensi tambahan jika tidak dirancang dengan baik. Sebaliknya, jaring dengan kerapatan rendah mungkin kurang optimal dalam mereduksi energi aliran (Pratama, R. A., 2022; Jiwane, P. D., (2025).

Dalam penelitian ini, digunakan dua model jaring berpori dengan kerapatan yang sama, yaitu 4 cm, namun dengan variasi jumlah pemasangan yang berbeda. Model pertama terdiri atas 1, 3, 5, dan 7 unit, sedangkan model kedua terdiri atas 1, 2, 3, dan 4 unit. Variasi ini bertujuan untuk mengetahui pengaruh jumlah dan konfigurasi jaring terhadap karakteristik aliran serta kedalaman gerusan yang terjadi di sekitar pilar. Dengan adanya variasi tersebut, diharapkan dapat diperoleh model yang paling efektif dalam mereduksi gerusan lokal (Singh, U. K., & Roy, P. (2023).

Selain itu, penelitian ini juga mempertimbangkan faktor waktu pengaliran, yaitu selama 5, 10, dan 15 menit. Variasi waktu ini digunakan untuk menggambarkan perkembangan gerusan dari tahap awal hingga mendekati kondisi keseimbangan (*equilibrium scour*). Pada tahap awal, proses gerusan berlangsung relatif cepat karena material dasar masih belum stabil. Seiring berjalannya waktu, laju gerusan akan menurun hingga mencapai kondisi keseimbangan, di mana tidak terjadi perubahan kedalaman gerusan yang signifikan. Oleh karena itu, analisis terhadap variasi waktu sangat penting untuk memahami dinamika proses gerusan secara menyeluruh.

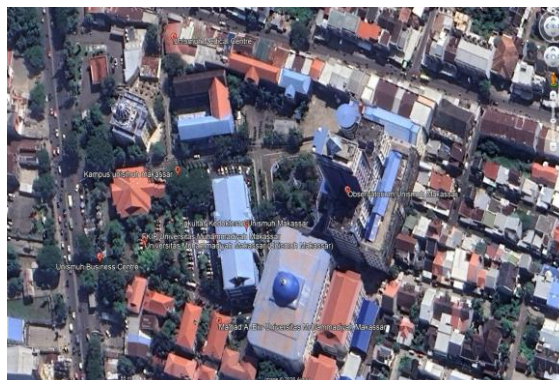
Berdasarkan uraian tersebut, dapat disimpulkan bahwa gerusan lokal di sekitar pilar jembatan merupakan permasalahan yang kompleks dan dipengaruhi oleh berbagai faktor, termasuk karakteristik aliran, kondisi sedimen, serta konfigurasi struktur pengendali (Xuan, A., & Shen, L. 2023; Zukaenah, K., & Herman, R. 2024).

2 | METODE

Penelitian ini menggunakan metode eksperimen atau simulasi, dimana dilakukan pembuatan model fisisk untuk mengamati perubahan atau perkembangan yang terjadi pada objek berupa pilar jembatan. Tujuan utamanya adalah untuk menganalisis faktor-faktor yang memengaruhi terjadinya gerusan di sekitar pilar. Kegiatan penelitian dilakukan melalui pengujian di laboratorium dengan menggunakan saluran terbuka serta pemodelan MJB sebagai upaya mitigasi guna mengurangi tingkat gerusan di area pilar. Data penelitian diperoleh secara langsung dari hasil pengujian laboratorium.

2.1 | Lokasi Penelitian

Penelitian ini dilaksanakan di Laboratorium Hidraulika, Fakultas Teknik, Universitas Muhammadiyah Makassar, Indonesia. Kegiatan eksperimen berlangsung selama kurang lebih empat bulan, yang meliputi tahap persiapan model, pelaksanaan pengujian aliran di laboratorium, serta analisis data hasil pengamatan. Adapun waktu pelaksanaan penelitian direncanakan selama 4 bulan mulai dari bulan oktober sampai bulan januari.

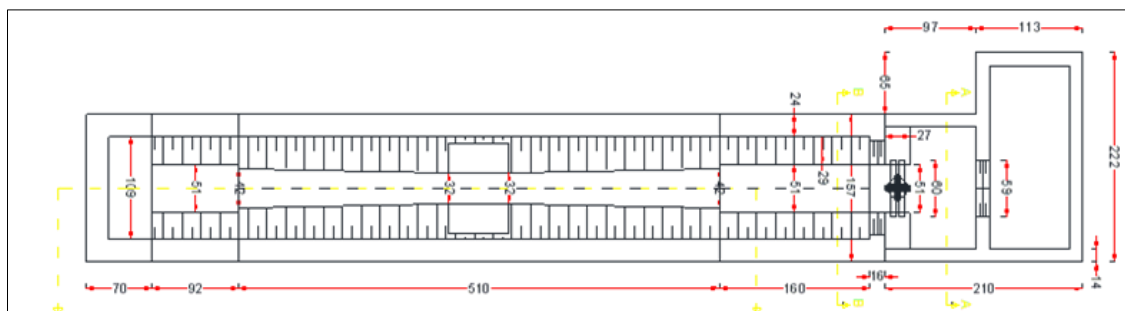


GAMBAR 1. Lokasi Penelitian

Gambar 1 menunjukkan lokasi penelitian yang berada di Laboratorium Hidraulika Fakultas Teknik Universitas Muhammadiyah Makassar. Pemilihan lokasi ini didasarkan pada ketersediaan fasilitas saluran terbuka yang memadai dan sesuai untuk mendukung pelaksanaan model penelitian yang direncanakan.

2.2 | Model Saluran

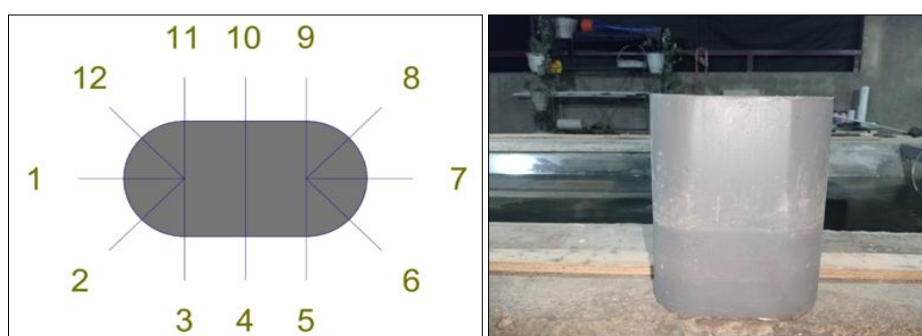
Saluran terbuka merupakan jenis saluran tempat air mengalir dengan permukaan air yang terbuka dan berinteraksi langsung dengan tekanan atmosfer (Daud et al. 2018). Studi mengenai karakteristik aliran dikenal sebagai mekanika fluida (*fluid mechanics*), yang membahas sifat-sifat fluida serta pengaruhnya terhadap pola pergerakan aliran dan gaya-gaya yang muncul akibat interaksi antara fluida dengan batas atau dinding salurannya (M 2019). Saluran terbuka yang digunakan dalam penelitian ini merupakan saluran tanah dengan dinding kaca dan lapisan dasar berupa material pasir, memiliki penampang berbentuk trapesium. Secara geometris, saluran ini berbentuk lurus dengan dinding permanen, berukuran lebar dasar 51 cm, lebar permukaan atas 109 cm, tinggi 42 cm, dan panjang total 762 cm. Pada bagian hulu saluran, terdapat dua bak, yaitu bak penampungan air berukuran lebar 222 cm, panjang 113 cm, dan tebal 14 cm, diikuti oleh alat Thomson dengan lebar 59 cm, serta kolam penenang berukuran Panjang 97 cm dan lebar 157 cm, dengan bukaan pintu selebar 51 cm. Sementara itu, di bagian hilir, saluran dilengkapi dengan bak pembuangan air serta pompa air yang terhubung dengan kran pengatur debit, berfungsi untuk mengatur aliran air yang masuk kembali ke bak pengaliran.



GAMBAR 2. Saluran Terbuka

2.3 | Model Pilar

Objek utama pada penelitian ini adalah model pilar jembatan tunggal yang diletakkan di bagian tengah saluran. Pilar tersebut memiliki bentuk lenticular dengan panjang 16 cm dan lebar 8 cm. Penempatannya dilakukan secara tetap di tengah saluran guna merepresentasikan kondisi nyata pilar jembatan yang berdiri tegak lurus terhadap arah aliran sungai.

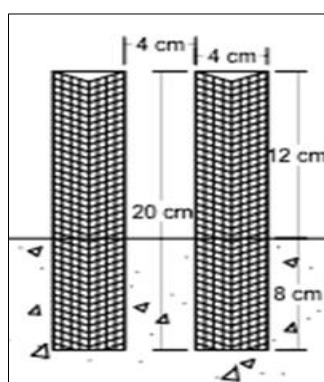


GAMBAR 3. Model Pilar

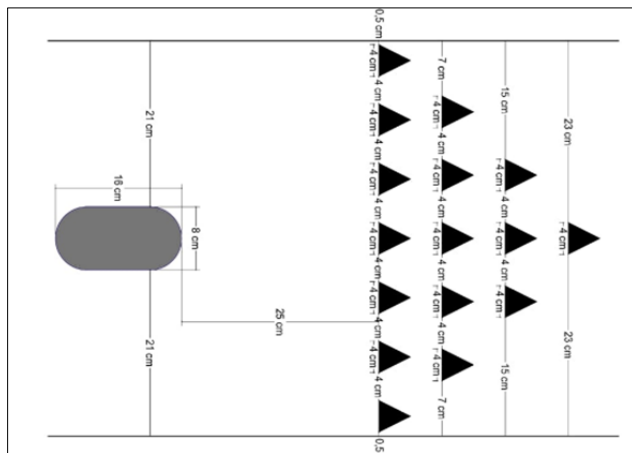
2.4 | Model Jaring Berpori (MJB)

Model jaring berpori merupakan salah satu bentuk struktur pengendali aliran yang digunakan untuk mengurangi energi aliran tanpa sepenuhnya menghambat pergerakan air. Struktur ini memiliki celah atau pori-pori yang memungkinkan aliran tetap melewati media tersebut, namun dengan kecepatan yang telah berkurang. Secara hidraulik, jaring berpori bekerja dengan memberikan hambatan terhadap aliran sehingga terjadi penurunan energi kinetik, distribusi ulang kecepatan, serta pengurangan gaya geser yang bekerja pada dasar saluran. Dengan demikian, keberadaan jaring berpori mampu mengubah karakteristik aliran dari yang semula bersifat turbulen menjadi lebih stabil.

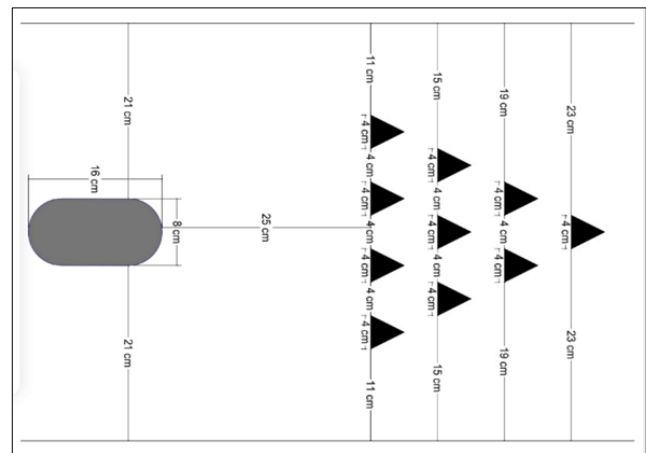
Dalam penelitian ini, model jaring berpori diterapkan dengan kerapatan yang berbeda dengan jarak yang sama, yaitu 4 cm, namun divariasikan berdasarkan jumlah unit pemasangan. Variasi tersebut terdiri atas dua model, di mana model pertama menggunakan 1, 3, 5, dan 7 unit, sedangkan model kedua menggunakan 1, 2, 3, dan 4 unit jaring berpori. Perbedaan konfigurasi ini bertujuan untuk menganalisis pengaruh jumlah dan susunan jaring terhadap karakteristik aliran serta efektivitasnya dalam mereduksi gerusan. Selain itu, pengujian juga dilakukan pada beberapa variasi waktu pengaliran untuk mengetahui perkembangan gerusan dari tahap awal hingga mendekati kondisi keseimbangan, sehingga dapat ditentukan model jaring berpori yang paling optimal dalam mengurangi gerusan di sekitar pilar jembatan. Model ditampilkan pada Gambar 4-6.



Gambar 4. Model Segitiga Jaring Berpori



GAMBAR 5. Formasi Model Jaring Berpori 1



GAMBAR 6. Formasi Model Jaring Berpori

2.5 | Prosedur Penelitian Dan Analisis Data

Data yang diperoleh dianalisis secara komparatif dengan membandingkan dua kondisi utama, yaitu tanpa penggunaan model jaring berpori (MJB) dan dengan penggunaan model jaring berpori (MJB) 1 dan 2. Analisis dilakukan pada masing-masing variasi debit (Q_1 dan Q_2) serta pada tiga interval waktu pengamatan, yaitu 5, 10, dan 15 menit. Data yang diperoleh meliputi pengukuran kecepatan aliran dan tinggi muka air pada sejumlah titik pengamatan yang tersebar di sepanjang saluran.

Metode analisis yang digunakan meliputi perhitungan statistik sederhana seperti nilai rata-rata dan deviasi, serta penyajian data dalam bentuk grafik perbandingan. Pendekatan ini bertujuan untuk mengidentifikasi perubahan distribusi kecepatan aliran sekaligus memetakan area yang berpotensi mengalami gerusan.

Melalui metodologi tersebut, hasil penelitian diharapkan mampu merepresentasikan kondisi lapangan secara lebih akurat serta memberikan gambaran menyeluruh mengenai distribusi kecepatan di sekitar pilar. Selain itu, perancangan model MJB juga mempertimbangkan prinsip kesetaraan geometrik dan kesamaan hidraulik. Material berpori yang digunakan dirancang untuk meniru karakteristik hambatan dan penyebaran aliran seperti pada kondisi sungai alami, sementara penambahan tulangan berfungsi untuk meningkatkan kestabilan struktur terhadap pengaruh aliran yang kuat.

3 | HASIL

Hasil penelitian ini diperoleh dari eksperimen laboratorium yang bertujuan untuk mengevaluasi pengaruh kecepatan aliran terhadap kinerja model jaring berpori (MJB) di sekitar pilar jembatan. Analisis dilakukan berdasarkan dua variasi debit, yaitu Q_1 dan Q_2 , dengan membandingkan kondisi tanpa jaring berpori (MJB) dan dengan jaring berpori (MJB), serta mempertimbangkan tiga interval waktu pengamatan, yaitu 5, 10, dan 15 menit.

3.1 | Kecepatan Aliran Pada Model Jaring Berpori (MJB) 1

Berdasarkan hasil pengukuran pada debit Q_1 dan Q_2 , distribusi kecepatan aliran cenderung mengalami penurunan secara bertahap dari bagian hulu menuju hilir. Pada bagian hulu, kecepatan aliran masih relatif tinggi karena pengaruh jaring berpori belum bekerja secara optimal, sedangkan pada bagian tengah hingga hilir terjadi penurunan kecepatan yang lebih signifikan.

Pada debit Q_1 , kecepatan aliran berkisar antara nilai tinggi di hulu dan menurun hingga sekitar 0,333 m/dtk di bagian hilir. Pola yang sama juga terjadi pada debit Q_2 , meskipun nilai kecepatan awal lebih besar akibat peningkatan debit aliran. Penurunan kecepatan ini menunjukkan bahwa MJB 1 mampu memberikan hambatan terhadap aliran sehingga energi kinetik berkurang secara bertahap.

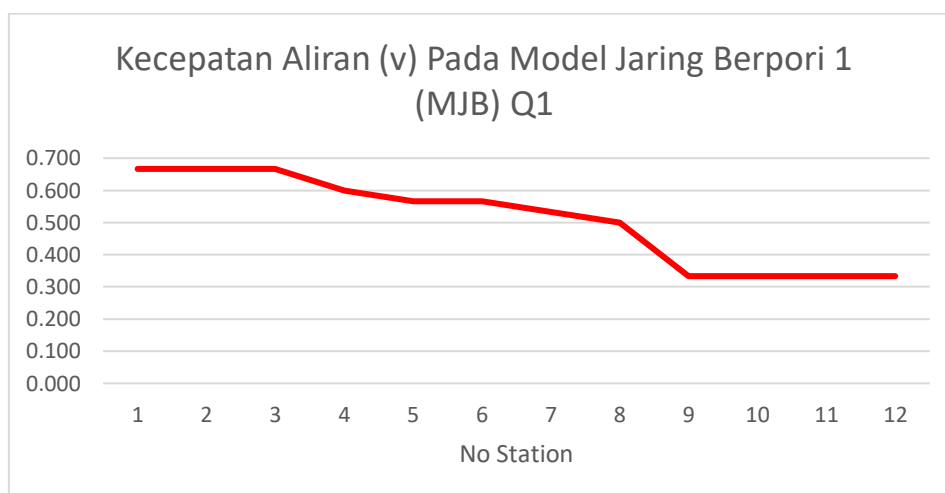
Namun demikian, distribusi kecepatan pada MJB 1 masih menunjukkan variasi yang cukup signifikan antar titik pengamatan, sehingga penurunan kecepatan belum merata secara optimal. Kondisi ini mengindikasikan bahwa efektivitas MJB 1 dalam mengendalikan aliran masih terbatas, meskipun sudah mampu mengurangi kecepatan dan potensi gerusan dibandingkan kondisi tanpa perlakuan.

Tabel 1. Kondisi aliran tanpa MJB dengan debit Q_1 , durasi pengaliran 15 menit, yang memiliki lebar saluran 50 cm, kecepatan aliran rata-rata tercatat berada pada kisaran 0,400 m/dtk hingga 0,700 m/dtk. Perbedaan nilai tersebut menunjukkan adanya variasi kecepatan aliran yang relatif signifikan pada penampang saluran dalam kondisi pengujian tersebut. Fenomena ini dipengaruhi oleh kedalaman aliran (h) serta karakteristik dasar saluran yang mengontrol perilaku aliran.

TABEL 1 Pengukuran Kecepatan Aliran Pada Model Jaring Berpori (MJB) Q1

No. Pias (Station)	Kedalaman Rata-rata (h)	Kecepatan Rata-rata Aliran (v)
1	0.038	0.667
2	0.036	0.667
3	0.035	0.667
4	0.031	0.600
5	0.029	0.567
6	0.028	0.567
7	0.027	0.533
8	0.024	0.500
9	0.015	0.333
10	0.013	0.333
11	0.017	0.333
12	0.013	0.333

Pada **Tabel 3**. Kondisi distribusi kecepatan aliran (V) arah memanjang setelah pemasangan model jaring berpori 1 (MJB) dengan debit Q1, pada waktu 15 menit, kecepatan aliran di titik 1–4 tetap berada pada nilai yang relatif tinggi, yakni sekitar 0,667 m/det, pada titik 5–8 kecepatan aliran terus berkurang dan mencapai nilai sekitar 0,567 m/det, sedangkan pada titik 9–12 kondisi aliran menurun dan mencapai kondisi stabil pada nilai sekitar 0,333 m/det.



GAMBAR 7. Grafik Kecepatan Aliran MJB 1 Debit Q1

Berdasarkan **Gambar 7**. Grafik di atas kecepatan aliran pada kondisi dengan pemasangan model jaring berpori 1 (MJB) pada debit Q1, terlihat bahwa distribusi kecepatan mengalami penurunan secara bertahap dari hulu ke hilir. Pada bagian hulu (titik 1–3), kecepatan aliran masih relatif tinggi dan stabil pada kisaran 0,667 m/dtk, yang menunjukkan bahwa pengaruh jaring berpori belum terlalu signifikan pada awal aliran.

Memasuki bagian tengah saluran (titik 4–8), kecepatan mulai mengalami penurunan bertahap dari 0,600 m/dtk hingga 0,500 m/dtk. Penurunan ini menunjukkan bahwa keberadaan MJB 1 mulai memberikan hambatan terhadap aliran, sehingga energi kinetik aliran berkurang secara perlahan.

Pada bagian hilir (titik 9–12), kecepatan aliran mengalami penurunan yang lebih signifikan dan mencapai kondisi relatif stabil pada nilai sekitar 0,333 m/dtk. Kondisi ini mengindikasikan bahwa jaring berpori efektif dalam mereduksi kecepatan aliran serta menurunkan energi aliran secara lebih merata di sepanjang saluran.

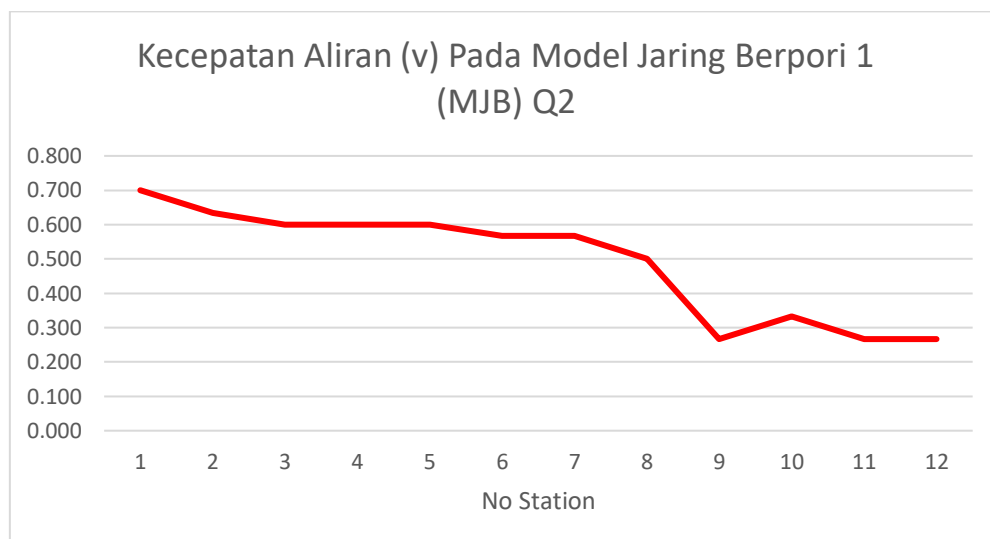
Selain itu, grafik juga menunjukkan adanya hubungan antara kedalaman aliran (h) dan kecepatan. Pada titik dengan kedalaman yang lebih kecil, kecepatan cenderung menurun lebih drastis, yang memperlihatkan bahwa kombinasi antara hambatan jaring berpori dan kondisi geometri aliran memengaruhi distribusi kecepatan.

Secara keseluruhan, pola grafik menunjukkan bahwa pemasangan MJB 1 mampu mengurangi kecepatan aliran secara signifikan dibandingkan kondisi tanpa MJB. Pada Tabel 2 ditampilkan penurunan kecepatan ini berdampak pada berkurangnya energi aliran dan gaya geser pada dasar saluran, sehingga potensi terjadinya gerusan di sekitar pilar dapat diminimalkan.

TABEL 2 Pengukuran Kecepatan Aliran Pada Model Jaring Berpori (MJB) Q2

No. Pias (station)	Kedalaman Rata-rata (h)	Kecepatan Rata-rata Aliran (v)
1	0.042	0.700
2	0.040	0.700
3	0.038	0.700
4	0.036	0.633
5	0.034	0.600
6	0.032	0.600
7	0.031	0.600
8	0.029	0.500
9	0.017	0.333
10	0.016	0.333
11	0.020	0.333
12	0.018	0.333

Tabel 2. Pada kondisi aliran setelah pemasangan model jaring berpori (MJB) 1 dengan debit Q2, yang memiliki lebar saluran 50 cm dengan durasi pengaliran 15 menit, kecepatan aliran rata-rata minimum berada pada kisaran 0,333 m/dtk dan kecepatan aliran maksimum mencapai kisaran 0,700 m/dtk.

**GAMBAR 8.** Grafik Kecepatan Aliran MJB 1 Debit Q2

Berdasarkan Gambar 8. Grafik distribusi kecepatan aliran pada kondisi dengan pemasangan model jaring berpori 1 (MJB 1) pada debit Q2, terlihat bahwa kecepatan aliran mengalami penurunan secara bertahap dari hulu ke hilir. Pada bagian hulu (titik 1–3), kecepatan aliran masih relatif tinggi dan stabil pada kisaran 0,700 m/dtk, yang menunjukkan bahwa pengaruh jaring berpori belum signifikan pada awal aliran.

Memasuki bagian tengah saluran (titik 4–8), kecepatan mulai mengalami penurunan dari sekitar 0,633 m/dtk hingga 0,500 m/dtk. Penurunan ini mengindikasikan bahwa keberadaan MJB 1 mulai memberikan hambatan terhadap aliran, sehingga energi kinetik aliran berkurang secara bertahap.

Pada bagian hilir (titik 9–12), kecepatan aliran mengalami penurunan yang lebih signifikan dan mencapai kondisi relatif stabil pada nilai sekitar 0,333 m/dtk. Hal ini menunjukkan bahwa jaring berpori cukup efektif dalam mereduksi kecepatan aliran, meskipun pada debit yang lebih besar (Q2).

Selain itu, grafik juga memperlihatkan bahwa variasi kedalaman aliran (h) memengaruhi distribusi kecepatan. Pada titik dengan kedalaman yang lebih kecil, kecepatan cenderung menurun lebih tajam, sedangkan pada kedalaman yang lebih besar, kecepatan relatif lebih stabil.

Secara keseluruhan, pola grafik menunjukkan bahwa pada debit Q2, meskipun energi aliran lebih besar dibandingkan Q1, pemasangan MJB 1 tetap mampu menurunkan kecepatan aliran secara signifikan. Hal ini berdampak pada berkurangnya energi aliran dan gaya geser pada dasar saluran, sehingga potensi terjadinya gerusan di sekitar pilar dapat diminimalkan.

3.2 | Kecepatan Aliran Pada Model Jaring Berpori (MJB) 2

Kecepatan aliran pada model jaring berpori 2 (MJB 2) menunjukkan hasil yang lebih optimal dalam mereduksi kecepatan aliran dibandingkan MJB 1. Berdasarkan data hasil pengukuran, distribusi kecepatan aliran mengalami penurunan yang lebih signifikan dan merata di sepanjang saluran, baik pada debit Q1 maupun Q2.

Pada debit Q1, kecepatan aliran menurun hingga mencapai nilai minimum sekitar 0,267 m/dtk di bagian hilir, sedangkan pada debit Q2 kecepatan minimum berada pada kisaran 0,333 m/dtk. Meskipun pada bagian hulu kecepatan masih relatif tinggi, penurunan kecepatan di bagian tengah hingga hilir terjadi secara lebih konsisten dibandingkan MJB 1.

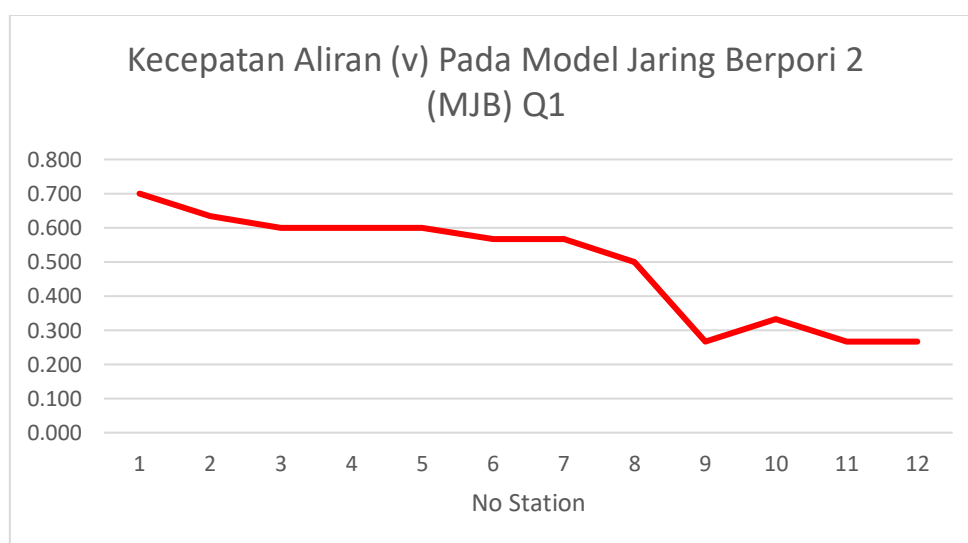
Penurunan kecepatan yang lebih merata pada MJB 2 menunjukkan bahwa konfigurasi jaring berpori ini mampu mendistribusikan energi aliran secara lebih efektif. Dengan berkurangnya kecepatan aliran, maka energi kinetik dan gaya geser dasar juga menurun, sehingga potensi terjadinya gerusan di sekitar pilar dapat diminimalkan.

Secara keseluruhan, Pada Tabel 3 MJB 2 menunjukkan kinerja yang lebih baik dalam menstabilkan aliran dan mengurangi fluktuasi kecepatan, sehingga lebih efektif digunakan sebagai upaya pengendalian gerusan dibandingkan MJB 1.

TABEL 3 Pengukuran Kecepatan Aliran Pada Model Jaring Berpori (MJB) Q2

No. Pias (station)	Kedalaman Rata-rata (h)	Kecepatan Rata-rata (v)
1	0.031	0.700
2	0.031	0.633
3	0.030	0.600
4	0.033	0.600
5	0.032	0.600
6	0.030	0.567
7	0.029	0.567
8	0.032	0.500
9	0.028	0.267
10	0.024	0.333
11	0.029	0.267
12	0.026	0.267

Pada kondisi distribusi kecepatan aliran (V) arah memanjang setelah pemasangan model jaring berpori (MJB) 2 dengan debit Q1, yang memiliki lebar saluran 50 cm, dengan durasi waktu 15 menit, kecepatan aliran maksimum mencapai nilai 0,700 m/dtk sedangkan kecepatan aliran minimum mencapai nilai 0,267 m/dtk.



GAMBAR 9. Kecepatan Aliran MJB 2 Debit Q1

Berdasarkan **Gambar 9**. Berdasarkan grafik menunjukkan distribusi kecepatan aliran setelah pemasangan model jaring berpori 2 (MJB 2) pada debit Q1 dengan durasi pengaliran 15 menit. Berdasarkan data pada Tabel 3, kecepatan aliran berkisar

antara 0,267 m/dtk hingga 0,700 m/dtk, yang menunjukkan adanya penurunan kecepatan dibandingkan kondisi tanpa jaring berpori.

Pada bagian hulu (titik 1–3), kecepatan aliran masih relatif tinggi dengan nilai antara 0,600 m/dtk hingga 0,700 m/dtk. Hal ini menunjukkan bahwa pengaruh jaring berpori belum sepenuhnya bekerja pada awal aliran. Memasuki bagian tengah saluran (titik 4–8), kecepatan mulai mengalami penurunan bertahap dari 0,600 m/dtk hingga 0,500 m/dtk, yang mengindikasikan bahwa MJB 2 mulai memberikan hambatan terhadap aliran sehingga energi kinetik berkurang secara perlahan.

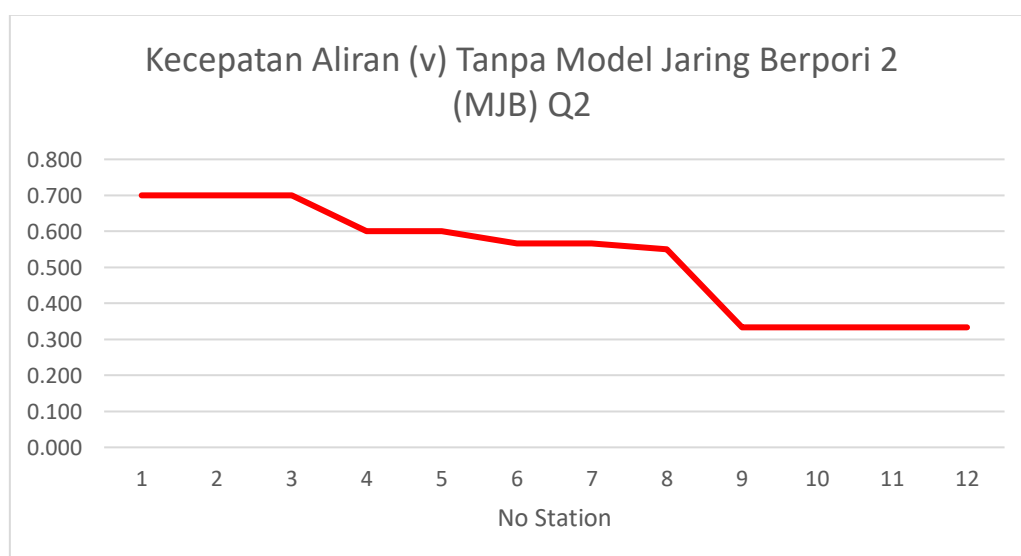
Pada bagian hilir (titik 9–12), kecepatan aliran menurun secara signifikan hingga mencapai nilai minimum sebesar 0,267 m/dtk, dengan sebagian titik berada pada kisaran 0,267–0,333 m/dtk. Penurunan ini menunjukkan bahwa MJB 2 bekerja lebih efektif dalam mereduksi kecepatan aliran dibandingkan model sebelumnya, sehingga distribusi kecepatan menjadi lebih rendah dan relatif stabil di bagian hilir.

Selain itu, variasi kedalaman aliran (h) juga memengaruhi distribusi kecepatan, di mana pada kedalaman yang lebih kecil kecepatan cenderung menurun lebih tajam. Secara keseluruhan, pola grafik menunjukkan bahwa pemasangan MJB 2 mampu menurunkan kecepatan aliran secara lebih signifikan dan merata sepanjang saluran. Hal ini berdampak pada berkurangnya energi aliran dan gaya geser dasar, sehingga potensi terjadinya gerusan di sekitar pilar dapat diminimalkan secara lebih efektif.

TABEL 4 Pengukuran Kecepatan Aliran Pada Model Jaring Berpori (MJB) Q2

No. Pias (Station)	Kedalaman Rata-rata (h)	Kecepatan Rata-rata Aliran (v)
1	0.028	0.700
2	0.030	0.700
3	0.031	0.700
4	0.030	0.600
5	0.031	0.600
6	0.030	0.567
7	0.030	0.567
8	0.033	0.550
9	0.022	0.333
10	0.023	0.333
11	0.029	0.333
12	0.027	0.333

Tabel 4. Pada kondisi distribusi kecepatan aliran (V) arah memanjang setelah pemasangan model jaring berpori (MJB) 2 dengan debit Q2, yang memiliki lebar saluran 50 cm, dengan durasi waktu 15 menit, kecepatan aliran maksimum mencapai nilai 0,700 m/dtk sedangkan kecepatan aliran minimum mencapai nilai 0,333 m/dtk. Gambaran analisis data di atas dapat diamati pada gambar 42 grafik profil memanjang.



GAMBAR 10. Kecepatan Aliran Pada MJB 2 Debit Q2

Berdasarkan **Gambar 10**. Grafik menunjukkan distribusi kecepatan aliran setelah pemasangan model jaring berpori 2 (MJB 2) pada debit Q2 dengan durasi pengaliran 15 menit. Berdasarkan data pada Tabel 6, kecepatan aliran berada pada kisaran 0,333 m/dtk hingga 0,700 m/dtk, yang menandakan bahwa meskipun debit lebih besar dibandingkan Q1, keberadaan MJB 2 tetap mampu mereduksi kecepatan aliran secara signifikan.

Pada bagian hulu (titik 1–3), kecepatan aliran masih relatif tinggi dan stabil pada nilai 0,700 m/dtk. Hal ini menunjukkan bahwa pengaruh jaring berpori belum bekerja secara optimal pada awal aliran karena energi aliran masih besar. Memasuki bagian tengah saluran (titik 4–8), kecepatan mulai mengalami penurunan bertahap dari 0,600 m/dtk hingga sekitar 0,550 m/dtk. Penurunan ini mengindikasikan bahwa MJB 2 mulai memberikan hambatan terhadap aliran sehingga energi kinetik berkurang secara bertahap.

Pada bagian hilir (titik 9–12), kecepatan aliran mengalami penurunan yang lebih signifikan dan cenderung stabil pada nilai sekitar 0,333 m/dtk. Kondisi ini menunjukkan bahwa MJB 2 efektif dalam mereduksi kecepatan aliran bahkan pada debit yang lebih besar, sehingga distribusi kecepatan menjadi lebih rendah dan merata di bagian hilir.

Selain itu, variasi kedalaman aliran (h) juga berpengaruh terhadap distribusi kecepatan. Pada titik dengan kedalaman yang lebih kecil, kecepatan cenderung menurun lebih tajam, sedangkan pada kedalaman yang lebih besar, kecepatan relatif lebih stabil. Secara keseluruhan, pola grafik memperlihatkan bahwa pemasangan MJB 2 mampu mengendalikan energi aliran secara efektif, sehingga berpotensi mengurangi gaya geser dasar dan meminimalkan terjadinya gerusan di sekitar pilar, meskipun pada kondisi debit yang lebih tinggi (Q2).

4 | PEMBAHASAN

Berdasarkan hasil penelitian, analisis difokuskan pada pengaruh kecepatan aliran terhadap kinerja model jaring berpori (MJB) dalam mengurangi potensi gerusan di sekitar pilar jembatan pada dua variasi debit, yaitu Q1 dan Q2, dengan durasi pengaliran 15 menit.

Pada kondisi tanpa MJB, distribusi kecepatan aliran cenderung tidak merata dan memicu turbulensi serta pusaran di sekitar pilar. Kecepatan aliran berkisar antara 0,400–0,700 m/dtk pada Q1 dan meningkat hingga 0,800 m/dtk pada Q2. Hal ini menunjukkan bahwa semakin besar debit, semakin tinggi energi aliran yang berpotensi meningkatkan gerusan.

Pola distribusi kecepatan tanpa struktur pengendali menunjukkan bahwa kecepatan tertinggi terjadi di bagian hulu dan menurun ke arah hilir. Namun, ketidakstabilan aliran tetap terjadi akibat interaksi aliran dengan pilar, yang menyebabkan fluktuasi kecepatan dan pembentukan vortex.

Pada penggunaan MJB 1, terjadi penurunan kecepatan aliran secara bertahap. Pada debit Q1, kecepatan di hulu sekitar 0,667 m/dtk menurun hingga sekitar 0,333 m/dtk di hilir. Pola serupa juga terjadi pada debit Q2, meskipun dengan nilai awal yang lebih tinggi.

Penurunan kecepatan pada MJB 1 menunjukkan bahwa struktur ini mampu mereduksi energi aliran dan gaya geser dasar. Dampaknya, kemampuan aliran dalam mengangkut sedimen berkurang sehingga potensi gerusan di sekitar pilar dapat diminimalkan.

Penggunaan MJB 2 memberikan hasil yang lebih optimal dibandingkan MJB 1. Kecepatan aliran menurun lebih signifikan dan merata, dengan nilai minimum mencapai 0,267 m/dtk pada Q1 dan 0,333 m/dtk pada Q2.

Efektivitas MJB 2 dipengaruhi oleh konfigurasi dan jumlah jaring yang lebih optimal, sehingga mampu mendistribusikan energi aliran secara merata dan mengurangi konsentrasi energi di sekitar pilar. Selain itu, kedalaman aliran juga memengaruhi kecepatan, di mana pada kedalaman kecil penurunan kecepatan lebih tajam.

Secara keseluruhan, pemasangan MJB mampu mengubah aliran menjadi lebih stabil, mengurangi kecepatan, serta menekan turbulensi dan pusaran. Dari ketiga kondisi yang diuji, MJB 2 menunjukkan kinerja terbaik dalam mengendalikan aliran dan meminimalkan potensi gerusan di sekitar pilar jembatan.

5 | KESIMPULAN

Berdasarkan hasil penelitian, kondisi tanpa jaring berpori menunjukkan kecepatan aliran yang relatif tinggi dan tidak merata, berkisar antara 0,400–0,700 m/dtk pada debit Q1 dan hingga 0,800 m/dtk pada debit Q2, sehingga berpotensi memicu gerusan di sekitar pilar. Penggunaan model jaring berpori (MJB) terbukti mampu menurunkan kecepatan aliran, di mana MJB 1 menunjukkan penurunan namun belum merata, sedangkan MJB 2 lebih efektif dengan kecepatan minimum mencapai 0,267 m/dtk (Q1) dan 0,333 m/dtk (Q2). Secara keseluruhan, jaring berpori mampu menstabilkan aliran dan mengurangi potensi gerusan, sehingga MJB 2 direkomendasikan sebagai konfigurasi paling efektif untuk perlindungan pilar jembatan.

Daftar Pustaka

- Anwar, A., Wahab, D., Rauf, I., Kusnadi, K., & Misbah, Z. K. (2021). Studi eksperimental pengaruh radius pilar massif terhadap pola gerusan lokal. *Jurnal Simetrik*, 11(2), 137–144. <https://doi.org/10.31959/js.v11i2.830>
- Breusers, H. N. C., & Raudkivi, A. J. (1991). *Scouring: Hydraulic structures design manual*. A. A. Balkema.
- Chiew, Y. M. (1992). Scour protection at bridge piers. *Journal of Hydraulic Engineering*, 118(9), 1260–1269. [https://doi.org/10.1061/\(ASCE\)0733-9429\(1992\)118:9\(1260\)](https://doi.org/10.1061/(ASCE)0733-9429(1992)118:9(1260))
- Hubert Chanson (2022). Hydraulic jumps and energy dissipation in open channel flows. *Environmental Fluid Mechanics*, 22, 789–818. <https://doi.org/10.1007/s10652-022-09854-5>
- Jiwane, P. D., Vasudeo, A. D., & Singh, A. K. (2025). Effect of gate opening height on the hydraulic jump characteristics in an open channel. *Journal of Applied Fluid Mechanics*, 18(6), 1502–1511. <https://doi.org/10.47176/jafm.18.6.3165>
- Kasmawati, K., Ali, M. Y., Pratama, D., & Khumairah, N. A. (2022). Analisis gerusan di sekitar pilar jembatan Sungai Pappa akibat perubahan kecepatan aliran. *Jurnal Rekayasa Infrastruktur Hexagon*, 6(2), 58–67. <https://jurnal.unmuhjember.ac.id/index.php/HEXAGON/article/view/6093>
- Latif, F., Said, M., & Amalia, A. R. (2019). Studi pergerakan sedimen akibat fluktuasi debit pada saluran terbuka (uji laboratorium). *Jurnal Teknik Hidro*, 12(1), 1–12. <https://journal.unismuh.ac.id/index.php/hidro/article/view/2465>
- Mutiah, A. U., Ramdhani, N. N., Hamdi, F., Nurnawaty, N., Karim, N., & Mahmuddin. (2023). Pengaruh perubahan bentuk bangunan peralihan saluran terbuka terhadap energi spesifik dan kehilangan energi. *Journal of Muhammadiyah's Application Technology (JUMPTTECH)*, 2(3), 259–269. <https://doi.org/10.26618/jumpstech.v2i3.10155>
- Pratama, R. A., Yulistiyo, B., & Siregar, H. (2022). Analisis pengaruh variasi kerapatan struktur permeabel terhadap karakteristik aliran pada saluran terbuka. *Jurnal Teknik Sipil*, 29(1), 55–64. <https://doi.org/10.5614/jts.2022.29.1.6>
- Putra, R. A., Siregar, H., & Yulistiyo, B. (2022). Analisis pengaruh struktur permeabel terhadap pengurangan gerusan lokal di sekitar pilar jembatan. *Jurnal Teknik Sipil*, 29(2), 123–132. <https://doi.org/10.5614/jts.2022.29.2.5>
- Rauf, I., Gaus, A., Imran, I., & Jaelan, S. (2023). Eksperimen laboratorium pengaruh hidung pilar jembatan terhadap kedalaman gerusan lokal setimbang. *Teras Jurnal: Jurnal Teknik Sipil*, 13(2), 313–323. <https://doi.org/10.29103/tj.v13i2.872>
- Roy, D., Ahmed, I., & Govindarajan, R. (2025). Interaction of granular structures with turbulent open-channel flow. *Journal of Hydraulic Research*, 63(1), 1–15.
- Singh, U. K., & Roy, P. (2023). Energy dissipation in hydraulic jumps using triple screen layers. *Applied Water Science*, 13, 17. <https://doi.org/10.1007/s13201-022-01824-y>
- Xuan, A., & Shen, L. (2023). Reconstruction of turbulent flow structures in open-channel flows using surface data. *Journal of Fluid Mechanics*, 960, A12. <https://doi.org/10.1017/jfm.2023.12>
- Zukaenah, K., & Herman, R. (2024). Pengaruh pilar segitiga dan pilar setengah lingkaran terhadap kedalaman gerusan. *Jurnal Sains dan Teknologi Tadulako*, 10(2), 80–94. <https://jurnal.pasca.untad.ac.id/index.php/jst/article/view/700>