

## PENGARUH PENEMPATAN BENDUNG DI HILIR BELOKAN SUNGAI TERHADAP PEMBENTUKAN KONFIGURASI DASAR DAN SEDIMEN TERANGKUT

I DEWA GEDE JAYA NEGARA<sup>1)</sup>, IDA BAGUS GIRI PUTRA<sup>2)</sup>,  
I WAYAN YASA<sup>3)</sup>, KURNIA DEWI<sup>4)</sup>

Teknik Sipil Fakultas Teknik Universitas Mataram

*e-mail:jayanegara69@gmail.com*

### ABSTRAK

Bendung merupakan salah satu bangunan air yang dibangun melintang sungai. Bendung diperlukan untuk meninggikan elevasi muka air sungai sehingga memenuhi elevasi kebutuhan irigasi. Pada kondisi daerah aliran sungai (DAS) yang sangat beragam, sangat mungkin suatu bendung dibangun pada alur sungai yang tidak ideal karena alur sungainya berbelok-belok sehingga bangunan menjadi kurang aman. Untuk dapat mengetahui keamanan bendung dari bahaya erosi yang dapat mengakibatkan bendung runtuh dan patah maupun terguling, maka perlu dilakukan penelitian uji eksperimental laboratorium tentang posisi penempatan bendung dihilir belokan sungai. Penelitian berkaitan dengan pengaruhnya terhadap angkutan sedimen khususnya dalam pembentukan konfigurasi dasar perlu diketahui, karena erosi pada dasar merupakan proses awal terjadinya perlemahan keamanan bendung. Penelitian ini dilakukan di laboratorium Hidrolika dan Pantai FT.Unram pada *flume* sungai dengan panjang 8 m dan lebar 50 cm. Uji bendung dilakukan dengan 4 variasi debit dan 3 variasi posisi bendung di hilir belokan saluran. Data sedimentasi dianalisis dengan metode Mayer, Peter, Muler (M.P.M), Einstein dan Shinohara-Tsubaki dan analisis data topografi dengan program *Surfer*. Hasil penelitian menunjukkan bahwa secara umum angkutan sedimen terbesar terjadi posisi bendung I yaitu pada jarak  $\frac{1}{2}$  lebar saluran di hilir pusat belokan saluran untuk semua pengujian, dengan besarnya angkutan sedimen terjadi dari metode M.P.M  $Q_s = 1 \times 10^{-4} \text{ m}^3/\text{dt}/\text{m}$ , Einstein  $Q_s = 6,371 \times 10^{-6} \text{ m}^3/\text{dt}/\text{m}$ , dan Shinohara-Tsubaki  $Q_s = 1,7951 \times 10^{-4} \text{ m}^3/\text{dt}/\text{m}$ . Gerusan yang lebih dominan terjadi diujung kaki bendung bagian hilir, dengan konfigurasi dasar yang terbentuk berupa *antidunes* dan *standing wave*, dan berdasarkan angka *Froude* (*Fr*) alirannya termasuk aliran subkritis (*lower flow regime*) dengan bentuk konfigurasi dasar *ripples* dan *dunes*

Kata kunci : hilir belokan saluran, bendung, konfigurasi dasar, angkutan sedimen.

### ABSTRACT

*Weir is one of the water buildings built across the river. Weirs are needed to elevate the river water level so that it meets the elevation of irrigation needs. In very diverse watershed conditions, it is very possible that a dam was built in a river channel that is not ideal because the river channel turns so that the building becomes less safe. To be able to know the safety of the weir from erosion that can cause the weir to collapse and break or overturn, it is necessary to conduct an experimental laboratory research on the position of the weir in the downstream of a river bend. Research related to its effect on sediment transport, especially in the formation of basic configurations needs to be known, because erosion at the bottom is the initial process of weakening the weir security. This research was conducted in the Hydraulics and Coastal Laboratory of FT. The irram in a river flume with a length of 8 m and a width of 50 cm. Weir test is carried out with 4 variations of discharge and 3 variations of the position of the weir downstream of the channel bends. Sedimentation data were analyzed by the methods of Mayer, Peter, Muler (M.P.M), Einstein and Shinohara-Tsubaki and topographic data analysis using the Surfer program. The results showed that in general the largest sediment transport occurred in the position of weir I at a distance of  $\frac{1}{2}$  channel width downstream of the center of the channel bends for all tests, with the magnitude of sediment transport occurring from the MPM method  $Q_s = 1 \times 10^{-4} \text{ m}^3 / \text{dt} / \text{m}$ , Einstein  $Q_s = 6,371 \times 10^{-6} \text{ m}^3 / \text{sec} / \text{m}$ , and Shinohara-Tsubaki  $Q_s = 1,7951 \times 10^{-4} \text{ m}^3 / \text{sec} / \text{m}$ . More dominant scouring occurs at the foot of the weir downstream, with the basic configuration formed in the form of antidunes and standing waves, and based on the Froude (*Fr*) flow rate including subcritical flow (Lower Flow Regime) with the basic configuration form of ripples and dunes*

*Keywords: bends down stream, weir, bed configuration, sediment transport*

# PENDAHULUAN

## Latar Belakang

Pemanfaatan air sungai sebagai sumber air untuk irigasi dalam pembangunan bendung, kendang kala untuk memperoleh lokasi yang ideal sangat sulit, sehingga pada alur sungai yang ada belokannya juga dibangun konstruksi tersebut. Memperhatikan lokasi belokan sungai sangat rentan terhadap erosi maka pembangunan bendung pada posisi tersebut akan berbahaya karena erosi dasar maupun dinding tebing sungai dapat mengakibatkan posisi bendung tidak aman bahkan jebol. Hal tersebut sangat perlu dihindari dalam pembangunan bendung, karena biasanya biaya yang digunakan pembangunannya sangat besar. Untuk menghindari terjadinya hal tersebut, maka perlu dilakukan uji-uji berupa eksperimental di laboratorium untuk dapat melakukan berbagai uji penempatan posisi bendung pada hilir belokan sungai agar posisi yang diperoleh cukup aman. Keamanan bendung dari erosi pada ujung kaki depan bendung akan dapat menghindari bendung dari bahaya guling ke arah hilir sungai. Sedangkan erosi yang terjadi pada sisi tebing luar pada tikungan sungai dimana bendung ditempatkan, arus air akan dapat mendorong tubuh bendung bagian luar yang memberi implikasi pada tubuh bendung bergeser atau patah dan terseret arus air. Hal-hal berbahaya tersebut tidak perlu terjadi pada pembangunan bendung dimasa mendatang, dan oleh sebab itu perlu dilakukan uji di laboratorium untuk mengetahui pengaruh penempatan posisi bendung di hilir belokan sungai, terhadap besarnya erosi yang terjadi dan tipe konfigurasi dasar yang terbentuk oleh kondisi alirannya. Penelitian perlu dilakukan pada beberapa variasi debit agar fenomena aliran yang terjadi dapat diketahui kaitannya dengan erosi pada hilir bendung. Dengan upaya tersebut diharapkan informasi-informasi yang berharga dalam penempatan posisi bendung dapat diperoleh untuk membantu memberikan pemikiran dalam perencanaan bendung di hilir belokan sungai.

Penelitian ini dilakukan di laboratorium Hidrologi dan Pantai FT Unram, pada *flume* sungai yang berukuran 8 m x 0,5 m x 0,35 m. Dengan variasi debit dan posisi bendung di hilir belokan saluran dalam uji ini, diharapkan dapat memperoleh lebih banyak informasi tentang fenomena erosi. Keterbatasan debit yang ada di laboratorium jelas tidak dapat mengikuti kondisi riil lapangan yang sangat variatif, akan tetapi dengan fasilitas yang tersedia diharapkan dapat dilakukan uji yang optimal sehingga hasil uji yang diperoleh nantinya dapat membantu. Karena besarnya erosi yang terjadi di hilir bendung dan fenomena perubahan dasarnya merupakan indikasi apakah lokasi bendung tersebut cukup aman atau tidak, maka penelitian ini menjadi penting untuk dilakukan. Untuk mengetahui besarnya erosi yang terjadi perlu dilakukan dengan perhitungan empiris, sehingga dalam hal ini akan digunakan metode Meyer.Peter.Muler (M.P.M), Einstein dan Shinohara-Tsubaki yang merupakan metode yang sering digunakan dalam memprediksi besarnya sedimen yang terangkut. Dengan penelitian ini diharapkan dapat manambah kasanah informasi bidang ilmu sedimen dan sungai, yang sangat berkaitan dengan pengembangan pembangunan pengairan.

## Perumusan Masalah

Berdasarkan uraian di atas, maka rumusan yang dapat diambil dalam studi aia adalah sebagai berikut.

- a. Bagaimana pengaruh variasi posisis bendung terhadap variasi debit aliran dan terbentuknya konfigurasi dasar di hilir bendung.
- b. Bagaimana besarnya pola angkutan sedimen yang terjadi dari perhitungan metode M.P.M, Einstein dan Shinohara-Tsubaki.

## Tujuan Penelitian

Tujuan yang ingin dicapai dalam penelitian ini adalah:

- a. Mengetahui pengaruh variasi posisis bendung dan debit aliran terhadap pembentukan konfigurasi dasar .
- b. Mengetahui besarnya angkutan sedimen yang terjadi pengaruh dari posisi bendung yang dihitung menggunakan metode M.P.M, Einstein dan Shinohara-Tsubaki terhadap.

## METODELOGI PENELITIAN

### Alat dan Bahan

Peralatan pengujian dalam penelitian ini berupa medel sungai yang dirancang pada *flume* di Laboratorium Hidrolika dan Pantai Fakultas Teknik Universitas Mataram ditunjukkan pada Gambar 1.

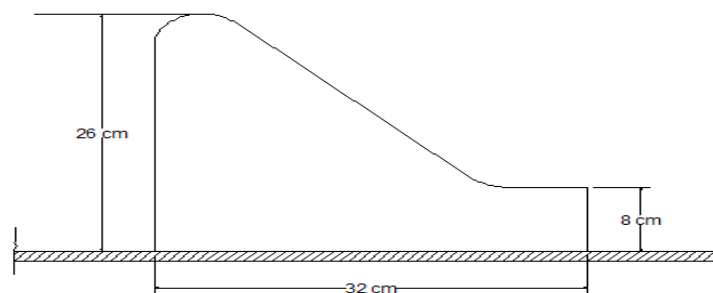


Gambar 1. Model Fisik Saluran yang digunakan

Dimensi saluran uji dengan panjang 8 m, lebar 0,49 m dan tinggi 0,36 m dan kemiringan dasar 0,14%. Dinding saluran terbuat dari pasangan yang disemen dengan aliran air berasal dari air pompa sirkulasi. Bagian dari flume terdiri dari pengarah arus, untuk mengarahkan aliran menuju saluran uji. Alat penyeragam aliran berupa susunan pipa PVC berdiameter  $\frac{3}{4}$  inch yang susun ditumpuk setinggi 50 cm dan panjang 20 cm, yang difungsikan untuk mereduksi terjadinya turbulensi aliran dari aliran air pompa. Pada bagian hulu saluran dipasang *rigid bed* dengan panjang 65 cm dengan ketebalan 15 cm yang berfungsi untuk menghindari terjadinya erosi pada material dasar saluran. Penempatan *rigid bed*, dipasang di permukaan kasar (*roughness bed*) yang tersusun dari batu kerikil dengan panjang 35 cm dengan tinggi dan lebar sama dengan lapisan material dasar saluran.

### Model bendung

Bentuk bendung yang digunakan penelitian dibuat dari bahan beton dengan ukuran Panjang 50 cm, lebar 32 cm, tinggi hulu 26 cm dan tinggi ujung hilir 8 cm.



Gambar 2. Model penampang bendung

Alat yang digunakan dalam penelitian ini terdiri dari 1) *Stop Watch*, untuk mengukur dan menentukan tiap satuan waktu yang ditentukan untuk pengambilan data selama proses pengaliran berlangsung. 2) *Point Gauge*, digunakan untuk mengukur kedalaman gerusan. 3). Kamera, digunakan untuk dokumentasi. 4) alat ukur dan peralatan pembantu kerja. Bahan yang digunakan dalam penelitian ini adalah pasir, dan air bersumber dari kolam sirkulasi dari *flume*.

Pada tahap persiapan yang dilakukan adalah persiapan alat-alat uji dan penyiapan debit, yang diukur adalah tinggi air di atas ambang lebar. Pemasangan model bendung pada saluran dilakukan pada 3 variasi posisi yaitu posisi I diletakkan pada jarak  $\frac{1}{2}$  lebar saluran, posisi II diletakkan pada jarak 1 kali lebar saluran dan posisi III pada jarak 2 kali lebar saluran di hilir pusat belokan saluran.

Pemasangan material pasir dilakukan setiap awal pengujian dengan variasi uji yang baru dan dilakukan pengambilan sampel sedimen dan diuji gradasi. Ketebalan hamparan pasir di saluran sekitar 8 cm dengan kemiringan permukaan 0,14%. Persiapan variasi debit aliran dilakukan di awal uji sehingga ditetapkan 4 variasi debit pada *flume* dan memastikan debit aliran dan variasi debit untuk pengujian.

Dalam pelaksanaan pengujian, pengujian akan dilakukan penghentian uji pada setiap variasi yang diuji ketika dasar saluran telah stabil dimana angkutan sedimen telah tidak terjadi. Setelah saluran kering dilakukan pengambilan data topografi saluran dengan menggunakan meteran taraf (*point gauge*) di sepanjang permukaan saluran di hilir bendung.

Pengujian lanjutan akan dilakukan setelah pengambilan data selesai dan media uji telah dipersiapkan dengan baik, dan proses pengujian dilakukan berulang untuk seluruh variasi yang diuji yang telah ditetapkan. Semua data diperoleh dikolektng dan disiapkan untuk analisis. Data gradasi dan berat jenis sampel sedimen digunakan untuk perhitungan angkutan sedimen, sedangkan data topografi dasar dianalisis dengan program *Surfer* untuk mengetahui tingkat gerusan dasar dan bentuk konfigurasi dasar yang terjadi. Presentasi hasil analisis data akan ditunjukkan dalam bentuk tabel-tabel, gambar-gambar dan grafik-grafik dan dibahas dan disimpulkan dalam bentuk deskriptif

## HASIL PENELITIAN

### Karakteristik Aliran Sungai

Sungai menurut Triatmodjo (2008) ialah suatu saluran terbuka dimana air dapat mengalir dengan muka air bebas. Pada saluran terbuka, misalnya sungai (saluran alam), variabel aliran seperti tampang lintang saluran, kekasaran, kemiringan dasar, belokan, debit aliran dan sebagainya sangat tidak konstan terhadap ruang dan waktu. Berdasarkan hal di atas, maka dalam saluran yang terbatas di laboratorium dalam pengujian ini dimana lebar saluran tetap dan tahan erosi, kondisinya tidak sama dengan yang disebutkan pada sungai alami dan hasil parameter hidrolik yang diperoleh dapat dilihat pada Tabel 1.

Tabel 1. Karakteristik Kecepatan Geser Aliran pada Saluran

Variasi	Q (m <sup>3</sup> /dt)	H (m)	B (m)	A (m)	P (m)	R (m)	U (m/dt)	U* (m/dt)
P1Q1	0.0207	0.095	0.49	0.047	0.68	0.068	1.727	0.109
P1Q2	0,0225	0.098	0.49	0.048	0.69	0.070	1.752	0.111
P1Q3	0,0244	0.1	0.49	0.049	0.69	0.071	1.769	0.112
P1Q4	0,0263	0.085	0.49	0.042	0.66	0.063	1.635	0.105
P2Q1	0,0207	0.085	0.49	0.042	0.66	0.063	1.635	0.105
P2Q2	0,0225	0.09	0.49	0.044	0.67	0.065	1.682	0.107
P2Q3	0,0244	0.085	0.49	0.042	0.66	0.063	1.635	0.105
P2Q4	0,0263	0.085	0.49	0.042	0.66	0.063	1.635	0.105
P3Q1	0,0207	0.08	0.49	0.039	0.65	0.060	1.587	0.103
P3Q2	0,0225	0.095	0.49	0.047	0.68	0.068	1.727	0.109
P3Q3	0,0244	0.09	0.49	0.044	0.67	0.065	1.682	0.107
P3Q4	0,0263	0.08	0.49	0.039	0.65	0.060	1.587	0.103

(Sumber: Hasil Perhitungan)

Kecepatan aliran aliran yang diperoleh pada posisi bendung lokasi I besarnya sekitar 1,72 m/dt, untuk diposisi II sekitar 1,64 m/dt dan untuk bendung diposisi III kecepatan aliran diperoleh sekitar 1,64 m/dt. Berdasarkan hasil ini karena posisi bendung dilokasi I merupakan posisi yang secara hidrolik aliran

sangat deras paling dekat dengan pusat belokan dan akan menunjukkan kondisi yang berbeda pada angkutan sedimen dengan hasil pengujian-pengujian yang telah ada.

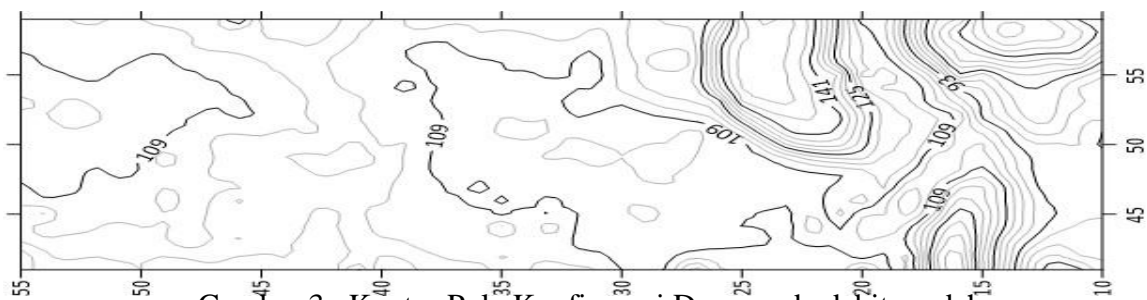
## Bendung

Bendung adalah suatu bangunan air dengan kelengkapan yang dibangun melintang sungai atau sudetan yang dibuat untuk meninggikan taraf muka air sehingga air dapat disadap dan dialirkan secara gravitasi ke tempat yang membutuhkan. Air sungai yang permukaannya dinaikkan akan melimpas melalui mercu bendung (*overflow*). Aspek-aspek yang menjadi perhatian dalam pemilihan lokasi bendung menurut (Mawardi, E, Memed, 2002) antara lain; keadaan topografi dari rencana daerah yang ingin diairi, kondisi topografi dari lokasi bendung, kondisi hidraulik dan morfologi sungai di lokasi bendung termasuk angkutan sedimen yang meliputi berupa pola aliran sungai, kedalaman dan lebar muka air pada waktu banjir, sedang dan kecil, tinggi muka air pada debit banjir rencana serta potensi dan distribusi angkutan sedimen. Yang terakhir adalah kondisi tanah dan pondasi, serta biaya pelaksanaan.

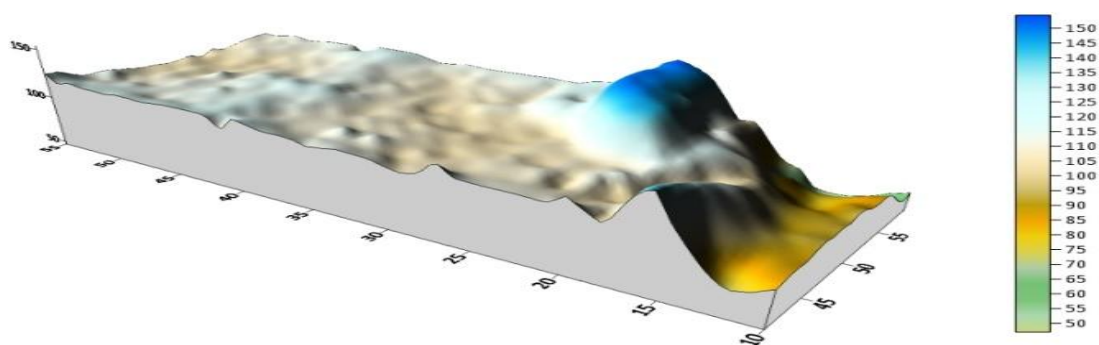
Dalam penelitian ini debit aliran yang digunakan tergolong sangat rendah, sehingga fluktuasi muka air pada bendung dan saluran terhadap besaran perubahan kecepatan aliran tidak berbeda signifikan. Dengan kondisi tersebut fenomena angkutan sedimen yang terjadi terhadap penempatan bendung dihilir belokan saluran, disamping karena alirannya sudah dipercepat dibagian sisi luar belokan dan diperberat lagi oleh terjadinya percepatan aliran ketika melalui mercu bendung. Jadi hasil analisis secara hidrolis menunjukkan bahwa pada kasus ini bendung akan semakin rawan terhadap erosi dasar ketika posisinya semakin dekat dengan pusat belokan saluran.

## Pola Gerusan pada hilir bendung

Berdasarkan hasil pengujian bentuk konfigurasi dasar yang terbentuk dominan pada hilir bendung dari hasil program surfer ditunjukkan pada Gambar 3 dan Gambar 4.



Gambar 3. Kontur Pola Konfigurasi Dasar pada debit rendah



Gambar 4. Tampilan Tiga Dimensi Pola konfigurasi Dasar pada debit rendah

Berdasarkan Gambar 4 di atas, yang menunjukkan bahwa gerusan yang paling besar terjadi tepat diujung kaki bendung bagian hilir. Kedalaman gerusan maksimum yang terjadi 0,05 meter sepanjang 0,86 meter dari ujung kakai bendung ke arah hilir bendung. Jadi bendung berposisi paling dekat dengan belokan yaitu di hilir pusat belokan sekitar 25 cm (P1).

## Pembentukan konfigurasi dasar di hilir bendung

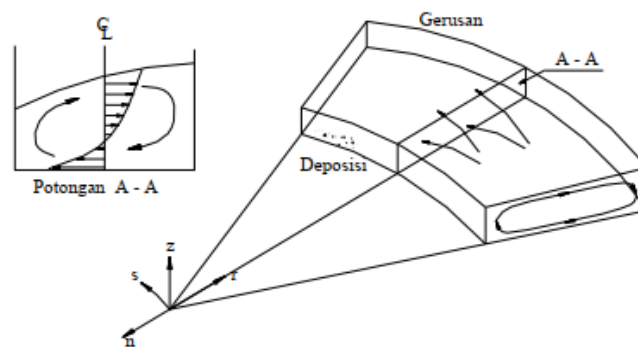
Pada penelitian berjudul Model Eksperimental Pengaruh Variasi Debit dan Kemiringan Dasar Terhadap Pola Gerusan Pada Hilir Bendung diperoleh pola gerusan tipe *antidunes* dan *standing wave* yang sangat dipengaruhi oleh besarnya debit dan kemiringan dasar, dimana semakin besar debit dan kemiringan dasar maka pola gerusan yang terbentuk semakin mengarah ke pola *antidunes* (Wahyudi, 2018).

Berdasarkan hasil pengamatan dan analisis program *Surfer*, maka diketahui tipe pola gerusan yang terjadi adalah:

- Regime aliran yang biasanya terjadi pada bangunan terjun adalah aliran superkritis dan saat mencapai lantai kolam olak terjadi loncat air yang menimbulkan gelombang pada aliran sehingga terjadi perubahan pola aliran di daerah hilir bendung. Konfigurasi dasar yang terbentuk berupa gelombang-gelombang yang relatif curam dan dalam dan termasuk dalam bentuk *antidunes* dan *standing wave*.
- Setelah posisi pembenturan konfigurasi dasar *antidunes* dan *standing wave*, selanjutnya ke arah hilir terbentuk konfigurasi dasar *ripples* dan *dunes* pada kondisi *low flow regime* dengan  $Fr$  sekitar 0,5.

## Pola Aliran pada Belokan Sungai

Menurut Mudjiatko (2000) menyatakan bahwa air yang mengalir melewati suatu belokan akan mengalami suatu gaya sentrifugal yaitu gaya yang menyebabkan air bergerak keluar belokan. Gaya sentrifugal akan bekerja jika tidak terjadi transfer massa air ke arah transversal. Akibat adanya distribusi kecepatan aliran terhadap kedalaman dimana kecepatan pada permukaan lebih besar dari kecepatan di dekat dasar, maka akan berpengaruh pada distribusi gaya sentrifugal tersebut. Gaya sentrifugal akan lebih besar di permukaan dari pada di dekat dasar. Gaya sentrifugal pada belokan akan menyebabkan timbulnya arus melintang sungai, dan bersama-sama dengan aliran utama membentuk aliran helikoidal.



Gambar 5. Perilaku Belokan Sungai  
(Sumber : Mudjiatko, 2000)

Berdasarkan hasil penelitian ini pada bendung dihilir belokan saluran menunjukkan bahwa, adanya aliran yang agresif menimbulkan gerusan justru terjadi pada lokasi sekitar ujung akhir kaki bendung. Aliran dengan debit rendah juga menunjukkan terjadinya konfigurasi dasar seperti pada aliran dengan debit besar, bila diperhatikan terhadap besarnya angka Froude ( $fr$ ) yang diperoleh. Terjadinya erosi setempat yang diikuti oleh pembentukan konfigurasi dasar *dunes* dan diakhiri oleh *ripples*. Fenomena ini mungkin agak berbeda dengan kondisi saluran yang tanpa bendung tidak dengan bendung, dan pada kondisi ini dimana aliran memutar terjadi disekitar ujung kaki bendung sebagai fenomena erosi dasar.

## Gerusan

Gerusan adalah fenomena alam yang terjadi karena erosi terhadap aliran air pada dasar dan tebing saluran alluvial atau proses menurunnya atau semakin dalamnya dasar sungai di bawah elevasi permukaan alami (datum) karena interaksi antara aliran dengan material dasar sungai (Hoffmans and Verheij 1997, dalam Saputra, A, Daoed, 2015). Sedangkan menurut Legono (1990), gerusan dibedakan menjadi tiga dimana gerusan umum di alur sungai, gerusan ini tidak berkaitan sama sekali dengan terdapat atau tidaknya bangunan sungai. Gerusan ini disebabkan oleh energi dari aliran sungai. Gerusan terlokalisir di alur sungai, terjadi karena penyempitan alur sungai, sehingga aliran menjadi lebih terpusat. Gerusan lokal disekitar bangunan, terjadi karena pola aliran lokal disekitar bangunan sungai. Jadi gerusan yang terjadi pada ujung bendung mengikuti konsep ini yaitu pernyataan yang terakhir, sedangkan bentuk-bentuk konfigurasi dasar yang terjadi ditinjau dari parameter hidroliknya dalam pengujian ini ditunjukkan pada Tabel 2..

Tabel 2. Bentuk Konfigurasi dasar dan regim alirannya

Jarak bendung dari pusat belokan ke arah hilir	Variasi Debit Uji (Q)		Kecepatan aliran (V) (m/dt)	Angka Froude (Fr)	Klasifikasi Regime Aliran	Bentuk konfigurasi dasar
PI (1/2B =25 cm)	Q1	0,0207	0,4816	0,4989	Fr < 1 <i>Lower Flow Regime</i>	<i>Ripples &amp; Dunes</i>
	Q2	0,0225	0,4889	0,4986		
	Q3	0,0244	0,4936	0,4983		
	Q4	0,0263	0,4562	0,4996		
PII (1B =50cm)	Q1	0,0207	0,4562	0,4996	Fr < 1 <i>Lower Flow Regime</i>	<i>Ripples &amp; Dunes</i>
	Q2	0,0225	0,4692	0,4994		
	Q3	0,0244	0,4562	0,4996		
	Q4	0,0263	0,4562	0,4996		
PIII (2B=100cm)	Q1	0,0207	0,4426	0,4996	Fr < 1 <i>Lower Flow Regime</i>	<i>Ripples &amp; Dunes</i>
	Q2	0,0225	0,4816	0,4989		
	Q3	0,0244	0,4692	0,4994		
	Q4	0,0263	0,4426	0,4996		

(Sumber: hasil analisis)

Berdasarkan hasil analisis Tabel 2 di atas diketahui bahwa variasi debit yang digunakan dalam pengujian belum menunjukkan perbedaan nilai *Fr* dimana nilai yang diperoleh sekitar 0,5 dan hal ini terjadi diperkirakan akibat dari masih rendah debit yang digunakan dalam pengujian sehingga perubahan debit tidak memberikan indikasi yang berarti pada angka *Froude (Fr)*. Penyebab ke dua yang berpengaruh pada besarnya angka *Froude* selain debit yang rendah adalah lebar saluran uji yang lebar, dibandingkan besar debit yang diujikan, sehingga perbedaan hasil uji masih belum menunjukkan perbedaan angka *Fr* yang signifikan. Jadi berdasarkan hasil pengujian ini maka hasil pengujian yang didapat hanya adalah konfigurasi dasar *ripples* dan *dunes* dengan tipe aliran subkritis (*Lower Flow Regime*), dan bentuk dasar tersebut umumnya terjadi pada debit aliran yang sangat rendah. Pada hal berdasarkan referensi disebutkan bahwa mekanisme transportasi sedimen dimulai saat aliran melewati kondisi kritis bisa dibagi dalam 3 regim aliran (Anonim,2015), yaitu :1). *Lower flow regime* ( $Fr < 1$ ), konfigurasi dasar yang terjadi pada fase ini adalah *ripple*, *sand wave* dan *dunes*. 2). *Transition flow regime* ( $Fr = 1$ ), pada fase ini, konfigurasi dasar tidak teratur, dari bentuk *dunes*, sampai *plane (flat) bed*. 3.) *Upper flow regime* ( $Fr > 1$ ), dihasilkan pola *plane bed*, *antidunes*, dan *chute and pool*.

Berdasarkan hasil pengujian ini bahwa bentuk-bentuk konfigurasi dasar yang dihasilkan terdiri dari bentuk *ripples* dan *dunes*, sehingga bentuk ini dapat terjadi pada kondisi aliran dimana besarnya angka *Fr* dibawah 1 sampai  $Fr = 1$ , sedangkan bentuk *antidunes*, *plane bed* dan *chute and pool* dapat terjadi pada  $Fr = 1$  dan  $Fr > 1$  dan pada penelitian ini belum ditemukan.

### Gradasi Sedimen

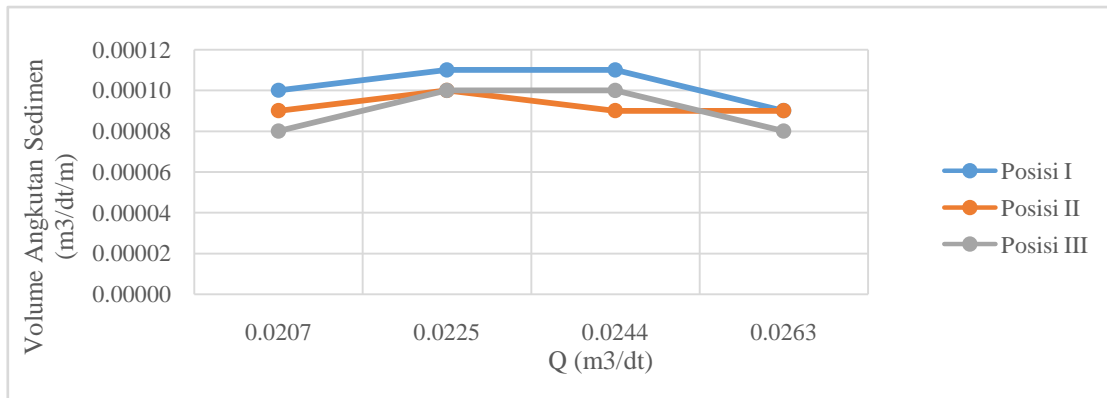
Berdasarkan hasil pengujian dari sampel yang diambil secara acak yang hasilnya dirata-ratakan diperoleh hasil analisis gradasi butiran sedimen  $d_{35} = 0,45$  mm,  $d_{50} = 0,62$  mm,  $d_{55} = 0,70$  mm,  $d_{65} = 0,92$  mm,  $d_{90} = 1,86$  mm. Data-data selanjutnya digunakan untuk perhitungan besarnya angkutan sedimen yang terjadi berdasarkan metode perhitung M.P.M, Einstein dan Shinohara dan Tsubaki, yang hasilnya ditunjukkan dalam grafik-grafik sebagai berikut.



## Analisis Sedimen Terangkut dengan Metode Mayer Peter Muler (M.P.M)

Hasil analisis besarnya sedimen terangkut dari metode MPM dapat dilihat pada Gambar 6 dan berdasarkan grafik yang dihasilkan menunjukkan bahwa terjadi peningkatan angkutan sedimen pada debit aliran variasi  $Q_2$  dan  $Q_3$ , sedang dengan naiknya debit menjadi  $Q_4$  angkutan sedimen menjadi menurun. Dalam hal ini hasil analisis menunjukkan fenomena tersebut terjadi pada posisi penempatan bendung I dan III di hilir belokan sungai.

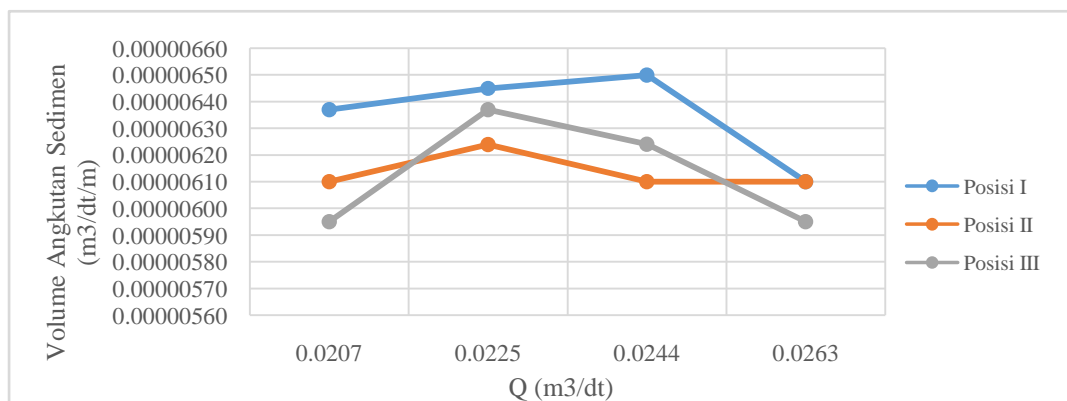
Gambar 6. Grafik hubungan variasi debit terhadap volume angkutan sedimen (Metode M.P.M)



Berdasarkan hasil analisis pada bendung di posisi I dan variasi debit aliran  $Q_1 = 0,0207 \text{ m}^3/\text{dt}$ ,  $Q_2 = 0,0225 \text{ m}^3/\text{dt}$ ,  $Q_3 = 0,0244 \text{ m}^3/\text{dt}$  dan  $Q_4 = 0,0263 \text{ m}^3/\text{dt}$ , diperoleh besarnya angkutan sedimen berturut-turut adalah  $Q_{S1} = 0,00010 \text{ m}^3/\text{dt}/\text{m}$ ,  $Q_{S2} = 0,00011 \text{ m}^3/\text{dt}/\text{m}$ ,  $Q_{S3} = 0,00011 \text{ m}^3/\text{dt}/\text{m}$  dan  $Q_{S4} = 0,00009 \text{ m}^3/\text{dt}/\text{m}$ , dimana terjadi peningkatan angkutan dari  $Q_1$  ke  $Q_2$  dari  $Q_2$  ke  $Q_3$  tidak ada peningkatan, sedangkan penurunan angkutan sedimen terjadi pada  $Q_4$ . Fenomena yang sama juga terjadi pada posisi bendung di lokasi III. Untuk kasus pada bendung di posisi II pada variasi debit yang sama, diperoleh pola angkutan sedimen dengan angkutan terbesar terjadi pada  $Q_2 = 0,0225 \text{ m}^3/\text{dt}$  sebesar  $0,00010 \text{ m}^3/\text{dt}/\text{m}$  dan angkutan sedimen menurun pada  $Q_3$ . Pada debit aliran  $Q_4$  angkutan sedimennya sama dengan pada  $Q_3$  yaitu sebesar  $0,00008 \text{ m}^3/\text{dt}/\text{m}$ .

## Analisis Sedimen Terangkut dengan Metode Einstein.

Berdasarkan hasil analisis menggunakan metode Einstein, besarnya angkutan sedimen yang diperoleh dari hasil pengujian ditunjukkan pada grafik pada Gambar 7. Berdasarkan grafik yang diperoleh diketahui bahwa pada empat variasi debit dan tiga variasi letak bendung yang diuji menunjukkan fenomena angkutan yang berbeda beda. Pada posisi bendung I, II dan III dengan debit aliran  $Q_1$  ternyata diperoleh besar angkutan sedimen yang semakin besar jika bendung berada semakin dekat dengan belokan sungai. Pola angkutan sedimen pada lokasi bendung I terjadi peningkatan angkutan sedimen dari  $Q_1$  ke  $Q_3$ , dan angkutan sedimen menurun pada variasi debit  $Q_4$ .



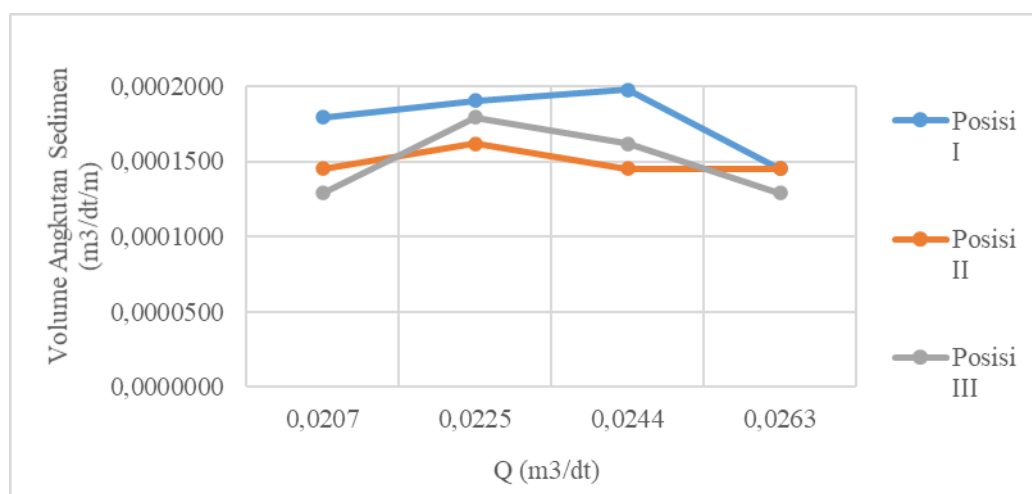
Gambar 7. Grafik hubungan variasi debit terhadap angkutan sedimen (Metode Einstein)



Pada Gambar 7 menunjukkan hubungan variasi debit terhadap besarnya angkutan sedimen di hilir bendung yang dianalisis dengan metode Einstein. Hasil tersebut menunjukkan bahwa pada bendung di posisi I, besarnya angkutan sedimen yang didapatkan untuk variasi debit  $Q_1 = 0,0207 \text{ m}^3/\text{dt}$ ,  $Q_2 = 0,0225 \text{ m}^3/\text{dt}$ ,  $Q_3 = 0,0244 \text{ m}^3/\text{dt}$  dan  $Q_4 = 0,0263 \text{ m}^3/\text{dt}$  berturut-turut adalah  $Q_{s1} = 6,37 \times 10^{-6} \text{ m}^3/\text{dt}/\text{m}$ ,  $Q_{s2} = 6,45 \times 10^{-6} \text{ m}^3/\text{dt}/\text{m}$ ,  $Q_{s3} = 6,5 \times 10^{-6} \text{ m}^3/\text{dt}/\text{m}$  dan  $Q_{s4} = 6,1 \times 10^{-6} \text{ m}^3/\text{dt}/\text{m}$ . Sedangkan pada bendung di posisi II dengan variasi debit yang sama, diperoleh angkutan sedimen terbesar pada variasi debit  $Q_2$  yaitu sebesar  $6,24 \times 10^{-6} \text{ m}^3/\text{dt}/\text{m}$  sedangkan variasi  $Q_4$  diperoleh volume angkutann sedimen sebesar  $6,1 \times 10^{-6} \text{ m}^3/\text{dt}/\text{m}$ , yang sama besarnya dengan volume angkutan sedimen pada debit aliran  $Q_1$ . Untuk kasus pada posisi bendung di posisi II dan posisi III, besarnya angkutan sedimen tertinggi terjadi pada  $Q_2$  yaitu sebesar  $6,37 \times 10^{-6} \text{ m}^3/\text{dt}/\text{m}$  sedangkan pada debit  $Q_4$  diperoleh volume angkutan sedimen sebesar  $5,95 \times 10^{-6} \text{ m}^3/\text{dt}/\text{m}$ .

### Analisis Sedimen Terangkut dengan Metode Shinohara-Tsubaki

Hubungan debit dengan volume gerusan selanjutnya digambarkan melalui grafik pada Gambar 8 yang merupakan hasil analisis dari metode Shinohara-Tsubaki



Gambar 8. Grafik hubungan variasi debit terhadap angkutan sedimen (Metode Shinohara-Tsubaki)

. Berdasarkan grafik di atas diketahui bahwa pada posisi I, besarnya angkutan sedimen yang terjadi pada debit  $Q_1 = 0,0207 \text{ m}^3/\text{dt}$ ,  $Q_2 = 0,0225 \text{ m}^3/\text{dt}$ ,  $Q_3 = 0,0244 \text{ m}^3/\text{dt}$  dan  $Q_4 = 0,0263 \text{ m}^3/\text{dt}$  berturut-turut adalah  $Q_{s1} = 1,795 \times 10^{-4} \text{ m}^3/\text{dt}/\text{m}$ ,  $Q_{s2} = 1,903 \times 10^{-4} \text{ m}^3/\text{dt}/\text{m}$ ,  $Q_{s3} = 1,976 \times 10^{-4} \text{ m}^3/\text{dt}/\text{m}$  dan  $Q_{s4} = 1,451 \times 10^{-4} \text{ m}^3/\text{dt}/\text{m}$ . Angkutan sedimen terbesar terjadi pada pada debit aliran  $Q_3$  dan angkutan sedimen terkecil terjadi pada variasi debit paling besar  $Q_4$ . Pada posisi II dengan variasi debit yang sama, angkutan sedimen terbesar terjadi pada debit aliran debit  $Q_2$  yaitu  $Q_s$  sebesar  $1,620 \times 10^{-4} \text{ m}^3/\text{dt}/\text{m}$  sedangkan variasi debit  $Q_4$  diperoleh  $Q_s$  sebesar  $1,451 \times 10^{-4} \text{ m}^3/\text{dt}/\text{m}$  sama dengan volume gerusan yang terjadi pada dua variasi debit lainnya. Untuk posisi bendung pada posisi II dan posisi III nilai angkutan sedimen yang terjadi hanya sebesar sebesar  $1,795 \times 10^{-4} \text{ m}^3/\text{dt}/\text{m}$  sedangkan pada variasi debit  $Q_4$ , diperoleh volume angkutan sedimen sebesar  $1,289 \times 10^{-4} \text{ m}^3/\text{dt}/\text{m}$  sama dengan volume gerusan pada variasi debit  $Q_1$ .

Berdasarkan hasil analisis dan grafik-grafik yang di hasilkan di atas, besarnya angkutan sedimen yang terjadi pada posisi bendung yan diuji pada posisi I, II dan III dengan debit aliran  $Q_1$ , menunjukkan angkutan sedimen yang paling besar diperoleh terjadi pada posisi bendung di lokasi I Oleh karena itu, berdasarkan hasil pengujian laboratorium ini diketahui bahwa dari ketiga metode perhitungan yang digunakan baik M.P.M, Einsteins, Shinohara dan Tsubaki menunjukkan bahwa gerusan terbesar terjadi pada posisi bendung yang paling dekat dengan pusat belokan saluran dan dalam hal ini pada jarak  $\frac{1}{2} B$ .

## SIMPULAN DAN SARAN

### Simpulan

Dari hasil penelitian tentang Model Eksperimental Pengaruh Variasi Posisi Bendung di Hilir Belokan Sungai Terhadap pembentukan konfigurasi dasar dan pola gerusannya dapat ditarik kesimpulan dan saran sebagai berikut.

1. Hasil penelitian menunjukkan bahwa secara umum angkutan sedimen terbesar terjadi posisi bendung I yaitu pada jarak  $\frac{1}{2}$  lebar saluran di hilir pusat belokan untuk semua variasi debit, dengan besarnya angkutan sedimen terjadi dari hasil analisis metode M.P.M sebesar  $1 \times 10^{-4} \text{ m}^3/\text{dt}/\text{m}$ , Einstein sebesar  $6,371 \times 10^{-6} \text{ m}^3/\text{dt}/\text{m}$ , dan Shinohara-Tsubaki sebesar  $1,7951 \times 10^{-4} \text{ m}^3/\text{dt}/\text{m}$ .
2. Gerusan dominan terjadi diujung kaki bendung bagian hilir, dengan konfigurasi dasar yang terbentuk berupa *antidunes* dan *standing wave.*, dan berdasarkan angka *Froude* (Fr) alirannya termasuk aliran subkritis (*Lower Flow Regime*) dengan bentuk konfigurasi dasar *ripples* dan *dunes*

### Saran

1. Perlu dilakukan pengujian laboratorium dengan mempertimbangkan lebar saluran yang bervariasi terhadap besar debit aliran yang sama pada sudut belokan yang sama.
2. Perlu memanfaatkan jenis material dasar yang bervariasi dan memilih kemiringan dasar yang paling dominan menimbulkan gerusan dasar.

## DAFTAR PUSTAKA

- Daoed, D, Februarman, Junaidi, Rahmadona 2008/2009, *Pengaruh Super Elevasi Tikungan Terhadap Pola Penyebaran Sedimen*. Laporan Penelitian dibiayai oleh Dikti Dep Diknas Penelitian Fundamental
- Harvien, Rizki. 2006 . *Studi Eksperimental Pola Pembentukan Profil Dasar Saluran Pada Belokan 60 dan 90 Derajat*. Padang : Skripsi Jurusan Teknik Sipil Universitas Andalas
- Mawardi, E dan Memed, M . 2002 . *Desain Hidrolik Bendungan Tetap* . Bandung
- Mudjiatko . 2000. *Pengaruh Meander Sungai Terhadap Perubahan Konfigurasi Dasar dan Seleksi Butiran Sedimen*. Yogyakarta
- Soekarso, S . 2015 . *Sebelas Syarat Penentuan Lokasi Bendung Irigasi* . Jurnal Irigasi-Vol.10, No.1 . Jakarta Selatan
- Triatmodjo, B. 2008 . *Hidrolika II* : Beta Offset Yogyakarta
- Wahyudi, Lalu M Irwan. 2018. *Model Eksperimental Pengaruh Variasi Debit dan Kemiringan Dasar Terhadap Pola Gerusan pada Hilir Bendung*. Universitas Mataram