

IDENTIFIKASI PERUBAHAN DASAR SALURAN AKIBAT VARIASI DEBIT DAN SEDIMENTASI PADA PENAMPANG SALURAN TERBUKA EXPERIMENTAL LABORATORIUM

Sinar Alam^{1*}, Hakim Duppa², Nurul Azmi Ridha³

¹Program Studi Teknik Sipil FT Universitas Pepabri Makassar

²Program Studi Teknik Sipil FT Universitas Pepabri Makassar

³Program Studi Teknik Sipil FT Universitas Pepabri Makassar

^{1*}@upepabri@gmail.com

Abstrak: Penelitian ini bertujuan untuk mengidentifikasi perubahan dasar saluran akibat variasi debit aliran dan ukuran butiran sedimen pada saluran terbuka model laboratorium. Metode penelitian yang digunakan adalah eksperimen dengan model saluran berbentuk trapesium, menggunakan tiga variasi debit (0,0026 m³/det; 0,0034 m³/det; 0,0045 m³/det), tiga variasi ukuran butiran sedimen (2,36 mm; 1,18 mm; 0,85 mm), serta tiga variasi waktu pengaliran (8, 16, dan 24 menit). Data diperoleh melalui pengukuran kecepatan aliran dengan current meter dan tinggi muka air dengan mistar ukur. Hasil penelitian menunjukkan bahwa semakin besar debit dan kecepatan aliran, semakin tinggi angka Froude yang dihasilkan, sehingga peluang terjadinya perubahan dasar saluran meningkat. Bentuk dasar saluran (bedforms) mengalami perubahan dari ripples pada aliran subkritis, menjadi dunes pada aliran kritis, hingga transisi pada kondisi superkritis. Temuan ini memberikan pemahaman penting mengenai pengaruh debit dan variasi sedimen terhadap konfigurasi dasar saluran terbuka, yang dapat dijadikan dasar perencanaan bangunan pengendali sungai maupun saluran irigasi.

Kata Kunci: Saluran terbuka, debit, sedimen, perubahan dasar, angka Froude

Abstract: This study aims to identify channel bed changes caused by variations in flow discharge and sediment grain size in an experimental open channel. The research employed a laboratory-scale trapezoidal flume with three discharge variations (0.0026 m³/s; 0.0034 m³/s; 0.0045 m³/s), three sediment grain sizes (2.36 mm; 1.18 mm; 0.85 mm), and three flow durations (8, 16, and 24 minutes). Flow velocity was measured using a current meter, while water surface elevation was recorded using a staff gauge. The results indicate that higher flow discharge and velocity produce larger Froude numbers, thereby increasing the likelihood of channel bed changes. Bedform development was found to vary with flow regime, where subcritical flows produced ripples, critical flows formed dunes, and supercritical flows transitioned from dunes to transitional forms. These findings provide valuable insights into the influence of discharge and sediment variation on open channel bed configurations, serving as a reference for river training works and irrigation channel design.

Keywords: Open channel, discharge, sediment, bedform changes, Froude number

I. PENDAHULUAN

Saluran terbuka merupakan salah satu elemen penting dalam sistem sumber daya air yang berperan besar dalam menunjang kehidupan manusia [1]. Keberadaan saluran terbuka, baik yang bersifat alami seperti sungai maupun buatan seperti saluran irigasi dan drainase, memiliki fungsi vital dalam penyediaan air baku, pengendalian banjir, transportasi sedimen [2], serta mendukung aktivitas sosial dan ekonomi Masyarakat [3]. Dalam sistem hidrologi dan hidrolika, saluran terbuka tidak hanya berfungsi sebagai media aliran air, tetapi juga sebagai media transportasi sedimen yang berasal dari proses erosi di daerah tangkapan air (*catchment area*), tebing sungai, dasar saluran, serta daerah hulu Sungai [4].

Fenomena sedimentasi dan erosi merupakan proses alamiah yang tidak dapat dipisahkan dari dinamika aliran pada saluran terbuka [5]. Ketika terjadi hujan, energi kinetik air hujan akan

melepaskan partikel tanah dari permukaan (*detachment*), kemudian partikel tersebut diangkut oleh aliran permukaan (*transportation*), dan akhirnya diendapkan di lokasi tertentu (*deposition*) [6]. Proses ini menyebabkan terjadinya perubahan bentuk dasar saluran berupa degradasi (gerusan) dan aggradasi (pengendapan) [7]. Kedua proses tersebut dapat terjadi secara seimbang maupun tidak seimbang, tergantung pada interaksi antara karakteristik aliran dan sifat sedimen [8].

Perubahan dasar saluran akibat variasi debit dan ukuran butiran sedimen memiliki dampak yang signifikan terhadap stabilitas saluran, kapasitas aliran, dan kinerja bangunan hidraulik [9]. Pada debit yang besar, energi aliran meningkat sehingga gaya geser yang bekerja pada dasar saluran juga meningkat [10]. Kondisi ini cenderung menyebabkan degradasi atau gerusan dasar saluran, terutama pada sedimen dengan ukuran butiran kecil. Sebaliknya, pada debit yang lebih kecil dan sedimen berukuran lebih besar, kecenderungan yang terjadi adalah aggradasi atau pengendapan [11].

Dalam konteks rekayasa teknik sipil, khususnya bidang sumber daya air, pemahaman terhadap perubahan dasar saluran sangat penting untuk perencanaan dan perancangan bangunan pengendali sungai, saluran irigasi, bangunan pengendali banjir, serta bangunan hidraulik lainnya. Ketidaktepatan dalam memahami perilaku sedimen dan aliran dapat menyebabkan kegagalan struktur, pendangkalan saluran, berkurangnya kapasitas alir, serta meningkatnya risiko banjir [12].

Oleh karena itu, diperlukan kajian ilmiah berbasis eksperimen laboratorium yang mampu menjelaskan hubungan antara variasi debit aliran dan ukuran butiran sedimen terhadap perubahan dasar saluran. Model eksperimen laboratorium memberikan keunggulan dalam hal kontrol variabel, pengamatan langsung, serta replikasi kondisi aliran secara sistematis. Penelitian ini difokuskan pada identifikasi perubahan dasar saluran terbuka akibat variasi debit dan sedimentasi pada model saluran terbuka berbentuk trapezium [13].

Berbagai penelitian menunjukkan bahwa konfigurasi dasar saluran (*bedform*) dipengaruhi oleh kecepatan aliran, kedalaman air, karakteristik sedimen, serta energi aliran. Parameter hidraulik seperti bilangan *Froude* dan bilangan *Reynolds* sering digunakan untuk mengklasifikasikan tipe aliran dan hubungannya dengan perubahan bentuk dasar saluran. *Bedform* seperti *ripples*, *dunes*, *plane bed*, dan transisi merupakan respon alamiah dari interaksi aliran dan sedimen [14].

Sedimen dengan ukuran butiran kecil lebih mudah terangkut oleh aliran dan cenderung membentuk pola gerusan, sedangkan sedimen berukuran besar lebih cenderung mengalami pengendapan. Proses ini membentuk keseimbangan dinamis antara erosi dan sedimentasi yang terus berubah sesuai dengan kondisi debit dan karakteristik aliran [15].

II. METODOLOGI

A. Jenis dan Pendekatan Penelitian

Penelitian ini menggunakan pendekatan eksperimental laboratorium. Model fisik saluran terbuka dibuat dalam skala laboratorium dengan bentuk trapesium untuk merepresentasikan kondisi saluran nyata. Pendekatan ini dipilih karena memungkinkan pengendalian variabel secara sistematis, pengamatan langsung terhadap perubahan dasar saluran, serta pengulangan eksperimen dengan kondisi yang terkontrol.

B. Model Saluran

Model saluran berbentuk trapesium dengan panjang 9 meter, lebar dasar 30 cm, dan tinggi 40 cm. Sistem sirkulasi air terdiri dari bak penampung hulu, saluran uji, bak penampung hilir, pompa air,

dan pipa sirkulasi. Sistem ini memungkinkan aliran air berputar secara kontinu sehingga debit dapat diatur sesuai kebutuhan penelitian.

C. Variasi Perlakuan

Penelitian menggunakan:

- Tiga variasi debit aliran.
- Tiga variasi ukuran butiran sedimen pasir.
- Variasi waktu pengaliran.

Sedimen yang digunakan merupakan pasir dengan ukuran butiran berbeda berdasarkan hasil analisis saringan. Variasi ini bertujuan untuk melihat pengaruh kombinasi debit dan ukuran sedimen terhadap perubahan dasar saluran.

D. Parameter yang Diamati

Parameter yang diamati meliputi:

1. Kecepatan aliran
2. Tinggi muka air
3. Bilangan *Froude*
4. Bilangan *Reynolds*
5. Kedalaman gerusan
6. Tinggi pengendapan

Parameter tersebut digunakan untuk mengkaji karakteristik aliran serta hubungannya dengan perubahan bentuk dasar saluran.

E. Prosedur Penelitian

Penelitian dilakukan melalui tahapan:

1. Persiapan model saluran dan sistem sirkulasi.
2. Kalibrasi alat ukur.
3. Penentuan variasi debit dan sedimen.
4. Pengaliran air dengan debit tertentu.
5. Pengamatan dan pengukuran parameter aliran.
6. Pengukuran perubahan dasar saluran.
7. Pencatatan data.
8. Analisis data.

F. Teknik Analisis Data

Data dianalisis secara kuantitatif dan deskriptif. Analisis kuantitatif dilakukan dengan perhitungan bilangan *Froude*, bilangan *Reynolds*, serta hubungan antara kecepatan aliran dan perubahan dasar saluran. Analisis deskriptif digunakan untuk menjelaskan pola perubahan dasar saluran secara visual dan konseptual.

G. Lokasi dan Waktu Penelitian

Penelitian dilaksanakan di laboratorium Hidrologi Fakultas Teknik Sipil Universitas Muhammadiyah Makassar dengan waktu penelitian selama 3 bulan yaitu dimulai pada bulan November 2025 sampai dengan bulan januari, dimana pada bulan pertama yakni diawal bulan

November merupakan kajian literatur mencari referensi, pada bulan kedua yakni desember adalah pengambilan data dan bulan ketiga yakni januari adalah tahap pengelolaan data.

III. HASIL DAN PEMBAHASAN

A. Pola Aliran

Hasil penelitian menunjukkan bahwa peningkatan debit aliran menyebabkan peningkatan kecepatan aliran dan energi kinetik aliran. Hal ini berdampak langsung terhadap nilai bilangan *Froude* dan bilangan *Reynolds*. Pada debit kecil, aliran cenderung bersifat subkritis dengan pola aliran lebih stabil. Pada debit menengah, aliran mendekati kondisi kritis, sedangkan pada debit besar, aliran menunjukkan kecenderungan superkritis.

I. PERHITUNGAN BILANGAN FROUDE

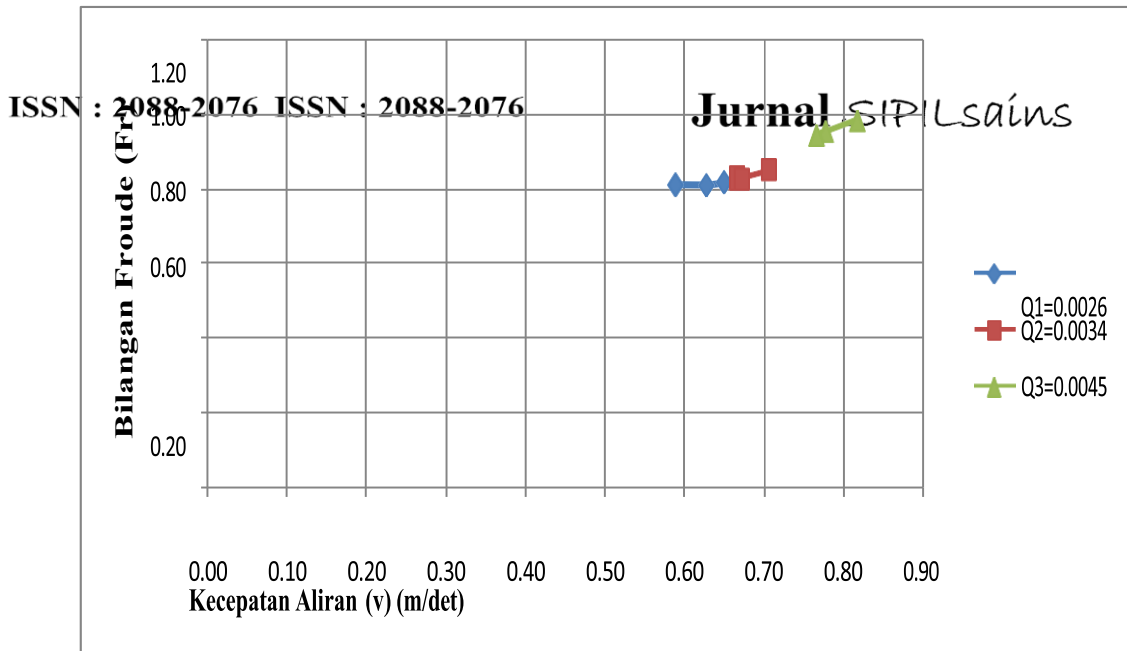
Untuk mengetahui dan menetapkan jenis aliran yang terjadi dalam proses pengaliran dalam saluran dapat dijabarkan berdasarkan dengan bilangan *Froude* (*Fr*), sebagai berikut :

Contoh hasil perhitungan bilangan *Froude* pada berbagai debit dan waktu yang digunakan dalam penelitian dapat dilihat pada Tabel berikut :

Tabel 1. Hasil perhitungan bilangan *Froude* untuk butiran 0,00236 m

No	T det	Q m ³ /det	V m/det	H M	A m ²	R m	Froude -	Keterangan -
	480		0.59	0.075	0.025	0.054	0.812	sub kritis
1	960	0.0026	0.63	0.089	0.030	0.061	0.811	sub kritis
	1440		0.65	0.095	0.033	0.064	0.819	sub kritis
	480		0.67	0.099	0.034	0.066	0.831	sub kritis
2	960	0.0034	0.67	0.102	0.035	0.067	0.829	sub kritis
	1440		0.71	0.108	0.038	0.070	0.851	sub kritis
	480		0.78	0.104	0.038	0.068	0.956	sub kritis
3	960	0.0045	0.77	0.102	0.035	0.067	0.945	sub kritis
	1440		0.82	0.108	0.038	0.070	0.985	kritis

Sumber : Hasil perhitungan peneliti (2025)



Gambar 1 .Hubungan antara kecepatan (m/det) dan Bilangan *Froude*

Dari hasil analisa untuk bilangan *Froude* dapat diketahui bahwa kecepatan aliran berbanding lurus dengan bilangan *Froude*, semakin cepat kecepatan alirannya maka semakin besar pula bilangan *Froudenya* hal ini terlihat pada grafik diatas.

II. PENGAMATAN KEDALAMAN GERUSAN DAN PENGENDAPAN TERHADAP DEBIT

Penelitian ini dilakukan dengan menggunakan variasi butiran sedimen dan variasi debit Q1, Q2, Q3 dengan masing masing waktu 24 menit atau 1440 detik. Cara mengamati gerusan dan pengendapan setiap waktu 24 menit pada masing – masing variasi butiran sedimen dan variasi debit.

A. Kedalaman Gerusan dan Pengendapan untuk Diameter (d) = 0,00236m

Untuk diameter (d) = 0,00236 m. untuk variasi debit Q1, Q2, dan Q3 seperti ditunjukkan pada tabel 12, 13, 14 dibawah ini:

a. Untuk debit (Q1) = 0.0026 m³/det

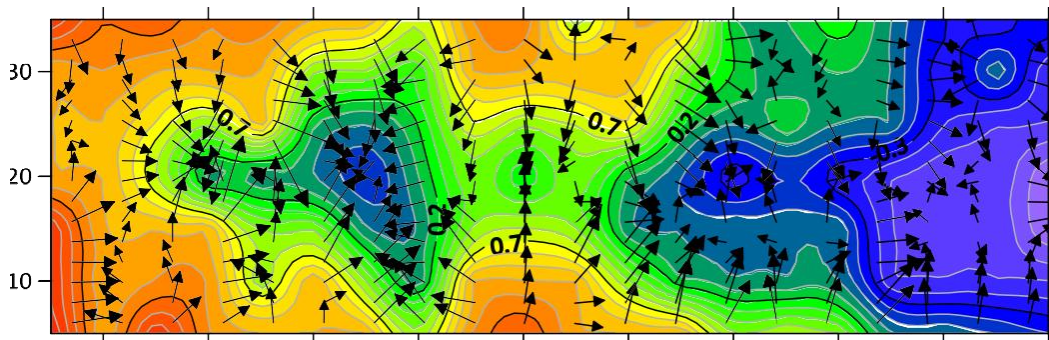
Tabel 2. Tinggi gerusan dan pengendapan untuk debit Q1 = 0,0026 m³/det dengan diameter butiran (d) 0.00236 m

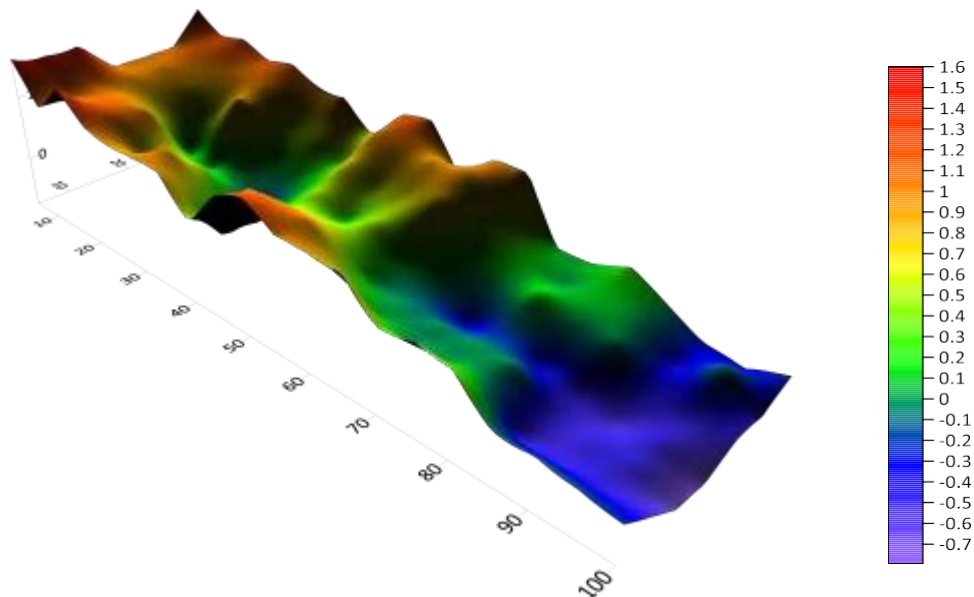
Potongan	Titik Pengamatan						
	8	9	10	11	12	13	14
1	1.6	1.5	1.5	1	1	1	1.5
2	1	1	1	1	1	1.1	1.2
3	1.5	1.1	1	0.6	0.8	1	1.3
4	1.1	1.1	1	0	0.5	1	1.1
5	1	0.5	0.5	0	1	1	1.2

Potongan	Titik Pengamatan							
	8	9	10	11	12	13	14	
6	1	1	0.5	0	0.1	0.5	1	
7	1	0.5	0	-0.2	0	0.5	1	
8	0.5	0	0	0.1	0.2	0.3	0.6	
9	1.1	1	0.5	0.5	0.7	1	1.1	
10	1.3	1	0.6	0.2	0.5	1	1.2	
11	1	1	0.5	0.5	0.6	1	0.5	
12	1	0.5	0	0.1	0.8	1	1	
13	1	0.1	0	-0.1	0.2	0.5	1	
14	0.5	0	0	-0.4	0	0.2	0.1	
15	0.6	0	0	-0.2	0.2	0	0.1	
16	0.5	0	0	-0.4	0	0.1	0.3	
17	0	-0.5	-0.5	-0.5	0	0	0	
18	0	-0.5	-0.5	-0.6	-0.4	-0.4	-0.3	
19	-0.1	-0.5	-0.5	-0.5	-0.5	0	-0.4	
20	-0.2	-0.5	-0.8	-0.8	-0.5	-0.5	-0.2	

Sumber : data pengamatan

Bentuk gerusan dan penengendapan pada beberapa titik pengamatan untuk butiran sedimen : 0,00236 m dan debit (Q1) : 0,0026 m³/det, dengan waktu 1440 detik dalam grafik adalah sebagai berikut :





Gambar. 2. Perubahan dasar saluran butiran (d) 0.00236 m debit (q) 0.0026 m³/det

Kedalaman gerusan dan tinggi pengendapan untuk $Q_1 = 0,0026 \text{ m}^3/\text{det}$ pada waktu 1440 detik, yaitu kedalaman gerusan terbesar mencapai 0,8 cm atau 0,008 m dan pengendapannya terbesar mencapai 1,6 cm atau 0,016 m.

B. Perubahan Dasar Saluran

Perubahan dasar saluran menunjukkan pola yang konsisten dengan teori transport sedimen. Pada sedimen berukuran kecil dan debit besar, terjadi degradasi dasar saluran yang signifikan. Gerusan terjadi secara dominan karena gaya geser aliran mampu mengatasi gaya berat butiran sedimen. Sebaliknya, pada debit kecil dan sedimen berukuran besar, terjadi agradasi atau pengendapan. Partikel sedimen tidak mampu terangkut oleh aliran sehingga mengendap dan membentuk konfigurasi dasar yang lebih stabil.

C. Pola Bedform

Perubahan bentuk dasar saluran menunjukkan transisi *bedform* dari *ripples* menuju *dunes* dan bentuk transisi lainnya. Pola ini menunjukkan bahwa konfigurasi dasar saluran sangat dipengaruhi oleh kombinasi antara debit aliran, kecepatan, dan ukuran butiran sedimen.

D. Hubungan Parameter Hidraulik dan Sedimentasi

Hubungan antara bilangan *Froude*, bilangan *Reynolds*, dan perubahan dasar saluran menunjukkan bahwa parameter hidraulik memiliki peran dominan dalam proses erosi dan sedimentasi. Semakin besar energi aliran, semakin besar potensi terjadinya degradasi. Pembahasan ini menunjukkan bahwa perubahan dasar saluran merupakan hasil interaksi kompleks antara aliran dan sedimen yang bersifat dinamis dan tidak linier.

IV. KESIMPULAN

Penelitian ini menunjukkan bahwa variasi debit aliran dan ukuran butiran sedimen memiliki pengaruh yang signifikan terhadap perubahan dasar saluran terbuka. Debit yang lebih besar menghasilkan energi aliran yang lebih tinggi sehingga meningkatkan potensi degradasi dasar saluran, terutama pada sedimen berukuran kecil. Sebaliknya, debit yang lebih kecil dengan sedimen berukuran lebih besar cenderung menghasilkan akuradasi atau pengendapan.

Hasil penelitian juga menunjukkan bahwa konfigurasi dasar saluran sangat dipengaruhi oleh karakteristik aliran yang ditunjukkan melalui bilangan *Froude* dan bilangan *Reynolds*. Perubahan bedform dari *ripples*, *dunes*, hingga bentuk transisi merupakan bukti adanya hubungan langsung antara parameter hidraulik dan sedimentasi.

Secara keseluruhan, tujuan penelitian dapat tercapai dengan baik, yaitu mengidentifikasi pola perubahan dasar saluran akibat variasi debit dan sedimentasi serta menjelaskan hubungan antara karakteristik aliran dan konfigurasi dasar saluran. Temuan ini dapat dijadikan dasar ilmiah dalam perencanaan bangunan pengendali sungai, saluran irigasi, serta bangunan hidraulik lainnya yang berkaitan dengan pengendalian sedimentasi dan stabilitas saluran.

UCAPAN TERIMA KASIH

Penulis mengucapkan terima kasih kepada seluruh pihak yang telah memberikan dukungan, bantuan, dan kontribusi dalam pelaksanaan penelitian ini. Ucapan terima kasih disampaikan kepada pimpinan fakultas dan program studi, dosen pembimbing, staf laboratorium, serta seluruh pihak yang telah membantu dalam penyediaan fasilitas, bimbingan akademik, dan dukungan teknis selama penelitian berlangsung. Apresiasi juga diberikan kepada pihak yang telah memberikan dukungan moral, motivasi, dan semangat sehingga penelitian ini dapat diselesaikan dengan baik. Semoga seluruh bantuan dan dukungan yang diberikan menjadi amal kebaikan dan memberikan manfaat bagi pengembangan ilmu pengetahuan, khususnya di bidang teknik sipil dan sumber daya air.

REFERENSI

- [1] Asdak, C. (2014). Hidrologi dan Pengelolaan Daerah Aliran Sungai. Yogyakarta: Gadjah Mada University Press.
- [2] Bambang Triatmodjo. (2018). *Hidrolika I*. Yogyakarta: Beta Offset.
- [3] Bambang Triatmodjo. (2019). *Hidrolika II*. Yogyakarta: Beta Offset.
- [4] Chow, V. T. (1988). *Open Channel Hydraulics*. New York: McGraw-Hill Book Company.
- [5] Einstein, H. A. (1950). *The Bed-Load Function for Sediment Transportation in Open Channel Flows*. Washington DC: U.S. Department of Agriculture.
- [6] French, R. H. (1985). *Open Channel Hydraulics*. New York: McGraw-Hill.
- [7] Graf, W. H. (1984). *Hydraulics of Sediment Transport*. New York: McGraw-Hill.
- [8] Henderson, F. M. (1966). *Open Channel Flow*. New York: Macmillan Publishing.
- [9] Julien, P. Y. (2010). *Erosion and Sedimentation*. Cambridge: Cambridge University Press.
- [10] Knighton, D. (1998). *Fluvial Forms and Processes: A New Perspective*. London: Arnold Publisher.
- [11] Kodoatie, R. J. (2005). *Hidraulika Terapan: Aliran pada Saluran Terbuka dan Pipa*. Yogyakarta: Andi Offset.
- [12] Liu, H. K. (1957). *Mechanics of Sediment Movement*. New York: McGraw-Hill.
- [13] Mardjikoeno, P. (1987). *Transportasi Sedimen*. Yogyakarta: KMTS UGM.

- [14] Maryono, A. (2000). *Pengelolaan Sungai Berbasis Ekosistem*. Yogyakarta: Gadjah Mada University Press.
- [15] Maryono, A. (2003). *Ekohidrolik Sungai*. Yogyakarta: Gadjah Mada University Press.
- [16] Morris, G. L., & Fan, J. (1998). *Reservoir Sedimentation Handbook*. New York: McGraw-Hill.
- [17] Raudkivi, A. J. (1998). *Loose Boundary Hydraulics*. Rotterdam: Balkema.