

## Eksperimen Laboratorium Pengaruh Hidung Pilar Jembatan Terhadap Kedalaman Gerusan Lokal Setimbang

Ichsan Rauf<sup>1)</sup>, Abdul Gaus<sup>2)</sup>, Imran<sup>3)</sup>, Salsabila Jaelan<sup>4)</sup>  
<sup>1, 2, 3, 4)</sup>Program Studi Teknik Sipil, Universitas Khairun  
email: [ichsan\\_rauf@unhair.ac.id](mailto:ichsan_rauf@unhair.ac.id)<sup>1)</sup>, [gaussmuhammad@gmail.com](mailto:gaussmuhammad@gmail.com)<sup>2)</sup>,  
[kuimo97@gmail.com](mailto:kuimo97@gmail.com)<sup>3)</sup>, [salsabilajaelan170@gmail.com](mailto:salsabilajaelan170@gmail.com)<sup>4)</sup>

DOI: <http://dx.doi.org/10.29103/tj.v13i2.872>

(Received: 11 January 2023 / Revised: 11 June 2023 / Accepted: 20 July 2023)

### Abstrak

Gerusan lokal yang terjadi disekitar pilar jembatan sangat mempengaruhi stabilitas struktur atas jembatan yang dapat menyebabkan kegagalan struktur jembatan. Salah satu modifikasi hidrolika aliran untuk mereduksi besaran gerusan lokal pada pilar jembatan dapat dilakukan dengan merubah geometri pilar jembatan. Penelitian ini difokuskan pada pengaruh hidung (*nose*) pada struktur pilar terhadap kedalaman gerusan lokal (*scouring*) setimbang yang terjadi. Eksperimen laboratorium dilakukan dengan menggunakan perangkat saluran terbuka (*set circulating flume*) dengan dimensi panjang 740 cm, lebar 28 cm, dan tinggi 40 cm. Asumsi aliran yang digunakan adalah aliran tetap (*steady flow*) dengan debit sebesar 0,0252 m<sup>3</sup>/det, sementara geometri pilar yang digunakan dalam penelitian ini berupa pilar dengan radius 1 cm; 1,5 cm; dan 2 cm. Pengukuran kedalaman gerusan dilakukan di sekitar pilar dengan interval waktu 30 menit hingga kedalaman scouring setimbang tercapai. Hasil penelitian ini menunjukkan bahwa dengan semakin kecil *nose* pilar maka semakin kecil pula *scouring* yang terjadi, serta *nose* pilar juga mampu mereduksi waktu terjadinya *scouring* setimbang.

Kata kunci: *Gerusan lokal, modifikasi hidung pilar, kedalaman gerusan setimbang*

### Abstract

Local scour that occurs around the bridge pillars affects significantly the stability of the bridge superstructure, where it will generate the bridge structure failure. Modifications the geometry of the bridge pillars is one of the effort in order to reduce the depth of local scouring. This research conducted the effect of geometry pillars modification, particularly on nose pillar, against the the depth of local scouring at the equilibrium state. Laboratory experiments were carried out by using an open channel device/a set circulating flume, with dimensions of 740 cm in length, 28 cm in width and 40 cm in height. The flow assumption used is a steady flow with a discharge of 0.0252 m<sup>3</sup>/s, while the pillar geometry used in this study is a oblong pillar with a radius mayor at nose are 1 cm; 1.5cm; and 2 cm. Scouring depth measurements were carried out around the pillars at intervals of 30 minutes until an equilibrium scouring depth was reached. The results of this study indicate that the smaller of nose pillar, the smaller the scouring that occurs, and the nose pillar is also able to reduce the time of equilibrium local souring.

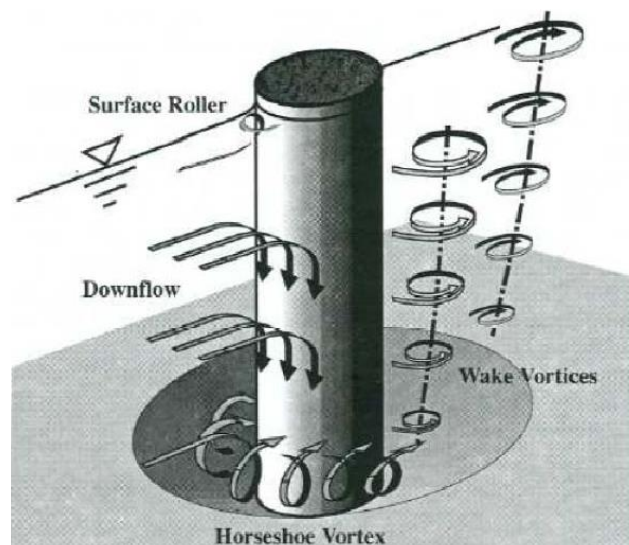
Keywords: *Local scouring, nose pillar modification, depth scouring equilibrium*

## 1. Latar Belakang

*Scouring* atau gerusan merupakan mekanisme aliran yang terbentuk akibat perubahan karakteristik aliran akibat keberadaan struktur hidrolis yang melintang pada sebuah penampang aliran. Proses terjadinya gerusan pada struktur jembatan ini, umumnya dikelompokkan menjadi 3, yaitu: *general scour*, gerusan yang terjadi secara umum pada jembatan, *contraction scour* di mana gerusan terjadi pada daerah kontraksi akibat penyempitan saluran dan *local scouring* yang terjadi pada abutment maupun pilar jembatan (Kattell & Eriksson, 1998).

Gerusan lokal yang terjadi di sekitar pilar adalah kejadian turunnya dasar sungai di sekitar pilar akibat adanya sistem pusaran (*vortex system*) yang timbul akibat terhalangnya aliran oleh pilar jembatan (Chang, 1988). Aliran yang menuju pilar akan membentuk aliran vertikal ke arah dasar yang selanjutnya menyebabkan terkikisnya dasar sungai di sekitar pilar seperti yang diperlihatkan pada Gambar 1. Kedalaman dan panjang gerusan lokal sangat dipengaruhi oleh debit, kemiringan dasar sungai, diameter butiran, tinggi terjun, bentuk dan posisi pilar serta waktu (Laursen & Toch, 1956), (Fael, et al., 2016), (Garde & Kothyari, 1998).

Upaya pengendalian gerusan lokal umumnya dapat dilakukan dengan dua pendekatan, yaitu: perlindungan dasar sungai (*bed armoring*) dan modifikasi aliran (Abdallah Mohamed, et al., 2015). Pengendalian *bed armoring* adalah penambahan lapisan lain yang bertujuan untuk menahan tegangan geser hidrolis sehingga memberikan perlindungan terhadap material dasar sungai yang dapat terkikis. Adapun Pengendalian modifikasi aliran bertujuan untuk mengubah karakteristik aliran sehingga dapat mengurangi gerusan yang dapat terjadi.



Gambar 1 Mekanisme pembentukan gerusan lokal pada pilar  
(Melville & Coleman, 2000)

Aspek geometri menjadi bagian yang tidak terpisahkan dalam perancangan sebuah jembatan untuk memberikan nilai artistik, demikian pula dengan pilar yang berfungsi meneruskan beban struktur atas jembatan ke lapisan tanah. Modifikasi geometri pilar menjadi salah satu upaya pengendalian gerusan lokal dengan merubah karakteristik aliran, oleh karena pembentukan dan kekuatan aliran vortex

dipengaruhi oleh keberadaan pilar yang berdampak pada kedalaman gerusan dan pola gerusan yang terbentuk (Dargahi, 1990). Penelitian-penelitian yang memodifikasi geometri pilar seperti: (Mohammed, et al., 2007), (Shamaa, 2020), (Anwar, et al., 2021) menunjukkan bahwa geometri yang memiliki bidang kontak terkecil terhadap aliran akan mempengaruhi kedalaman gerusan lokal disekitar pilar.

Proses terjadinya gerusan pada kondisi aliran tanpa sedimen (*clear water scour*) akan berlangsung secara bertahap selama jangka waktu yang panjang, hingga mencapai keadaan gerusan setimbang (*equilibrium scour state*). Keadaan gerusan setimbang merupakan kondisi di mana tegangan geser yang disebabkan oleh horseshoe vortex sama besar dengan tegangan geser dari material dasar pada dasar lubang gerusan (Deng & Cai, 2010). Dengan kata lain, keadaan gerusan setimbang dapat dinyatakan sebagai kondisi di mana sirkulasi aliran yang terjadi akibat keberadaan pilar tidak mampu lagi memindahkan material dasar pada daerah gerusan yang sudah terbentuk (Chiew, 1984).

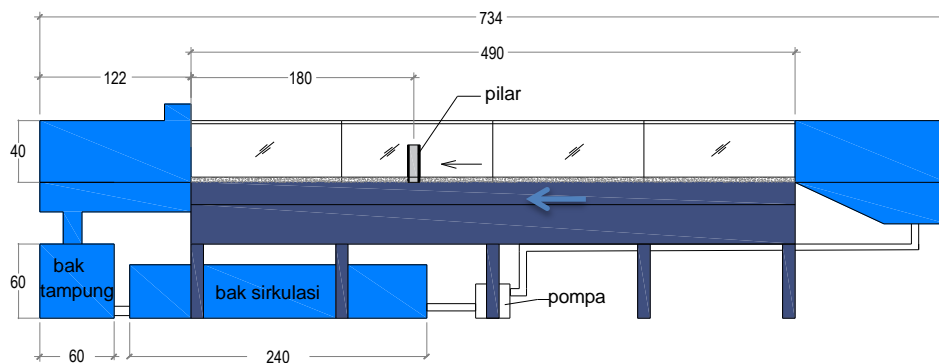
Pemahaman terhadap keadaan gerusan lokal setimbang sangat penting bagi perencanaan jembatan untuk menentukan kedalaman struktur pondasi. Apabila keadaan gerusan setimbang tidak tercapai hingga pondasi pilar jembatan tersingkap, maka akan berdampak terhadap penurunan daya dukung pondasi pilar yang berpotensi menyebabkan keruntuhan dari struktur jembatan secara keseluruhan. Penelitian-penelitian terkait fenomena gerusan lokal telah banyak dilakukan, namun demikian kegagalan jembatan akibat gerusan lokal masih saja terjadi. Hal ini menunjukkan masih kurangnya pengetahuan terhadap fenomenan gerusan baik itu: proses, kriteria desain, dan kurangnya hasil penelitian yang tersedia (Sumer & Fredsøe, 2002).

Penelitian eksperimen laboratorium ini difokuskan untuk melihat pengaruh geometri pilar, khususnya pengaruh variasi hidung pilar terhadap proses pembentukan gerusan lokal yang terjadi disekitar pilar hingga terpenuhinya keadaan gerusan lokal setimbang..

## 2. Metode Penelitian

### 2.1 Perangkat Saluran Terbuka

Penelitian dilakukan di Laboratorium Hidraulika Universitas Khairun dengan menggunakan perangkat sistem saluran terbuka (Gambar 1).



Gambar 2 Perangkat saluran terbuka

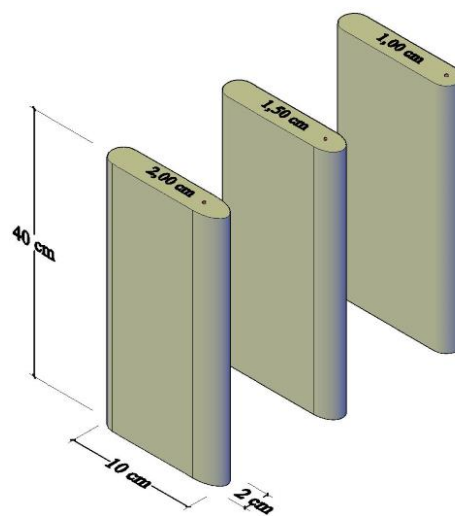
Saluran ini memiliki panjang 735 cm, tinggi 40 cm dan lebar 28 cm serta dilengkapi dengan pompa kapasitas 4 liter/detik dioperasikan melalui indikator operational yang terdiri kontrol debit aliran, pengatur kemiringan saluran dan pintu bagian hulu. Pintu berfungsi untuk mengontrol kedalaman aliran yang diinginkan. Pada bagian hulu dan hilir dipasang papan setinggi 10 cm yang berfungsi agar selama proses penelitian berlangsung dasar saluran bagian hulu dan hilir tidak mengalami gerusan.

## 2.2 Material Dasar

Material yang digunakan dalam penelitian ini adalah pasir yang diambil dari sungai Loto di Kota Ternate. Material ini dibersihkan untuk menghilangkan lumpur agar mempermudah dalam pengamatan aliran. Material dasar dibuat seragam melalui proses analisa saringan, di mana material yang diambil adalah material yang lolos ayakan No. 10 dan tertahan di ayakan No. 200. Berdasarkan hasil analisa tersebut ukuran diameter butiran median ( $D_{50}$ ) material yang akan digunakan adalah 1,2 mm.

## 2.3 Model Pilar

Model pilar yang digunakan pada penelitian ini menggunakan model pilar lenticular. Dimensi pilar disesuaikan terhadap dimensi saluran terbuka yang digunakan. Adapun untuk menghindari pengaruh dinding saluran terhadap efek gerusan yang terjadi, maka rasio lebar pilar ( $D$ ) terhadap lebar saluran ( $B$ ) disarankan kurang dari 10% (Chiew & Melville, 1987). Dengan lebar saluran ( $B$ ) sebesar 28 cm, maka lebar model pilar tidak boleh lebih besar dari 2,80 cm, oleh karena itu, lebar pilar ( $D$ ) yang digunakan dalam penelitian ini adalah 2,00 cm. Adapun panjang pilar ( $L$ ) mengacu pada standar lebar jembatan permanen kelas A (9 meter), sehingga model pilar yang digunakan adalah 10 cm. Variasi geometri pilar dilakukan pada hidung pilar dengan mengatur jari-jari mayor dengan panjang 1 cm, 1,5 cm dan 2 cm. Model pilar terbuat dari kayu yang dibentuk sesuai model dan dibagian luar dilapisi dengan cat kedap air, seperti yang diperlihatkan pada Gambar 3.



Gambar 3 Model pilar dengan variasi pada hidung pilar

## 2.4 Prosedur Pengujian

Tahapan percobaan diawali dengan mengatur kemiringan saluran (i) untuk aliran moderat, di mana pada penelitian ini digunakan kemiringan saluran sebesar 0,4%. Hal ini dilakukan untuk menjamin terjadinya aliran sepanjang flume. Adapun aliran moderat diatur pada kemiringan aliran antara 0,2% - 0,4% (Schlömer & Herget, 2023). Model pilar ditempatkan di tengah saluran dengan jarak + 310 cm dari *inlet* saluran. Selanjutnya, material dasar saluran dimasukkan di sepanjang saluran dengan ketebalan 10 cm. Selain itu, rasio kedalaman aliran (H) terhadap diameter pier (D) diatur agar tidak lebih besar dari 3, oleh karena jika rasio  $H/D > 3$  maka pengaruh kedalaman aliran terhadap gerusan dapat diabaikan (Chiew, 1995), dengan demikian, tinggi muka air pada percobaan ini, pengaturan bukaan katup pompa yang memberikan tinggi muka air pada elevasi + 2,50 cm dari material dasar. Pengukuran kecepatan aliran dilakukan dengan menggunakan perangkat *current meter digital* dan pengukuran tersebut dilakukan di tiga titik pada penampang saluran, yaitu: sebelum pilar, sisi pilar dan setelah pilar.

Proses pengukuran kedalaman gerusan dilakukan hingga kedalaman gerusan setimbang (*scouring equilibrium*) terpenuhi. Keadaan ini merupakan kondisi di mana perubahan kedalaman gerusan lokal yang terjadi tidak lebih dari 1 mm dalam periode pengamatan (Chiew, 1992). (Mia & Nago, 2003) dalam eksperimennya menemukan bahwa kedalaman gerusan kurang 1 mm terjadi dalam periode 1 jam, sementara (Kumar, et al., 1999) menghentikan percobaannya ketika penambahan gerusan lokal tidak lebih dari 1 mm dalam waktu pengamatan selama 3 jam. Dengan demikian, penelitian ini mengacu pada penelitian-penelitian tersebut, di mana pengukuran dilakukan setiap interval 30 menit hingga diperoleh penambahan gerusan tidak lebih dari 1 mm. Proses pengeringan saluran di setiap interval waktu dilakukan secara hati-hati agar daerah gerusan tidak terganggu. Pengukuran dilakukan dengan menggunakan laser meter dengan tingkat akurasi 1 mm.

## 2.5 Metode Empiris Penaksiran Kedalaman Gerusan Lokal

Analisa kedalaman gerusan lokal secara teoritis yang mempertimbangkan bentuk pilar umumnya dilakukan dengan pendekatan matematis. Dari beberapa literatur terdapat beberapa persamaan yang mempertimbangkan faktor bentuk pilar dalam menentukan besarnya kedalaman gerusan lokal pada pilar, seperti: metode *Laursen and Toch*, *Cheremisinoff* dan *Colorado State University (CSU)*, diperlihatkan sebagai berikut:

*Laursen and Toch (1956)*

$$y_{se} = 1,35 * K_s * b * y_o^{0,3} \quad (1)$$

Keterangan:

- $y_{se}$  = kedalaman gerusan lokal setimbang,
- $K_s$  = faktor bentuk,
- $b$  = lebar pilar,
- $y_o$  = kedalaman aliran

Cheremisinoff (1987)

$$y_{se} = 1,05 * K_s * b^{0,75} \quad (2)$$

Keterangan:

$y_{se}$  = kedalaman gerusan lokal setimbang,  
 $K_s$  = faktor bentuk,  
 $b$  = lebar pilar

Colorado State University (CSU)

$$y_{se} = 2 * K_s * y_o * Fr^{0,43} * \left(\frac{b}{y_o}\right)^{0,63} \quad (3)$$

Keterangan:

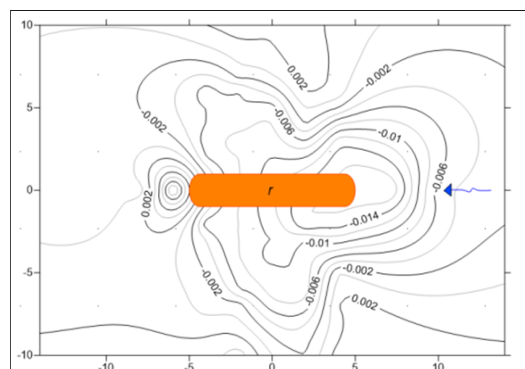
$y_{se}$  = kedalaman gerusan lokal setimbang,  
 $K_s$  = faktor bentuk,  
 $Fr$  = bilangan froude,  
 $b$  = lebar pilar,  
 $y_o$  = kedalaman aliran

### 3. Hasil dan Pembahasan

#### 3.1 Kedalaman Gerusan Lokal Maksimum

Eksperimen ini menetapkan aliran yang terjadi merupakan aliran seragam, di mana parameter-parameter aliran, seperti: tinggi muka air ( $y_o$ ), kecepatan aliran ( $v$ ) dan debit ( $Q$ ) bernilai konstan terhadap waktu. Dari hasil pengukuran kecepatan dan kedalaman aliran, maka hasil perhitungan debit yang terjadi  $\pm 1,93$  l/det, selain itu nilai bilangan Froude ( $Fr$ ) diperoleh nilai 0,63 yang dapat menjelaskan bahwa karakteristik aliran yang terjadi adalah aliran sub-kritis.

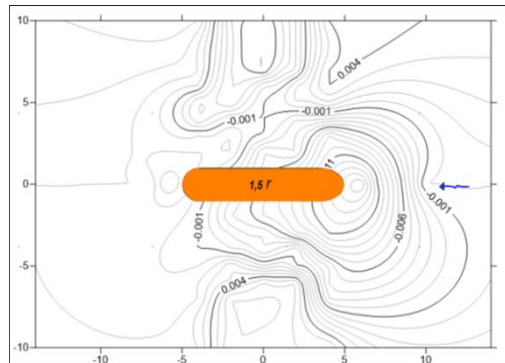
Hasil pengamatan dan pengukuran kedalaman gerusan lokal maksimum yang terjadi di sekitar pilar yang diukur pada menit ke-30 dan pada menit ke-150 untuk pilar dengan radius 1,00 cm; 1,50 cm; dan 2,00 cm masing-masing diperlihatkan pada Gambar 4, Gambar 5 dan Gambar 6.



Gambar 4 Pola dan kedalaman gerusan dengan radius 1,00 cm.

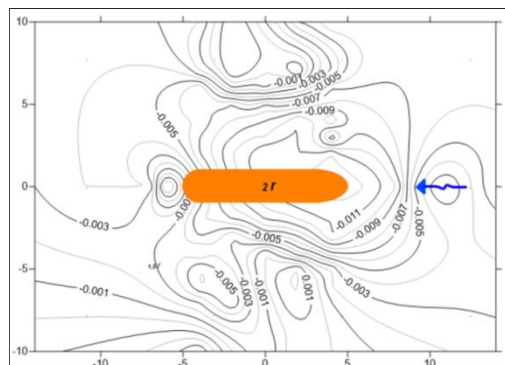
Pada Gambar 4 menunjukkan bahwa pada menit ke-150, medan aliran yang terjadi menyebabkan pembentukan pola tapal kuda di bagian hidung pilar dengan

bentuk yang melebar ke arah sisi kanan dan sisi kiri pilar dan bentuk *frustum* terbalik terlihat memanjang ke arah hulu. Adapun dari hasil pengukuran kedalaman gerusan pada kondisi ini dicatat kedalaman maksimum sebesar 46 mm.



Gambar 5 Pola dan kedalaman gerusan dengan radius 1,50 cm.

Pada Gambar 5 pola kontur akibat medan aliran yang disebabkan oleh hidung pilar 1,50 cm membentuk tapal kuda dengan ukuran yang lebih kecil jika dibandingkan dengan pola yang terbentuk pada pilar dengan radius mayor 1,00 cm. Selain itu, dari hasil pengukuran diperoleh bahwa kedalaman gerusan lokal pada kondisi setimbang sebesar 35 mm.



Gambar 6 Pola dan kedalaman gerusan pada pilar dengan radius 2,00 cm.

Pada Gambar 6 memperlihatkan bahwa kontur yang terbentuk lebih menyerupai bidang elips. Medan aliran mengakibatkan pembentukan gerusan terkonsentrasi pada ujung hidung pilar sehingga kedalaman maksimum yang diperoleh dari hasil pengukuran sebesar 28 mm

Dengan membandingkan hasil pengamatan dan pengukuran dari ketiga model pilar yang digunakan, maka dapat dikatakan bahwa hidung pilar mempengaruhi medan aliran yang terjadi di sekitar pilar, hal ini diperlihatkan oleh pola kontur gerusan dan kedalaman yang berbeda-beda dari setiap pilar. Ettema 2011 (Ettema, et al., 2011) menyatakan bahwa pada saat kondisi setimbang tercapai, lubang gerusan umumnya berbentuk *frustum* terbalik pada daerah sekitar hidung pilar yang menunjukkan kemiringan hulu lubang cenderung mendekati sudut tenang pasir di tempatnya terbentuk. Selain itu, dari hasil pengukuran kedalaman gerusan memperlihatkan bahwa semakin besar radius mayor pada hidung pilar, maka

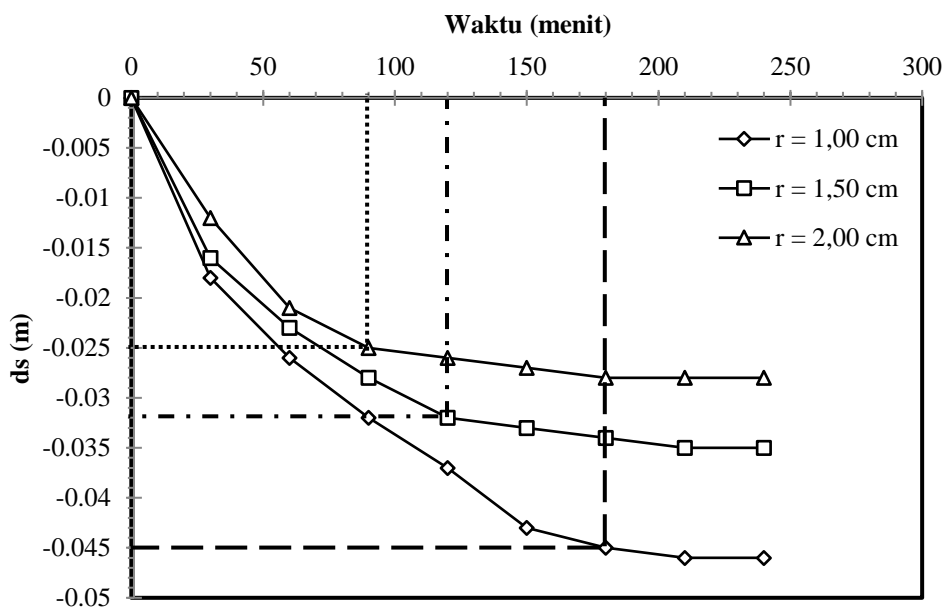


semakin kecil kedalaman gerusan lokal yang terjadi. Dengan kata lain, luas bidang kontak antara hidung pilar terhadap aliran menjadi parameter penting terhadap pembentukan gerusan lokal disekitar pilar (Vijayasree, et al., 2017).

Modifikasi bentuk pilar dalam penelitian ini menunjukkan bahwa geometri yang mempengaruhi kedalaman gerusan bukan hanya perbandingan dari lebar pilar ( $b$ ) dan panjang pilar ( $L$ ) tetapi juga bentuk hidung pilar. Dengan demikian, faktor bentuk pilar ( $K_s$ ) untuk pilar dengan panjang radius mayor 1,50 cm dan 2,00 cm masing-masing adalah  $K_{1,5}$  sebesar 0,767 dan  $K_{2,0}$  sebesar 0,628. Adapun faktor bentuk merupakan rasio antara kedalaman gerusan pada pier dengan bentuk penampang horisontal tertentu terhadap kedalaman gerusan pada pier bentuk penampang standar (Fael, et al., 2014).

### 3.2 Kedalaman Gerusan Lokal Setimbang

Hasil pengukuran kedalaman gerusan lokal pada setiap interval waktu pengukuran hingga mencapai kedalaman gerusan lokal maksimum pada setiap model pilar diperlihatkan pada Gambar 7. Grafik tersebut menunjukkan hubungan antara besarnya kedalaman gerusan yang terjadi pada setiap variasi geometri pilar sebagai fungsi waktu. Dari pengamatan untuk setiap pilar secara umum dapat dijelaskan bahwa gerusan lokal terjadi secara progresif hingga menit ke-90, yang menunjukkan bahwa gaya yang ditimbulkan aliran lebih besar dibandingkan dengan berat material dasar (Akan, 2006). Adapun setelah menit ke-90 laju erosi dasar saluran mulai mengalami perlambatan hingga cenderung konstan. Kondisi ini mengindikasikan bahwa proses kesetimbangan mulai terbentuk pada material dasar saluran (Melville & Sutherland, 1988) (Dey, 2014). Lebih jauh dapat dilihat bahwa modifikasi pilar dengan memvariasikan radius mayor hidung pilar menunjukkan terjadinya perbedaan laju gerusan dan waktu mencapai kesetimbangan.



Gambar 7 Laju kedalaman gerusan lokal dan kondisi kesetimbangan pada setiap model pilar.



Pada pilar dengan radius mayor 1,00 cm, kondisi kedalaman setimbang tercapai setelah melampaui menit ke-180 dengan kedalaman gerusan sebesar 0,045 m. Untuk pilar dengan radius mayor 1,50 cm, keadaan kedalaman gerusan lokal setimbang terpenuhi ketika pengukuran dilakukan pada menit ke-120 dengan kedalaman gerusan sebesar 0,032 m. Adapun kedalaman gerusan lokal untuk pilar dengan radius mayor 2,00 cm mencapai kondisi keadaan setimbang ketika pengukuran dilakukan pada menit ke-90, dengan kedalaman sebesar 0,025. Dengan demikian, hasil penelitian ini menunjukkan bahwa geometri hidung pilar, selain dapat mereduksi kedalaman gerusan lokal yang terjadi disekitar pilar, juga mampu mereduksi waktu terjadinya kedalaman gerusan lokal setimbang.

Hasil perhitungan yang membandingkan pengujian laboratorium dengan perhitungan teoritis dari persamaan yang digunakan diperlihatkan pada Tabel 1. Dari hasil ini menunjukkan bahwa metode CSU memberikan kedalaman gerusan yang mendekati hasil eksperimen yang dilakukan dengan rata-rata deviasi sebesar 7,83%. Adapun model persamaan *Laursen and Toch* memberikan hasil lebih rendah dibandingkan hasil eksperimen dengan deviasi sebesar 27,04%, sementara model *Cheremisinoff* menghasilkan nilai yang lebih tinggi dengan deviasi sebesar 28,27%. Dengan demikian, berdasarkan perbandingan ketiga metode empiris ini menunjukkan bahwa Metode CSU merupakan metode yang paling akurat dalam menganalisis potensi gerusan lokal yang terjadi di sekitar pilar jembatan.

Tabel 1 Perbandingan kedalaman gerusan hasil laboratorium terhadap metode empiris

Pilar	Kedalaman gerusan setimbang ( $ds_e, m$ )			
	Hasil Laboratorium	Metode CSU	Laursen dan Toch	Cheremisinoff
1,00 cm	-0.043	-0.040	-0.031	-0.055
1,50 cm	-0.033	-0.030	-0.024	-0.042
2,00 cm	-0.027	-0.025	-0.020	-0.035

#### 4. Kesimpulan dan Saran

Radius pilar mempengaruhi kedalaman dan waktu gerusan lokal pada kondisi setimbang. Hal tersebut dapat terlihat dari bentuk pola kontur dan kedalaman gerusan lokal yang terjadi di sekitar pilar. Laju pembentukan gerusan pada tahap awal berlangsung sangat cepat, namun menurun secara bertahap seiring dengan waktu hingga mencapai keadaan setimbang. Berdasarkan pola kontur gerusan, pada hidung pilar 1,00 cm, kontur gerusan yang terbentuk berbentuk bulat yang lebar dan memanjang. Pada hidung pilar 1,50 cm, kontur yang terbentuk bulat yang lebih pendek dan mulai terkonsentrasi di bagian hidung pilar saja. Semerara pada hidung pilar 2,00 cm, bentuk kontur gerusan berbentuk huruf "V" dan memanjang kearah samping. Adapun tercapainya waktu setimbang berdasarkan pengukuran yang dilakukan untuk pilar 1,00 cm; 1,50 cm; dan 2,00 cm masing-masing 180 menit, 120 menit dan 90 menit. Hasil ini menunjukkan bahwa gerusan lokal sangat dipengaruhi oleh luas bidang kontraksi pilar terhadap aliran yang datang, di mana semakin kecil radius hidung pilar maka semakin kecil gerusan lokal yang akan terbentuk dan waktu tercapainya kondisi setimbang, demikian pula sebaliknya.

Lebih jauh dinyatakan bahwa nilai koefisien bentuk (Ks) untuk pilar dengan radius mayor 1,50 cm dan 2,00 cm masing-masing sebesar 0,767 dan 0,628 perbandingan hasil eksperimen laboratorium terhadap analisis empiris dengan menggunakan persamaan *CSU*, *Laursen and Toch*, dan *Simmons* menunjukkan bahwa metode *CSU* memberikan hasil yang lebih akurat terhadap eksperimen ini dibanding metode lainnya, dengan deviasi sebesar 7,83%

#### 4.1 Saran

Berdasarkan hasil penelitian dan kesimpulan dapat diberi saran sebagai bentuk rekomendasi bahwa jika ingin dilakukan pemilihan metode pada hidung pilar jembatan maka dapat digunakan persamaan *CSU*, *Laursen and Toch*, dan *Simmons* yang memberikan hasil lebih akurat terhadap eksperimen ini dibanding metode lainnya, dengan deviasi sebesar 7,83%

### Ucapan Terima Kasih

Terima kasih diucapkan kepada Fakultas Teknik, Universitas Khairun yang telah membiayai penelitian melalui DIPA Unkhair tahun 2022 melalui program Penelitian Unggulan Kompetitif Perguruan Tinggi (PKUPT).

### Daftar Kepustakaan

- Abdallah Mohamed, Y., Hemdan Nasr-Allah, T., Mohamed Abdel-Aal, G. & Shawky Awad, A., 2015. Investigating the effect of curved shape of bridge abutment provided with collar on local scour ,experimentally and numerically. *Ain Shams Engineering Journal* , Volume 6, pp. 403-411.
- Akan, O. A., 2006. *Open Channel Hydraulics*. 1st ed. Burlington: Elsevier.
- Anwar, et al., 2021. Studi Eksperimental Pengaruh Radius Pilar Massif Terhadap Pola Gerusan Lokal. *Simetrik*.
- Chang, H., 1988. *Fluvial Process in River Engineering*. s.l.:John Wiley & Sons, 1988..
- Chiew, Y., 1995. Mechanics of Riprap Failure at Bridge Piers. *J. Hydraul. Eng.*, Volume 121, pp. 635-643.
- Chiew, Y. M., 1984. *Local scour at bridge piers, Report No. 355*, , Auckland, New Zealand: School of Engineering, The University of Auckland.
- Chiew, Y. M., 1992. Scour protection at bridge piers. *J. Hydraulic Engineering*, 118(9), pp. 1260-1269.
- Chiew, Y. & Melville, B. W., 1987. Local Scouring on Bridge Piers. *Journal Of Hydraulic Research*, Volume 25, pp. 15-26.
- Dargahi, B., 1990. Controlling Mechanism of Local Scouring. *Journal of Hydraullic Engineering*, Volume 116, pp. 1197-1214.
- Deng, L. & Cai, C. S., 2010. Bridge Scour: Prediction, Modeling, Monitoring, and Countermeasures—Review. *Practice Periodical On Structural Design And Construction*, 15(2), pp. 125-134.

- Dey, S., 2014. Bedforms. In *Fluvial Hydrodynamics. GeoPlanet: Earth and Planetary Sciences*, p. Springer.
- Ettema, R., Constantinescu, G. & B, M., 2011. *Evaluation of Bridge Scour Research: Pier Scour Processes and Predictions*, s.l.: National Cooperative Highway Research Program 175 (NCHRP 175).
- Fael, C., Lança, R. & António, C., 2014. *Pier Shape And Alignment Effects On Local Scour*. Nantes, SHF Conference: "Small scale morphological evolution Of costal, estuarine and river systems".
- Fael, C., Lança, R. & Cardoso, A., 2016. Effect of pier shape and pier alignment on the equilibrium scour depth at single piers. *Int. J. Sediment Res*, pp. 1-7.
- Garde, R. J. & Kothyari, U. C., 1998. Scour Around Bridge Piers. *Pinsa*, pp. 569-580.
- Kattell, J. & Eriksson, M., 1998. *Bridge scour evaluation: Screening, Analysis, & Countermeasures*. s.l.:s.n.
- Kumar, V., Raju, K. G. R. & Vittal, N., 1999. Reduction of local scour around bridge piers using slots and collars. *Journal of Hydraulic Engineering*, Volume 125, pp. 1302-1305.
- Laursen, E. M. & Toch, A., 1956. Scour Around Bridge Piers And Abutments.
- Melville, B. & Sutherland, A., 1988. Design method for local scour at bridge piers. *J. Hydraul. Eng*, Volume 114, p. 1210–1226..
- Melville, B. W. & Coleman, S. E., 2000. *Bridge Scour*. New Zealand: Water Resources Publication, LLC.
- Mia, M. & Nago, H., 2003. Design Method of Time-Dependent Local Scour at Circular Bridge Pier. *Journal of Hydraulic Engineering*, Volume 129, pp. 420-427.
- Mohammed, T. A. et al., 2007. Physical Modeling of Local Scouring around Bridge Piers in Erodable Bed. *Journal King Saud University*, pp. 195-207.
- Schlömer, O. & Herget, J., 2023. Geometry of Local Scour Holes at Boulder-like Obstacles during Unsteady Flow Conditions and Varying Submergence. *Water*, 15(5), p. 958.
- Shamaa, M. T., 2020. Local Scour for Side Slopes Piers with Upstream Lenticular Nose. *International Journal of Scientific & Engineering Research*, 11(2), pp. 74-83.
- Sumer, B. & Fredsøe, J., 2002. *The Mechanics of Scour in The Marine Environment*. Singapore: World Scientific.
- Vijayasree, B., Eldho, T., Mazumder, B. & Ahmad, N., 2017. Influence of bridge pier shape on flow field and scour geometry. *Intl. Journal River Basin Management*, pp. 1-20.