

Analisis Model Pergerakan Sedimen Dasar (Bed Load) Sungai Dengan Berbagai Variasi Debit

¹Rinda Zuryati, ²Achmad Syarifudin

^{1,2} Program Studi Magister Teknik, Universitas Bina Darma Palembang

*Corresponding Author e-mail: zrinda@ymail.com

Received: June 2024; Revised: July 2024; Published: July 2024

Abstrak

Pengetahuan akan pergerakan sedimen sangat penting untuk diketahui dalam membuat strategi mitigasi untuk pengendalian sedimen, peningkatan kualitas air, perencanaan pembangunan air berkelanjutan, dan mencegah masalah yang mungkin terjadi seperti banjir dan pendangkalan air. Salah satu pendekatan yang efektif untuk memahami fenomena pergerakan sedimen adalah melalui permodelan dan simulasi. Penelitian ini difokuskan pada analisis pola pergerakan sedimen dasar dan besarnya angkutan sedimen menggunakan metode Meyer-Peter Müller (MPM) pada variasi debit periode ulang 5 tahun (Q5), 10 tahun (Q10), dan 25 tahun (Q25). Penelitian dilakukan menggunakan model fisik laboratorium dengan pendekatan kesebangunan hidraulik metode Langhaar. Pergerakan sedimen dengan masing masing debit periode ulang 5 tahun (Q5) di model menghasilkan nilai determinasi R² sebesar 0,9279 dan koefisien korelasi (R) sebesar 0,860998 atau sebesar 86% artinya hubungan yang kuat antara variable pergerakan sedimen pada dasar (bed load) (Ps) dengan debit (Q5) dan jarak (X) tertentu di dasar saluran (bed load). Sedangkan dengan debit periode ulang periode ulang 10 tahun (Q10) menghasilkan nilai determinasi R² sebesar 0,9192 dan koefisien korelasi (R) sebesar 0,84493 atau sebesar 84%, artinya hubungan yang kuat antara dua variable pergerakan sedimen (Ps) dengan debit aliran (Q10) serta dengan debit yang dipakai sebesar Q25 menghasilkan nilai determinasi R² sebesar 0,9065 atau koefisien korelasi (R) sebesar 0,82174 atau sebesar 82%, artinya hubungan yang kuat antara variable pergerakan sedimen (Ps) dengan debit aliran (Q10). Besarnya angkutan sedimen (bed load) di lapangan (prototipe) adalah sebesar $(q_b) = 0,141 \text{ kg/m.det} = 507,6 \text{ kg/m.jam}$ dan pada permodelan dengan lebar 0,4 m nilai $(q_b) = 0,0564 \text{ kg/det} = 56,4 \text{ gram/det}$.

Kata kunci: Pergerakan Sedimen, Sedimen Dasar, Debit Aliran, Model Fisik, Meyer-Peter Müller

Analysis of River Bed Load Sediment Movement Model with Various Discharge Variations

Abstract

Knowledge of sediment movement is very important to know in making mitigation strategies for sediment control, improving water quality, planning sustainable water development, and preventing potential problems such as flooding and water shallowing. One effective approach to understanding the phenomenon of sediment movement is through modeling and simulation. This research focuses on the analysis of bed load sediment movement patterns and the magnitude of sediment transport using the Meyer-Peter Müller (MPM) method at discharge variations of 5-year (Q5), 10-year (Q10), and 25-year (Q25) return periods. The research was conducted using a laboratory physical model with the Langhaar method hydraulic similarity approach. Sediment movement with each 5-year return period discharge (Q5) in the model produced a determination value (R²) of 0.9279 and a correlation coefficient (R) of 0.860998 or 86%, meaning a strong relationship between the variable of bed load sediment movement (Ps) with the discharge (Q5) and a certain distance (X) at the channel bed. Meanwhile, the 10-year return period discharge (Q10) produced a determination value (R²) of 0.9192 and a correlation coefficient (R) of 0.84493 or 84%, meaning a strong relationship between the two variables of sediment movement (Ps) and flow discharge (Q10), and the discharge used at Q25 produced a determination value (R²) of 0.9065 or a correlation coefficient (R) of 0.82174 or 82%, meaning a strong relationship between the sediment movement variable (Ps) and flow discharge (Q10). The magnitude of bed load sediment transport in the field (prototype) is $(q_b) = 0.141 \text{ kg/m.s} = 507.6 \text{ kg/m.hour}$ and in the model with a width of 0.4 m the value is $(q_b) = 0.0564 \text{ kg/s} = 56.4 \text{ grams/s}$.

Keywords: Sediment Movement, Bed Load, Flow Discharge, Physical Model, Meyer-Peter Müller

How to Cite: Zuryati, R., & Syarifudin, A. (2026). Analisis Model Pergerakan Sedimen Dasar (Bed Load) Sungai Dengan Berbagai Variasi Debit. *Journal of Authentic Research*, 5(3), 5202-5215. <https://doi.org/10.36312/3040f929>



<https://doi.org/10.36312/3040f929>

Copyright© 2026, Zuryati & Syarifudin

This is an open-access article under the CC-BY-SA License.



PENDAHULUAN

Indonesia merupakan negara kepulauan yang memiliki 2.397 aliran sungai dengan total panjang mencapai 84.678 km (Direktorat Jenderal Perhubungan Darat Kementerian Perhubungan, 2023). Sungai memiliki peran penting sebagai sumber air bersih, pembangkit energi listrik, habitat biota air tawar, serta sarana transportasi bagi wilayah yang sulit dijangkau melalui jalur darat maupun udara. Di sisi lain, sungai juga menghadapi berbagai permasalahan, seperti erosi tebing, longsor, banjir, dan pendangkalan alur sungai yang umumnya dipengaruhi oleh proses transportasi dan pengendapan sedimen.

Sedimen merupakan material hasil pelapukan batuan yang terbawa aliran sungai dalam berbagai ukuran butir, mulai dari kerikil, pasir, lanau, hingga lempung (Poerbandono dan Djunarsjah, 2005). Pergerakan sedimen dipengaruhi oleh karakteristik aliran, terutama debit, yang menentukan besarnya energi aliran untuk mengangkut material dari hulu menuju hilir. Peningkatan debit akan meningkatkan kemampuan aliran dalam mengangkut sedimen, meskipun hubungan tersebut juga dipengaruhi oleh ukuran butir sedimen, kemiringan dasar sungai, serta kondisi hidraulik aliran (Asdak, 2002). Pergerakan sedimen dasar (bed load) yang tidak terkendali dapat meningkatkan erosi lokal akibat gesekan partikel terhadap dasar dan tebing sungai, sekaligus memicu perubahan morfologi sungai yang berpotensi menyebabkan pendangkalan, perubahan arah aliran, hingga longsor tebing.

Pemahaman mengenai mekanisme transportasi sedimen menjadi aspek penting dalam mendukung strategi pengendalian sedimen, peningkatan kualitas air, perencanaan infrastruktur sumber daya air yang berkelanjutan, serta mitigasi risiko banjir dan pendangkalan sungai. Namun, perhitungan angkutan sedimen masih menjadi tantangan karena belum terdapat formulasi tunggal yang mampu merepresentasikan seluruh kondisi sungai. Oleh karena itu, analisis umumnya dilakukan menggunakan pendekatan empiris yang dikembangkan oleh berbagai peneliti, salah satunya metode Langhaar yang dikombinasikan dengan metode Meyer-Peter Müller (MPM) untuk mengestimasi besarnya angkutan sedimen dasar pada kondisi lapangan (prototipe).

Salah satu pendekatan yang banyak digunakan untuk mempelajari transportasi sedimen adalah model fisik laboratorium. Pendekatan ini memungkinkan pengamatan langsung terhadap karakteristik aliran, pola pergerakan sedimen, serta perubahan morfologi dasar saluran pada kondisi yang dapat dikendalikan. Selain itu, penerapan kesebangunan hidraulik memungkinkan hasil pengamatan pada model laboratorium direpresentasikan ke kondisi prototipe sehingga dapat digunakan sebagai dasar evaluasi dan perencanaan bangunan sungai maupun sistem irigasi.

Penelitian mengenai angkutan sedimen telah banyak dilakukan. Alimuddin (2024) menganalisis angkutan sedimen di Sungai Pangkajene menggunakan metode Meyer-Peter Müller dan Einstein Bed Load melalui pengukuran lapangan dan pengujian laboratorium dengan fokus pada pengaruh kecepatan aliran terhadap besarnya angkutan sedimen berdasarkan distribusi ukuran butiran. Sementara itu, Rusdi, Prisantio, dkk. (2024) membandingkan metode Meyer-Peter Müller dan Einstein dalam menghitung angkutan sedimen dasar pada Bendungan Malawe, Kabupaten Sorong. Kedua penelitian tersebut memberikan kontribusi dalam evaluasi metode empiris untuk menghitung angkutan sedimen, namun masih berorientasi pada estimasi besarnya angkutan sedimen dan validasi metode perhitungan. Belum

banyak penelitian yang mengintegrasikan model fisik laboratorium berbasis kesebangunan hidraulik untuk mengkaji perubahan pola pergerakan sedimen dasar akibat variasi debit sekaligus menghubungkannya dengan estimasi angkutan sedimen pada kondisi prototipe.

Kebaruan (novelty) penelitian ini terletak pada integrasi pendekatan model fisik laboratorium dengan kesebangunan hidraulik metode Langhaar untuk menganalisis pola pergerakan sedimen dasar akibat variasi debit, kemudian mengonversi hasil pengamatan model ke kondisi prototipe dan menghitung besarnya angkutan sedimen menggunakan metode Meyer-Peter Müller (MPM). Pendekatan ini tidak hanya menghasilkan estimasi kuantitatif angkutan sedimen, tetapi juga memberikan gambaran visual mengenai perubahan pola transportasi sedimen pada berbagai kondisi debit, sehingga memberikan informasi yang lebih komprehensif dibandingkan penelitian sebelumnya.

Berdasarkan kondisi tersebut, penelitian ini bertujuan menganalisis pola pergerakan sedimen dasar pada model fisik laboratorium menggunakan variasi debit periode ulang 5 tahun (Q_5), 10 tahun (Q_{10}), dan 25 tahun (Q_{25}). Selanjutnya, hasil pengamatan laboratorium dikonversi ke kondisi prototipe menggunakan metode Langhaar dan dihitung besarnya angkutan sedimen dasar menggunakan metode Meyer-Peter Müller. Hasil penelitian ini diharapkan dapat memberikan pemahaman yang lebih baik mengenai hubungan variasi debit terhadap pola transportasi sedimen dasar serta menjadi masukan dalam perencanaan dan pengelolaan sungai secara berkelanjutan.

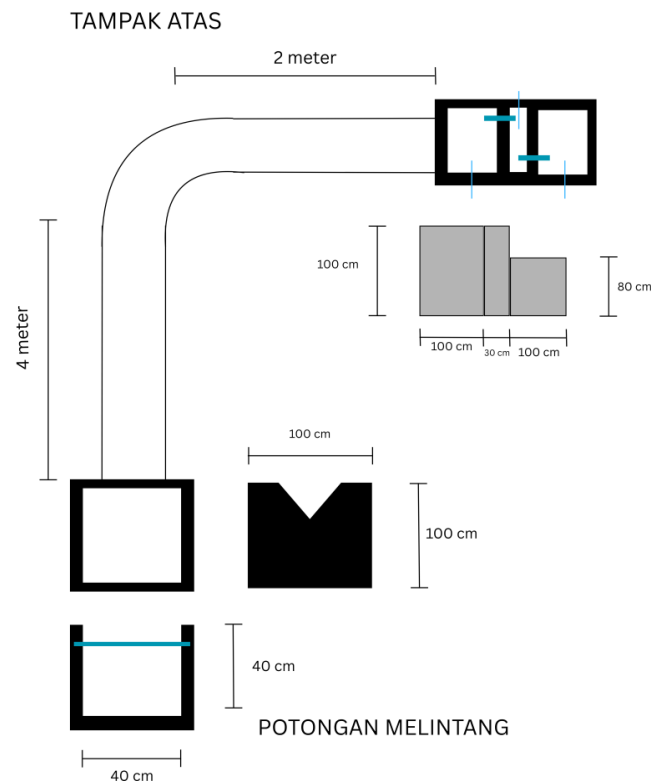
METODE

Penelitian dilaksanakan di Laboratorium Universitas Bina Darma dengan model flume.



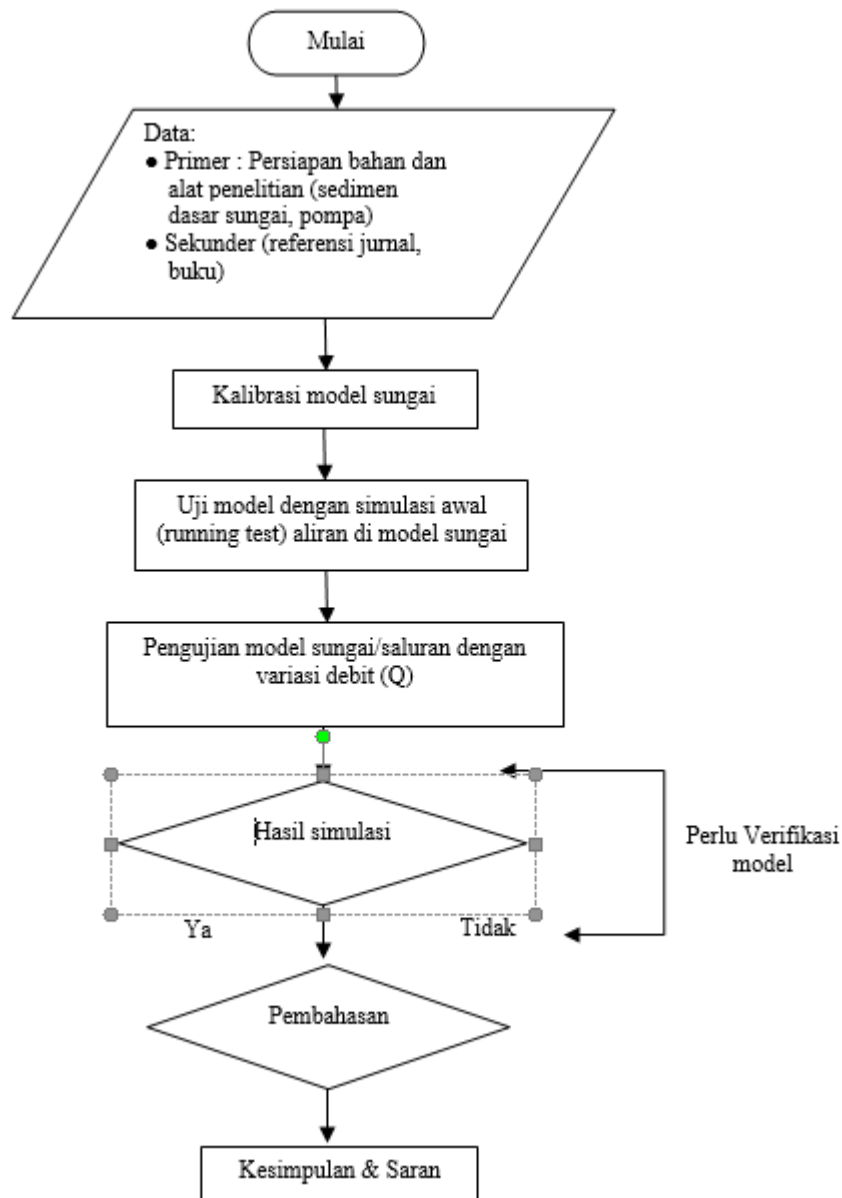
Gambar 1. Model terskala sungai di laboratorium

Model bangunan saluran terbuka flume berpenampang segi empat yang terbuat dari bahan batu bata yang di plester dengan dimensi ukuran seperti : panjang saluran 600 cm, lebar 40 cm dan tinggi 40 cm. Dasar flume akan diisi sedimen setebal tertentu.



Gambar 2. Sket saluran terbuka (flume)

Sedimen, dalam penelitian ini akan digunakan pasir sungai lolos saringan No. 10 dengan ukuran gradasi butiran $d_{35} = 0,285$ mm sebagai pembentuk dasar sungai. Meteran untuk mengukur ketinggian muka air. Muka air diukur setelah running (simulasi) pada arah melintang di atas saluran. Stop watch, untuk mengukur waktu agar pencatatan data sesuai dengan interval waktu yang diinginkan. Pompa air untuk men-suplai aliran air bersih ke model saluran. Bak penampung air untuk menyuplai air dan bak/tangki untuk menampung aliran di ujung hilir saluran, kamera dan timbangan digital untuk melihat berat sedimen.



Gambar 3. Diagram alir pelaksanaan penelitian

Analisis dalam penelitian ini dilakukan dengan menggunakan metode Langhaar berbasis pada Analisis Dimensi untuk menentukan pola pergerakan sedimen dasar. Metode ini digunakan guna memperoleh hubungan antar variabel dalam bentuk parameter tak berdimensi sehingga pola pergerakan sedimen dapat dianalisis secara sistematis. Terdapat 3 varian debit yang akan digunakan yaitu Q5 sebesar = 0,134 m³/det, Q10 sebesar = 0,154 m³/det, dan Q25 sebesar = 0,180 m³/det. Tahapan ini akan menghitung nilai koefisien determinasi (R²) dan koefisien korelasi (R) yang dapat menyatakan pengaruh dari variabel terhadap pola pergerakan angkutan sedimen dasar. Nilai R menunjukkan kekuatan hubungan antar variabel. Nilai R² menunjukkan tingkat keakuratan model.

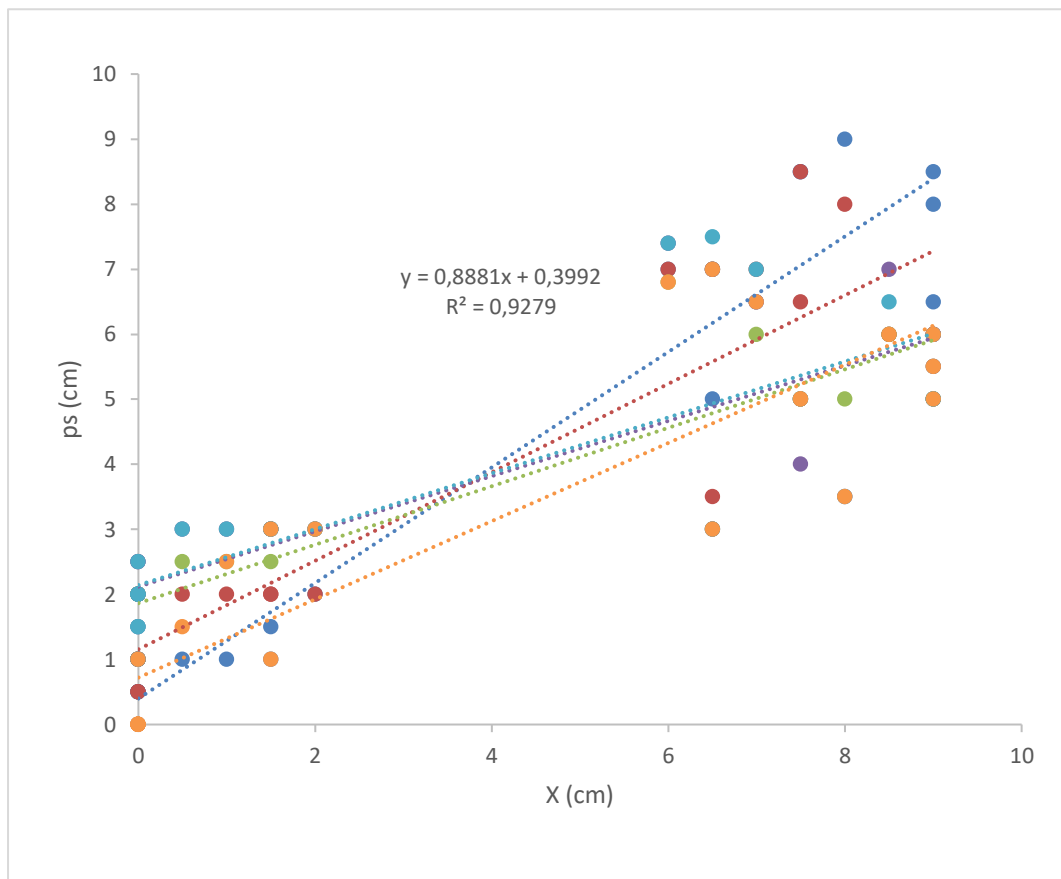
Selanjutnya, untuk menghitung besarnya angkutan sedimen dasar (bed load), digunakan persamaan Meyer-Peter Müller yang mampu mengestimasi kapasitas angkutan sedimen berdasarkan kondisi hidraulik aliran. Sedangkan, untuk menghitung nilai dari angkutan sedimen di prototipe digunakan persamaan Meyer-Peter Muller, sebagai berikut : $\gamma R_h (KK')^{3/2} S^{-0,047} (\gamma_s - \gamma) d_m = 0,25 (\gamma g)^{1/3} (q_b$

$\gamma_s^{2/3}$. dengan : d_m = diameter representatif (signifikan) yang umumnya berada pada rentan d_{35} . R_h = jari-jari hidraulik aliran (untuk kondisi sungai dengan penampang lebar, nilai R_h dapat diasumsikan sama dengan kedalaman aliran) . q_b' = nilai dari berat angkutan sedimen dasar di dalam air per satuan waktu dan per satuan lebar ($\text{ton/m} \cdot \text{det}$). (K_s) = riak faktor (ripple factor) . g = gravitasi.

Penelitian ini menggunakan desain eksperimen laboratorium dengan pendekatan model fisik saluran terbuka (flume) yang disusun berdasarkan prinsip kesebangunan hidraulik menggunakan metode Langhaar. Skala model ditentukan berdasarkan rasio dimensi antara model dan prototipe sehingga hubungan parameter hidraulik, seperti panjang, kedalaman, kecepatan, debit, dan gaya gravitasi, tetap memenuhi persyaratan kesebangunan. Variasi debit yang diuji terdiri atas debit periode ulang Q5 ($0,134 \text{ m}^3/\text{det}$), Q10 ($0,154 \text{ m}^3/\text{det}$), dan Q25 ($0,180 \text{ m}^3/\text{det}$) pada kondisi prototipe, yang kemudian dikonversi menjadi debit model menggunakan persamaan kesebangunan Langhaar. Pada setiap variasi debit, pengujian dilakukan dengan prosedur yang sama, yaitu meratakan lapisan sedimen pada dasar flume, mengalirkan debit hingga mencapai kondisi aliran stabil (steady flow), kemudian menjalankan simulasi selama waktu pengamatan yang telah ditentukan. Setiap skenario pengujian dilakukan sedikitnya tiga kali replikasi untuk meningkatkan reliabilitas hasil. Selama proses pengujian dilakukan pengamatan terhadap pola pergerakan sedimen, perubahan dasar saluran, dan pengukuran berat sedimen yang terangkut (bed load) menggunakan timbangan digital. Data hasil pengujian selanjutnya dianalisis secara statistik menggunakan analisis regresi untuk memperoleh nilai koefisien korelasi (R) dan koefisien determinasi (R^2) sebagai indikator hubungan antarvariabel. Perhitungan angkutan sedimen dasar dilakukan menggunakan metode Meyer-Peter Müller (MPM) melalui tahapan penentuan parameter hidraulik, perhitungan tegangan geser dasar, dan estimasi kapasitas angkutan sedimen, kemudian hasil model dikonversi ke kondisi prototipe berdasarkan persamaan kesebangunan. Untuk menjamin keandalan hasil, model fisik dikalibrasi sebelum pengujian dengan memastikan kesesuaian debit, kedalaman aliran, dan kondisi aliran stabil terhadap parameter rancangan sehingga hasil simulasi dapat merepresentasikan kondisi prototipe secara memadai.

HASIL DAN PEMBAHASAN

Hubungan antara (PS/t) dengan (X/t) dengan $Q_5 = 0,134 \text{ m}^3/\text{det}$



Gambar 4. Pola pergerakan sedimen (bed load) $Q_5 = 0,134 \text{ m}^3/\text{det}$

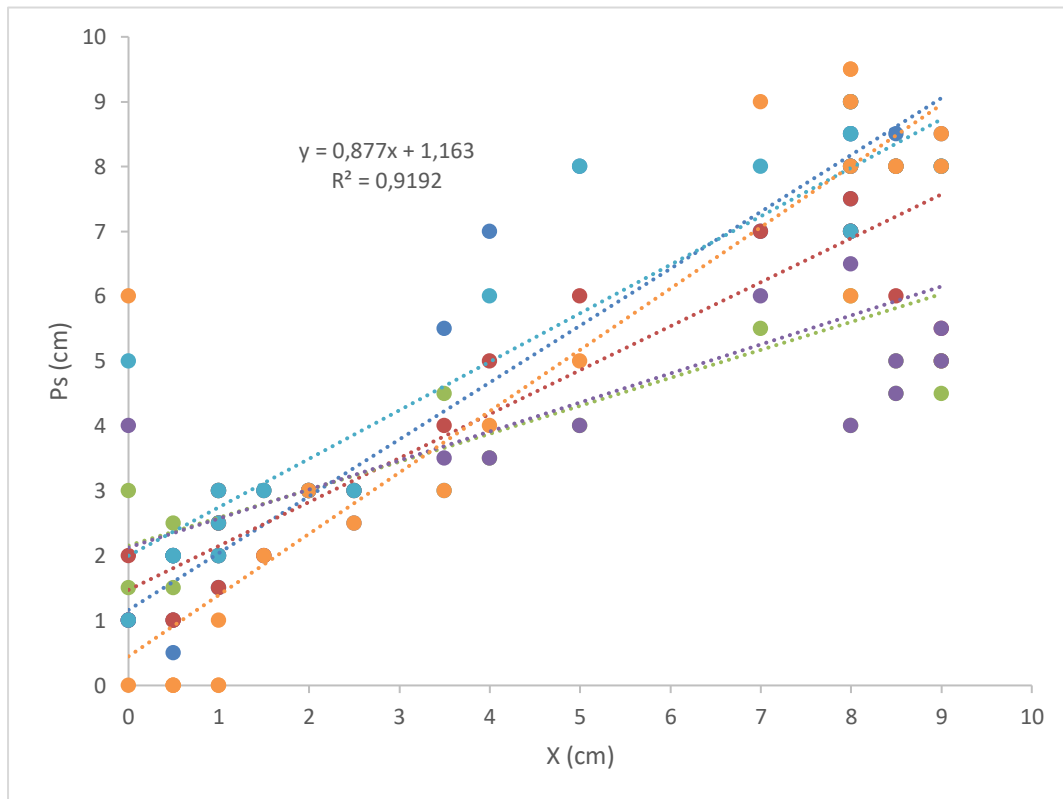
Berdasarkan Gambar 5., terlihat bahwa pola pergerakan sedimen dasar (bed load) pada debit periode ulang 5 tahun Q_5 sebesar $0,134 \text{ m}^3/\text{det}$ menunjukkan kecenderungan hubungan yang positif antara jarak pengamatan (X) terhadap pergerakan sedimen (Ps). Semakin besar nilai jarak (X), maka nilai pergerakan sedimen cenderung meningkat. Hal ini mengindikasikan bahwa aliran dengan debit Q_5 memiliki kemampuan yang cukup signifikan dalam mengangkut material sedimen pada dasar saluran.

Hasil analisis regresi linier pada grafik menghasilkan persamaan hubungan ($y = 0,888x + 0,399$) dengan nilai koefisien determinasi $R^2 = 0,9279$. Nilai tersebut menunjukkan bahwa sebesar 92,79% variasi pergerakan sedimen dapat dijelaskan oleh variabel yang digunakan dalam model, sedangkan sisanya sebesar 7,21% dipengaruhi oleh faktor lain di luar model penelitian. Tingginya nilai R^2 mengindikasikan bahwa model memiliki tingkat ketepatan yang sangat baik dalam menggambarkan hubungan antarvariabel.

Selain itu, nilai koefisien korelasi (R) sebesar 0,860998 atau sekitar 86,10% menunjukkan adanya hubungan yang kuat dan positif antara debit aliran, jarak pengamatan, dan pergerakan sedimen dasar (bed load). Kondisi ini menegaskan bahwa peningkatan debit aliran berpengaruh terhadap meningkatnya energi aliran yang mampu menggerakkan partikel sedimen pada dasar saluran. Secara kualitatif, pola sebaran data pada grafik juga menunjukkan bahwa sedimen cenderung bergerak lebih aktif pada titik pengamatan yang lebih jauh, yang dipengaruhi oleh kecepatan

aliran dan gaya geser dasar saluran. Dengan demikian, debit Q5 dapat dikategorikan sebagai debit yang mulai memberikan pengaruh nyata terhadap proses transportasi sedimen dasar di saluran penelitian yang artinya hubungan yang kuat antara variable pergerakan sedimen pada dasar (bed load) (Ps) dengan debit (Q5) dan jarak (X) tertentu di dasar saluran (bed load).

Hubungan antara (Ps/t) dengan (Q/t) dengan Q10 = 0,154 m³/det



Gambar 5. Pola pergerakan sedimen (bed load) Q10 = 0,154 m³/det]

Berdasarkan Gambar 6, terlihat bahwa pola hubungan antara pergerakan sedimen dasar (bed load) terhadap jarak pengamatan (X) pada debit periode ulang 10 tahun (Q10) sebesar 0,154 m³/det menunjukkan kecenderungan hubungan yang positif dan linear. Hal ini menunjukkan bahwa semakin besar jarak pengamatan, maka nilai pergerakan sedimen (Ps) juga cenderung meningkat. Kondisi tersebut mengindikasikan bahwa debit aliran Q10 memiliki kemampuan yang lebih besar dalam mengangkut material sedimen pada dasar saluran.

Hasil analisis regresi linier menghasilkan persamaan hubungan $y=0,877x+1,163$ dengan nilai koefisien determinasi $R^2 = 0,919$. Nilai tersebut menunjukkan bahwa sebesar 91,9% variasi pergerakan sedimen dapat dijelaskan oleh model hubungan antara variabel jarak dan debit aliran, sedangkan sisanya sebesar 8,1% dipengaruhi oleh faktor lain di luar model penelitian. Tingginya nilai koefisien determinasi menunjukkan bahwa model regresi yang digunakan memiliki tingkat ketelitian yang sangat baik dalam menjelaskan fenomena transportasi sedimen dasar.

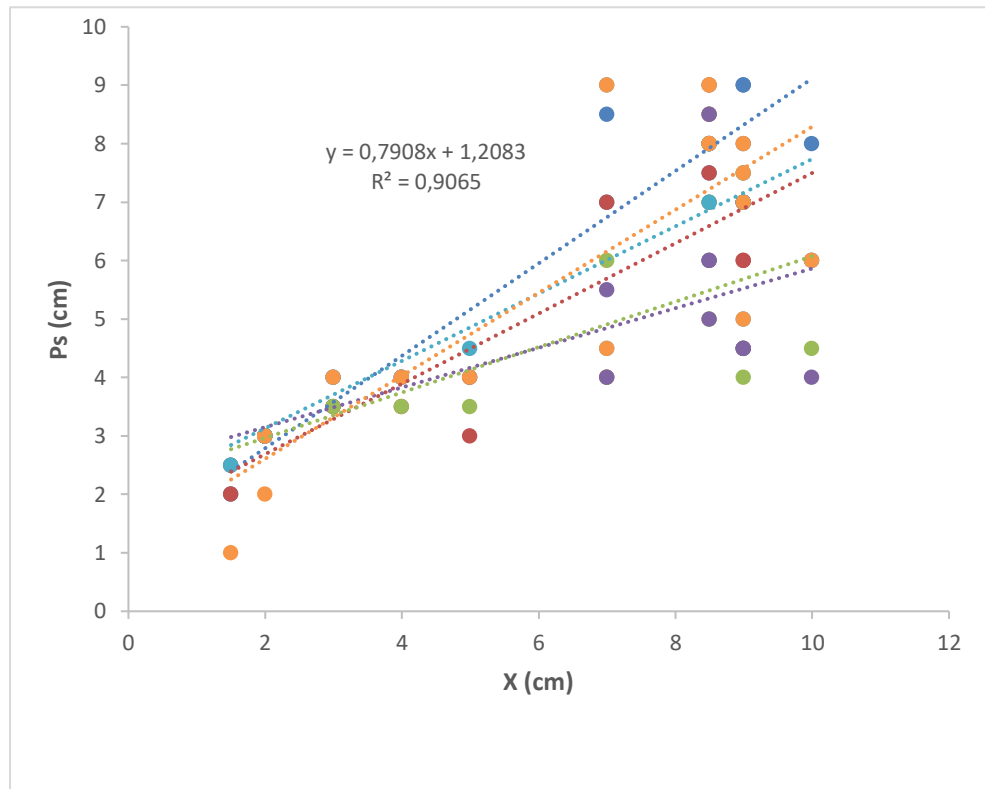
Selain itu, nilai koefisien korelasi (R) yang mendekati 1 menunjukkan adanya hubungan yang sangat kuat dan positif antara debit aliran dengan pergerakan sedimen dasar. Hal ini menandakan bahwa peningkatan debit aliran menyebabkan bertambahnya energi aliran dan gaya geser pada dasar saluran, sehingga partikel

sedimen lebih mudah terangkut mengikuti arah aliran. Secara kualitatif, pola penyebaran data pada grafik memperlihatkan bahwa pada debit Q10, pergerakan sedimen cenderung lebih stabil dan mengalami peningkatan yang lebih konsisten dibandingkan debit yang lebih kecil. Kondisi ini menunjukkan bahwa debit periode ulang 10 tahun sudah mampu memberikan pengaruh signifikan terhadap proses erosi dan transportasi sedimen dasar (bed load) pada saluran penelitian. Dengan demikian, semakin besar debit aliran maka semakin besar pula kemampuan aliran dalam menggerakkan sedimen di dasar saluran.

Selain itu, hasil pengamatan pada grafik menunjukkan adanya pola distribusi sedimen yang semakin menyebar pada jarak pengamatan yang lebih besar. Kondisi ini mengindikasikan bahwa turbulensi aliran dan interaksi antarbutir sedimen mulai memberikan pengaruh terhadap proses transportasi sedimen. Pada beberapa titik pengamatan terlihat adanya variasi nilai pergerakan sedimen yang tidak sepenuhnya seragam, yang menunjukkan bahwa karakteristik aliran di dasar saluran dipengaruhi oleh kondisi lokal seperti kekasaran dasar saluran, ukuran butiran sedimen, serta perubahan kecepatan aliran. Peningkatan debit Q10 sebesar $0,154 \text{ m}^3/\text{det}$ juga menunjukkan bahwa kapasitas angkut aliran terhadap material sedimen mengalami peningkatan dibandingkan debit periode ulang yang lebih kecil. Energi aliran yang semakin besar menyebabkan partikel sedimen dengan ukuran tertentu lebih mudah mengalami pengangkatan, pergeseran, maupun penggelindingan di sepanjang dasar saluran.

Fenomena ini memperlihatkan bahwa transportasi sedimen dasar (bed load transport) sangat dipengaruhi oleh besarnya debit dan kecepatan aliran. Secara hidraulik, kondisi tersebut menandakan bahwa gaya geser dasar (shear stress) yang bekerja pada dasar saluran telah melampaui gaya tahan butiran sedimen, sehingga sedimen mulai bergerak secara aktif mengikuti arah aliran. Semakin besar debit yang mengalir, maka semakin besar pula tegangan geser yang terjadi, sehingga intensitas pergerakan sedimen menjadi lebih tinggi. Hal ini sejalan dengan teori transportasi sedimen yang menyatakan bahwa peningkatan debit akan meningkatkan kemampuan aliran dalam mengikis, mengangkut, dan mengendapkan material sedimen. Dengan demikian, grafik pada debit Q10 tidak hanya menunjukkan hubungan matematis antar variabel, tetapi juga menggambarkan kondisi fisik aliran yang mulai dominan dalam proses mobilisasi sedimen dasar. Hasil ini dapat menjadi dasar dalam memahami perilaku sedimentasi pada saluran, khususnya dalam perencanaan pengendalian erosi, stabilitas dasar saluran, dan evaluasi kapasitas aliran terhadap angkutan sedimen.

Hubungan antara (P_s/t) dengan (Q/t) dengan $Q_{25} = 0,180 \text{ m}^3/\text{det}$



Gambar 6. Pola pergerakan sedimen (bed load) dengan $Q_{25} = 0,180 \text{ m}^3/\text{det}$

Berdasarkan Gambar 7., terlihat bahwa hubungan antara pergerakan sedimen dasar (bed load) dengan jarak pengamatan (X) pada debit periode ulang 25 tahun (Q_{25}) sebesar $0,180 \text{ m}^3/\text{det}$ menunjukkan kecenderungan hubungan linear positif. Hal ini ditunjukkan dengan meningkatnya nilai pergerakan sedimen (P_s) seiring bertambahnya jarak pengamatan. Kondisi tersebut mengindikasikan bahwa debit aliran Q_{25} memiliki energi aliran yang cukup besar sehingga mampu menggerakkan partikel sedimen dasar secara lebih aktif dibandingkan debit yang lebih kecil.

Hasil analisis regresi linier pada grafik menghasilkan persamaan hubungan ($y = 0,7908x + 1,2083$) dengan nilai koefisien determinasi $R^2 = 0,9065$. Nilai tersebut menunjukkan bahwa sebesar 90,65% variasi data pergerakan sedimen dapat dijelaskan oleh model regresi yang digunakan, sedangkan sisanya sebesar 9,35% dipengaruhi oleh faktor lain di luar model penelitian. Tingginya nilai determinasi tersebut menunjukkan bahwa hubungan antara variabel jarak dan pergerakan sedimen memiliki tingkat keterkaitan yang sangat kuat.

Secara kualitatif, pola penyebaran data pada grafik memperlihatkan bahwa pada debit Q_{25} terjadi peningkatan intensitas pergerakan sedimen di hampir seluruh titik pengamatan. Sebaran data yang cenderung meningkat menunjukkan bahwa aliran dengan debit yang lebih besar menghasilkan gaya geser dasar (bed shear stress) yang semakin tinggi, sehingga partikel sedimen lebih mudah mengalami pergeseran, penggelindingan, maupun pengangkutan sepanjang dasar saluran. Selain itu, pada beberapa titik pengamatan terlihat adanya variasi nilai sedimen yang cukup menyebar. Hal ini menunjukkan bahwa proses transportasi sedimen tidak hanya dipengaruhi oleh debit aliran, tetapi juga oleh faktor lain seperti ukuran butiran sedimen, kekasaran dasar saluran, turbulensi aliran, dan kondisi hidraulik lokal pada

saluran penelitian. Semakin besar debit aliran, maka energi kinetik aliran juga meningkat sehingga kemampuan aliran dalam mengangkut sedimen menjadi lebih besar.

Jika dibandingkan dengan grafik sebelumnya pada debit $Q_5 = 0,134 \text{ m}^3/\text{det}$ dan $Q_{10} = 0,154 \text{ m}^3/\text{det}$, maka pada debit $Q_{25} = 0,180 \text{ m}^3/\text{det}$ terlihat adanya peningkatan aktivitas transportasi sedimen yang lebih dominan. Pada debit Q_5 , pola pergerakan sedimen masih relatif lebih rendah walaupun telah menunjukkan hubungan yang kuat dengan nilai $R^2 = 0,9279$. Sementara pada debit Q_{10} , pergerakan sedimen mulai meningkat dengan pola distribusi yang lebih stabil dan nilai $R^2 = 0,919$. Pada debit Q_{25} , walaupun nilai R^2 sedikit menurun menjadi $0,9065$, intensitas pergerakan sedimen justru semakin besar dan penyebaran data semakin luas akibat meningkatnya turbulensi dan dinamika aliran. Perbandingan ketiga grafik tersebut menunjukkan bahwa semakin besar debit aliran, maka kemampuan aliran dalam menggerakkan sedimen dasar semakin meningkat. Kondisi ini menunjukkan adanya hubungan yang erat antara debit aliran dengan kapasitas angkutan sedimen (sediment transport capacity). Dengan demikian, debit periode ulang yang lebih besar cenderung menghasilkan proses erosi dan transportasi sedimen yang lebih aktif pada dasar saluran penelitian.

Analisa Nilai Angkutan Sedimen Dasar (Bed Load)

Analisa ini akan menggunakan persamaan Meyer Peter Muller (MPM) dengan persamaan sebagai berikut:

$$\gamma R_h (KK')^{3/2} S_i^{-0,047} (\gamma_s - \gamma) d_m = 0,25 (\gamma_g)^{1/3} (q_b')^{2/3}$$

dengan data :

$$d_m = 0,35 \text{ cm}$$

$$R_h = 0,28 \text{ m}$$

$$KK' = 2,5$$

$$\gamma_s = 2650 \text{ kg/cm}^3$$

$$\gamma_w = 1000 \text{ kg/cm}^3$$

$$S = 0,05$$

$$g = 9,8 \text{ kg/m}^2$$

maka,

$$= \gamma R_h (KK')^{3/2} S_i^{-0,047} (\gamma_s - \gamma) d_m = 0,25 (\gamma_g)^{1/3} (q_b')^{2/3}$$

$$= ((1000)(0,07) \cdot (1,8)^{3/2} \cdot (0,002))^{-0,047} (2650 - 1000) \cdot 0,000285 = 0,25 (10009,8)^{1/3} (q_b')^{2/3}$$

$$(q_b')^{2/3} = (0,271)^{2/3}$$

$$(q_b') = (0,271)^{3/2}$$

$$(q_b') = 0,141 \text{ kg/m.det} = 141 \text{ gram/m.det} = 507,6 \text{ kg/m.jam}$$

Sehingga, debit sedimen total pada flume

$$\text{Lebar flume } b = 0,4 \text{ m}$$

$$\text{Maka, } (q_b') = 0,141 \text{ kg/m.det} \times 0,4 \text{ m}$$

$$(q_b') = 0,0564 \text{ kg/det} = 56,4 \text{ gram/det}$$

Berdasarkan hasil analisis menggunakan persamaan Meyer-Peter Müller, diperoleh debit angkutan sedimen dasar q_b' sebesar $0,000141 \text{ ton}/(\text{m detik})$ atau

setara dengan 0,141 kg/(m·detik). Perhitungan dilakukan dengan parameter model berupa diameter butir sedimen rata-rata d_m sebesar 0,285 mm, hydraulic radius R_h sebesar 0,07 m, kemiringan dasar saluran S sebesar 0,002, dan rasio kekasaran K/K' sebesar 1,8. Nilai tersebut menunjukkan bahwa aliran pada model flume laboratorium masih memiliki kemampuan untuk mengangkut sedimen dasar berupa pasir halus hingga sedang secara kontinu.

Pada model fisik laboratorium dengan dimensi flume sepanjang 6 m dan lebar 0,4 m, debit angkutan sedimen total yang terjadi adalah sekitar 56,4 gram/detik. Secara hidraulik, nilai tersebut masih berada dalam rentang realistis untuk pengujian sediment transport pada flume skala kecil, karena tidak menimbulkan erosi dasar yang berlebihan serta masih memungkinkan proses pengamatan pola pergerakan sedimen dilakukan secara stabil dan terkontrol. Debit sedimen yang dihasilkan juga menunjukkan bahwa kondisi aliran telah mencapai ambang kritis penggerusan sehingga butiran sedimen mulai bergerak akibat gaya geser aliran.

Penggunaan persamaan Meyer-Peter Müller pada penelitian ini bertujuan untuk menggambarkan hubungan antara parameter hidraulik aliran dan karakteristik material dasar terhadap besarnya angkutan sedimen dasar. Persamaan tersebut pada dasarnya dikembangkan untuk kondisi sungai alami atau prototipe lapangan, sehingga ketika diterapkan pada model laboratorium diperlukan pendekatan kesebangunan (similarity) dan penyesuaian skala model. Dalam model fisik, pengaruh dimensi flume, efek viskositas, turbulensi, serta skala ukuran sedimen menyebabkan hasil perhitungan empiris tidak dapat langsung disamakan dengan kondisi prototipe di lapangan.

Pada kondisi prototipe lapangan, kapasitas angkutan sedimen umumnya lebih besar karena dipengaruhi oleh debit aliran yang lebih tinggi, dimensi saluran yang lebih besar, serta energi aliran yang lebih dominan dibandingkan model laboratorium. Oleh karena itu, model flume dalam penelitian ini berfungsi sebagai representasi fisik untuk mensimulasikan mekanisme dasar transport sedimen yang terjadi di lapangan. Dengan mempertahankan parameter kesebangunan hidraulik seperti kemiringan dasar, kedalaman aliran, dan karakteristik sedimen, maka pola pergerakan sedimen yang terjadi pada model masih dapat digunakan untuk menggambarkan kecenderungan fenomena sedimentasi pada prototipe sebenarnya. Hasil penelitian menunjukkan bahwa persamaan Meyer-Peter Müller cukup representatif untuk menggambarkan kecenderungan angkutan sedimen dasar pada model flume laboratorium. Nilai debit sedimen yang diperoleh menunjukkan bahwa aliran dengan kemiringan dasar 0,002 telah mampu menghasilkan transport sedimen aktif, namun masih berada pada kondisi stabil sehingga sesuai digunakan untuk pengamatan proses gerusan dan sedimentasi pada saluran terbuka.

KESIMPULAN

Pergerakan sedimen dengan masing masing debit periode ulang 5 tahun (Q_5) di model menghasilkan nilai determinasi R^2 sebesar 0,9279 dan koefisien korelasi (R) sebesar 0,860998 atau sebesar 86% artinya hubungan yang kuat antara variable pergerakan sedimen pada dasar (bed load) (P_s) dengan debit (Q_5) dan jarak (X) tertentu di dasar saluran (bed load).

Sedangkan dengan debit periode ulang periode ulang 10 tahun (Q_{10}) menghasilkan nilai determinasi R^2 sebesar 0,9192 dan koefisien korelasi (R) sebesar 0,84493 atau sebesar 84%, artinya hubungan yang kuat antara dua variable

pergerakkan sedimen (Ps) dengan debit aliran (Q10) serta dengan debit yang dipakai sebesar Q25 menghasilkan nilai determinasi R² sebesar 0,9065 atau koefisien korelasi (R) sebesar 0,82174 atau sebesar 82%, artinya hubungan yang kuat antara variable pergerakkan sedimen (Ps) dengan debit aliran (Q10).

Besarnya angkutan sedimen (bed load) di lapangan (prototipe) adalah sebesar (q_b) = 0,141 kg/m.det = 507,6 kg/m.jam dan pada permodelan dengan lebar 0,4 m nilai (q_b) = 0,0564 kg/det = 56,4 gram/det.

REFERENSI

- Abdelaziz, A. A., Lim, S. Y., & Kim, J. R. (2024). Bankline abutment scour in compound channels. *Water*, 16, 1479. <https://doi.org/10.3390/w16111479>
- Asdak, C. (2002). *Hidrologi dan pengelolaan daerah aliran sungai*. Gadjah Mada University Press.
- Asdak, C. (2007). *Hidrologi dan pengelolaan daerah aliran sungai*. Gadjah Mada University Press.
- Awad, B. S. R., El-Badry, H., Osman, E. A., Shafik, N. M., Khedr, I., & Fathy, S. (2025). Bahr Yousef meandering canal management – Hydraulic and morphological assessment. *Water Science*, 39(1), 28–41. <https://doi.org/10.1080/23570008.2024.2438908>
- Badan Standardisasi Nasional. (2008). SNI 3965:2008: *Tata cara pembuatan model fisik sungai dengan dasar tetap*.
- Hasibuan, B. S. R., Mudjiatko, & Rinaldi. (2017). Model laboratorium pola aliran pada krib impermeable terhadap variasi debit dan posisi krib di sungai berbelok. *Jom FTEKNIK*, 4(1).
- Humairah, A. M. (2014). Analisis hidrolika bangunan krib permeabel pada saluran tanah (Uji model laboratorium). *Jurnal Teknik Sipil dan Lingkungan*, 2(3).
- Ikhsan, C. (2017). Pengaruh variasi debit aliran pada dasar saluran terbuka dengan aliran seragam. *Media Teknik Sipil*.
- Ishak, M. G., & Herman, R. (2020). *Rekayasa sungai*. Untad Press.
- Ishak, M. G., & Tunas, I. G. (2008). Analisis aliran di belokan saluran (studi model fisik dan matematik untuk menjelaskan fenomena gerusan di sungai Palu). *Jurnal MEKTEK*, 10(3).
- Istianto. (2012). *Teknik sungai*. Universitas Gadjah Mada.
- Kurdi, H., Fitriati, U., & Chandrawidjaja, R. (2019). *Model hidraulik*. Lambung Mangkurat University Press.
- Mulyanto, H. R. (2007). *Sungai fungsi & sifat-sifatnya*. Graha Ilmu.
- Nenny. (2024). Karakteristik sedimen dan pola transportasi di sungai berdasarkan variasi debit aliran. *Journal of Innovation Research and Knowledge*, 4(1).
- Sucipto, A., et al. (2025). Sedimentation characteristics and sediment transport in the Palu River estuary. *Civil Engineering Journal*, 11(2).
- Sumiadi. (2014). *Aliran pada sungai menikung dasar rata dan dasar tergerus* [Disertasi doctoral]. Universitas Gadjah Mada.
- Sunaryo, Daoed, D., & Sari, F. L. (2010). Pengaruh pemasangan krib pada saluran di tikungan 120°. *Volume* 6(1).
- Syarifudin, A. (2023). *Sistem drainase perkotaan berwawasan lingkungan*. Bening's Publisher.

- van Dijk, W. M. (2013). *Meandering rivers - feedbacks between channel dynamics, floodplain and vegetation* (Utrecht Studies in Earth Sciences 035). Department of Physical Geography, Faculty of Geosciences, Utrecht University.
- Wentworth, C. K. (1922). A scale of grade and class terms for clastic sediments. *Journal of Geology*, 30, 377–394.
- Wiyonno, A., Nugroho, J., Widyaningtias, & Zaidun, E. R. (2011). Perbandingan gerusan lokal yang terjadi di sekitar abutment dinding vertikal tanpa sayap dan dengan sayap pada saluran lurus, tikungan 90°, dan 180° (Kajian laboratorium). *Jurnal Teknik Sipil*, 18(1).
- Zulfan, J., & Kumala, Y. E. (2018). Efektivitas krib untuk mengurangi gerusan di tikungan luar sungai Bengawan Solo. *Jurnal Teknik Hidraulik*, 9(2), 115–126.