



INNOVATIVE: Journal Of Social Science Research

Volume 4 Nomor 6 Tahun 2024 Page 6269-6283

E-ISSN 2807-4238 and P-ISSN 2807-4246

Website: <https://j-innovative.org/index.php/Innovative>

## Pengaruh Kecepatan Aliran Terhadap Gerusan Lokal Pada Pilar Jembatan Berbentuk Lingkaran, Persegi Dan Jajaran Genjang

Yoga Dwi Fira Syafitri<sup>1✉</sup>, Nanang Saiful Rizal<sup>2</sup>, Totok Dwi Kuryanto<sup>3</sup>

<sup>1</sup>Mahasiswa Program Studi Teknik Sipil, Fakultas Teknik, Universitas Muhammadiyah Jember  
Univesitas Muhammadiyah Jember

Email: [firasy712@gmail.com](mailto:firasy712@gmail.com)<sup>1✉</sup>

### Abstrak

Penelitian tentang pengaruh kecepatan aliran terhadap gerusan lokal pada pilar jembatan dianalisa menggunakan 2 metode yaitu analisa fisik dan analisa menggunakan metode empiris, untuk analisa fisik dilakukan dengan pengukuran secara langsung di laboratorium menggunakan *prototipe* pilar jembatan. Analisis menggunakan metode empiris dilakukan untuk mengetahui kesesuaian formula yang digunakan dalam perhitungan gerusan lokal terhadap hasil analisa fisik. Bentuk pilar yang akan diuji berbentuk persegi, lingkaran dan jajaran genjang dengan lebar 5 cm dan tinggi 15 cm. Debit yang digunakan pada penelitian ini memiliki 4 variasi debit. Berdasarkan hasil analisa fisik didapatkan kedalaman gerusan maksimum pada debit 404605,263 cm<sup>3</sup>/det yang terjadi pada pilar persegi = 2,5 cm, lingkaran = 2,0 cm dan jajaran genjang = 2,5 cm. Analisa menggunakan metode empiris yang memiliki kedalaman gerusan : metode Laursen dan Toch = 5,791 cm, metode Wu = 1,87 cm dan metode Froehlich = 2,957 cm. Dari ketiga metode tersebut, metode Froehlich memiliki hasil yang lebih mendekati hasil laboratorium. Dari 2 metode analisa, pilar berbentuk lingkaran menjadi pilihan terbaik untuk digunakan karena pilar lingkaran tidak memberikan sudut terhadap arah aliran sehingga pilar tersebut memiliki nilai gerusan paling kecil pada setiap debit.

Kata Kunci : *Pilar Jembatan, Gerusan Lokal, Metode Empiris*

### Abstract

Research on the effect of flow velocity on local scour on bridge pillars was analyzed using 2 methods, namely physical analysis and analysis using empirical methods. Physical analysis was carried out by direct measurements in the laboratory using bridge pillar prototypes. Analysis using empirical methods was carried out to determine the suitability of the formula used in calculating local scour to the results of physical analysis. The shapes of the pillars to be tested are square, circle and parallelogram with a

width of 5 cm and a height of 15 cm. The discharge used in this research has 4 discharge variations. Based on the results of the physical analysis, it was found that the maximum scour depth at discharge was  $404605.263 \text{ cm}^3/\text{sec}$  which occurred at square pillars = 2.5 cm, circles = 2.0 cm and parallelograms = 2.5 cm. The analysis uses empirical methods which have scour depths: Laursen and Toch method = 5.791 cm, Wu method = 1.87 cm and Froehlich method = 2.957 cm. Of the three methods, the Froehlich method has results that are closer to laboratory results. Of the 2 analysis methods, circular pillars are the best choice to use because circular pillars do not make an angle to the flow direction so they have the smallest scour value at each discharge.

Keywords: *Bridge Pillars, Local Scour, Empirical Method*

## PENDAHULUAN

Saluran terbuka adalah saluran dimana air mengalir dengan muka air bebas, di mana tekanan yang ada pada semua titik di sepanjang saluran adalah tekanan atmosfer. Secara umum, saluran terbuka dapat dibedakan menjadi dua jenis, yaitu saluran alam (natural channels) dan saluran buatan (artificial channels) (Triatmojo, 2013). Sungai merupakan contoh saluran terbuka alami yang terbentuk melalui proses geologis dan berfungsi sebagai jalur aliran air dari mata air menuju ke danau atau laut. Sungai dapat mengalami perubahan morfologi yang signifikan, baik akibat faktor alam maupun intervensi manusia, seperti pembangunan infrastruktur (Kondolf, 1997).

Proses erosi atau gerusan pada dasar sungai adalah fenomena alami yang terjadi terutama di sekitar struktur seperti pilar jembatan, bendung, atau dinding saluran. Gerusan ini terjadi akibat pergerakan air yang membawa partikel sedimen, yang mengikis dasar sungai dan dapat mengubah morfologi sungai, seperti pembentukan lubang erosi atau penurunan kedalaman di sekitar struktur. Penurunan di sekitar pilar jembatan adalah contoh nyata dari kerusakan akibat gerusan lokal (Melville & Coleman, 2000).

Penelitian mengenai gerusan lokal di sekitar pilar jembatan menunjukkan bahwa bentuk pilar sangat mempengaruhi pola gerusan di sekitarnya. Menurut Melville & Sutherland (1988), pilar dengan bentuk tertentu dapat meningkatkan turbulensi aliran dan memperburuk erosi, sementara bentuk lain dapat mengurangi dampak negatif ini. Desain pilar yang mempertimbangkan kondisi aliran sungai, terutama dalam kondisi "live-bed" scour (di mana aliran membawa sedimen yang memperburuk erosi), sangat penting untuk mengurangi kerusakan lebih lanjut (Jones et al., 2008).

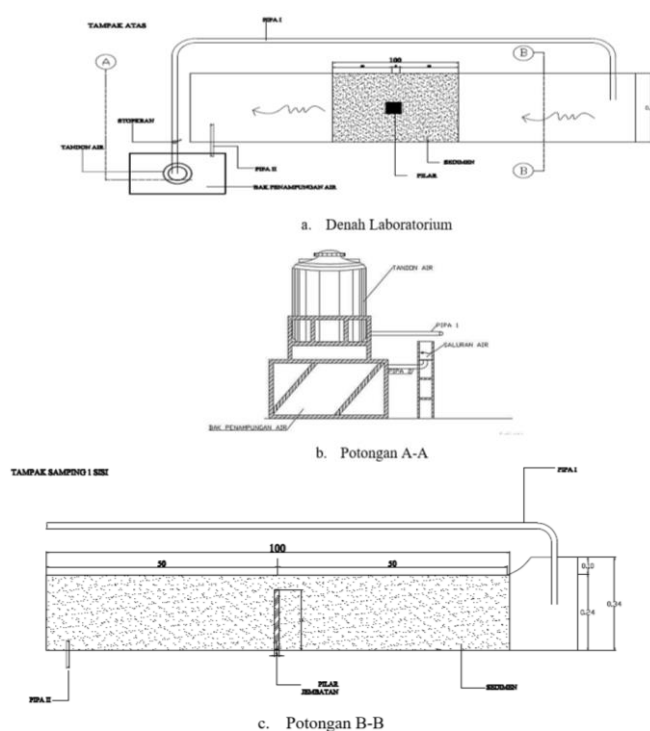
Contoh kasus yang relevan adalah runtuhnya jembatan di Sulawesi Utara, Indonesia, yang tidak hanya disebabkan oleh faktor konstruksi, tetapi juga oleh gerusan lokal di sekitar pilar. Proses erosi yang terus-menerus terjadi di sekitar pangkal pilar menyebabkan penurunan tanah dasar yang pada akhirnya menyebabkan keruntuhan konstruksi jembatan

tersebut (Hidayat et al., 2017). Penelitian ini bertujuan untuk mengeksplorasi variasi debit air dan bentuk pilar terhadap potensi gerusan lokal yang terjadi, sehingga dapat ditemukan desain pilar yang lebih aman terhadap potensi kerusakan akibat gerusan.

## METODE PENELITIAN

### A. Jenis Penelitian

Penelitian ini dilakukan di laboratorium Keairan Fakultas Teknik Universitas Muhammadiyah Jember untuk menguji pola gerusan di hilir sungai bawah pilar jembatan. Peralatan yang digunakan, seperti flume, pompa air, dan bak penampung, sudah tersedia di laboratorium. Metode yang digunakan adalah penelitian kuantitatif dengan percobaan langsung. Tiga variasi bentuk pilar jembatan diuji: persegi, lingkaran, dan jajaran genjang, dengan variasi debit bukaan kran 30°, 50°, 70°, dan 90°. Ukuran model pilar disesuaikan dengan dimensi flume. Sedimen yang digunakan berukuran 1,5 mm dan 1,0 mm. Dimensi pilar: persegi (lebar 5 cm, tebal 15 cm, tinggi 15 cm), lingkaran (diameter 5 cm, tinggi 15 cm), dan jajaran genjang (lebar 5 cm, tebal 5 cm, tinggi 15 cm). Percobaan akan menghasilkan data tinggi muka air (H), kecepatan (V), debit (Q), kedalaman gerusan (Ds), dan panjang gerusan (Ls).



Gambar 1. Denah Model Fisik dan Potongan Memanjang Serta Melintang

Sumber : Autocad, 2007

B. Alat dan Bahan Penelitian




Peralatan terdiri dari, multy purpose teaching flume, pompa sirkulasi air, stopwatch, flowmeter, meteran, point gauge, alat tulis, saringan pasir, model pilar. Sedangkan bahan terdiri dari, material alam, air.

C. Hipotesis

1. Pola gerusan terjadi di sekitar pilar.
2. Ada perbandingan pola gerusan berdasarkan bentuk pilar dan jenis sedimen.
3. Ditemukan bentuk pilar dengan gerusan terkecil.

D.Rancangan Percobaan

Tabel 1. Rancangan Percobaan

No	Perlakuan	Sedimen	Debit	H	V	Ds	Ls	
1.	 X <sub>ij</sub>	D50	1 30°	X <sub>1</sub>	X <sub>1</sub>	X <sub>1</sub>	X <sub>1</sub>	
			2 50°	X <sub>2</sub>	X <sub>2</sub>	X <sub>2</sub>	X <sub>2</sub>	
			3 70°	X <sub>3</sub>	X <sub>3</sub>	X <sub>3</sub>	X <sub>3</sub>	
			4 90°	X <sub>4</sub>	X <sub>4</sub>	X <sub>4</sub>	X <sub>4</sub>	
		D70	1 30°	X <sub>1</sub>	X <sub>1</sub>	X <sub>1</sub>	X <sub>1</sub>	
			2 50°	X <sub>2</sub>	X <sub>2</sub>	X <sub>2</sub>	X <sub>2</sub>	
			3 70°	X <sub>3</sub>	X <sub>3</sub>	X <sub>3</sub>	X <sub>3</sub>	
			4 90°	X <sub>4</sub>	X <sub>4</sub>	X <sub>4</sub>	X <sub>4</sub>	
	2.	 Y <sub>ij</sub>	D50	1 30°	Y <sub>1</sub>	Y <sub>1</sub>	Y <sub>1</sub>	Y <sub>1</sub>
				2 50°	Y <sub>2</sub>	Y <sub>2</sub>	Y <sub>2</sub>	Y <sub>2</sub>
				3 70°	Y <sub>3</sub>	Y <sub>3</sub>	Y <sub>3</sub>	Y <sub>3</sub>
				4 90°	Y <sub>4</sub>	Y <sub>4</sub>	Y <sub>4</sub>	Y <sub>4</sub>
D70			1 30°	Y <sub>1</sub>	Y <sub>1</sub>	Y <sub>1</sub>	Y <sub>1</sub>	
			2 50°	Y <sub>2</sub>	Y <sub>2</sub>	Y <sub>2</sub>	Y <sub>2</sub>	
			3 70°	Y <sub>3</sub>	Y <sub>3</sub>	Y <sub>3</sub>	Y <sub>3</sub>	
			4 90°	Y <sub>4</sub>	Y <sub>4</sub>	Y <sub>4</sub>	Y <sub>4</sub>	
3.		 Z <sub>ij</sub>	D50	1 30°	Z <sub>1</sub>	Z <sub>1</sub>	Z <sub>1</sub>	Z <sub>1</sub>
				2 50°	Z <sub>2</sub>	Z <sub>2</sub>	Z <sub>2</sub>	Z <sub>2</sub>
				3 70°	Z <sub>3</sub>	Z <sub>3</sub>	Z <sub>3</sub>	Z <sub>3</sub>
				4 90°	Z <sub>4</sub>	Z <sub>4</sub>	Z <sub>4</sub>	Z <sub>4</sub>
	D70		1 30°	Z <sub>1</sub>	Z <sub>1</sub>	Z <sub>1</sub>	Z <sub>1</sub>	
			2 50°	Z <sub>2</sub>	Z <sub>2</sub>	Z <sub>2</sub>	Z <sub>2</sub>	
			3 70°	Z <sub>3</sub>	Z <sub>3</sub>	Z <sub>3</sub>	Z <sub>3</sub>	
			4 90°	Z <sub>4</sub>	Z <sub>4</sub>	Z <sub>4</sub>	Z <sub>4</sub>	

Sumber : Hasil Perhitungan, 2024

X<sub>ij</sub>, Y<sub>ij</sub> dan Z<sub>ij</sub> adalah type pilar jembatan yang akan diuji dengan sedimen  $i(i = D50, D70)$  pada ulangan percobaan sesuai bukaan kran dengan variabel  $j(j = 30^\circ, 50^\circ, 70^\circ \text{ dan } 90^\circ)$ .

HASIL DAN PEMBAHASAN

Hasil

A. Umum

Sesuai dengan tujuan dari penelitian ini, pengujian model hidraulik dilakukan pada model saluran (*flume*) dengan deskripsi sebagai berikut :

1. Saluran pada laboratorium berbentuk persegi dan lurus dengan tujuan untuk menghindari terjadinya aliran tidak seragam.
2. Dasar saluran dilapisi pasir dengan dua variasi ukuran, untuk mengetahui pola gerusan yang terjadi
3. Pengaliran dilakukan dengan debit yang konstan dengan 5 variasi debit.

Adapun secara umum urutan pelaksanaan pengujian adalah perencanaan saluran, kalibrasi alat dan model pilar, meliputi pengukur debit, debit, kedalaman aliran dan kecepatan aliran, pelaksanaan pengujian, pengambilan data, verifikasi, analisis hasil pengukuran.

B. Perencanaan Saluran

Tabel 2. Perencanaan Dimensi Saluran

	Saluran	Prototipe	Satuan
1	Potongan Memanjang (L)	4,2	m
2	Lebar Saluran (B)	0,15	m
3	Jarak Tepi ke Pilar (x)	0,055	m
4	Diameter Sedimen ( $d_{50}$ )	1,5	mm
		1,0	mm

Sumber : Hasil Penelitian, 2024

Perencanaan model pilar yang akan digunakan pada penelitian ini memiliki tiga tipe pilar yaitu persegi (A-1), jajaran genjang (B-1) dan lingkaran (C-1) seperti pada tabel berikut :

Tabel 3. Perencanaan Model Pilar

Tipe Pilar		Prototipe		
		b	h	d
		cm	cm	cm
1	A-1	5	15	-
2	B-1	5	15	-
3	C-1	-	15	5

Sumber : Hasil Penelitian, 2024

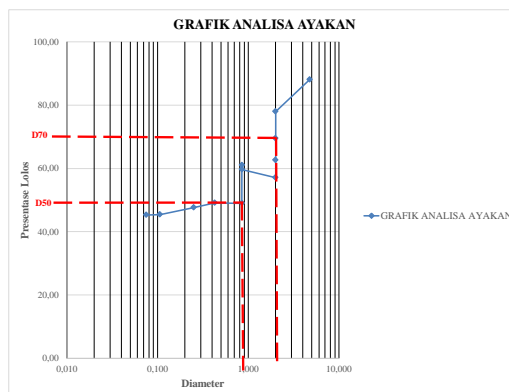
C. Perencanaan Ukuran Sedimen

Tabel 4. Test Pembagian Butir

Saringan No.	Baskom No.	Berat Baskom	Baskom + Tanah Basah	Baskom + Tanah Kering Yang Terendap	Berat Tanah Tertahan	Kumulatif Tanah Tertahan	Persen Tanah Tertahan	% Tertahan	% Lolos	Kumulatif % Lolos
4	1	86,20	1306,20	679,60	593,40	593,40	11,87	11,87	88,13	
2	2	92,00	1200,80	597,80	505,80	1099,20	10,12	21,98	78,02	
2	3	86,60	1210,20	507,60	421,00	1520,20	8,42	30,40	69,60	
2	4	71,80	819,80	417,60	345,80	1866,00	6,92	37,32	62,68	
2	5	73,20	956,00	353,80	280,60	2146,60	5,61	42,93	57,07	
0,850	6	86,80	1609,00	1004,40	917,60	2016,80	18,35	40,34	59,66	
0,850	7	91,60	1120,60	517,60	426,00	1946,20	8,52	38,92	61,08	
0,850	8	92,80	1382,80	779,00	686,20	2552,20	13,72	51,04	48,96	
0,425	4	123,40	2147,60	652,40	529,00	2545,80	10,58	50,92	49,08	
60	0,250	120,40	529,60	193,40	73,00	2618,80	1,46	52,38	47,62	
140	0,106	123,00	525,60	233,00	110,00	2728,80	2,20	54,58	45,42	
200	0,075	85,60	317,60	93,20	7,60	2736,40	0,15	54,73	45,27	
pan	8	92,40	735,00	108,00	15,60	2752,00	0,31	55,04	44,96	
total					4911,60		98,23			
berat sampel					5000,00					
%kehilangan					1,77					

Sumber : Hasil Penelitian, 2024

Sedimen yang digunakan pada penelitian ini merupakan jenis pasir sungai dengan berat total 5000 gram. Setelah di uji dengan test pembagian butir, maka sedimen yang ideal untuk digunakan pada pengujian kali ini adalah D50 dan D70.



Gambar 3. Grafik Analisa Ayakan

Sumber : Hasil Penelitian, 2024

D. Kalibrasi Alat dan Model

1. Kecepatan Aliran

Pengujian kecepatan aliran awal pada penelitian ini dilakukan secara manual dengan menggunakan *flowmeter* di saluran terbuka aliran lurus dengan panjang 4,1 m. Dengan demikian kecepatan aliran pada model dicari secara matematis.

Tabel 5. Kecepatan Aliran

Jarak (s) m	Waktu (t) detik	Kecepatan (V) m/det	Bil. Froud
4,1	9,72	0,422	0,010
4,1	7,76	0,528	0,013
4,1	5,52	0,743	0,018
4,1	4,56	0,899	0,022

Sumber : Hasil Penelitian, 2024

2. Pengukuran Debit

Tabel 6. Debit Terukur

B (m)	t (det)	H (m)	V (m/det)	A (m <sup>2</sup> )	Q (m <sup>3</sup> /det)
0,15	9,72	0,0	0,422	0,0009	0,00038
	7,76	0,0	0,528	0,0015	0,00079
	5,52	0,0	0,743	0,0030	0,00223
	4,56	0,0	0,899	0,0045	0,00405

Sumber : Hasil Penelitian, 2024

Dari pengukuran debit pada laboratorium dengan beberapa variasi bukaan kran, maka didapatkan pula variasi debit. Variasi debit ditentukan dengan adanya debit maksimum dan debit minimumnya. Di mana debit maksimum adalah kemampuan maksimum pompa dalam mengalir model sehingga terjadi gerusan ( $Q_{maks}$ ) = 0,00405 m<sup>3</sup>/detik sedangkan debit minimum adalah debit terendah yang dipakai saat running dan jenis aliran turbulen (syarat model) ( $Q_{min}$ ) = 0,00038 m<sup>3</sup>/detik.

E. Pengambilan Data

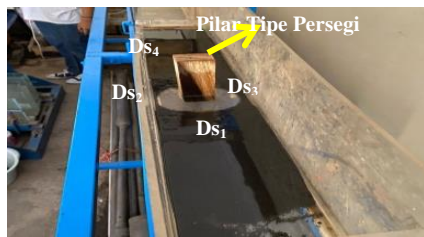
Penelitian ini menggunakan 3 model pilar yaitu persegi (A-1), jajaran genjang (B-1) dan lingkaran (C-1). Tabel pengukuran, dimana ketinggian muka air di hulu (H1) dan muka air di hilir (H2) diukur secara manual menggunakan point gauge dengan kedalaman gerusan diukur seperti pada tabel berikut ini Dengan : Ds1, Ds2, Ds3 dan Ds4 : Kedalaman Gerusan.

Tabel 7. Hasil Pembacaan Laboratorium

No	Perlakuan	Sedimen	V	Debit (Q)	Ds <sub>1</sub>	Ds <sub>2</sub>	Ds <sub>3</sub>	Ds <sub>4</sub>	Ls
			m/det	m <sup>3</sup> /det	Cm	Cm	Cm	Cm	Cm
1.	■	D50	0,422	0,00038	0,5	0,5	0,5	0,3	3,5
			0,528	0,00079	0,6	0,5	0,5	0,5	7,5
			0,743	0,00223	1,2	1	0,8	0,8	8,0
		0,899	0,00405	2,3	2	2,1	0,5	13,0	
		0,422	0,00038	0,5	0,5	0,2	0,2	7,0	
		0,528	0,00079	1,5	1,5	1,5	1,5	11,5	
	●	D70	0,743	0,00223	2,1	2,1	2	2,1	12,0
			0,899	0,00405	2,5	2,5	2,5	2,5	19,0
			0,422	0,00038	0,3	0,3	0	0,2	3,5
		0,528	0,00079	0,5	0,5	0,5	0,5	6,0	
		0,743	0,00223	1	0,8	1	0,8	7,2	
		0,899	0,00405	1,5	1,5	1,5	1,5	9,0	
2.	●	D50	0,422	0,00038	0,3	0,2	0,2	0,2	3,7
			0,528	0,00079	0,5	0,5	0,5	0,5	5,3
			0,743	0,00223	1,5	1,0	1,5	1,2	8,0
		0,899	0,00405	1,9	2	2,0	1,8	10,5	
		0,422	0,00038	0,4	0,3	0,5	0,2	3,5	
		0,528	0,00079	1,3	1,4	1,5	1,2	9,5	
	◆	D50	0,743	0,00223	1,8	1,7	2	1,8	11,7
			0,899	0,00405	2,5	2	2,5	2,2	15,9
			0,422	0,00038	1,2	1,4	1,3	1	5,0
		0,528	0,00079	2	1,6	1,8	1,6	7,5	
		0,743	0,00223	2,5	2	2,5	2,2	12,5	
		0,899	0,00405	2,5	2,5	2,5	2,5	17,5	

Sumber : Hasil Penelitian, 2024

Letak titik pengambilan data gerusan pada model pilar dilakukan pada 4 titik, yaitu pada depan pilar, samping kanan pilar, samping kiri pilar dan belakang pilar seperti pada gambar berikut :



Gambar 4. Letak Titik Pengukuran Gerusan Pada Model Pilar Persegi

Sumber : Hasil Penelitian, 2024



Gambar 5. Letak Titik Pengukuran Gerusan Pada Model Pilar Lingkaran

Sumber : Hasil Penelitian, 2024



Gambar 6. Letak Titik Pengukuran Gerusan Pada Model Pilar Jajar Genjang

Sumber : Hasil Penelitian, 2024

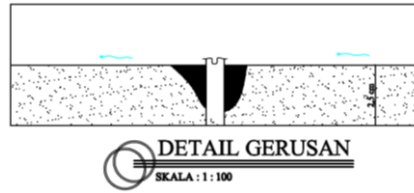
#### F. Karakteristik Pola Gerusan Pada Pilar Persegi, Lingkaran, Dan Jajar Genjang

Pilar jajaran genjang memiliki karakteristik berbeda dibandingkan pilar lingkaran dan persegi, karena membentuk sudut terhadap arah aliran. Hal ini menyebabkan proses gerusan yang terjadi pada pilar jajaran genjang berbeda. Pada pilar lingkaran dan persegi, kedalaman gerusan maksimum terjadi di depan pilar, karena posisinya sejajar dengan aliran. Namun, pada pilar jajaran genjang, kedalaman maksimum terjadi di sisi pilar, dan semakin besar sudut terhadap aliran, semakin besar kedalaman gerusan di sisi pilar. Geometri pilar mempengaruhi kedalaman gerusan karena pilar memantulkan kekuatan dari horseshoe vortex (pusaran tapal kuda). Pada pilar yang membentuk sudut dengan aliran, gerusan maksimum berpindah ke sisi samping pilar, sehingga gerusan di sisi samping lebih besar daripada di depan pilar.



Gambar 7. Pola Gerusan Pada pilar Persegi Tampak Atas dan Samping

Sumber : Hasil Penelitian, 2024



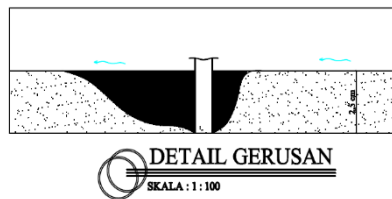
Gambar 8. Pola Gerusan Pada Pilar Persegi

Sumber : Hasil Penelitian, 2024



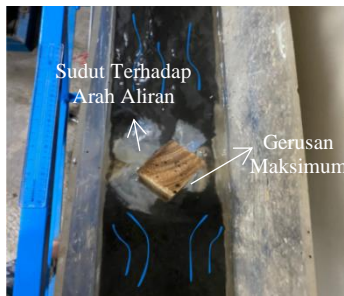
Gambar 9. Pola Gerusan Pada Pilar Lingkaran Tampak Atas dan Samping

Sumber : Hasil Penelitian, 2024



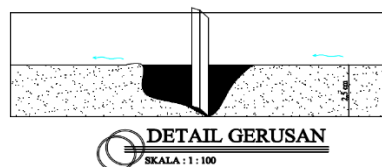
Gambar 10. Pola Gerusan Pada Pilar Lingkaran Tampak Atas dan Samping

Sumber : Hasil Penelitian, 202



Gambar 11. Pola Gerusan Pada Pilar Jajar Genjang Tampak Atas dan Samping

Sumber : Hasil Penelitian, 2024

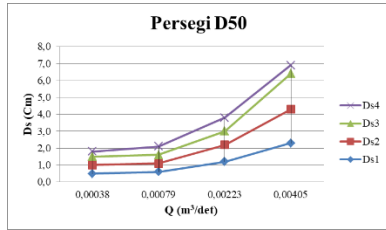


Gambar 12. Pola Gerusan Pada Pilar Jajar Genjang

Sumber : Hasil Penelitian, 2024

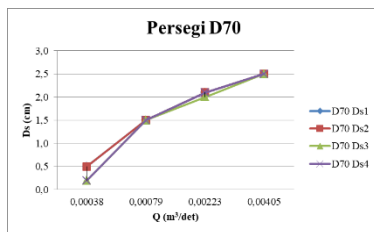
## Kedalaman Gerusan

### 1. Hubungan Debit dengan Kedalaman Gerusan



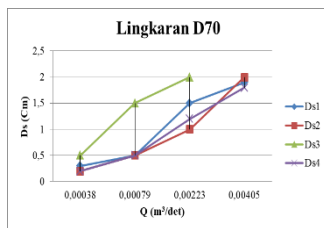
Gambar 13. Grafik Hubungan Debit Dengan Kedalaman Gerusan Pada Pilar Persegi Dengan Jenis Sedimen D50

Sumber : Hasil Penelitian, 2024



Gambar 14. Grafik Hubungan Debit Dengan Kedalaman Gerusan Pada Pilar Persegi Dengan Jenis Sedimen D70

Sumber : Hasil Penelitian, 2024

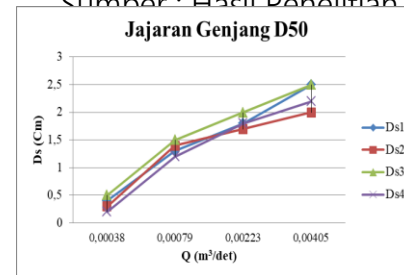


Gambar 15. Grafik Hubungan Debit Dengan Kedalaman Gerusan Pada Pilar Lingkaran Dengan Jenis Sedimen D50

Sumber : Hasil Penelitian, 2024

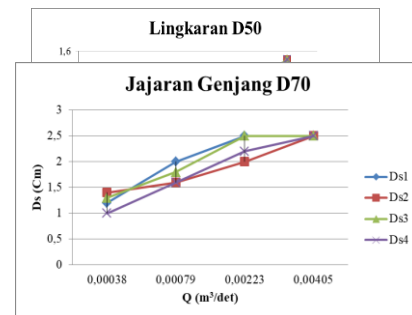
Gambar 16. Grafik Hubungan Debit Dengan Kedalaman Gerusan Pada Pilar Lingkaran Dengan Jenis Sedimen D70

Sumber : Hasil Penelitian, 2024



Gambar 17. Grafik Hubungan Debit Dengan Kedalaman Gerusan Pada Pilar Jajar Genjang Dengan Jenis Sedimen D50

Sumber : Hasil Penelitian, 2024



Gambar 18. Grafik Hubungan Debit Dengan Kedalaman Gerusan Pada Pilar Jajar Genjang Dengan Jenis Sedimen D70

Sumber : Hasil Penelitian, 2024

### G. Hubungan Bentuk Pilar Dengan Kedalaman Gerusan

Pada pilar bulat dan persegi, kedalaman gerusan maksimum terjadi di depan pilar karena posisinya sejajar dengan aliran. Sedangkan pada pilar jajaran genjang yang membentuk sudut dengan aliran, kedalaman maksimum terjadi di sisi pilar. Kedalaman gerusan dipengaruhi oleh variasi debit; semakin tinggi debit, semakin dalam gerusan yang terjadi. Hasil percobaan pada bukaan 90° menunjukkan kedalaman gerusan 2,3 cm pada pilar

persegi, 2,0 cm pada pilar lingkaran, dan 2,5 cm pada pilar jajaran genjang. Hal ini dipengaruhi oleh ketebalan sedimen yang digunakan, yaitu 2,5 cm.

H. Menentukan Pilar Yang Terbaik




Pada debit 0,00223 m<sup>3</sup>/det, kedalaman gerusan maksimum pada pilar persegi adalah 2,0 cm, pada pilar lingkaran 1,5 cm, dan pada pilar jajaran genjang 2,5 cm. Pada debit maksimum 0,00405 m<sup>3</sup>/det, kedalaman gerusan maksimum pada pilar persegi adalah 2,5 cm, pada pilar lingkaran 2,0 cm, dan pada pilar jajaran genjang 2,5 cm.

Dari hasil ini, dapat disimpulkan bahwa pilar berbentuk lingkaran memiliki potensi kedalaman gerusan terkecil pada setiap variasi debit. Pilar lingkaran adalah pilihan terbaik untuk pilar jembatan karena tidak membentuk sudut terhadap arah aliran, sehingga pengaruh separasi arus menjadi minimal dan aliran selalu terfokus ke pusat lingkaran.

I. Analisa Gerusan Lokal Berdasarkan Metode Empiris

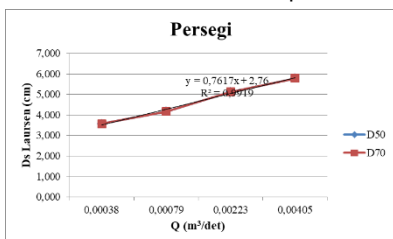
1. Perhitungan Gerusan Lokal Dengan Metode Laursen dan Toch

Tabel 8. Perhitungan Gerusan Lokal dengan Metode Laursen dan Toch

Perlakuan	Sedimen	b cm	Q	y	Ds Laursen
			cm <sup>3</sup> /det	cm	cm
	D50	5	0,00038	3	3,573
			0,00079	2	4,165
			0,00223	1	5,128
			0,00405	0,6	5,791
	D70	5	0,00038	3	3,573
			0,00079	2	4,165
			0,00223	1	5,128
			0,00405	0,6	5,791
	D50	5	0,00038	3	3,573
			0,00079	2	4,165
			0,00223	1	5,128
			0,00405	0,6	5,791
	D70	5	0,00038	3	3,573
			0,00079	2	4,165
			0,00223	1	5,128
			0,00405	0,6	5,791
	D50	5	0,00038	3	3,573
			0,00079	2	4,165
			0,00223	1	5,128
			0,00405	0,6	5,791
	D70	5	0,00038	3	3,573
			0,00079	2	4,165
			0,00223	1	5,128
			0,00405	0,6	5,791

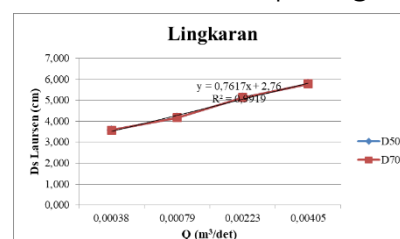
Sumber : Hasil Penelitian, 2024

Gerusan lokal menurut perhitungan dengan metode Laursen dan Toch pada grafik berikut:



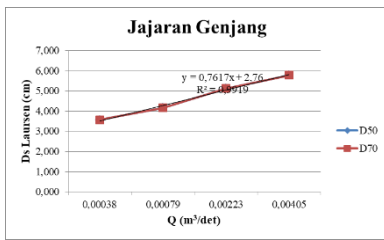
Gambar 19. Grafik Hubungan Antara Debit Dengan Metode Laursen Dan Toch Pada Pilar Persegi

Sumber : Hasil Penelitian, 2024



Gambar 20. Grafik Hubungan Antara Debit Dengan Metode Laursen Dan Toch Pada Pilar Lingkaran

Sumber : Hasil Penelitian, 2024



Gambar 21. Grafik Hubungan Antara Debit Dengan Metode Laursen Dan Toch

Pada Pilar Jajar Genjang

Sumber : Hasil Penelitian, 2024

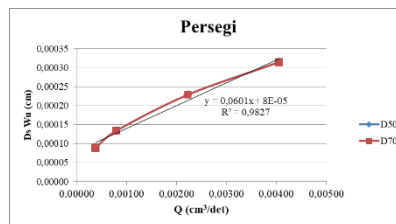
2. Perhitungan Gerusan Lokal Dengan Metode Wu

Tabel 9. Perhitungan Gerusan Lokal Menggunakan Metode Wu

Perlakuan	Sedimen	Q (m³/det)	q (cm³/det)	H <sub>0</sub> (cm)	H <sub>3</sub> (cm)	H (cm)	Ds Wu (cm)	Ds lab (cm)
■	D50	0,00038	0,003	16,90	9,70	7,20	0,00009	2,00
		0,00079	0,005	18,50	10,30	8,20	0,00013	2,00
		0,00223	0,015	19,10	10,50	8,60	0,00023	1,50
	D70	0,00405	0,027	19,90	10,80	9,10	0,00031	0,50
		0,00038	0,003	16,90	9,70	7,20	0,00009	2,00
		0,00079	0,005	18,50	10,30	8,20	0,00013	1,00
●	D50	0,00223	0,015	19,10	10,50	8,60	0,00023	1,70
		0,00405	0,027	19,90	10,80	9,10	0,00031	1,00
		0,00038	0,003	16,90	9,70	7,20	0,00009	2,30
	D70	0,00079	0,005	18,50	10,30	8,20	0,00013	2,00
		0,00223	0,015	19,10	10,50	8,60	0,00023	1,50
		0,00405	0,027	19,90	10,80	9,10	0,00031	0,80
◆	D50	0,00038	0,003	16,90	9,70	7,20	0,00009	2,20
		0,00079	0,005	18,50	10,30	8,20	0,00013	1,10
		0,00223	0,015	19,10	10,50	8,60	0,00023	0,80
	D70	0,00405	0,027	19,90	10,80	9,10	0,00031	0,50
		0,00038	0,003	16,90	9,70	7,20	0,00009	1,10
		0,00079	0,005	18,50	10,30	8,20	0,00013	0,90
		0,00223	0,015	19,10	10,50	8,60	0,00023	0,50
		0,00405	0,027	19,90	10,80	9,10	0,00031	0,00

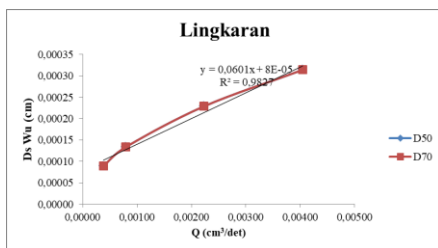
Sumber : Hasil Penelitian, 2024

Gerusan lokal menurut perhitungan dengan metode Wu ada pada grafik berikut :



Gambar 22. Grafik Hubungan Antara Debit Dengan Metode Wu Pada Pilar Persegi

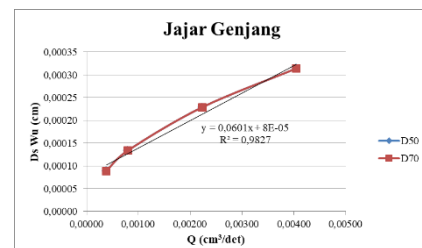
Sumber : Hasil Penelitian, 2024



Gambar 23. Grafik Hubungan Antara Debit Dengan Metode Wu Pada Pilar

Lingkaran

Sumber : Hasil Penelitian, 2024



Gambar 24. Grafik Hubungan Antara Debit Dengan Metode Wu Pada Pilar Jajar

Genjang

Sumber : Hasil Penelitian, 2024

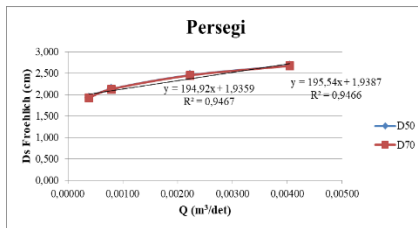
### 3. Perhitungan Gerusan Lokal dengan Metode Froehlich

Tabel 10. Perhitungan Gerusan Lokal Menggunakan Metode Froehlich

Perlakuan	Sedimen	b cm	y cm	b' cm	Q m <sup>3</sup> /det	Fr	K	Ds Froehlich cm
■	D50	5	0,0	5,0	0,00038	0,010	1,3	1,933
			0,0	5,0	0,00079	0,013		2,136
			0,0	5,0	0,00223	0,018		2,460
			0,0	5,0	0,00405	0,022		2,682
	D70	5	0,0	5,0	0,00038	0,010		1,930
			0,0	5,0	0,00079	0,013		2,133
			0,0	5,0	0,00223	0,018		2,455
			0,0	5,0	0,00405	0,022		2,677
●	D50	5	0,0	5,0	0,00038	0,010	1,0	1,718
			0,0	5,0	0,00079	0,013		1,874
			0,0	5,0	0,00223	0,018		2,123
			0,0	5,0	0,00405	0,022		2,294
	D70	5	0,0	5,0	0,00038	0,010		1,716
			0,0	5,0	0,00079	0,013		1,871
			0,0	5,0	0,00223	0,018		2,120
			0,0	5,0	0,00405	0,022		2,290
◆	D50	5	0,0	5,0	0,00038	0,010	0,7	1,503
			0,0	5,0	0,00079	0,013		1,612
			0,0	5,0	0,00223	0,018		1,786
			0,0	5,0	0,00405	0,022		1,906
	D70	5	0,0	5,0	0,00038	0,010		1,501
			0,0	5,0	0,00079	0,013		1,610
			0,0	5,0	0,00223	0,018		1,784
			0,0	5,0	0,00405	0,022		1,903

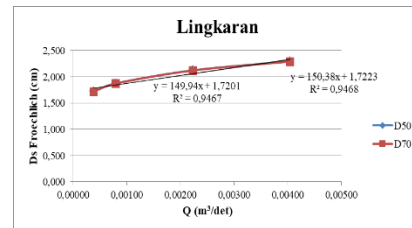
Sumber : Hasil Penelitian, 2024

Gerusan lokal menurut perhitungan dengan metode Froehlich ada pada grafik berikut :



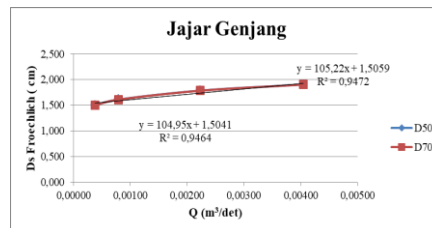
Gambar 25. Grafik Hubungan Antara Debit Dengan Metode Froehlich Pada Pilar Persegi

Sumber : Hasil Penelitian, 2024



Gambar 26. Grafik Hubungan Antara Debit Dengan Metode Froehlich Pada Pilar Lingkaran

Sumber : Hasil Penelitian, 2024



Gambar 27. Grafik Hubungan Antara Debit Dengan Metode Froehlich Pada Pilar Jajar Genjang

Sumber : Hasil Penelitian, 2024

#### J. Kesesuaian Formula

##### 1. Kedalaman Gerusan di Sekitar Pilar

Kedalaman gerusan yang ditinjau pada penelitian ini adalah kedalaman gerusan yang terjadi di sekitar pilar jembatan yaitu di posisi depan pilar, disamping kiri kanan pilar, dibelakang pilar jembatan dengan simbol Ds1, Ds2, Ds3 dan Ds4. Berdasarkan uraian di atas,

kedalaman gerusan maksimum yang terjadi di sekitar pilar terletak pada pilar berbentuk jajaran genjang dengan sedimen D70 dan bukaan debit 70° dan 90° yaitu sebagai berikut

- Bukaan debit 70° :
  - Ds1 = 2,5 cm
  - Ds2 = 2,0 cm
  - Ds3 = 2,5 cm
  - Ds4 = 2,2 cm
- Bukaan debit 90° :
  - Ds1 = 2,5 cm
  - Ds2 = 2,5 cm
  - Ds3 = 2,5 cm
  - Ds4 = 2,5 cm

## 2. Kesesuaian Formula Analisa Fisik dan Metode Empiris

Tabel 11. Perbandingan Antara Analisa Fisik dengan Perhitungan Menggunakan Metode Empiris

		Kedalaman Gerusan (Ds)			
Perlakuan	Sedimen	Fisik		Empiris	
		Lab cm	Laursen cm	Froehlich cm	Wu cm
■	D50	0,50	3,57	1,933	0,00009
		0,50	4,17	2,136	0,00013
		1,00	5,13	2,460	0,00023
		2,00	5,79	2,682	0,00031
		2,50	5,79	2,677	0,00031
	D70	0,50	3,57	1,930	0,00009
		1,50	4,17	2,133	0,00013
		1,50	5,13	2,455	0,00023
		2,50	5,79	2,677	0,00031
		2,50	5,79	2,677	0,00031
●	D50	0,30	3,57	1,718	0,00009
		0,50	4,17	1,874	0,00013
		0,80	5,13	2,123	0,00023
		1,50	5,79	2,294	0,00031
		2,00	5,79	2,294	0,00031
	D70	0,20	3,57	1,716	0,00009
		0,50	4,17	1,871	0,00013
		1,00	5,13	2,120	0,00023
		1,70	5,79	2,290	0,00031
		2,00	5,79	2,290	0,00031
◆	D50	0,30	3,57	1,503	0,00009
		1,50	4,17	1,612	0,00013
		1,70	5,13	1,786	0,00023
		2,00	5,79	1,906	0,00031
		2,50	5,79	1,903	0,00031
	D70	1,40	3,57	1,501	0,00009
		1,60	4,17	1,610	0,00013
		2,00	5,13	1,784	0,00023
		2,00	5,13	1,784	0,00023
		2,50	5,79	1,903	0,00031

Sumber : Hasil Penelitian, 2024

Berdasarkan data yang dipaparkan pada tabel dari hasil perhitungan beberapa metode dapat dijelaskan bahwa :

- Persamaan Laursen dan Toch memberikan nilai kedalaman gerusan (Ds) tertinggi, diikuti oleh persamaan Froehlich dan Wu, dibandingkan dengan hasil pengukuran laboratorium.
- Nilai terukur dari laboratorium hampir mendekati nilai yang dihitung menggunakan persamaan Froehlich.
- Berdasarkan perbandingan beberapa persamaan, metode yang paling sesuai untuk penelitian ini adalah metode Froehlich, karena hasilnya hampir sama dengan nilai terukur di laboratorium.

## SIMPULAN

Berdasarkan data yang diperoleh dari serangkaian percobaan di Laboratorium Keairan Fakultas Teknik Universitas Muhammadiyah Jember, maka ditarik kesimpulan sebagai berikut :

1. Pola Gerusan: Pada pilar berbentuk lingkaran dan persegi, kedalaman gerusan maksimum terjadi di depan pilar karena posisinya sejajar dengan aliran. Pada pilar jajaran genjang yang membentuk sudut dengan aliran, kedalaman maksimum terjadi di sisi pilar. Geometri pilar mempengaruhi kedalaman gerusan karena pilar memantulkan kekuatan dari horseshoe vortex, yang menyebabkan gerusan maksimum berpindah ke sisi pilar jika pilar tidak sejajar dengan aliran.
2. Ukuran Pilar dan Variasi Debit\*\*: Penelitian menggunakan 3 jenis pilar (persegi, lingkaran, jajaran genjang) dengan ukuran yang sama: lebar 5 cm dan tinggi 15 cm. Pada bukaan  $90^\circ$  dengan debit  $0,00405 \text{ m}^3/\text{det}$ , kedalaman gerusan maksimum adalah 2,3 cm pada pilar persegi, 2,0 cm pada pilar lingkaran, dan 2,5 cm pada pilar jajaran genjang. Bentuk pilar dan debit sangat mempengaruhi kedalaman gerusan.
3. Keunggulan Pilar Lingkaran: Pilar lingkaran merupakan pilihan terbaik untuk pilar jembatan dari segi hidrolika. Pada debit maksimum (bukaan  $90^\circ$  dan kecepatan  $0,899 \text{ m/det}$ ), pilar lingkaran menghasilkan kedalaman gerusan terkecil (1,5 cm untuk sedimen D50 dan 1,8 cm untuk D70) dibandingkan dengan pilar persegi dan jajaran genjang yang mencapai 2,5 cm. Pilar lingkaran tidak membentuk sudut dengan aliran, sehingga separasi arus lebih sedikit berpengaruh.
4. Metode Pengukuran Kedalaman Gerusan: Berdasarkan perhitungan, persamaan Laursen dan Toch menghasilkan nilai kedalaman gerusan tertinggi, diikuti oleh persamaan Froehlich dan Wu. Metode Froehlich paling cocok dengan hasil pengukuran laboratorium, dengan selisih nilai  $0,567 \text{ cm}$  pada setiap variasi debit dan sedimen..

## DAFTAR PUSTAKA

- Bormann, Noel E., 1989. Prediction Local Scor For Design Of Hydraulic Structures In Alluvial Channels. Proceedings Of The Second International Symposium On Design Of Hydraulic Structures-Design Of Hydraulic Structures 89. Ed. Maurice Albertson And Rahim A.Kia, Fort Collins, CO/26-29 Juni 1989
- Chang, H. Howard ,1987. Fluvial Processes in River Engineering, A Wiley Interscience Publication San Diego State University New York.
- Chow V.T. 1992. Hidrolika saluran terbuka (Terjemahan), Erlangga, Jakarta.

- Etterma, R.E. 198. Scours At Bridge Piers. Rep. No.236, School of Engineering , The University Of Aucjland, New Zeeland.
- Halim, F., 2014. Pengaruh Debit Terhadap Pola Gerusan di Sekitar Abutmen Jembatan. Jurnal Ilmiah Media Engineering, Vol.4, No 1:32-40. Universitas Sam Ratulangi, Manado.
- Hariandja, B. 1987. Konsep Konsep Probabilitas Dalam Perencanaan Dan Perancangan Rekayasa, Erlangga, Jakarta.
- Laursen, E.M dan Toch. 1956. Scour Araund Bridge Piers And Abutments, Lowa Highway, Res Board, Bulletin No. 4. 60.Pp.
- Simon, D. B, & Senturk, F., 1977. Sediment Transport Technology, Water Resources Publication Fort Colline, Colorado 80552. USA.
- Triatmodjo, Bambang, 2008. Hidrologi Terapan, Beta Offset Yogyakarta.